



ANÁLISE E DISCUSSÃO DE ABORDAGENS PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO HIGROTÉRMICO DE HABITAÇÕES TÉRREAS DE INTERESSE SOCIAL APLICADAS A PORTO ALEGRE, RS,

Giane de Campos Grigoletti (1); Miguel Aloysio Sattler (2)

- (1) Departamento de Arquitetura e Urbanismo – Centro de Tecnologia – Universidade de Santa Maria, Brasil – e-mail: grigoletti@smail.ufsm.br
(2) Departamento de Engenharia Civil – Escola de Engenharia – Universidade do Rio Grande do Sul, Brasil – e-mail: sattler@ufrgs.br

RESUMO

Proposta: A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2005) propõe um conjunto de normas de desempenho de edifícios habitacionais de interesse social de até cinco pavimentos. A ABNT recomenda um conjunto de requisitos e critérios que devem ser atendidos pelas habitações de interesse social (HIS) a fim de garantir o conforto higrotérmico dos usuários. Para a avaliação de desempenho higrotérmico das habitações, a ABNT propõe dois requisitos a serem considerados: condições de conforto no verão e condições de conforto no inverno, de acordo com a região de implantação da obra e suas características bioclimáticas. Este estudo busca analisar e discutir os requisitos e critérios propostos pela ABNT para habitações térreas unifamiliares de interesse social, considerando-se as condições climáticas da região de Porto Alegre, RS, e outras duas abordagens que diferem da primeira em alguns aspectos. **Método de pesquisa/abordagens:** Análise das abordagens segundo os requisitos adotados e a discussão de potencialidades e fraquezas das mesmas. **Resultados:** As abordagens complementam-se entre si ao considerarem parâmetros térmicos díspares. Além daqueles requisitos propostos pela ABNT, outros requisitos também são importantes para uma avaliação de desempenho higrotérmico de HIS mais completa. **Contribuição/originalidade:** Análise de abordagens existentes para avaliação de desempenho higrotérmico de habitações de interesse social.

Palavras-chave: habitação de interesse social; desempenho higrotérmico; requisitos de desempenho

ABSTRACT

Propose: The Brazilian Constitution (BRASIL, 1988) establishes universal rights to housing. The housing must satisfy the needs of its occupants. The hygrothermal comfort is between these needs. With the aim achieving the hygrothermal comfort of the low income housing, the Brazilian Association of Technical Standards (ABNT, 2004, 2005) has been involved with the formulation of a standards collection towards five or less floor housing. The ABNT recommends some requirements and criteria that low income housing must satisfy to concern the hygrothermal comfort. This association proposes requirements for winter and summer conditions in agreement with the region of housing implantation and bioclimatic characteristics. This research intends to analyse and to discuss the requirements and the criteria proposed by the ABNT and other two approaches. **Methods:** The analysis is developed starting from the study of approaches through the discussion of their potentialities and their weaknesses. **Findings:** How results, it is noted that the approaches supplement themselves to take into consideration different thermal parameters. Beyond the requirements proposed by the ABNT, other requirements are important when the purpose is the low income housing hygrothermal performance evaluation. **Originality/value:** Analyses of hygrothermal performance approaches destined for evaluation of low income housing.

Keywords: low income housing; hygrothermal performance; standards.

1 INTRODUÇÃO

A Constituição Federal do Brasil (BRASIL, 1989) garante a todos os brasileiros o direito à habitação. Este direito implica o atendimento das necessidades dos usuários destas habitações, entre essas, o seu conforto higrotérmico. Visando a garantia deste direito para as populações de baixa renda, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) propõe um conjunto de normas de desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos. Porém, existem outras abordagens que diferem em alguns parâmetros daquelas propostas pela ABNT. Neste trabalho, apresentam-se três abordagens propostas para a avaliação de desempenho higrotérmico desenvolvidas para habitações de interesse social: proposta de avaliação de desempenho higrotérmico de habitações de interesse social da ABNT (2004, 2005); avaliação de desempenho higrotérmico por comparação com um padrão (TURIK, 1988) e avaliação de desempenho higrotérmico por número de horas de desconforto admissíveis (BARBOSA, 1997). Discute-se as três abordagens a partir da análise de documentos e textos que estão disponíveis para consulta do público em geral.

2 ABORDAGENS ANALISADAS

2.1 Diretrizes de desempenho térmico de HIS propostas pela ABNT

A ABNT (2005a), no documento *Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações*, especifica procedimentos para cálculo de resistência térmica, transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator de calor solar de componentes da envolvente da edificação.

