

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**Escola de Engenharia**  
**Curso de Especialização: Produção e Gestão do Ambiente**  
**Construído**

**Camila Júlia Calazans**

**ANÁLISE DA ABNT NBR 15575:2013 COM ÊNFASE**  
**EM DESEMPENHO TÉRMICO**

**Belo Horizonte,**  
**2016.**

**CAMILA JÚLIA CALAZANS**

**ANÁLISE DA ABNT NBR 15575:2013 COM ÊNFASE  
EM DESEMPENHO TÉRMICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização: Produção e Gestão do Ambiente Construído do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

**Orientador: Prof. Dr. White José dos Santos**

**Belo Horizonte,  
2016.**

## RESUMO

Marco da soma de esforços para melhoria da qualidade das habitações brasileiras, a norma de desempenho tem sido frequentemente estudada com vistas à tendência de racionalização da construção civil. Sabe-se que ela estabelece padrões no que diz respeito ao desempenho de vários aspectos das edificações, dentre eles o térmico. Nesse contexto, o presente trabalho desenvolveu uma análise acerca dos critérios para avaliação do desempenho térmico, descritos pela ABNT NBR 15575:2013, através de uma revisão bibliográfica da norma e trabalhos técnico-científicos. Apresentou-se os procedimentos de verificação, baseado nos dados climáticos, para obtenção dos subsídios na concepção do projeto arquitetônico, bem como da análise dos materiais empregados nos diferentes sistemas do edifício. Com o objetivo de analisar de forma integrada tais características, foi avaliada sua aplicação em uma edificação para a região de Belo Horizonte. Assim, com os resultados obtidos, foi possível observar o atendimento ao nível de desempenho térmico mínimo exigido pela norma. Porém, foram necessárias considerações a respeito das limitações do método simplificado de avaliação, diante da dificuldade de ponderação concomitante dos parâmetros de capacitância térmica e transmitância térmica associados à arquitetura.

**Palavras-chave:** ABNT NBR 15575:2013, conforto ambiental, desempenho térmico, método de avaliação.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABELAS .....	vi
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	vii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVO.....	3
2.1. OBJETIVO GERAL.....	3
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	4
3.2. ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO.....	4
3.3. REQUISITOS DE DESEMPENHO TÉRMICO DA ABNT NBR 15575:2013....	5
3.3.1 MÉTODO SIMPLIFICADO.....	6
3.3.2 MÉTODO DE SIMULAÇÃO.....	9
3.3.3 MÉTODO DA MEDIÇÃO .....	11
3.3.4 PARÂMETROS DE ADEQUAÇÕES.....	12
3.4. SOLUÇÕES TÉCNICAS PARA ATENDIMENTO AO DESEMPENHO .....	16
3.4.1 ESTRATÉGIAS DE CONDICIONAMENTO TÉRMICO .....	16
4. METODOLOGIA.....	27
5. ESTUDO DE APLICAÇÃO NA CIDADE DE BELO HORIZONTE .....	28
5.1 CARACTERIZAÇÃO .....	28
5.2 DIRETRIZES CONSTRUTIVAS .....	31
5.3 DISCUSSÃO DAS RECOMENDAÇÕES DE PROJETO .....	31
6. CONCLUSÃO.....	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Zonas bioclimáticas definidas pela Norma de Desempenho Térmico de Edificações.....	5
<b>Figura 2</b> – Avaliação do desempenho térmico.....	6
<b>Figura 3</b> – Avaliação do desempenho térmico por <i>softwares</i> .....	10
<b>Figura 4</b> – Carta bioclimática adaptada .....	17
<b>Figura 5</b> – Lareira elétrica – opção para aquecimento artificial. ....	18
<b>Figura 6</b> – Piso radiante – opção para aquecimento artificial. ....	18
<b>Figura 7</b> – Custo/m <sup>2</sup> de diferentes fontes energéticas para calefação de uma edificação residencial para a cidade de Curitiba (PR), 11 horas do ano.....	19
<b>Figura 8</b> – Aquecimento solar.....	20
<b>Figura 9</b> – Pátio da Oficina Cultural Oswald de Andrade, em São Paulo – SP .....	21
<b>Figura 10</b> – Desenho esquemático da parede de Trombe: a) não ventilada; b) ventilada.....	21
<b>Figura 11</b> – Protótipo de casa solar criada por Félix Trombe e Jacques Michel, em Odeillo, França.....	22
<b>Figura 12</b> – Resfriamento evaporativo.....	24
<b>Figura 13</b> – Ventilação cruzada.....	24
<b>Figura 14</b> – Casa e Estúdio na Vila Romana em São Paulo – Ventilação cruzada ..	25
<b>Figura 15</b> – Classificação bioclimática para a cidade de BH – MG – Zona 3 .....	28
<b>Figura 16</b> – Carta solar latitude 20° S com análise climática integrada para BH.....	29
<b>Figura 17</b> – Unidades climáticas naturais do município de Belo Horizonte: mesoclimas e topoclimas. ....	30
<b>Figura 18</b> – Projeto arquitetônico.....	31
<b>Figura 19</b> – Aquecimento solar.....	32
<b>Figura 20</b> – Aberturas para troca de ar.....	33
<b>Figura 21</b> – Insolação em Belo Horizonte – MG (dez-15 a fev-16).....	33
<b>Figura 22</b> – Sombreamento.....	34

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Valores máximos para a transmitância de paredes externas.....	12
<b>Tabela 2</b> – Valores mínimos para a capacidade térmica de paredes externas.....	12
<b>Tabela 3</b> – Comparativo da transmitância térmica de paredes em $W/(m^2K)$ .....	13
<b>Tabela 4</b> – Valores para a transmitância térmica da cobertura.....	14
<b>Tabela 5</b> – Áreas mínimas de ventilação .....	14
<b>Tabela 6</b> – Comparativo das áreas mínimas de ventilação .....	15
<b>Tabela 7</b> – Diretrizes construtivas para a zona 3.....	31
<b>Tabela 8</b> – Transmitância térmica e capacidade térmica para a zona 3.....	31
<b>Tabela 9</b> – Transmitância térmica, capacidade térmica para alvenaria .....	35
<b>Tabela 10</b> – Transmitância térmica, capacidade térmica para cobertura.....	35

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers*

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção

CEF – Caixa Econômica Federal

CT – Capacidade Térmica

FV – Fator de Ventilação

Inmetro – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

MCMV – Minha Casa, Minha Vida

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

RTQ – Regulamento Técnico da Qualidade

U – Transmitância Térmica

$\alpha$  – Absortância a Radiação Solar

$\lambda$  – Condutividade Térmica

## 1. INTRODUÇÃO

A preocupação com o desempenho térmico ganhou projeção nas últimas décadas e, atualmente, é um dos pontos centrais na discussão do comportamento dos componentes construtivos das edificações. Trata-se de uma preocupação aliada à busca pela otimização do consumo energético, uma vez que ele colabora com a redução do consumo de energia, especialmente em relação à iluminação e ao condicionamento artificial (CAMPOS *et al.*, 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2013).

Assim, o presente trabalho se justifica pela crescente preocupação quanto ao desempenho e eficiência energética de edificações. Para Marques (2008), esta estrutura aponta para uma tendência de racionalização da construção civil em todo território nacional, ainda que apresente particularidades advindas da variação climática e de recursos em toda a grande extensão.

Destaca-se que o conhecimento dos dados climáticos de uma região constitui a base para a articulação dos princípios do conforto térmico, no desenvolvimento do projeto arquitetônico. Contudo, o enfoque de condicionamento térmico de edificações extrapola a climatologia, à medida que exige a integração com os instrumentos técnicos da engenharia de materiais, para subsidiar a tomada de decisão (ASSIS, 2001).

Segundo Beraldo (2006), a eficiência térmica das edificações se inicia com a consideração do clima nos projetos arquitetônicos. Este é o elemento determinante quanto à quantidade de radiação solar, iluminação e ventilação natural recebida (SILVA, 2007). Entretanto, de acordo com Romero (2011), a absorção e transferência da intensidade de radiação solar dependem das características dos materiais de vedação e revestimento associados a sua cor, tendo em vista que as propriedades de absorção ou reflexão podem ser modificadas conforme a cor aplicada.

Nesse cenário, a necessidade de informações sobre a adequação e o desempenho de produtos e técnicas faz com que seja imprescindível a avaliação do desempenho destas soluções. Para tal, em países como Estados Unidos e

França, a instituição de regulamentos de desempenho térmico, com a consideração da combinação das exigências prescritivas e de desempenho no projeto, data de antes da década de 90 (JANDA e BUSCH, 1992).

No Brasil, a normatização do desempenho térmico de edificações se iniciou com a norma de desempenho térmico para edificações, a ABNT NBR 15220:2005, que estabelece critérios de acordo com parâmetros adequados à realidade brasileira. Entretanto, ela apresenta atuação restrita a edificações unifamiliares de interesse social. Iniciou-se, então, o processo de desenvolvimento da norma de desempenho para edificações residenciais, ABNT NBR 15575, cuja primeira versão foi publicada em 2008 e revisada em 2013, estabelecendo requisitos mínimos de desempenho, vida útil e de garantia para os sistemas que compõem as edificações, dentre eles os requisitos de desempenho térmico.

Nesse contexto, a ABNT NBR 15575:2013, ao agregar uma relação de normas já existentes, estabelece a junção de incumbências entre os intervenientes do processo, tornando essencial a quebra de paradigmas na cultura da construção habitacional brasileira. Passa-se para uma nova maneira de especificação e elaboração de projetos, que envolve o conhecimento do comportamento dos diversos materiais e sistemas construtivos que compõem a edificação. Assim, a norma de desempenho de edificações avalia e regulamenta o setor da construção civil, garantindo um padrão mínimo de qualidade e desempenho das edificações residenciais.

Sabe-se que essa jornada não é simples. São necessárias diversas comprovações, quantitativas e qualitativas, sobre o desempenho térmico da edificação e suas partes. Torna-se imperativo que os profissionais envolvidos exerçam o papel determinante, a fim de que seja garantido o cumprimento da ABNT NBR 15575:2013, desde as primeiras concepções do projeto.

Diante desse quadro, este trabalho apresenta um levantamento e análise do desenvolvimento de soluções para o desempenho térmico de edificações no Brasil. São apresentadas considerações e projeções sobre as tendências para o uso e desenvolvimento de ferramentas para assegurar o desempenho térmico.

## **2. OBJETIVO**

### **2.1.OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral do presente trabalho é desenvolver uma análise da ABNT NBR 15575:2013 no que tange ao desempenho térmico, bem com levantar dados das principais soluções técnicas compatíveis com as exigências da norma.

### **2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Teve-se como objetivos específicos deste trabalho:

- Realizar revisão bibliográfica em normas e trabalhos técnico-científicos que abordem o desempenho térmico de edificações;
- Levantar soluções técnicas em concordância com a norma;
- Identificar a influência dos componentes construtivos no desempenho térmico.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

A ABNT NBR 15220-1:2005 define conforto térmico como a satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente. Pode-se, então, afirmar que ele consiste em um estado de determinado ambiente, em relação às características físicas, expressas no nível de satisfação do ser humano com o ambiente térmico circundante. De maneira contrária, a insatisfação pode ser proporcionada por um balanço térmico instável, ou seja, quando as diferenças entre o calor produzido e perdido causam o desconforto do calor ou frio.

Roaf *et al.* (2009) destaca ainda que, para nos proteger do clima, necessitamos de três peles: a pele natural, a roupa e as edificações. Quanto mais extremo o clima, mais precisamos da nossa “terceira pele”. Assim, todas as edificações devem ser projetadas para um clima, ambiente social/físico, tempo (dia e noite), estação e vida útil específica.

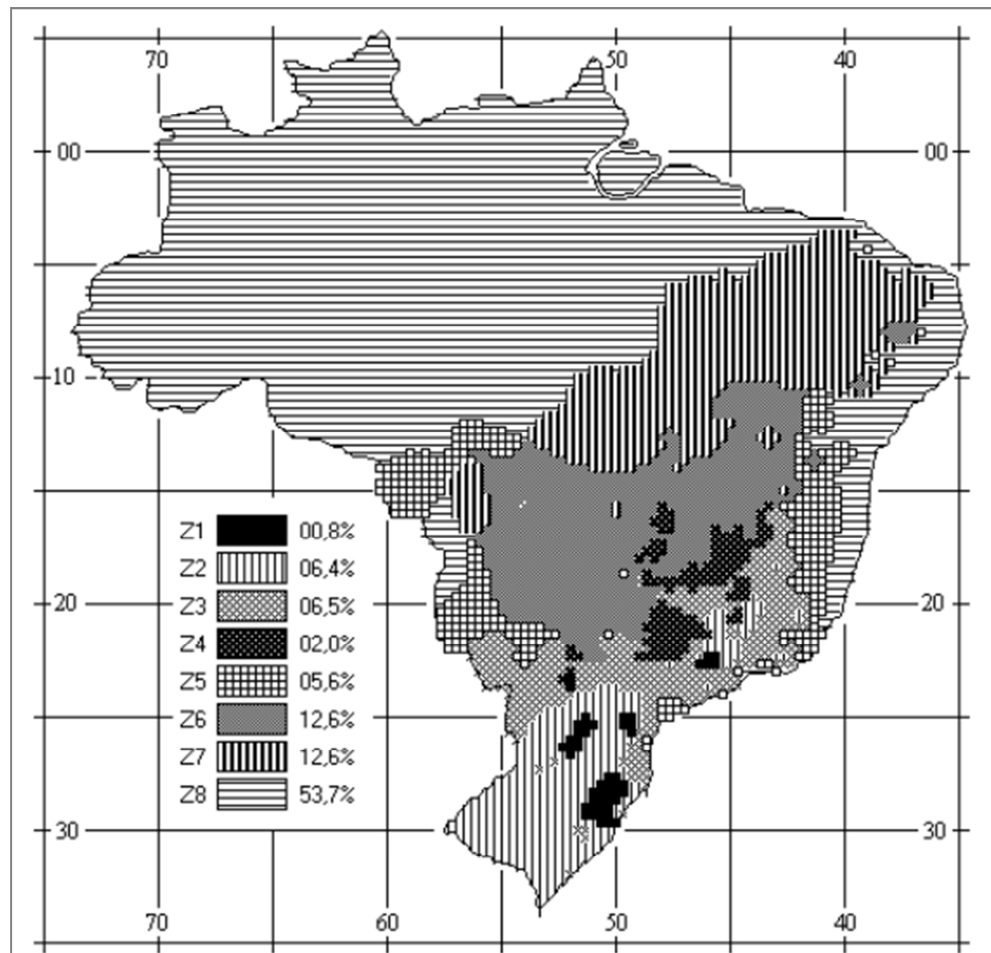
#### **3.2. ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO**

O Brasil, em função de seu amplo território, apresenta considerável diversidade climática, envolvendo condições quentes, úmidas, áridas e temperadas. Daí a variedade de soluções aplicadas a diferentes regiões. Nesse sentido, a ABNT NBR 15575:2013 tem seus parâmetros de desempenho térmico baseados na subdivisão das condições climáticas brasileiras para projeto em oito zonas bioclimáticas, especificada pela ABNT NBR 15220-3:2005.

A Figura 1 mostra o zoneamento bioclimático do Brasil, definido de acordo com o clima e com as necessidades humanas de conforto (ABNT NBR 15220-3:2005). A partir deste mapa, é possível discutir a perspectiva de regionalização na aplicação de índices de conforto térmico, nos domínios climáticos do país.

Ressalta-se ainda que a norma de desempenho não trata de condicionamento artificial. Seus critérios são estabelecidos com referência em condições naturais de ventilação, insolação, dentre outras. Assim, o desempenho térmico, a partir

deste zoneamento, depende de diversas características locais (topografia, temperatura, umidade do ar, direção e velocidade do vento) e da edificação (materiais, pavimentos, dimensões, orientação das fachadas e janelas).

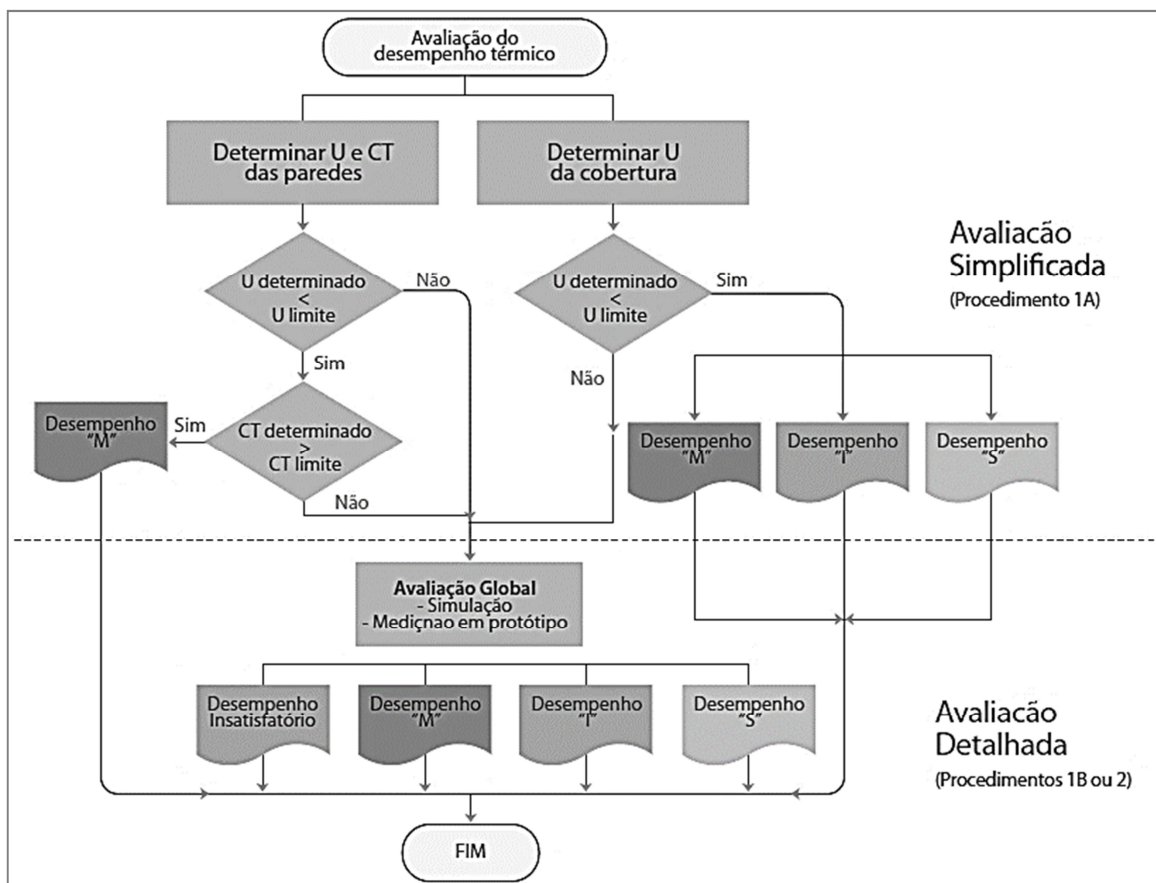


**Figura 1** – Zonas bioclimáticas definidas pela Norma de Desempenho Térmico de Edificações.

Fonte: ABNT NBR 15220-3 (2005)

### 3.3.REQUISITOS DE DESEMPENHO TÉRMICO DA ABNT NBR 15575:2013

A ABNT NBR 15575:2013 indica três procedimentos para a avaliação do desempenho térmico das edificações. São eles: simplificado, simulação e medição, conforme indicado na Figura 2.



**Figura 2 – Avaliação do desempenho térmico**  
 Fonte: CBIC (2013)

### 3.3.1. MÉTODO SIMPLIFICADO

No método simplificado, é verificado o atendimento aos critérios normativos para fachadas, coberturas e sistemas de vedação, baseados na transmitância térmica (U) e na capacidade térmica (CT).

Segundo a ABNT NBR 15220-1:2005, a transmitância térmica (U) é o inverso da resistência térmica total ( $R_T$ ). Ela consiste na transmissão de calor, em unidade de tempo e através de uma área unitária, de um elemento ou componente construtivo. O seu cálculo é realizado pela equação:

$$U = 1/R_T \quad (1)$$

Para o cálculo da resistência térmica total ( $R_T$ ), considera-se o somatório da resistência superficial interna ( $R_{si}$ ), externa ( $R_{se}$ ) e resistência de superfície a superfície ( $R_t$ ), conforme equação:

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} \quad (2)$$

Apesar das resistências térmicas superficiais (interna e externa) variarem em função da velocidade do ar sobre a superfície, temperatura do ar e da superfície, emissividade e direção do fluxo de calor, a norma de desempenho térmico de edificações, em seu anexo A, sugere valores médios para a simulação.

Já a resistência de superfície a superfície ( $R_t$ ) de um componente, constituído de camadas homogêneas perpendiculares ao fluxo de calor, é obtida através de medições e expressa no quociente da diferença de temperatura, verificada entre as superfícies do elemento, pela densidade de fluxo de calor, em regime estacionário. Na ausência de ensaios, é obtida pela razão entre espessura da camada ( $e$ ) e condutividade térmica ( $\lambda$ ). Os valores recomendados desta, para materiais de uso tradicional, são tabelados pela ABNT NBR 15220-3:2005.

$$R_t = e/\lambda \quad (3)$$

E a capacidade térmica (CT), por sua vez, consiste na quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema. Ela é obtida pela equação (ABNT NBR 15220-2:2005):

$$CT = \sum_{i=1}^n \lambda_i R_i c_i \rho_i = \sum_{i=1}^n e_i c_i \rho_i \quad (4)$$

Onde:

CT: capacidade térmica;

$\lambda_i$ : condutividade térmica do material na camada  $i$ ;

$R_i$ : resistência térmica da camada  $i$ ;

$c_i$ : calor específico do material na camada  $i$ ;

$\rho_i$ : densidade de massa aparente do material da camada  $i$ .

$e_i$ : espessura da camada  $i$ ;

Sendo  $\lambda$ ,  $c$  e  $\rho$  tabelados para os materiais com uso consagrado.

Chvatal (2014) destaca a importância do procedimento simplificado, pois possibilita a rápida análise de habitações com baixo nível de complexidade, caso típico dos edifícios de interesse social. Entretanto, enfatiza que eles devem representar corretamente o comportamento térmico dessas habitações, considerando os parâmetros que influenciam em seu desempenho, e indicando suas limitações claramente.

Segundo Brito *et al.* (2012), o método simplificado de avaliação de desempenho térmico de edifícios, que estabelece valores limite para as propriedades térmicas, sem considerar o projeto global do edifício e a interação entre os elementos, tem se mostrado limitado. Ao analisar edificações aprovadas por metodologia simplificada, o autor observa que nem todas apresentam as características necessárias para obter o desempenho térmico mínimo no método detalhado. Ele também sugere a inclusão da consideração, em concomitância, da transmitância térmica e da capacidade térmica dos sistemas construtivos e recomenda que o método apresente critérios mais rigorosos, sobretudo, para a zona bioclimática 8.

Também se observa que, apesar do método simplificado impor limites para as propriedades térmicas do envelope, ele não considera o equilíbrio entre diferentes necessidades para verão e inverno. Assim, resultados de simulações apontam incoerências entre os métodos, pois há edificações que apresentam desempenho satisfatório segundo o processo simplificado, mas não atendem aos níveis mínimos de desempenho no processo de simulação (MARQUES e CHVATAL, 2013).

Nesse sentido, uma vez que é obtido por uma abordagem teórica, o método simplificado, apesar de ser um avanço enquanto ferramenta rápida para a avaliação do desempenho da edificação, pode compreender uma incerteza em seus resultados e, ainda carece de constantes estudos para aprimoramentos.