No documento *Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social*, a ABNT (2005b) apresenta o zoneamento bioclimático brasileiro (oito zonas bioclimáticas), indicando a zona bioclimática para 330 cidades, o qual é a base para a definição de um conjunto de diretrizes construtivas e recomendações de estratégias de condicionamento térmico passivo destinadas a habitações unifamiliares de interesse social e requisitos e critérios de projeto que proporcionam condições aceitáveis de conforto térmico, sendo aplicável em edificações de até três pavimentos. As diretrizes e recomendações dizem respeito a: tamanho de aberturas para ventilação em função da área do piso do cômodo; sombreamento das aberturas em diferentes períodos do ano; transmitância térmica U, atraso térmico ϕ e fator de calor solar FCS para fechamentos opacos (paredes e coberturas) e estratégias de condicionamento térmico passivo.

Na figura 1, são apresentadas as três zonas bioclimáticas que abrangem o Rio Grande do Sul, zonas bioclimáticas 1, 2 e 3, conforme ABNT (2005b).

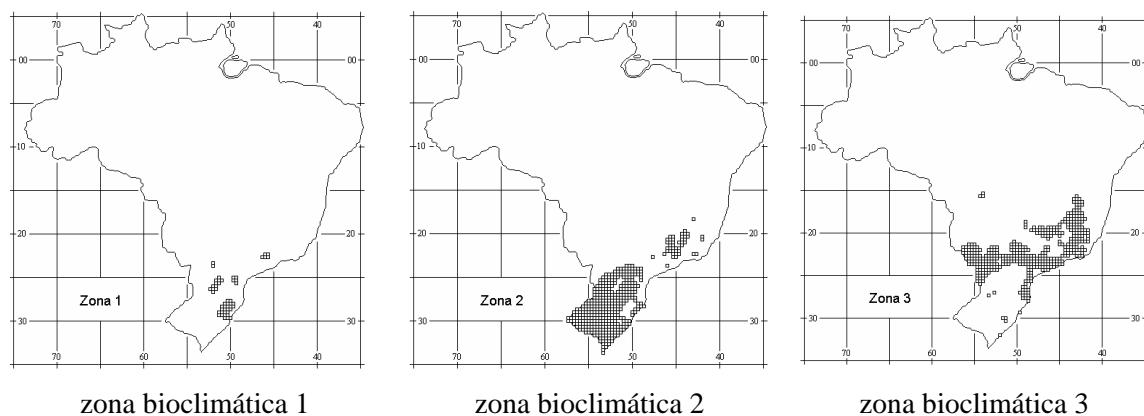


Figura 1. Zonas bioclimáticas que abrangem o Rio Grande do Sul conforme ABNT (2005b).

Na tabela 1, são apresentadas as diretrizes para aberturas, paredes e coberturas e estratégias de condicionamento térmico passivo para as zonas bioclimáticas 1, 2 e 3, descritas por ABNT (2005b).

Tabela 1. Diretrizes para aberturas, paredes, coberturas e estratégias de condicionamento térmico passivo para as zonas bioclimáticas 1,2 e 3, segundo ABNT (2005b).

		zonas bioclimáticas		
		1	2	3
aberturas	percentagem de área de abertura (A_{ab}) em função da área do piso (A_p) do cômodo para ventilação	$15\% A_p < A_{ab} < 25\% A_p$	$15\% A_p < A_{ab} < 25\% A_p$	$15\% A_p < A_{ab} < 25\% A_p$
	sombreamento	permitir sol durante o período frio	permitir sol durante o inverno	permitir sol durante o inverno
paredes	propriedades	leves	leves	leves e refletoras
	transmitância térmica U ($W/\text{°C m}^2$)	$\leq 3,00$	$\leq 3,00$	$\leq 3,60$
	atraso térmico ϕ (h)	$\leq 4,3$	$\leq 4,3$	$\leq 4,3$
	fator de calor solar FCS (%)	$\leq 5,0$	$\leq 5,0$	$\leq 4,0$
cobertura	propriedades	leve isolada	leve isolada	leve isolada
	transmitância térmica U ($W/\text{°C m}^2$)	$\leq 2,00$	$\leq 2,00$	$\leq 2,00$
	atraso térmico ϕ (h)	$\leq 3,3$	$\leq 3,3$	$\leq 3,3$
	fator de calor solar FCS (%)	$\leq 6,5$	$\leq 6,5$	$\leq 6,5$
estratégias de condicionamento térmico passivo	inverno	aquecimento solar vedações internas pesadas condicionamento passivo será insuficiente para período mais frio	aquecimento solar vedações internas pesadas condicionamento passivo será insuficiente para período mais frio	aquecimento solar da edificação vedações internas pesadas
	verão		ventilação cruzada	ventilação cruzada

Através da figura 1 e tabela 1, observa-se que as zonas bioclimáticas 1 e 2, que abrangem Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, possuem prescrições parecidas, diferindo apenas nas estratégias de condicionamento térmico passivo, onde, para o verão, é indicada ventilação cruzada para a Zona Bioclimática 2. Sabe-se que esses estados possuem diferenças significativas em seus climas e que, a rigor, não podem ser tratados de forma similar. Para o estado do RS, pertencente praticamente a apenas uma zona bioclimática de acordo com a ABNT, existem pelo menos sete zonas climáticas (FORTES, 1959), que impõe necessidades construtivas bastante antagônicas. Por exemplo, cidades como Pelotas, Santa Maria e Santa Vitória do Palmar, todas classificadas na Zona Bioclimática 2, e com características climáticas diferentes entre si, as necessidades construtivas também diferem. Santa Maria, localizada na região conhecida como Depressão Central (FORTES, 1959), possui um clima similar ao de Porto Alegre (verões quentes e úmidos e invernos amenos, com ondas de calor freqüentes) e bem poderia ser classificada na Zona Bioclimática 3.