### 3.3.2. MÉTODO DE SIMULAÇÃO

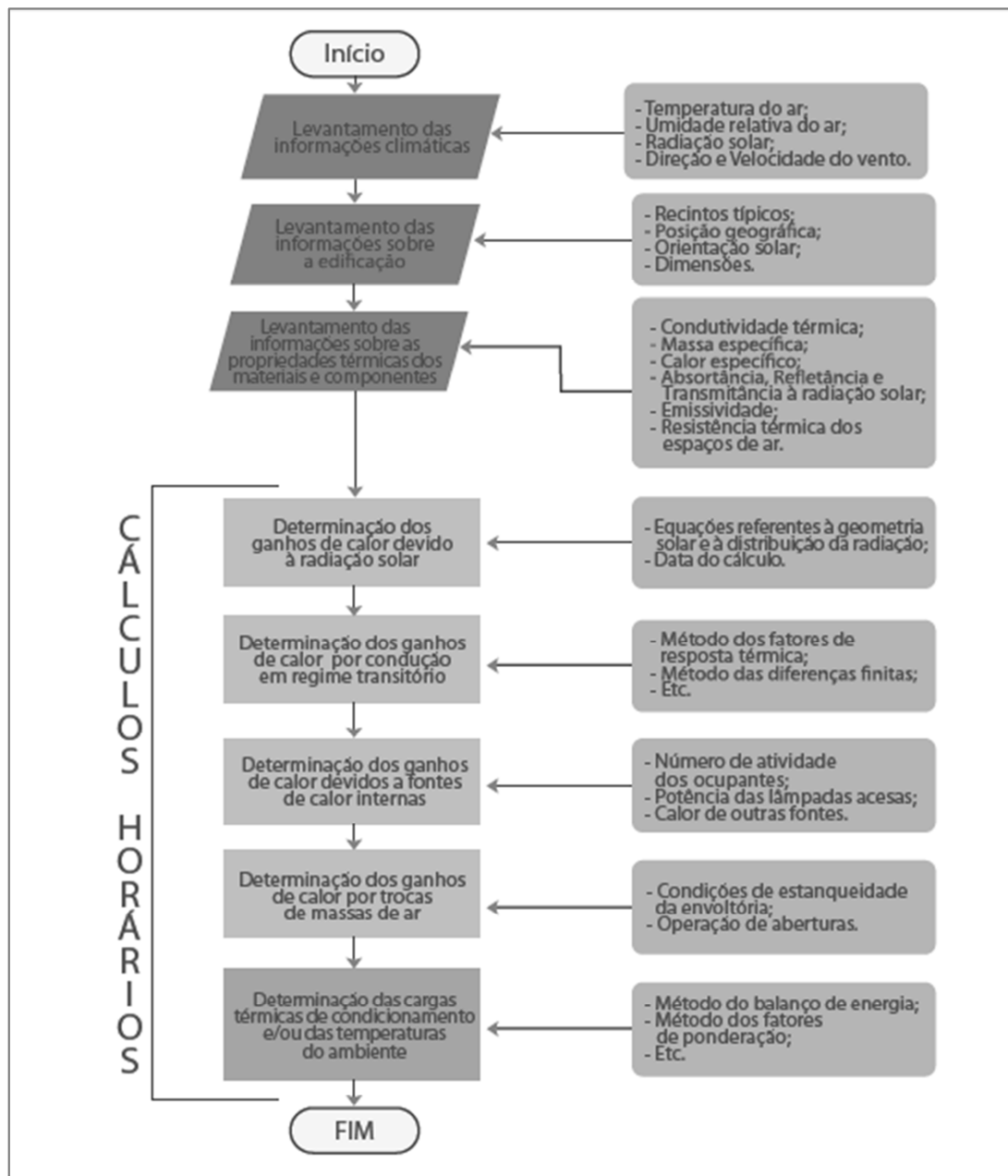
Se a edificação apresenta resultados insatisfatórios para os requisitos estabelecidos pelo método simplificado, deve-se avaliar por meio da simulação computacional. São, então, definidos o dia típico de verão e dia típico de inverno, que variam de acordo com a região. Estes são estabelecidos com base na temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar incidente para o dia mais frio e para o dia mais quente do ano, segundo a média observada num período de 10 anos (CBIC, 2013).

No Anexo A da NBR 15575-1:2013, são fornecidas informações sobre a localização geográfica de algumas cidades brasileiras, bem como os dados climáticos correspondentes aos dias típicos de projeto de verão e de inverno. A norma de desempenho estabelece ainda que a edificação seja avaliada em um ambiente de permanência prolongada (sala de estar ou dormitório), com número maior de paredes expostas para o ambiente externo. Além disso, quando existentes em projeto, devem ser considerados os dispositivos de sombreamento.

Para as simulações, o CBIC (2013) recomenda o emprego do *software Energy Plus*, desenvolvido pelo Departamento de Energia do Governo Federal dos Estados Unidos da América e disponível gratuitamente, mas especifica que outros programas podem também ser utilizados, porém, eles devem ser validados pela *ASHRAE Standard 140*. No *software*, para a geometria do modelo, adota-se a habitação como um todo, isto é, considera-se cada ambiente como uma zona térmica. Também são reproduzidas de maneira fidedigna todas as características construtivas.

Desse modo, conforme a Figura 3, a partir dos dados climáticos, informações da edificação e propriedades térmicas dos materiais construtivos e componentes, verifica-se, por meio de modelagem computacional, o desempenho térmico da edificação, por meio do atendimento aos requisitos estabelecidos pela norma. Ressalta-se, entretanto, que, apesar de o programa calcular adequadamente as variáveis térmicas e energéticas do edifício, a confiabilidade dos resultados é

influenciada especialmente pela qualidade dos parâmetros de entrada. (CONRADO e MECHRI, 2009).



**Figura 3** – Avaliação do Desempenho Térmico por *softwares*  
Fonte: CBIC (2013)

Sorgato, Melo e Lamberts (2013) observam que a avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais através da simulação é diretamente influenciada pela configuração dos dias típicos de verão e de inverno. Como a

determinação do tipo de céu e da data para o dia típico de projeto definem a irradiação solar à qual a edificação está exposta, podem viabilizar ou não a aprovação de um sistema construtivo.

Ghisi *et al.* (2014) investiga as incertezas do método de simulação da NBR 15575-1:2013, nos resultados dos níveis de classificação de desempenho térmico de habitações. Ao analisar as variáveis data do dia típico de verão e inverno, a velocidade e a direção do vento, o algoritmo de cálculo da irradiação solar e o tipo de céu, o autor observa que os modelos com piores níveis de desempenho, tanto no verão quanto no inverno, foram aqueles cujo piso não tem contato com o solo. Essa variável, que foi diferenciada nos modelos adotados na análise, se mostrou uma configuração importante no resultado de desempenho da habitação. Conclui-se, então, que variáveis desconsideradas pela norma podem exercer considerável influência nos resultados dos níveis de classificação do desempenho térmico, o que prejudica a precisão do resultado final.

As pesquisas de Ghisi *et al.* (2014) mostram também que, para um dado modelo de habitação, o tipo de céu foi o parâmetro de maior influência no verão e no inverno. A segunda variável subjetiva mais importante observada é o efeito de segunda ordem entre o algoritmo de cálculo da irradiação solar e o tipo de céu. Diante disso, os usuários apresentam liberdade de selecionar valores para essas grandezas, a fim de obter melhor classificação de nível de desempenho da edificação, pois o método dá essa permissão.

### **3.3.3. MÉTODO DA MEDIÇÃO**

A avaliação do desempenho térmico por meio de medições prevê a aferição *in loco* ou em protótipos do atendimento aos requisitos da ABNT NBR 15575:2013. Segundo Magalhães (2013), é imprescindível que ela reproduza todas as variáveis de projeto da habitação, na condição em que se encontram no momento da avaliação, como orientação solar e cor do fechamento externo.

Trata-se de um procedimento indicado para caráter informativo, isto é, que não se sobrepõe aos métodos anteriormente descritos. A medição também esbarra na

dificuldade de ter que ser realizada em período correspondente ao dia típico de verão ou de inverno, precedido por, no mínimo, um dia com características similares, recomendando-se, todavia, trabalhar com uma sequência de três dias, para analisar os dados do terceiro dia (CBIC, 2013).

### 3.3.4. PARÂMETROS DE ADEQUAÇÕES

#### - Adequação de paredes externas

As paredes externas devem apresentar transmitância térmica e capacidade térmica indicadas nas Tabelas 1 e 2, em função da zona bioclimática. Para basear as soluções de projeto, o arquiteto pode obter resultados do cálculo simplificado ou por simulação. Se necessário, cabe à coordenação recomendar a contratação de consultoria que simule o cálculo conforme ABNT NBR 15220:2005.

**Tabela 1** - Valores máximos para a transmitância de paredes externas

Transmitância térmica U (W/m <sup>2</sup> .K)		
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 8	
U ≤ 2,5	α <sup>2</sup> ≤ 0,6	α <sup>2</sup> > 0,6
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5
<i>α- absorvância solar da superfície externa da parede</i>		

Fonte: ABNT NBR 15575:2013

**Tabela 2** - Valores mínimos para a capacidade térmica de paredes externas

Capacidade Térmica CT (KJ/m <sup>2</sup> .K)	
Zona 8	Zonas 1 a 7
Sem requisito	≥ 130

Fonte: ABNT NBR 15575:2013

Oliveira *et al.* (2013), ao estudar comparativamente os parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 15575:2013, ABNT NBR 15220:2005, Selo Casa Azul da Caixa Econômica Federal e Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais – RTQ-R apresentam a Tabela 3, na qual constatam pequenas variações em relação à ABNT NBR 15220-3:2005. Os autores sugerem uma revisão na legislação acerca do desempenho térmico das edificações, a fim de que sejam unificados valores satisfatórios.

**Tabela 3 – Comparativo da Transmitância térmica de paredes em W/(m²K)**

Transmitância térmica U (W/m².K)					
Norma/Zona Zonas 1 e 2	Zonas 1 e 2	Zonas 3 e 5	Zonas 4, 6 e 7	Zona 8	
<b>RTQ-R</b>	sem exigência de $\alpha$ e $CT \geq 130$	$\leq 2,50$			
	$\alpha \leq 0,6$ e $CT \geq 130$		$\leq 3,70$	$\leq 3,70$	
	$\alpha > 0,6$ e $CT \geq 130$		$\leq 2,50$	$\leq 2,50$	
	$\alpha \leq 0,6$ e sem exigência de CT				$\leq 3,70$
	$\alpha > 0,6$ e sem exigência de CT				$\leq 2,50$
<b>ABNT NBR 15575-4</b>	sem exigência de $\alpha$ e $CT \geq 130$	$\leq 2,50$			
	$\alpha \leq 0,6$ e $CT \geq 130$		$\leq 3,70$	$\leq 3,70$	
	$\alpha > 0,6$ e $CT \geq 130$		$\leq 2,50$	$\leq 2,50$	
	$\alpha \leq 0,6$ e sem exigência de CT				$\leq 3,70$
	$\alpha > 0,6$ e sem exigência de CT				$\leq 2,50$
<b>ABNT NBR 15220-3</b>	sem exigência de $\alpha$ e CT	$\leq 3,00$	$\leq 3,60$	$\leq 2,20$	$\leq 3,60$
<b>Selo Azul da CEF</b>	sem exigência de $\alpha$ e $CT \geq 130$	$\leq 2,50$			
	$\alpha \leq 0,6$ e $CT \geq 130$		$\leq 3,70$	$\leq 3,70$	
	$\alpha > 0,6$ e $CT \geq 130$		$\leq 2,50$	$\leq 2,50$	
	$\alpha \leq 0,6$ e sem exigência de CT				$\leq 3,70$
	$\alpha > 0,6$ e sem exigência de CT				$\leq 2,50$

Fonte: Olivera *et al.* (2013)

### - Isolação térmica da cobertura

O sistema de cobertura deve apresentar transmitância térmica e absorvância à radiação solar que proporcionem um desempenho térmico apropriado para cada zona bioclimática, conforme indicado na Tabela 4.

**Tabela 4 – Valores para a transmitância térmica da cobertura**

Transmitância térmica U (W/m².K)					
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8		Nível de desempenho
U ≤ 2,3	α ≤ 0,6	α > 0,6	α ≤ 0,4	α > 0,4	Mínimo
	U ≤ 2,3	U ≤ 1,5	U ≤ 2,3 FV	U ≤ 1,5 FV	
U ≤ 1,5	α ≤ 0,6	α > 0,6	α ≤ 0,4	α > 0,4	Intermediário
	U ≤ 1,5	U ≤ 1,0	U ≤ 1,5 FV	U ≤ 1,0 FV	
U ≤ 1,0	α ≤ 0,6	α > 0,6	α ≤ 0,4	α > 0,4	Superior
	U ≤ 1,0	U ≤ 0,5	U ≤ 1,0 FV	U ≤ 0,5 FV	

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

FV = Fator de ventilação; h = altura da abertura em dois beirais opostos, em centímetros.

Fonte: ABNT NBR 15.575: 2013

### - Aberturas para ventilação

Aplicado em ambientes de longa permanência, tais como salas, cozinhas e dormitórios, este requisito determina as aberturas mínimas para proporcionar a ventilação interna nos ambientes. Cabe ao arquiteto indicar, em projeto, a área de aberturas para ventilação em relação à área de piso, considerando a área efetivamente sem obstrução e, à coordenação de projetos, solicitar a indicação em projeto da área de aberturas para ventilação (CBIC, 2013).

**Tabela 5 – Áreas mínimas de ventilação**

Aberturas para ventilação (A)		
Nível de desempenho	Zonas 1 a 7 - Aberturas médias	Zonas 8 - Aberturas grandes
Mínimo	A ≥ 7% da área de piso	A ≥ 12 % da área de piso - Região Norte
		A ≥ 8 % da área de piso - Nordeste e Sudeste

*Nas zonas 1 a 6, as áreas de ventilação devem ser passíveis de serem vedadas durante o frio.*

Fonte: ABNT NBR 15575:2013

Quando não houver requisito legal, para o local de implantação do edifício, devem ser adotados os valores indicados na Tabela 5. Todavia, sabe-se que o percentual de abertura para ventilação em relação à área de piso do ambiente

estabelecido na ABNT NBR 15575:2013, se comparado às demais prescrições vigentes no território nacional, apresenta grandes variações, conforme pode ser observado na Tabela 6.