O documento, por sua abrangência, não permite uma análise mais detalhada do clima de cada região característica do estado do Rio Grande do Sul. Devido a diferenças relativas à escala regional, é importante se fazer uma análise mais pormenorizada para cada localidade, respeitando especificidades climáticas locais, a fim de se atingir uma solução mais adequada a cada localidade.

Em relação às transmitâncias térmicas U de paredes e coberturas, as diretrizes não diferenciam os valores desejáveis de acordo com possíveis orientações. As diretrizes não apresentam orientações desejáveis para coberturas e paredes de maior e menor área, decisões que podem melhorar o comportamento térmico da edificação e exigem apenas uma tomada de decisão em nível de projeto, sem aumentar custos.

No que tange à ventilação natural, a consideração apenas de percentagens de pisos, pode levar a resultados diferentes segundo sua eficiência, pois a posição das aberturas sobre os fechamentos influencia a quantidade de ventilação natural disponível em um determinado cômodo. A especificação de aberturas em função de percentagem do piso deve vir acompanhada de recomendações em relação à posição de aberturas, à direção predominante dos ventos de verão e à distribuição de vãos para captação de ar e para tiragem do ar. A ABNT estipula uma área máxima, calculada como percentagem do piso, para aberturas destinadas à ventilação, em regiões em que esse controle se faz necessário. Esta limitação garante que não ocorram infiltrações de ar excessivas no inverno, o que contribuiria para o mau desempenho da edificação no período frio, além de limitar perdas e ganhos térmicos por radiação no inverno e no verão.

A ABNT propõe uma avaliação mais ampla, dividida em cinco partes, que trata do desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos. No documento *Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Parte 1: Requisitos Gerais* (ABNT, 2004, Parte 1, p.11), são especificados requisitos, critérios, métodos de avaliação e níveis de desempenho geral (incluindo o higrotérmico) para diferentes elementos e partes da construção. A ABNT especifica um nível mínimo que deve ser obrigatoriamente atingido (Nível M). Além deste nível, especifica os níveis intermediário e superior (Nível I e Nível S). Cabe aos agentes da construção civil (poder público, investidores, etc.) definir qual o nível a ser adotado em determinada situação, desde que não seja inferior ao Nível M. Para a verificação se um determinado elemento, componente, sistema ou edificação satisfaz o nível adotado, podem-se adotar, para a avaliação de desempenho térmico, três procedimentos básicos alternativos: *Procedimento 1, Procedimento 2 ou Procedimento 3* (ABNT, 2004, Parte 1, p.23).

O *Procedimento 1*, simplificado, baseia-se na verificação do atendimento aos requisitos e critérios para fachadas e coberturas estabelecidos pela ABNT (2004) nos documentos *Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Parte 4: Fachadas e paredes internas e Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Parte 5: Coberturas*. A ABNT (2004) adota como requisito a adequação das paredes externas e como critério seu valor de transmitância térmica, coeficiente de absorção e capacidade térmica, bem como áreas mínimas de aberturas para ventilação, apresentando apenas os níveis considerados mínimos. A ABNT (2004) apresenta como requisito o isolamento térmico da cobertura e como critérios sua transmitância térmica, seu fator de ventilação do ático FV¹ (aplicável a áticos ventilados) e seu coeficiente de absorção. A ABNT (2004) insere alguns parâmetros térmicos não indicados de forma explícita em ABNT (2005b): coeficiente de absorção α de paredes e coberturas (implícito no fator de calor solar), capacidade térmica C_T de paredes externas (implícito no atraso térmico) e o fator de ventilação do ático FV (implícito no cálculo de transmitância térmica). Além dessa formatação diferente entre os dois documentos, há diferenças nos próprios critérios adotados, como pode ser visto na tabela 2, que apresenta as recomendações para a Zona Bioclimática 3, à qual pertence Porto Alegre.