**Tabela 6 – Comparativo das áreas mínimas de ventilação**

Norma/Zoneamento		Zonas 1 a 6	Zona 7	Zona 8
ABNT NBR 15575-4		$A \geq 7\%$	$A \geq 7\%$	$A \geq 12\%$ da área de piso - Região Norte
				$A \geq 8\%$ da área de piso - Nordeste e Sudeste
ABNT NBR 15220-3		$15\% < A < 25\%$	$10\% < A < 15\%$	$> 40\%$
RTQ-R		$A \geq 8\%$	$A \geq 5\%$	$A \geq 10\%$
Selo Azul	Sala	$A \geq 10\%$	$A \geq 8\%$	$A \geq 20\%$
	Dormitórios	$A \geq 8\%$		$A \geq 15\%$
	Cozinhas		$A \geq 5\%$	

Fonte: Olivera *et al.* (2013)

Além disso, os Códigos de Obra Municipais também apresentam valores divergentes dos estabelecidos na norma. Segundo o Código de Obras de Belo Horizonte (2009), cidade pertencente à zona bioclimática 3, por exemplo, é requerido um valor mínimo de 16,67 % de área de ventilação no dormitório e sala de estar, ao passo que, pela norma de desempenho, esta porcentagem mínima é de 7%.

Diante das variações, Borges (2010) destaca que a norma estabelece níveis mínimos de desempenho, aquém do praticado em países desenvolvidos. Contudo, mantém-se o ambiente regulatório técnico nacional, constituído por leis, portarias e regulamentos, variáveis de cidade para cidade, em função das suas particularidades. Portanto, a ABNT NBR 15575:2013 tem que ser complementada pelas exigências locais, que mudam de acordo com o ambiente espacial, econômico e técnico.

### **3.4. SOLUÇÕES TÉCNICAS PARA ATENDIMENTO AO DESEMPENHO TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES**

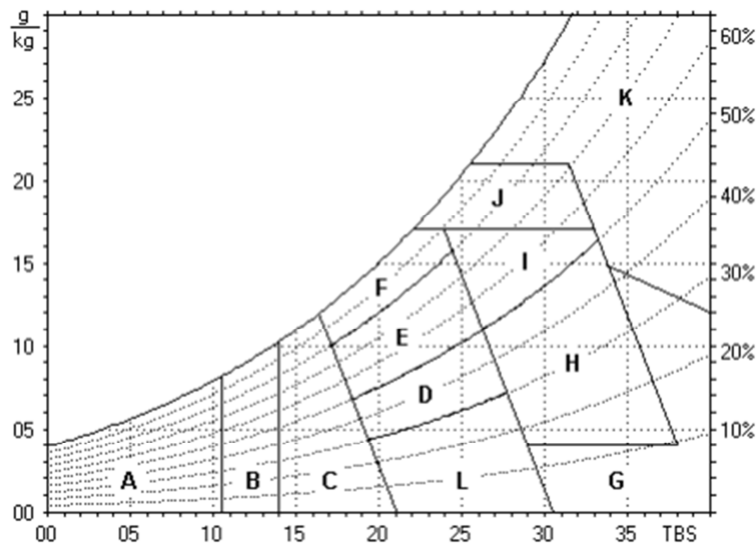
Há inúmeras medidas destinadas a influenciarem a forma do edifício, bem como os seus sistemas construtivos a atingirem o nível desejado de desempenho térmico. Nesse sentido, percebe-se que equipes multidisciplinares têm contribuído na avaliação de soluções técnicas para atendimento aos requisitos de desempenho térmico indicados na ABNT NBR 15575:2013. Tais soluções tem proporcionado melhoria nas condições humanas de habitação e redução dos impactos ambientais e das novas tecnologias (SILVA, 2007).

Sabe-se, ainda, que o desempenho térmico se inicia com uma adequada concepção arquitetônica, que atente para a localização do empreendimento. Se corretamente utilizadas durante a concepção do projeto da edificação, diversas estratégias na própria arquitetura podem proporcionar melhorias nas condições de conforto térmico e redução no consumo de energia da edificação (LAMBERTS *et.al.*, 2004).

As várias composições climáticas do território nacional demandam soluções específicas para cada região. Assis (2007) descreve estratégias simples, mas essenciais para assegurar o desempenho térmico da edificação, tais como o emprego de materiais de construção adequados ao clima local e a correta disposição dos cômodos, com orientação solar e em relação ao sentido e velocidade dos ventos.

#### **3.4.1. ESTRATÉGIAS DE CONDICIONAMENTO TÉRMICO**

A partir da análise da Carta Bioclimática do local de implantação da edificação (Figura 4), é possível identificar as estratégias de condicionamento, para assegurar melhores níveis de desempenho térmico.



**Figura 4 - Carta Bioclimática Adaptada**  
 Fonte: ABNT NBR 15220 (2005)

As zonas correspondem às estratégias:

A – Zona de aquecimento artificial (calefação)

B – Zona de aquecimento solar da edificação

C – Zona de massa térmica para aquecimento

D+E – Zona de conforto térmico (intervalo de maior probabilidade de percepção do conforto)

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

### ***I - AQUECIMENTO ARTIFICIAL (ZONA A)***

Em função dos valores de umidade e pressão da zona A, faz-se necessário o emprego de aquecimento artificial, para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por frio (ABNT NBR 15220:2005).

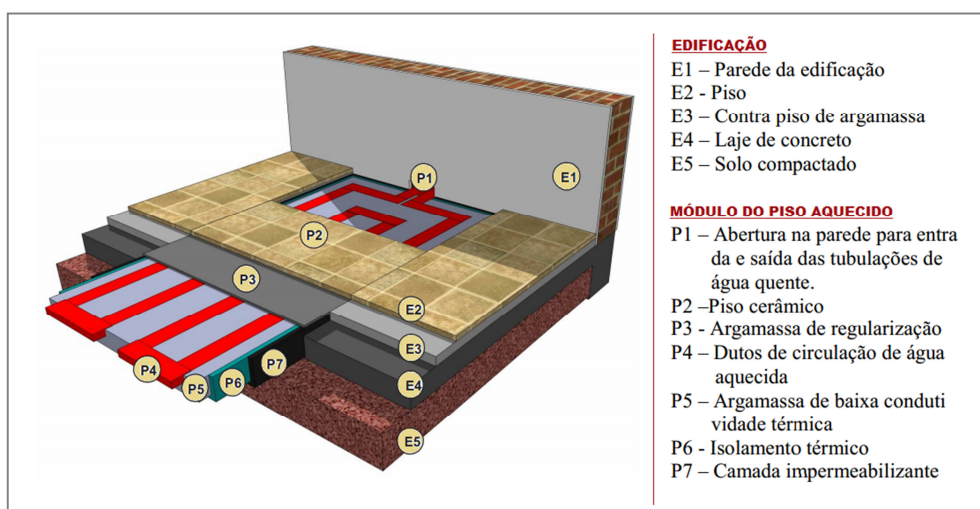
Os sistemas de aquecimento artificiais, quanto à distribuição do calor, são classificados em locais ou centrais. Os locais reúnem os sistemas de lareira

(Figura 5) e ar-condicionado (bomba de calor), dentre outros. Já os centrais englobam radiadores de água quente, ar-condicionado central e piso radiante (Figura 6) com instalação de água quente. Este se baseia em um circuito de tubos de polietileno reticulado, embutidos no piso, e de um sistema que permite controlar a temperatura dos ambientes, através da circulação de água quente (VETTORAZZI *et al.*, 2010).

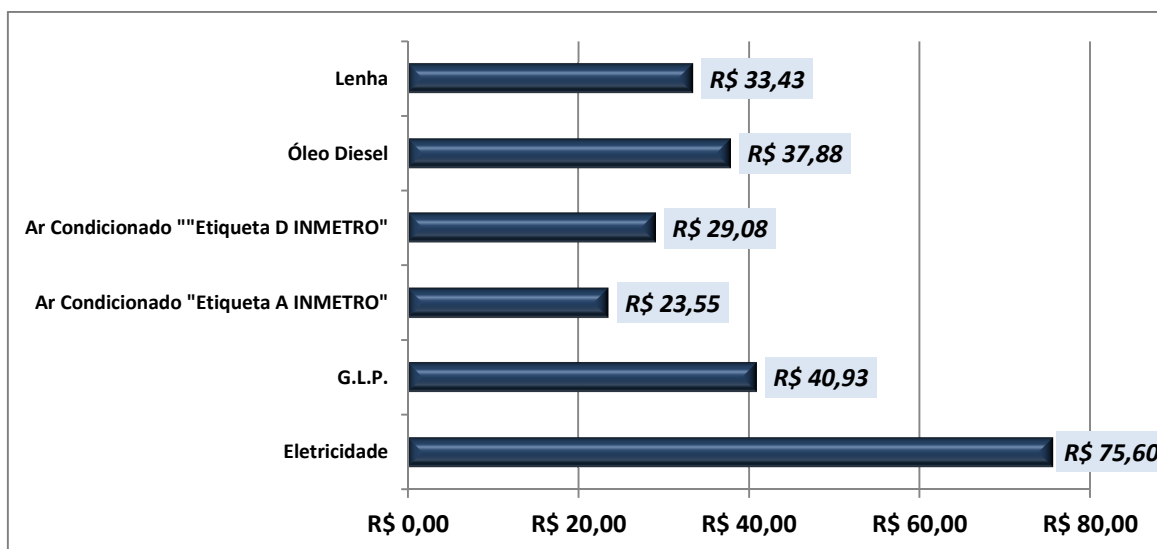
Tais sistemas de aquecimento possuem diferentes custos de aquisição, implantação e operação. Para Cunha (2015), considerando o custo da energia, a operação do ar-condicionado é a que apresenta os menores valores, ao passo que os sistemas que empregam eletricidade são os mais caros (Figura 7).



**Figura 5** - Lareira elétrica – opção para aquecimento artificial.  
Fonte: SCLareiras (2015)



**Figura 6** – Piso radiante – opção para aquecimento artificial.  
Fonte: Vettorazzi *et al.* (2010)



**Figura 7** – Custo/m<sup>2</sup> de diferentes fontes energéticas para calefação de uma edificação residencial para a cidade de Curitiba (PR), 11 horas do ano  
Fonte: Cunha (2015).

Segundo Suzuki (2012), esta estratégia é indicada para locais extremamente frios, com temperatura inferior a aproximadamente 10° C, nos quais a solução do aquecimento solar passivo, isto é, o uso da radiação solar direta para aquecimento, não é suficiente para produzir sensação de conforto. Ressalta-se que também deve ser utilizado isolamento nas paredes e coberturas dos ambientes aquecidos, para evitar perdas de calor para o ambiente externo.

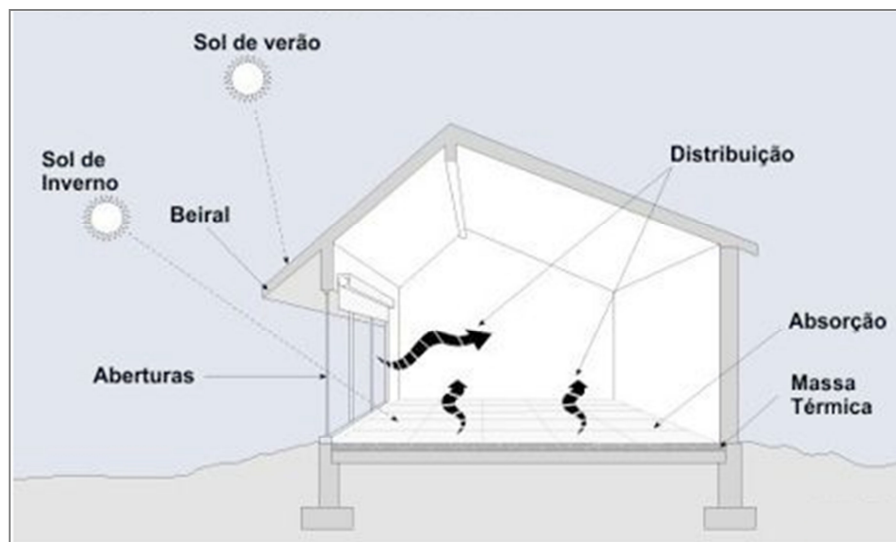
## **II - AQUECIMENTO SOLAR (ZONA B)**

De acordo com Ruediger (2010), o aquecimento solar consiste no emprego da radiação solar direta para o aquecimento da edificação, daí a necessidade de uma correta orientação de superfícies, para otimizar a incidência de radiação solar. Para tal, segundo Dekay e Brown (2004), são indicados:

- materiais de alta capacidade térmica, como por exemplo, materiais cerâmicos não esmaltados;
- amplas superfícies envidraçadas para o sol, em vidro duplo, de preferência, para aumento da resistência térmica, evitando perdas de calor noturnas;
- massa térmica para absorver o calor durante o dia ao ser exposto à radiação solar, armazenar e distribuir o calor para o interior da casa;

- aberturas reduzidas nas fachadas que não recebem insolação, para evitar perdas de calor;
- cor externa escura, para potencializar os ganhos de calor por absorção.

Assim, em razão do efeito estufa, a radiação, ao ultrapassar a superfície de vidro, é absorvida e refletida pelas superfícies internas, permanecendo no interior da edificação, tendo em vista que o vidro é opaco à onda longa. Durante o período noturno, as temperaturas externas reduzem e, para evitar a perda de calor, podem-se adotar janelas de maior resistência térmica com vidros duplos, cortinas e isolamento térmico externo nas paredes (CARAM, 2004).