A ABNT (2004) permite uma faixa mais ampla para valores de transmitância térmica e coeficiente de absorção. Observa-se que os valores recomendados pela ABNT (2004) são menos rigorosos do que os valores recomendados pela ABNT (2005b), com exceção dos níveis I e S especificados para a cobertura e paredes escuras ($\alpha \geq 0,60$). Por exemplo, segundo as especificações da ABNT (2004) para paredes, pode-se ter uma transmitância térmica da ordem de $3,60 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$, com um coeficiente de absorção aproximado de 0,60, enquanto que, a partir da especificação do fator de calor solar FCS, este valor não poderia exceder 0,30. Para o nível M da cobertura, a ABNT (2004) não estipula um valor máximo de coeficiente de absorção. Poderia ser estipulado um valor máximo para evitar que houvessem ganhos significativos de calor devido à incidência de radiação solar direta sobre a mesma. A consideração do coeficiente de absorção através do FCS (ABNT, 2005c) é mais favorável, pois permite a análise conjunta dos efeitos cor dos fechamentos e transmitância térmica dos mesmos.

¹ A ABNT também considera, para a Zona Bioclimática 8, um fator FT referente à ventilação de coberturas.

Tabela 2. Critérios para avaliação de desempenho higrotérmico (ABNT, 2004, 2005b).

	paredes			cobertura		
	ABNT (2005b)	ABNT (2004)		ABNT (2005b)	ABNT (2004)	
transmitância térmica U $\frac{W}{m^2 \cdot C}$	$\leq 3,60$	$\alpha < 0,60$	$\alpha \geq 0,60$	$\leq 2,00$	M	2,30
		3,70	2,50		I	1,50
					S	1,00
coeficiente de absorção α	$\leq 0,27^*$	$U \leq 3,70$	$U \leq 2,50$	$\leq 0,81^*$	M	sem exigência
		$\alpha < 0,60$	$\alpha \geq 0,60$		I	$0,26 < \alpha \leq 0,40$
					S	$\alpha \leq 0,25$
capacidade térmica C_T $\frac{kJ}{m^2 \cdot C}$	não especificado de forma explícita (ver atraso térmico)	≥ 130		não especificado de forma explícita (ver atraso térmico)	não especificado	
aberturas para ventilação A em % da área do piso	$15 < A < 25$	$A \geq 8$		—	—	
fator de calor solar FCS (%)	$\leq 4,0$			$\leq 6,5$		
atraso térmico ϕ (h)	$\leq 4,3$	não especificado		$\leq 3,3$	não especificado	

*não fica claro se os valores foram obtidos através da relação entre $FS=100 \times U \times \alpha \times R_{se}$

A especificação da capacidade térmica total C_T do fechamento pela ABNT (2004), ao não incluir o atraso térmico e o coeficiente de amortecimento, dificulta a análise do comportamento da edificação frente a variações térmicas diárias iguais ou maiores do que 10,0 °C, verificadas em Porto Alegre (SATTLER, 1987). Considerando-se dois exemplos apresentados em ABNT (2005a, p.21, 23) para paredes, verifica-se que as mesmas satisfazem aos critérios estabelecidos em ABNT (2004), mas não satisfazem o critério de valor máximo para o fator de calor solar (ABNT, 2005b), havendo uma discordância entre os dois documentos numa situação de avaliação desses fechamentos.

Em relação às áreas para aberturas para fins de ventilação, há discordância entre os dois documentos, enquanto um estipula um mínimo de 15 % da área do piso para aberturas, o outro estipula um mínimo de 8 %, ou seja, praticamente metade do primeiro valor. Também aqui a avaliação através do procedimento simplificado é menos rigorosa do que as recomendações da ABNT (2005b). Além disso, em ABNT (2004) não há especificação de valores máximos permitidos para aberturas, o que pode causar perdas térmicas excessivas por radiação no inverno, ou ganhos excessivos no verão, conforme a orientação da abertura.

Verifica-se que as zonas bioclimáticas foram ainda mais uniformizadas em ABNT (2004). Para as paredes, os valores de transmitância térmica e de coeficiente de absorção foram uniformizados para as zonas bioclimáticas 3 a 8, para capacidade térmica total, foram uniformizadas para as zonas bioclimáticas de 1 a 7 e as áreas de aberturas para as zonas de 1 a 6. O mesmo acontece para as coberturas que tem o mesmo valor de transmitância térmica para as zonas 1 a 7 e o mesmo valor de coeficiente de absorção para as zonas de 3 a 8.

O *Procedimento 2* baseia-se na verificação do atendimento de requisitos e critérios por meio de simulação computacional, para dias típicos de projeto (verão e inverno), utilizando os dados climáticos apresentados por ABNT (2004, Parte 1, p.47). Para unidades habitacionais isoladas, devem ser simulados todos os recintos da unidade habitacional, bem como orientações solares tal que a janela de um dormitório ou sala esteja voltada a Oeste e outra parede exposta voltada a Norte (para verão, sem obstruções devido a edificações vizinhas ou vegetação) e janela de um dormitório ou sala esteja

voltada a Sul e outra parede exposta voltada a Leste, adotando-se uma taxa de renovação de ar dos ambientes de 1 renovação/hora. A ABNT não aponta possíveis programas computacionais a serem utilizados, o que pode levar a adoção de programas não adequados para este fim, embora especifique métodos de cálculo de algumas propriedades térmicas para cobertura e fechamentos (ABNT, 2005a). O item A5 (ABNT, 2004, Parte 1, p.47) determina que o edifício que não atender aos critérios estabelecidos para a condição de verão, pode ser avaliado em uma situação mais favorável (taxa de renovação de ar de 5 renovações/hora e janela sombreada, impedindo 50 % da radiação total que entraria sem sombreamento). Entende-se que este procedimento favorece as soluções arquitetônicas que não satisfizem o critério mínimo. Os elementos de sombreamento fazem parte do projeto e devem ser avaliados junto com a proposta ou não devem ser considerados durante o processo de avaliação.

O *Procedimento 3* (ABNT, 2004, Parte 1, p.53) baseia-se na verificação do atendimento de requisitos e critérios por medições *in loco* em edificações ou protótipos na escala 1:1. Deve ser medida a temperatura do ar interno (temperatura de bulbo seco TBS) no centro dos dormitórios e sala, a 1,20 m do piso segundo as especificações da ISO 7726 (ISO, 1996). Para a região bioclimática a qual pertence Porto Alegre, a edificação submetida a medições *in loco* deve possuir uma janela de dormitório ou sala voltada a Oeste e outra parede exposta voltada a Norte. O dia tomado para análise deve corresponder a um dia típico de projeto (verão e inverno) e precedido pelo menos por um dia similar, sendo o ideal adotar-se uma seqüência de três dias similares, analisando-se o último da seqüência. O dia típico é caracterizado pelo valor de temperatura do ar externo medido no local. A ABNT (2004, Parte 1, p.50,51) apresenta valores de temperatura do ar externo para os dias típicos de algumas cidades brasileiras. Aspectos ambientais que não podem ser analisados de forma simplificada (tais como umidade relativa do ar, ventilação, temperatura radiante média) não são considerados pela abordagem. Em relação ao número de dias a serem considerados para análise a partir do dia típico, a escolha de três dias consecutivos para um clima como o da região de Porto Alegre, que apresenta ondas de calor e frentes frias com freqüência (SATTLER, 1987), pode não refletir o comportamento real da edificação.

A avaliação de desempenho térmico, segundo a abordagem da ABNT (2004), é feita através da verificação da satisfação do requisito relativo ao conforto térmico do usuário para condição de inverno e verão separadamente. Os critérios e níveis de desempenho para a condição de inverno são estipulados a partir de valores mínimos diários de temperatura do ar interno para os recintos de permanência prolongada (dormitórios e sala). Para o verão, são estipulados valores máximos diários de temperatura do ar interno para os mesmos recintos. A tabela 3 apresenta os critérios e níveis recomendados pela ABNT (2004, Parte 1, p.24).

Tabela 3. Critérios e níveis de desempenho térmico para Porto Alegre (ABNT, 2004).

nível de desempenho	critérios: temperatura do ar interno	
	inverno (temperatura mínima)	verão (temperatura máxima)
M (mínimo)	≥ 12,0°C	valor máximo diário da temperatura do ar externo à sombra
I (intermediário)	≥ 15,0°C	≤ 29,0°C
S (superior)	≥ 17,0°C	≤ 27,0°C

Observa-se que os valores de temperatura mínima do ar interno para a situação de inverno estão abaixo do limite inferior da zona de conforto recomendado por GIVONI (1992). A ABNT privilegia as condições de verão ao ser mais flexível com os limites de conforto para a situação de inverno, que, para populações mais carentes, pode ser mais crítico do que a situação de calor, uma vez que estas populações, muitas vezes, não possuem condições de manter sistemas de aquecimento artificial (fogão a lenha, fogareiros a brasa, etc.) e estão sujeitas a adquirir doenças respiratórias com mais facilidade neste período. O limite mínimo pode ser aceitável para curtos períodos diários, tal como algumas horas da madrugada, quando as pessoas em geral encontram-se dormindo e cobertas, mas não em horários de vigília.

2.2 Avaliação de desempenho por comparação com um padrão

TURIK (1988) propõe uma especificação por desempenho higrotérmico para habitações unifamiliares de interesse social, estabelecendo um método de comparação com uma edificação considerada padrão máximo atingido com a tecnologia disponível, considerando-se a região de Porto Alegre. Segundo o autor, o padrão adotado está relacionado às técnicas convencionais de construção, por todos conhecidas, e que são amplamente aceitas pela população. O trabalho consistiria, então, em medir o desempenho de uma edificação, notoriamente aceita como padrão, definir valores de referência a partir desse padrão, e, com base nos resultados encontrados, verificar a aceitabilidade ou não de outras soluções a partir da comparação de seu desempenho com o desempenho do padrão adotado. Como o próprio TURIK (1988, p.33) salienta, embora não seja o método ideal, apenas um procedimento transitório até definirem-se padrões absolutos, permite que cada região possa definir seu padrão a partir das técnicas, custos e mão-de-obra disponíveis, considerando o contexto climático e as expectativas da população, o que aumenta a probabilidade de sucesso das soluções adotadas.