**Figura 8 – Aquecimento Solar**  
Fonte: Rendeiro (2015)

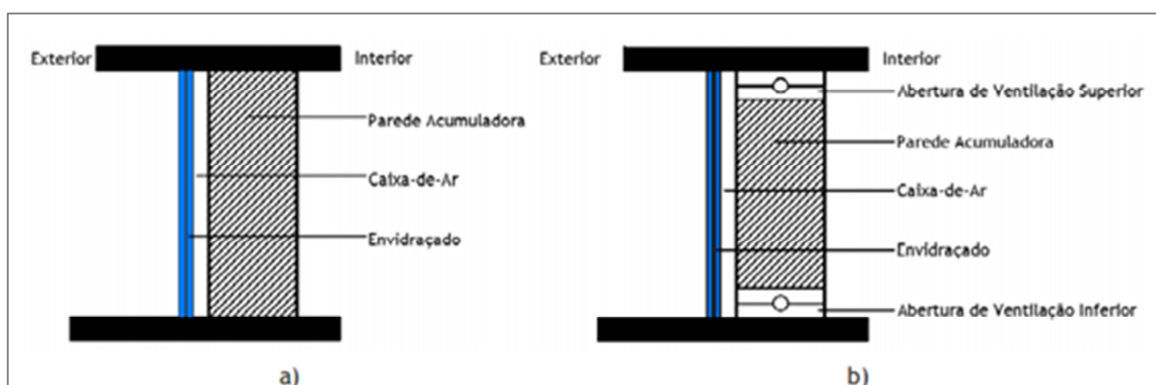
Mendonça (2005) cita como vantagens desta solução: baixo custo; utilização de materiais encontrados facilmente no mercado; funcionamento simples e adaptável aos projetos arquitetônicos. E, como desvantagens: muita exposição ao sol que pode danificar alguns materiais do interior da edificação; desconfortos ocasionados por superaquecimento; necessidade de combinação com a massa térmica para um melhor desempenho e, no inverno, nem sempre é o suficiente para aumentar a temperatura interna.

Rei (2009) também destaca que, para o sistema de aquecimento solar por ganho direto, podem ser utilizadas aberturas zenitais (Figura 9).

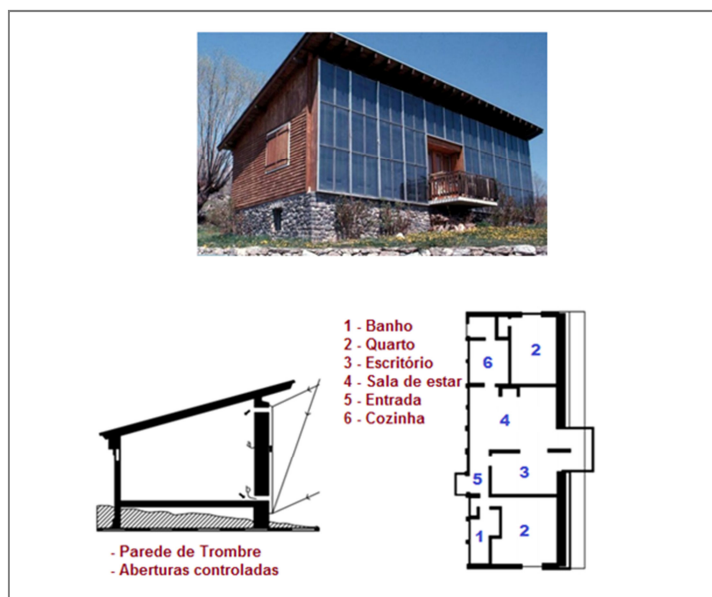


**Figura 9** – Pátio da Oficina Cultural Oswald de Andrade, em São Paulo – SP  
 Fonte: Ecoeficientes (2015)

Outro exemplo de uso da energia solar para aquecimento é a parede Trombe, indicada nas Figuras 10 e 11. A solução é incluída no projeto para captar o calor do sol durante o dia, já que consiste em uma parede de elevada inércia térmica, voltada para o norte e, protegida por uma camada de vidro, separada por uma pequena câmara de ar não ventilada. O vidro, por ser opaco, impede a saída do calor. A parede capta e acumula a energia proveniente da radiação solar. No verão, faz-se necessário sombrear a parede Trombe e ventilar a câmara de ar que separa o vidro para minimizar o superaquecimento (Sá, 2011).



**Figura 10** – Desenho esquemático da parede de Trombe: a) não ventilada; b) ventilada.  
 Fonte: Sá (2011)



**Figura 11** – Protótipo de casa solar criada por Félix Trombe e Jacques Michel, em Odeillo, França.  
 Fonte: Trombe (1967)

Segundo a Carta Bioclimática de Florianópolis, SC, 35,4% das horas do ano na cidade podem oferecer conforto se adotada a solução de massa térmica e aquecimento solar. Deve-se, então, projetar a edificação para captação da radiação solar, verificando as condições de nebulosidade durante o inverno para saber se há radiação solar disponível. (LAMBERTS *et al.*, 2011).

### **III - MASSA TÉRMICA (ZONA C – AQUECIMENTO / H+I - REFRIGERAÇÃO)**

A massa térmica pode ser empregada tanto para aquecimento, como para refrigeração. Para aquecimento, a adoção de paredes internas pesadas contribui para manter o interior da edificação aquecido. E, para refrigeração, temperaturas internas mais agradáveis podem ser obtidas pelo uso de paredes externas e internas, além de 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 (GOULART, 1993).

Para Lamberts (2011), o uso de componentes construtivos com inércia térmica superior diminui a amplitude da temperatura interior em relação a exterior, isto é, os picos de temperatura externos não são percebidos internamente. Assim,

elementos com elevada capacidade térmica são indicados para climas quentes e secos, nos quais a temperatura atinge valores elevados durante o dia e extremamente baixos à noite. Nestes casos, a capacidade térmica permite o atraso da onda de calor, fazendo com que ela incida no ambiente interno somente no período da noite, quando existe a necessidade de aquecimento.

#### **IV - DESUMIDIFICAÇÃO - RENOVAÇÃO DO AR (ZONA F)**

Para as regiões compreendidas no intervalo de temperatura e umidade especificadas para a zona F, as sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes. A estratégia é obtida por meio da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes (RUSSI *et al.* 2012).

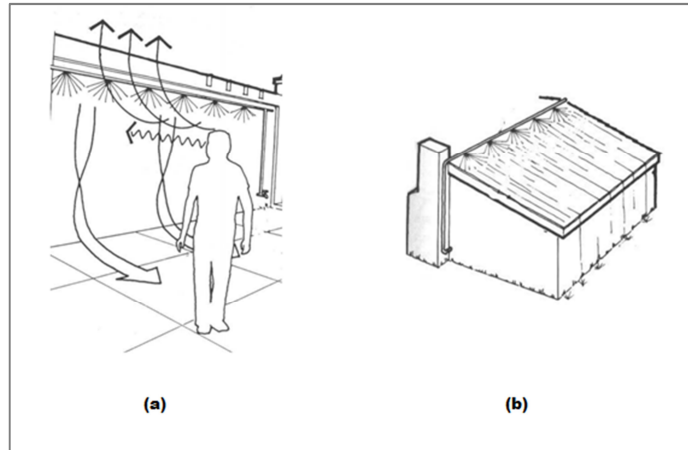
#### **V - RESFRIAMENTO EVAPORATIVO (ZONA G+H)**

Em locais quentes e secos, a sensação térmica no período de verão pode ser amenizada através da evaporação da água. Esta é empregada como estratégia para aumentar a umidade relativa do ar e reduzir a temperatura, já que, para evaporar, a água absorve energia na forma de calor latente de evaporação, sem aumentar a sua temperatura. Assim, esse processo evita que a energia em forma de calor aumente a temperatura do ar ambiente e, além disso, resulta em um aumento na umidade do ar. A agitação da fonte de água, bem como a incidência de vento facilita o processo (MENDONÇA, 2005).

Segundo Lamberts *et al.* (2011), o resfriamento evaporativo pode ser obtido:

- diretamente, por meio do uso de vegetação, fontes de água ou outros recursos que permitam a evaporação da água diretamente no ambiente a ser resfriado (Figura 12a);
- indiretamente, através de tanques d'água sombreados, executados sobre a laje de cobertura (Figura 12b).

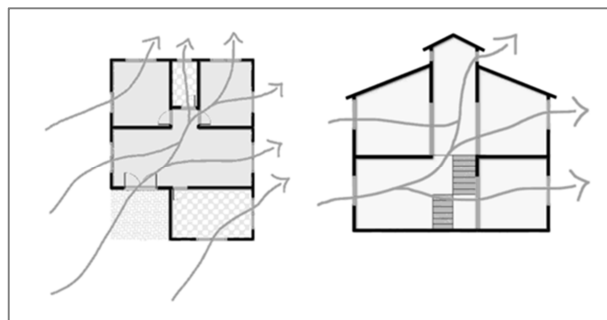
Em Bom Jesus da Lapa – BA, esta estratégia é aplicada a 20,7% das horas do ano, de acordo com a Carta Bioclimática da cidade.



**Figura 12** – Resfriamento evaporativo  
 Fonte: Lamberts *et al.* (2011)

## VI - VENTILAÇÃO (ZONA I+J)

A ventilação corresponde a uma estratégia de resfriamento natural do ambiente construído, através da substituição do ar interno pelo externo, adequada aos locais com temperatura e umidade elevadas. Ela envolve fatores variáveis e fixos. Os variáveis compreendem os regimes dos ventos, comportamento das temperaturas e umidades. Os fixos, por sua vez, consistem no entorno natural e edificado, na orientação e tipologia dos edifícios, bem como os tipos de aberturas e esquadrias. As soluções arquitetônicas utilizadas são ventilação cruzada, ventilação da cobertura e ventilação do piso sob a edificação. Na ventilação cruzada (Figuras 13 e 14), o posicionamento dos vãos segue a direção do vento predominante. Dessa maneira, o ar entra por uma janela e sai por outra oposta (LAMBERTS, 2004).



**Figura 13** – Ventilação cruzada.  
 Fonte: Ecoprodução (2015)

Edificações, normalmente, recebem a ventilação natural proveniente de portas e janelas. Apesar da dependência das condições climáticas para o uso dessas estratégias, de acordo com Raja *et al.* (2001), o domínio manual das janelas é mais adequado para os ocupantes manterem o controle da qualidade e temperatura do ar interno.

Para Givoni (1994), ventilação natural é a melhor maneira para se minimizar o efeito fisiológico causado por elevada umidade, pois as altas velocidades do ar aumentam a taxa de evaporação na superfície da pele. Outra solução indicada pelo autor é a ventilação noturna. Ou seja, ventilar a edificação no período noturno, para promover o resfriamento da massa interna da edificação.

Segundo Liddament (1986), a desvantagem da ventilação é inerente à dificuldade de controle das taxas de trocas de ar naturais, uma vez que elas dependem de variáveis como a temperatura, velocidade e direção do vento.

Na cidade de São Paulo-SP, esta estratégia se aplica a 14,75% das horas anuais, de acordo com sua carta bioclimática. Já em Natal-RN, esta porcentagem chega a 72,49% e a 82,66% em Manaus, de acordo com o Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina.



**Figura 14** – Casa e Estúdio na Vila Romana em São Paulo – Ventilação cruzada  
Fonte: MMBB Arquitetos (2011)

## **VII - REFRIGERAÇÃO ARTIFICIAL (ZONA K)**

O resfriamento artificial deve ser utilizado quando as estratégias de ventilação, resfriamento evaporativo e massa térmica não proporcionam as condições desejadas de conforto.

Segundo a Norma para Desempenho Térmico de edificações, a refrigeração artificial é uma das recomendações para favorecer o condicionamento térmico na cidade de Manaus. Porém, mesmo nesse caso, devem ser procuradas estratégias que maximizem o desempenho térmico natural e/ou que reduzam a potência necessária dos equipamentos de refrigeração, diminuindo o tempo de uso desses equipamentos nas épocas cujas condições térmicas climáticas são menos severas (LOUREIRO, 2003).

Pompermayer (2000) enfatiza que na cidade de Manaus apenas o ar condicionado e o refrigerador são responsáveis por 40% do consumo e que, em relação ao uso final, somente duas categorias (climatização e refrigeração) totalizam quatro equipamentos (ar condicionado, ventilador, freezer e refrigerador), representando cerca de dois terços do consumo total.

## **VIII – UMIDIFICAÇÃO (ZONA L)**

A estratégia de umidificação é recomendada quando a temperatura do ar é inferior a 27°C e a umidade relativa menor que 20% (EVANS e SCHILLER, 1988). Recursos simples, como recipientes com água colocados no ambiente interno podem aumentar a umidade relativa do ar. De maneira análoga, aberturas herméticas podem manter esta umidade, além do vapor d'água gerado por atividades domésticas ou por plantas.

## **4. METODOLOGIA**

Visando obter embasamento teórico e metodológico dos requisitos normativos de desempenho térmico das edificações, foi desenvolvida uma revisão da literatura, no âmbito do projeto e avaliação dos sistemas. Como ponto de partida, foram estudados os requisitos solicitados pela norma ABNT NBR 15575:2013, juntamente com a ABNT NBR 15220:2005.

E, com o objetivo de reunir as informações que conduziram as análises dos sistemas, foram levantados os procedimentos de verificação, baseado em dados climáticos, concepção arquitetônica e propriedades dos materiais construtivos empregados no edifício. Também foram discutidas a representatividade e limitações dos procedimentos, bem como dos parâmetros requeridos.

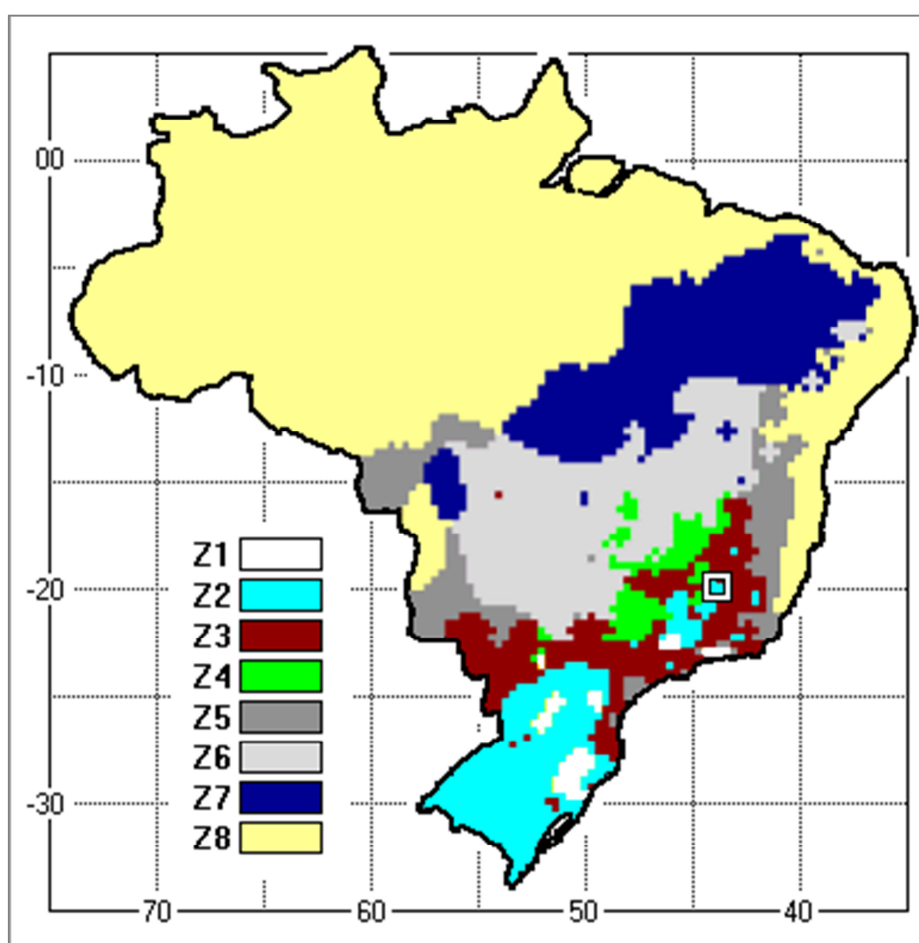
A seguir, foram levantadas as tecnologias que têm sido estudadas e aplicadas para atendimento aos requisitos da norma, sejam elas de caráter natural ou artificial, quando as estratégias passivas se fazem insuficientes para garantir o conforto térmico dos edifícios.

Posteriormente, deu-se início a análise, de forma conjunta, das características anteriormente descritas, por meio da aplicação em uma edificação residencial, de padrão popular, para a cidade de Belo Horizonte, a partir da climatologia, projeto arquitetônico e elementos construtivos. Foram discutidas as considerações para assegurar o desempenho térmico nesta região.

## 5. ESTUDO DE APLICAÇÃO NA CIDADE DE BELO HORIZONTE

### 5.1. CARACTERIZAÇÃO

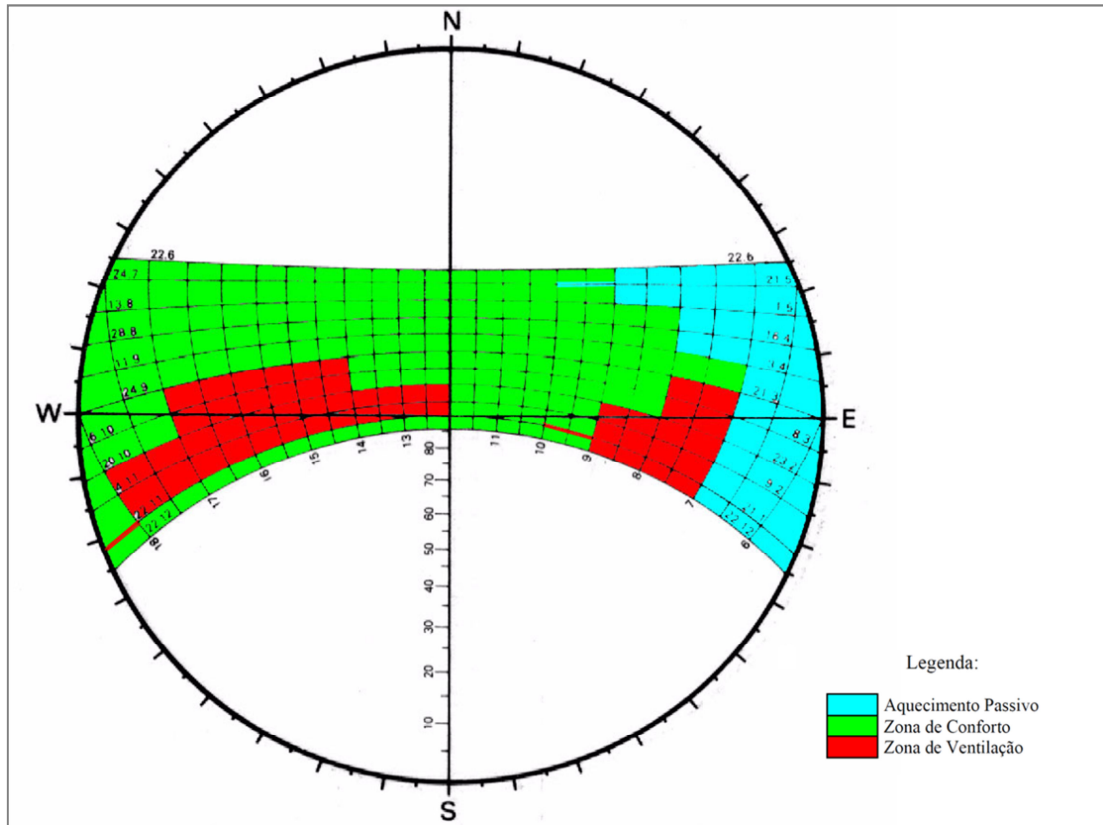
Com um clima tropical de altitude, a capital mineira está localizada na zona 3, segundo a classificação bioclimática do território nacional, proposta pela ABNT NBR 15220:2005, indicada na Figura 15. Nesta cidade, 49,5% das horas do ano estão em conforto térmico, 18,4% estão em desconforto em função do calor e 32,1% em desconforto em função do frio (PROJETEE, 2015).



**Figura 15** – Classificação Bioclimática para a cidade de Belo Horizonte – MG – Zona 3  
Fonte: Programa ZBBR (2015)

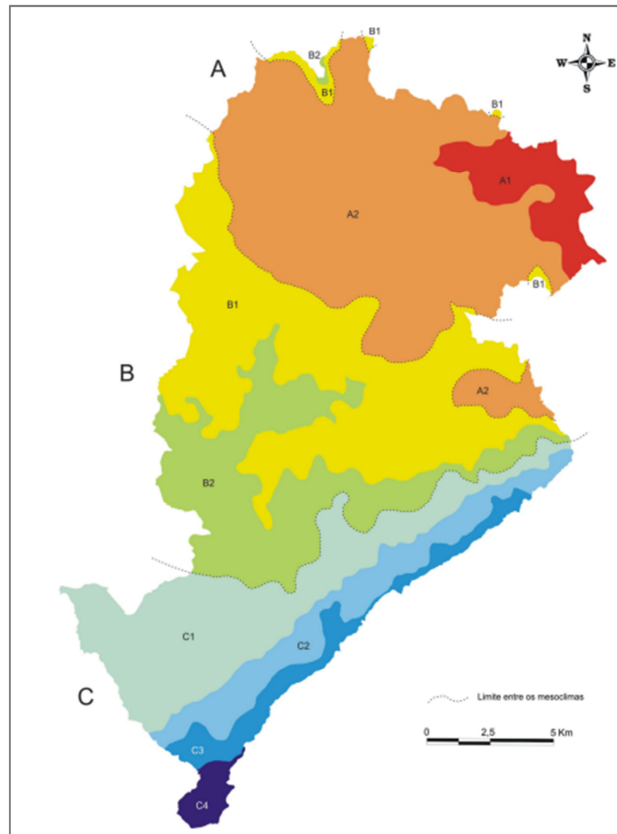
E, a partir da análise da Carta Solar (Figura 16), que traz informações referentes ao movimento do sol ao longo do ano, apresentando os ângulos de sombreamento recomendados em função das temperaturas e dados de radiação

solar, é possível projetar elementos para compor a envoltória da edificação de modo a aumentar o conforto térmico.



**Figura 16** - Carta solar latitude 20° S com análise climática integrada para Belo Horizonte  
Fonte: Brasil, 2010.

Ressalta-se que, estudos recentes comprovam a existência de pequenas alterações de clima local, observadas nas diferentes regiões da cidade, em decorrência de fatores tais como a vegetação, ocupação urbana, altitude e uso e ocupação do solo. Sendo assim, Belo Horizonte é dividida em mesoclimas e topoclimas que seguem a configuração indicada na Figura 17. Isto é, dependendo do local de implantação da edificação na cidade, as referências térmicas estão sujeitas a variações, daí a variabilidade da aplicação de algumas soluções, conforme observado na figura a seguir (ASSIS, 2012).



Unidades Climáticas			Fatores Climáticos		
Clima Local	Mesoclíma	Topoclíma	Altitude (m)	Morfologia do Terreno	
				Principais Características	Orientação
I - Clima Tropical de Altitude da Depressão de Belo Horizonte	A	A1	675 - 700	Colinas com topos aguçados e vertentes retilíneas na confluência do ribeirão do Onça como o rio das Velhas. Presença de espigões e vales encaixados com seções em forma de "V".	NW- SE
		A2	700 - 800	Relevo suavemente ondulado com presença de amplas colinas de topos achatados e vales abertos de fundo chato do ribeirão Pampulha-Onça.	W- E
	B	B1	800 - 900	Relevo ondulado e suavizado da Depressão de Belo Horizonte com vertentes côncavas e vales abertos côncavos. Na porção central e Oeste topos abaulados com vertentes retilíneas e vales côncavos. No extremo Norte do município destacam-se as feições dos espigões do Engenho Nogueira e Venda Nova com vertentes íngremes e ravinadas, cercadas por vales encaixados.	W- E
		B2	900 - 1000		NNW- SSE
II - Clima Tropical de Altitude das Serras do Quadrilátero Ferrífero	C	C1	1000 - 1100	No limite entre os municípios de Belo Horizonte e Nova Lima existem cristas e escarpas da Serra do Curral com vertentes retilíneas ravinadas e vales encaixados em forma de "V". A linha de crista da Serra do Curral desenvolve-se por altitudes entre 1150m e 1510m, disposta na direção Sudoeste-Nordeste. Presença de subcompartimentos moderadamente ondulado entre 1100m a 1200m, assemelhando-se a pequenos tabuleiros em meio a sítios profundamente dissecados. No extremo Oeste do regional Barreiro ocorrência de relevo colinoso do ribeirão Arrudas, colinas alongadas, topos abaulados com vertenes convexas e vales côncavos.	SW- NE
		C2	1100 - 1200		
		C3	1200 - 1300		
		C4	1300 - 1510		

**Figura 17** - Unidades climáticas naturais do município de Belo Horizonte: mesoclimas e topoclimas.  
Fonte: Assis (2008)

## 5.2. DIRETRIZES CONSTRUTIVAS

Para a zona 3, são requeridas as seguintes diretrizes:

**Tabela 7 – Diretrizes construtivas para a zona 3**

Diretrizes Construtivas - Zona 3	
Aberturas para ventilação	Médias - $A \geq 7\%$ da área de piso
Sombreamento das aberturas	Permitir o sol durante o inverno
Vedações externas	Parede leve refletora Cobertura leve isolada
Condicionamento térmico	Verão - Ventilação cruzada – 18,33 % horas/ano Inverno - Aquecimento solar; inércia térmica