TURIK (1988, p.34) defende a importância da materialidade do padrão: a comparação não é feita a partir de modelos abstratos, mas através de protótipos construídos e que podem ser submetidos a diferentes avaliações, em especial, a avaliação do usuário, cuja satisfação é o fim último da edificação e é a mais difícil de ser prevista. TURIK (1988, p.61) afirma que outros fatores além dos aspectos técnicos são relevantes para o desempenho higrotérmico das edificações e devem ser considerados, tais como: orientação solar, cores externas de paredes e fechamentos opacos das aberturas, orientação da cobertura, entre outros. Ou seja, não é suficiente apenas determinar propriedades térmicas dos fechamentos da edificação em termos quantitativos. Características ligadas à forma como tais fechamentos estão dispostos espacialmente têm relevância no comportamento térmico final da edificação.

TURIK (1988, p.35) refere-se à formulação das exigências de verão e inverno para a habitação. As características dos fechamentos e volumetria da edificação podem ser bastante diferentes ao se considerar seu desempenho para condições de inverno e verão. Isto é importante para o clima de Porto Alegre, que apresenta uma diversidade de situações climáticas durante o ano que muitas vezes leva a soluções totalmente diferentes para a edificação frente às necessidades de inverno e de verão, dificultando ainda mais a tomada de decisão durante a concepção do projeto. Isso poderá fazer com que a construção esteja subdimensionada ou superdimensionada em uma ou outra situação. Uma forma de abordar este problema é decidir se será privilegiada a solução que ameniza as condições de conforto para verão, desfavorecendo o conforto térmico no inverno ou vice-versa.

O autor define exigências mínimas de desempenho higrotérmico para os fechamentos de habitações unifamiliares térreas de interesse social, valores obtidos para uma habitação considerada o padrão inicial para o clima de Porto Alegre (vide tabela 4). Essa abordagem é mais abrangente do que o proposto pela ABNT, pois envolve a análise de temperaturas superficiais internas, pressão de vapor no interior dos fechamentos, heterogeneidade das temperaturas superficiais internas, diferença entre as temperaturas ambientais médias orientadas² e alguns outros requisitos qualitativos.

Em relação ao coeficiente volumétrico de perdas e ganhos de calor, é uma forma mais elaborada de considerar parâmetros térmicos indicados pela ABNT, a saber, transmitância térmica, atraso térmico e fator de ganho solar. A abordagem proposta inclui o efeito provocado pela proporção entre os diferentes tipos de fechamentos (opacos, transparentes, materiais, etc.), bem como características específicas da ventilação dos cômodos, o que torna a análise mais completa e complexa. Por outro lado, alguns critérios adotados para os requisitos fundamentam-se em experiências de outros contextos sócio-econômicos (outros países) o que pode não ser adequado à realidade brasileira. Além disso, os procedimentos matemáticos indicados pelo autor para cálculo dos parâmetros térmicos expostos na tabela 4, embora descritos claramente, exigem um esforço maior de cálculo e análise do que aqueles

² A temperatura ambiente média orientada $t_{amb\ or}$ é chamada pela ISO7726 de temperatura radiante plana T_{rp} .

procedimentos propostos pela ABNT (2004, 2005), o que pode dificultar o seu uso por um conjunto mais amplo de agentes do setor da construção civil.

Tabela 4. Exigências de desempenho higrotérmico para verão e inverno segundo TURIK (1988).

exigências higrotérmicas de inverno e verão			
requisitos	símbolo e unidade	critério	observações
coeficiente volumétrico de perdas e ganhos térmicos globais	GV (W/m ³ °C)	≤ 5,0 W/m ³ °C	limitar perdas e ganhos de calor da edificação como um todo
temperatura superficial interna das paredes, do forro e da cobertura	t_{si} (°C)	> 13,0°C	para evitar condensação superficial interna nas paredes, forro e cobertura, é calculado para uma temperatura do ar externo $te = 4^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa $UR = 70\%$
pressão de vapor num ponto interno às paredes ou forro			resistência dos fechamentos à passagem de vapor d'água
fator de heterogeneidade de temperatura superficial interna (razão máxima admitida na t_{si} entre dois pontos sobre a superfície da mesma parede)	ρ (adimensional)	≤ 1,5	para evitar pontes térmicas, surgimento de manchas de umidade, etc.
diferença entre temperaturas ambientes médias orientadas	Δt_{amb} (°C)	≤ 4,0 °C	evitar a sensação de desconforto por perdas ou ganhos por radiação
infiltração de ar máxima permitida nas esquadrias	inf (m ³ /h) por m ² de abertura	≤ 60 m ³ /h	para evitar a penetração de correntes de ar indesejáveis no inverno
ventilação higiênica	dispositivos de abertura das esquadrias		retirada do ar viciado sem incidência de correntes de ar sobre as pessoas
diferença de temperatura entre o ar no ático e superfície interna do forro	percentagem de pessoas insatisfeitas	≤ 10%	para evitar a sensação de desconforto do usuário devido a ganhos por radiação vindos do forro quente
ventilação de conforto	dispositivos de proteção das esquadrias		ventilar sem riscos à segurança ou entrada de insetos, sem incidir sobre ao corpo dos usuários
ventilação de conforto por janela ensolarada	dispositivos de sombreamento das esquadrias		evitar a penetração de radiação solar direta ou radiação de onda longa concomitante a ventilação desejável