Fonte: ABNT NBR 15220 (2005)

**Tabela 8 – Transmitância térmica e capacidade térmica para a zona 3**

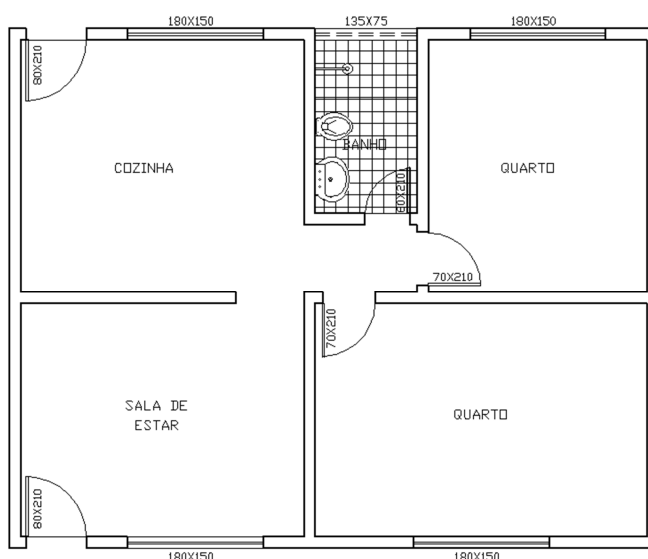
Parâmetros para desempenho térmico mínimo		
Paredes externas - Transmitância térmica ( $W/m^2.K$ )	$\alpha^2 \leq 0,6$	$\alpha^2 > 0,6$
	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$
Cobertura - Transmitância térmica ( $W/m^2.K$ )	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$
	$U \leq 2,3$	$U \leq 1,5$
Capacidade Térmica ( $KJ/m^2.K$ )	$\geq 130$	

Fonte: ABNT NBR 15220 (2005)

## 5.3.DISSCUSSÃO DAS RECOMENDAÇÕES DE PROJETO

### - Arquitetura

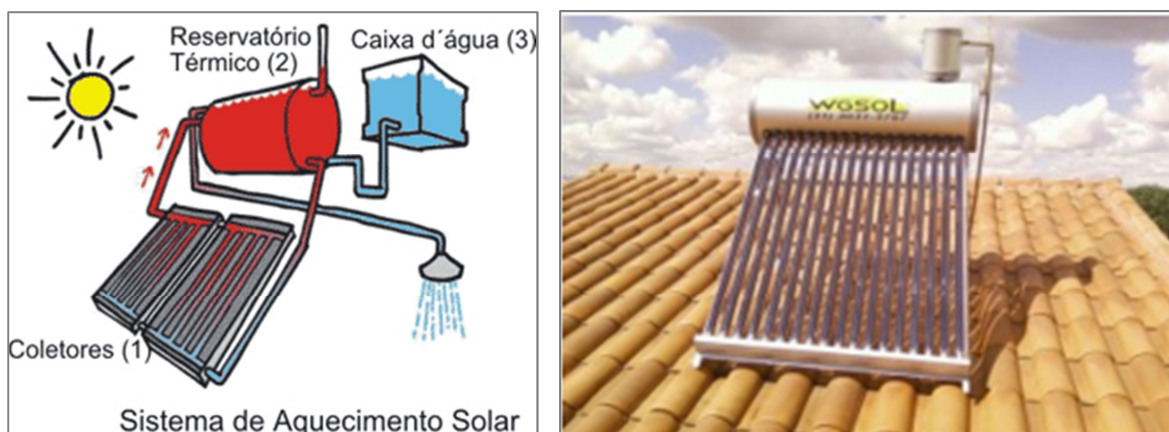
Baseia-se em uma edificação de padrão popular, composta por sala, 2 quartos, banheiro e cozinha, conforme MCMV.



**Figura 18 - Projeto arquitetônico**

## - Orientação solar

A implantação da edificação é orientada no eixo longitudinal leste-oeste, com a finalidade de limitar a exposição à radiação solar. Também é empregado um sistema de energia solar integrado à cobertura (Figura 19). Os painéis devem ser voltados para o norte geográfico, a fim de possibilitar uma maior incidência dos raios solares durante o ano.

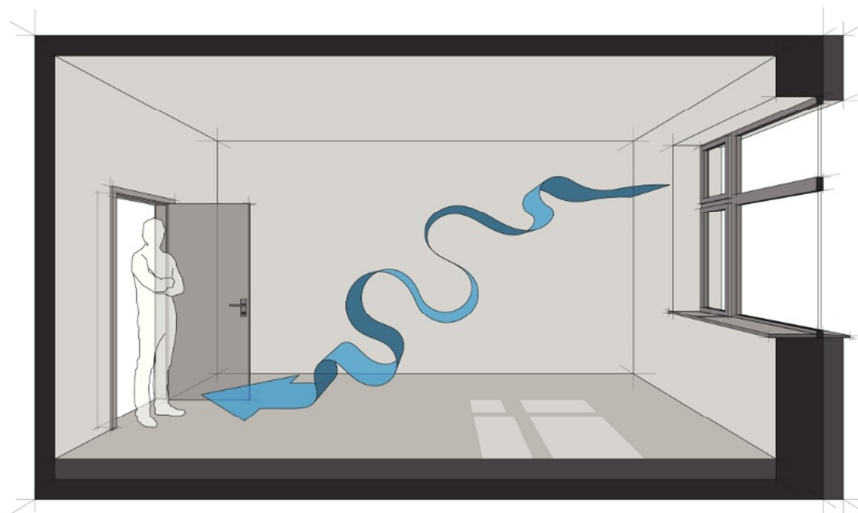


**Figura 19** – Aquecimento solar.  
Fonte: Culturamix (2013)

## - Ventilação cruzada

A ventilação cruzada interiormente, indicada para 18,33 % das horas do ano para condicionamento térmico na cidade de Belo Horizonte, é obtida por meio da localização e dimensões das aberturas, bem como do tipo das esquadrias. As aberturas devem ser localizadas em fachadas opostas, para promover renovações do ar. Para o dimensionamento da área de aberturas, foi utilizada a especificação mínima solicitada pela ABNT NBR 15575:2013 (7% da área de piso).

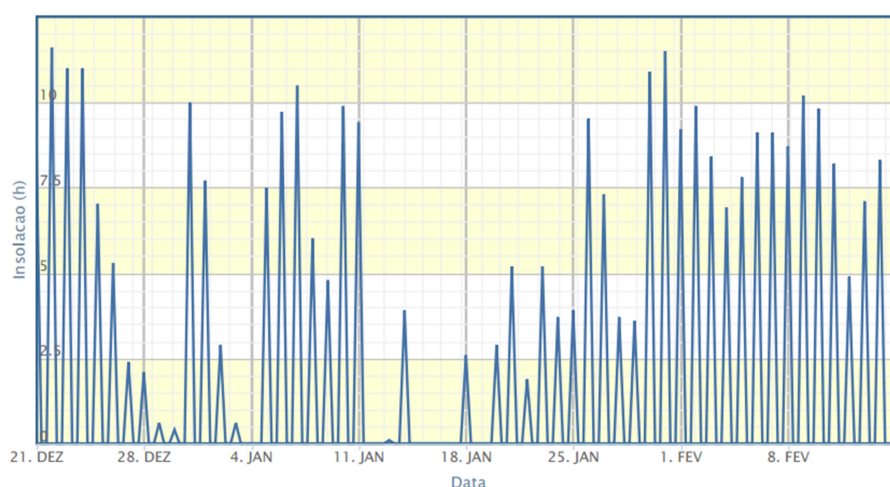
No que diz respeito às esquadrias, indica-se a utilização de basculantes controláveis, que atuem na captação dos ventos externos (no sentido leste) e os redireciona para a edificação. Além disso, os grandes espaçamentos das demais edificações favorecem a penetração do vento.



**Figura 20** – Aberturas para troca de ar  
 Fonte: Nakamura (2014)

### - Sombreamento

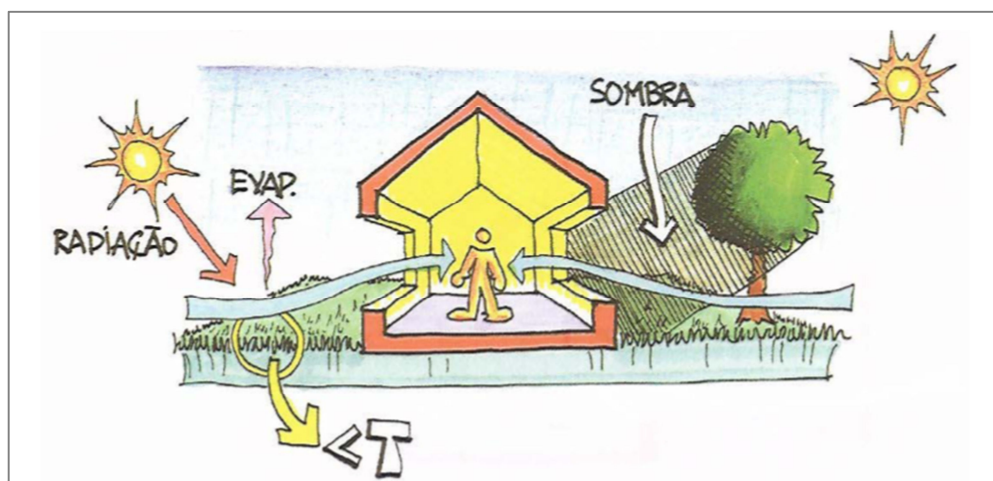
Ao analisar as recomendações da norma para a zona bioclimática 3, identifica-se que, para Belo Horizonte, não existe a recomendação de controle solar, isto é, sombreamento das aberturas no verão. A ausência da estratégia pode ser associada ao fato de que na formulação do zoneamento bioclimático brasileiro, referenciada no Método de Givoni (GIVONI, 1992), não há a estratégia de controle solar. Todavia, observando o gráfico de Insolação x Data, para a cidade de Belo Horizonte entre dezembro de 2015 e fevereiro de 2016 (Figura 21), constata-se que esta é uma estratégia necessária.



**Figura 21** – Insolação em Belo Horizonte – MG (dez-15 a fev-16)  
 Fonte: Inmetro (2016)

Para Atem e Basso (2005), a norma somente cita a necessidade de entrada de sol para aquecimento dos ambientes, mostrando-se ligeiramente superficial, pois trata apenas do período frio, sem falar da necessidade de sombreamento no verão. A ausência da solução de controle solar é inadequada, pois, uma das estratégias predominantes para melhoria do desempenho térmico das edificações, que afeta o conforto térmico dos moradores é o controle da insolação direta, tanto para as cidades com maior rigor climático de calor, como para as demais, durante o verão.

Neste sentido, apesar do controle da insolação direta, através do sombreamento (Figura 22), não ser contemplado nas estratégias de condicionamento térmico para a zona 3 visando melhoria das condições internas, ela se faz necessária na capital mineira.




**Figura 22 – Sombreamento**  
Fonte: Lamberts *et al.* (2004)

### - Materiais construtivos

Para a vedação vertical, selecionam-se os blocos de concreto de 2 furos, dimensões 14 x 39 x 19 cm, com argamassa de assentamento de 1,0 cm e argamassa de emboço de 2,5 cm de espessura nas duas faces (Tabela 9). Este material atende aos requisitos de transmitância térmica e capacidade térmica da ABNT NBR 15575:2013, sem a necessidade de simulação computacional, desde que as fachadas sejam pintadas com cores claras ou médias. ( $\alpha \leq 0,6$ ).


**Tabela 9 - Transmitância térmica, capacidade térmica para alvenaria**

Transmitância térmica, capacidade térmica para alvenaria			
Bloco	Descrição	U [W/(m <sup>2</sup> .K)]	CT [kJ/(m <sup>2</sup> .K)]
	Parede de blocos de concreto de 2 furos Dimensões do bloco: 14,0 x 39 x 19 cm Espessura arg. de assentamento: 1,0 cm Espessura arg. de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 19,0 cm	3,66	160

Fonte: ABNT NBR 15220:2005

Para a cobertura, empregam-se telhas cerâmicas claras, de 1,0 cm de espessura, com forro de madeira de 1,0 cm (Tabela 10).

**Tabela 10 - Transmitância térmica, capacidade térmica para cobertura**

Transmitância térmica, capacidade térmica para alvenaria			
Cobertura	Descrição	U [W/(m <sup>2</sup> .K)]	CT [kJ/(m <sup>2</sup> .K)]
	Telha cerâmica clara com forro de madeira Espessura da telha: 1,0 cm Espessura da madeira: 1,0 cm	2,00	32

Fonte: ABNT NBR 15220:2005

## 6. CONCLUSÃO

A partir de revisão da literatura e estudo de aplicação na cidade de Belo Horizonte, o presente trabalho realizou uma análise a respeito do desempenho térmico nas edificações residenciais, baseado nos requisitos da ABNT NBR 15575:2013. O estudo da referida norma, parte de um contexto de crescente preocupação com o conforto térmico dos usuários, aliada a busca pela otimização do consumo energético.