2.3 Avaliação de desempenho higrotérmico por número de horas de desconforto admissíveis

BARBOSA (1997) propõe um método para especificar e avaliar o desempenho higrotérmico de edificações residenciais unifamiliares aplicada para a cidade de Londrina, no estado do Paraná. A pesquisa inclui o levantamento entre as quarenta COHABs existentes no Brasil com o intuito de identificar o sistema construtivo mais utilizado na habitação unifamiliar de interesse social por este órgão, considerando-se esse sistema como referencial cultural conhecido (BARBOSA, 1997, p. 4) de forma similar ao que foi proposto por TURIK (1988). Em paralelo, para Londrina, foi avaliada a sensação térmica dos usuários de cinco tipologias distintas voltadas à população de baixa renda, bem como medidas as temperaturas do ar interno e levantadas as características construtivas das edificações que fizeram parte da pesquisa. Estes dados serviram para o ajuste da ferramenta de simulação computacional (programa COMFIE³) adotada para avaliar várias alternativas construtivas,

³ COMFIE (*Calcul d'Ouvrages Multizones Fixe à une Interface Expert*) é descrito por BARBOSA (1.997).

estabelecendo-se horas anuais de desconforto promovidas pelas tipologias simuladas. A partir da satisfação dos usuários e das horas de desconforto indicadas na simulação, o trabalho permitiu estabelecer um limite máximo de horas de desconforto térmico admitido pela população considerada na pesquisa. Com este limite, o desempenho térmico mínimo desejável, para habitações de interesse social unifamiliares e térreas, para Londrina, pode ser parametrizado, em função de variáveis térmicas (transmitância térmica U , coeficiente de absorção α de superfícies, capacidade térmica C_T , entre outros). A pesquisa também demonstrou a validade da zona de conforto definida por GIVONI (1992), para países em desenvolvimento, para a realidade sócio-cultural do público-alvo. O método proposto por BARBOSA (1997) baseia-se na comparação das horas de desconforto promovidas por determinado sistema construtivo com as horas de desconforto consideradas aceitáveis para o referencial cultural assumido. A autora partiu da habitação tomada inicialmente como padrão cultural aceito, inserindo algumas modificações e simulando seu comportamento térmico com o uso do programa COMFIE. As alterações não modificavam a solução de compartimentação, mas a escolha de fechamentos opacos e tipos de aberturas (sombreamento e área para ventilação). A partir de várias simulações computacionais de variações melhoradas da referência assumida, a autora chegou ao limite de 1.000 horas de desconforto anuais (pouco mais do que 10 % de horas de desconforto no interior da habitação), valor plausível frente à prática construtiva vigente e aceito pelo público-alvo (BARBOSA, 1997, p. 217). Nesta abordagem, a ênfase de BARBOSA está na escolha do número de horas de desconforto admissíveis como o principal critério de avaliação.

A abordagem de BARBOSA (1997), ao relacionar o nível de satisfação dos usuários com o ambiente térmico interno ao desempenho térmico da edificação, está sujeita a variações temporais e espaciais, pois a tolerância das pessoas é mutável e difícil de determinar. Haveria necessidade de se fazer uma análise de tolerância em uma amostra mais significativa para delimitar as margens de aceitabilidade de condições térmicas para o ambiente. Esta abordagem exige que seja monitorada a percepção dos usuários em um período de pelo menos um ano, com medições *in loco* paralelas, e em diferentes realidades culturais e sociais, o que a torna bastante complexa e onerosa. Nem sempre é possível contar-se com a participação dos usuários para a coleta de informações sobre sua percepção além de envolver questões de segurança ao se expor instrumentos de medição durante um longo período em edificações habitadas. No entanto, a contribuição da autora, em relação a uma abordagem que defina valores para variáveis subjetivas relacionados à sensação de conforto dos usuários, associando-as a variáveis objetivas (horas de desconforto admissíveis), a fim de ajustar os métodos de avaliação, é importante. Tal abordagem permite incluir, numa análise *a priori*, possíveis variações locais relacionadas à cultura e aclimatação do usuário final da habitação. A relação entre o grau de satisfação dos usuários com a prática usual da construção de habitações deveria estender-se por todo o território nacional, a fim de permitir a consolidação de um banco de dados mais consistente. Além do exposto, a autora demonstrou que, com poucas alterações nos projetos que comumente vêm sendo construídos, sem custos adicionais relevantes, conseguem-se melhorias significativas no seu desempenho higrotérmico. A comprovação da aceitabilidade da zona de conforto de GIVONI (1992) para a população pesquisada pela autora (Londrina, pertencente à zona bioclimática 3) contrapõe-se ao limite inferior de temperatura preconizado pela ABNT (2005a), para aquela cidade, ou seja 18,0°C do primeiro autor contra os 12,0°C do segundo.

Em relação à adoção das horas de desconforto como critério na avaliação do desempenho higrotérmico de habitações, por ser expressa em termos absolutos, não considera o quanto estas horas estão afastadas do intervalo desejável de conforto. Neste caso, o conceito de graus-hora e graus-médios (GOULART, 1997) se mostra mais adequado, uma vez que permitem não apenas a análise do número de horas de desconforto, mas incluem o quanto a temperatura do ar interno da edificação está afastada dos limites desejáveis para a zona de conforto térmico. Além disso, não há diferenciação do número de horas de desconforto por calor e por frio. MORELLO (2005) sugere que o número de horas de desconforto admissíveis para uma edificação, quando não for possível levantar-se o grau de aceitabilidade dos usuários, seja o correspondente ao número de horas de desconforto que não podem ser resolvidas através do condicionamento térmico passivo, ou seja, que não podem ser resolvidas através do projeto arquitetônico, conforme as zonas fornecidas pela carta bioclimática de GIVONI

(1992). Esta seria uma forma direta de estipular a percentagem de horas de desconforto admissíveis enquanto não se possuem referências mais acuradas, e de fácil compreensão por parte dos projetistas.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da revisão aqui encaminhada, evidencia-se a riqueza de propostas para avaliação de desempenho higrotérmico de habitações, em especial, habitações de interesse social. A busca pela qualidade destas habitações passa pela sua avaliação e um método padrão que possa satisfazer as especificidades culturais de cada região do país seria uma importante ferramenta para o contínuo beneficiamento da qualidade de tais edifícios. As abordagens apresentadas possuem pontos importantes que devem ser perseguidos e combinados em uma abordagem mais ampla, tais como: as horas de desconforto, os limites de conforto térmico considerados, graus-hora e graus-médios, a consideração de requisitos qualitativos que podem ser admitidos ainda na fase de concepção do projeto, entre outros. Pode-se partir de um conjunto geral de requisitos com seus respectivos critérios adaptados às diferenças regionais, tal como proposto pela ABNT, porém ampliando-se o número de parâmetros térmicos sendo avaliados. A importância de cada requisito pode ser ponderada em relação ao conjunto como um todo, baseando-se na prática construtiva local e na tolerância da população alvo frente às condições climáticas típicas.

4 REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos* – Parte 1: Requisitos Gerais (Projeto n.: 02: 136.01.001); Parte 4: Fachadas e paredes internas (Projeto n.: 02: 136.01.004); Parte 5: Coberturas (Projeto n.: 02: 136.01.007). Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 53p, 38p., 48p.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 15220-2: *Desempenho térmico de edificações*: Parte 2: métodos de cálculo de transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005a. 27p.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. 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, 2005b. 28p.
- BARBOSA, Miriam Jerônimo. *Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares*. 1997. 374f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.
- BRASIL. Constituição 1988. Santa Maria: Imprensa Universitária/UFSM, 1989. 40p.
- FORTES, Amyr Borges. *Geografia física do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Globo, 1959. 393p.
- GIVONI, Baruch. Comfort, climate analysis and building design guidelines. *Energy and Buildings*, vol. 18, 1.992. p. 11-23.
- GOULART, Solange. *Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras*. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção / UFSC, 1.997. 345p.
- ISO – International Organization for Standardization. ISO 7726: *Ergonomics of the thermal environment: instruments for measuring physical quantities*. Genebra, 1.996, 66p.
- MORELLO, Alessandro. *Avaliação do comportamento térmico do protótipo habitacional Alvorada*. 2005. 178f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). UFRGS. Porto Alegre.
- SATTLER, Miguel Aloysio. *Computer-based design techniques for the thermal analysis of low cost housing in Brazil, incorporating the uso of shading by trees*. 1.987. 95f. Thesis (Doctor of Philosophy). Faculty of Architectural Studies. Department of Building Science. University of Sheffield. Sheffield. UK. (com anexos).
- TURIK, Nelson. *Estabelecimento de exigências de desempenho higrotérmico da envolvente de habitações populares térreas: estudo aplicado à casa COHAB Tipo RS 16_I.3-42*. 1988. 267f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). UFRGS. Porto Alegre.