Foram avaliados os parâmetros técnicos capazes de assegurar níveis satisfatórios de desempenho. Isto é, aqueles níveis que garantem um balanço térmico estável, que minimize as diferenças entre calor produzido e perdido, que poderiam causar o desconforto do calor ou frio. Nesse contexto, foram levantados dados das soluções técnicas compatíveis com as exigências da norma e identificadas a influência dos componentes construtivos no desempenho térmico.

Foram descritos os métodos simplificado e detalhado. Para o simplificado, foram observadas limitações no que diz respeito à seleção dos dados de entrada. Observou-se que variáveis desconsideradas pela norma podem exercer influência considerável nos resultados dos níveis de classificação do desempenho térmico, o que prejudica a precisão do resultado final. Por isso, fica a sugestão, para trabalhos futuros, do aprimoramento da análise destas variáveis, através de verificações comparativas com métodos de simulação.

Os resultados também demonstraram que a combinação da correta orientação da edificação, ventilação natural nos períodos adequados, sombreamento e seleção de materiais constituintes com parâmetros térmicos em consonância com as exigências da norma resultaram na manutenção de temperaturas internas adequadas ao conforto dos usuários na cidade de Belo Horizonte.

Feito os estudos, também se destaca a notável importância da comunicação entre os projetistas e a coordenação, tendo em vista que a atuação conjunta nas adequações de concepção arquitetônica e seleção de materiais resultam em melhorias decisivas no desempenho da edificação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS, Eleonora Sad de; *et al.* Habitação social e eficiência energética: um protótipo para o clima de Belo Horizonte. *In: II Congresso Brasileiro de Eficiência Energética*. 2007, Vitória. **Anais...** . Vitória: ABEE, 2007. 7p.

ASSIS, Eleonora Sad de. Método integrado de análise climática para arquitetura aplicado à cidade de Belo Horizonte, MG. *In: VI Encontro Nacional e III Encontro Latinoamericano sobre Conforto no Ambiente Construído*. 2001, São Pedro. **Anais...** .São Pedro: ANTAC, 2001. 8 p.

ASSIS, Welington Lopes. Os climas naturais do município de Belo Horizonte. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, Ed. Esp. Climatologia Geográfica, 2012. p. 115-135.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1: Desempenho térmico de edificações. Parte 1: Definições, símbolos e unidades**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 8 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 15220-2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 30 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 30 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-1: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 70 p.

ATEM, Camila Gregório, BASSO, Admir. **Apropriação e eficiência dos brisesoleil: o caso de Londrina PR**. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 29-45, 2005.

BELO HORIZONTE (MG). Prefeitura. Lei nº 9.725, de 15 de julho de 2009. **Institui o Código de Edificações do Município de Belo Horizonte e Dá Outras Providências**. Belo Horizonte: PMBH, 2009.

BERALDO, Juliano Coronato. **Eficiência energética em edifícios: avaliação de uma proposta de regulamento de desempenho térmico para a arquitetura do estado de São Paulo**. 2006. 285 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

BORGES, Carlos. **Norma de desempenho poderá aumentar custos de construtoras** **Construção Civil**. 2009. Disponível em: <<http://piniweb.pini.com.br/construcao/tecnologia-materiais/norma-de-desempenho-podera-aumentar-custos-de-construtoras-142474-1.aspx>>. Acesso em fev-16.

BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Dep. Nacional de Meteorologia (2010) **Normas climatológicas**. Brasília, DNMET, 84p.

BRITO, Adriana C. *et al.* Contribuições para o aprimoramento da NBR 15575 referente ao método simplificado de avaliação de desempenho térmico de edifícios. *In: XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*, 2012, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: Entac, 2012.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15.575/2013**. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

CAMPOS, Nadine Lessa Figueiredo *et al.* Avaliação de Desempenho Térmico de Edificação Pública em Cuiabá, MT: Estudo de Caso. **Revista Monografias Ambientais: UFSM**, Cuiabá, v. 7, n. 7, p.1670-1688, 01 mar. 2012. Bimestral.

CARAM, Rosana; SCHIERI, Eduvaldo; LABAKI, Lucila. **Conforto Térmico e Efeito Estufa**. 2004. <https://arcoweb.com.br/finestra/tecnologia/conforto-ambiental-conforto-termico-01-02-2004>. Acesso em jan-16.

CHVATAL, Karin Maria Soares. Avaliação do procedimento simplificado da NBR 15575 para determinação do nível de desempenho térmico de habitações. **Ambiente Construído (Online)**, v. 14, p. 119-134, 2014. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1678-86212014000400009&lng=pt&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212014000400009&lng=pt&nrm=iso&tlng=en)> Acesso em jan-16.

CORRADO, V.; MECHRI, H. E. Uncertainty and Sensitivity Analysis for Building Energy Rating. **Journal of Building Physics**, v. 33, n. 2, p. 125-156, 2009.

CULTURAMIX. **O que são painéis solares**. 2013. Disponível em: <<http://tecnologia.culturamix.com/tecnologias/o-que-sao-os-paineis-solares>> Acesso em jan-16.

CUNHA, Eduardo Grala da. **Projetos brasileiros podem, e devem, ter calefação**. 2015. Disponível em: [http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/projetos-brasileiros-podem-e-devem-ter-calefacao\\_7394\\_10\\_0](http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/projetos-brasileiros-podem-e-devem-ter-calefacao_7394_10_0). Acesso em dez-15.

DEKAY, M.; BROWN G. Z. Sol, Vento e Luz. **Estratégias para o projeto de arquitetura**. Trad. Alexandre F. da Silva. 2a.ed. Ed. Bookman. Porto Alegre, 2004

ECOEICIENTES. **Luz natural**. 2015. Disponível em: <http://www.ecoeficientes.com.br/luz-natural/>. Acesso em dez-15.

EVANS, M.; SCHILLER, S. (1988). **Diseno bioambiental y arquitectura solar**. Universidadde Buenos Aires, Serie Ediciones Previas.

GHISHI, Enedir *et al.* Incerteza do método de simulação da NBR 15575-1 para a avaliação do desempenho térmico de habitações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 103-117, out/dez. 2014.

GIVONI, B. (1992). "Comfort, climate analysis and building design guidelines". **Energy and Building**. Vol.1, 1992 pp. 11-23.

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

GOULART, S. V. G. **Dados Climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações em Florianópolis**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 1993.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Estações e Dados em Gráficos**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em: fev-16.

JANDA, K. B.; BUSCH, J. F. **Worldwide status of energy standards for buildings. Summer Study on Energy Efficiency in Buildings**. Berkeley: ACEEE. V. 6: 103 a 105 p. 1992.

LAMBERTS, Roberto *et al.* **Desempenho térmico de edificações**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 2a edição. São Paulo: PW Editores, 2004.

LAMBERTS, Roberto; SORGATO, Márcio José. Análise de sensibilidade dos parâmetros utilizados para a simulação computacional de ventilação natural, no desempenho térmico de uma edificação residencial unifamiliar. *In: XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2012, Juiz de Fora. Anais...* Juiz de Fora: Entac, 2012.

LIDDAMENT, M. W. **Air infiltration calculation techniques - an applications guide**. Bracknell, UK: AIVC, 1986.

LOUREIRO, Kelly Cristina Gonçalves. **Análise de desempenho térmico e consumo de energia de residências na cidade de Manaus**. Florianópolis, 2003. 139p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

MAGALHÃES, Ruane Fernandes de. **Edificações em Light Steel Frame Isoladas Externamente com Eifs: Avaliação de desempenho Térmico pela NBR 15.575:2013**. (Trabalho de conclusão de curso). Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013. 94f.

MARQUES, Augusto Martins. **Desempenho térmico de edificações unifamiliares de interesse social: estudo de casos em Imbituba – SC**. 2008. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

MARQUES, T. H. T.; CHVATAL, K. M. S. A Review of the Brazilian NBR 15575 Standard: Applying the Simulation and Simplified Methods for Evaluating a Social House Thermal Performance. *In: SYMPOSIUM ON SIMULATION FOR ARCHITECTURE AND URBAN DESIGN*, San Diego, 2013. **Proceedings...** San Diego, 2013.

MENDONÇA, Paulo J. F. A. U.; **Habitar sob uma segunda pele: Estratégias para a Redução do Impacto Ambiental de Construções Solares Passivas em Climas Temperados**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães, 2005.

MABB arquitetos. **Casa e Estúdio na Vila Romana**. 2011. <http://www.archdaily.com.br/br/01-16036/casa-e-estudio-na-vila-romana-mabb-arquitetos>. Acesso em nov-15.

NAKAMURA, Juliana. **Veja como ter uma casa fresca sem usar ar condicionado**. 2014. Disponível em: < <http://mulher.uol.com.br/casa-e-decoracao/noticias/redacao/2014/03/03/veja-dicas-de-como-garantir-uma-casa-fresca-sem-usar-ar-condicionado.htm#fotoNav=31> > Acesso em nov-15.

POMPERMAYER, M. L., **Gerenciamento da Demanda Residencial de Eletricidade: O Caso de Centros Urbanos da Região Amazônica**. 2000. 284 f. Tese (Doutorado) – Engenharia Mecânica, Universidade de Campinas, São Paulo, Campinas.

PROJETEEE. 2015. Disponível em: < <http://150.162.76.139/estrategias/> >. Acesso em dez-16.

OLIVEIRA, Raquel Diniz; SOUZA, Roberta V. Gonçalves de; SILVA, Roberto Márcio da. Desempenho Térmico: qual valor devemos atender para a legislação brasileira. *In: XII Encontro Nacional e VIII Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído*, 2013, Brasília. **Anais...** . Brasília: Antac, 2013.

OLIVEIRA, R. *et al*; **Desempenho Térmico: qual valor devemos atender para a legislação brasileira?** Brasília, 2013.

PAPADAKIS, G., TSAMIS, P., KYRITSTS, S. An experimental investigation of the effects of shading with plants for solar control of buildings. **Energy and Buildings**. n. 33, 2001, p. 833-836.

RAJA, I.A.; NICOL, J.F; McCARTNEY, K.J; HUMPHEREYS, M.A. Thermal comfort: use of controls in naturally ventilated buildings. **Energy and Buildings**, v.33, p.235-244. 2001.

REI, João M. da S. **A arquitetura solar passiva: O Sol e a Terra em acção de afluência**. 175 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade da Beira Interior, Covilha: Portugal, 2009.

RENDEIRO, J. **Elementos de um edifício verde**. 2015. Disponível em <<http://blog.construir.arq.br/elementos-edificio-verde/>> Acesso em dez-15

ROAF, Sue; FUENTS, Manuel; THOMAS, Stephanie. **Ecohouse: a casa ambientalmente saudável**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman - Grupo A, 2009. 488 p.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. **A arquitetura bioclimática do espaço público**. Brasília: Unb, 2001. 226 p

RUEDIGER, F. **Guia ambiental para a construção de residências sustentáveis**. (Trabalho de conclusão de curso). Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

RUSSI, Madalena *et al.* Estratégias construtivas na busca de conforto térmico e eficiência energética em edificações unifamiliares de interesse social nas zonas bioclimáticas 1, 2 e 3 brasileiras. *In:* 1º Seminário Nacional de Construções Sustentáveis. **Anais ...** Passo Fundo, Imed, 2012.

Sá, A.C.B. **Parede de Trombe: Análise Experimental e Simulação de Desempenho Térmico**. Tese (Doutorado). Universidade da Beira Interior. Covilhã, 2011.

SCLAreiras. **Lareiras**. Disponível em <[www.sclareiras.com.br](http://www.sclareiras.com.br)> Acesso em dez-15.

SILVA, Joene Saibrosa da. **A eficiência do brise-soleil em edifícios públicos de escritórios: estudo de casos no Plano Piloto de Brasília**. 2007. 144 f. Dissertação (Mestrado). Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Análise do Método de Simulação de Desempenho Térmico da Norma NBR 15575. *In:* XII Encontro Nacional e VIII Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído, 2013, Brasília. **Anais...** Brasília: Antac, 2013.

SUZUKI, Eimi Veridiane. **Avaliação do potencial de aquecimento/resfriamento de um sistema de climatização passiva**. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2012.

Trombe Wall Case Studies. **The Solar House, Odeillo**, France. 18 de Janeiro de 2011. Disponível em: <http://jjureidini.wordpress.com/2011/01/18/trombe-wall-case-studies>. Acesso em jan-16.

VETTORAZZI, Egon; SANTOS, Joaquim C. Pizzutti; RUSSI, Madalena. **Desenvolvimento de um pré-projeto de piso radiante com aproveitamento de energia solar para calefação ambiental**. *In:* XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Canela, 2010.