

AMABELLI D'ELL SANTO, CRISTINA ENGEL DE ALVAREZ E EDNA APARECIDA NICO-RODRIGUES

Conforto e desempenho térmico em contradição na NBR 15575

Thermal comfort and performance in contradiction in NBR 15575

Amabelli D'ell Santo é Mestranda em Engenharia Civil pela UFES. Pós-graduada em Educação Ambiental pela Universidade Candido Mendes (2008) e em Conforto e Edificações Sustentáveis pela Universidade Gama Filho (2009).

E-mail: arquitetura@amabeli.com.br.

Cristina Engel de Alvarez é Arquiteta e Urbanista pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Mestre e Doutora em Arquitetura e Urbanismo pela USP. Professora Associada da Universidade Federal do Espírito Santo, Membro de corpo editorial da Farol (Vitória), Membro da Câmara de Assessoramento da Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo, entre outras Câmaras, atuando principalmente nos temas: sustentabilidade, locais remotos, ecoarquitetura, metodologia, meio ambiente e projeto de arquitetura.

E-mail: engelalvarez@hotmail.com.

Edna Aparecida Nico-Rodrigues é Graduada em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal do Espírito Santo (1991), Mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo (2008). Atualmente é professora titular da Universidade Federal do Espírito Santo. Tem experiência na área de Arquitetura e Urbanismo, com ênfase em Eficiência energética nas edificações, atuando, principalmente, nos temas: tecnologia, conforto ambiental e arquitetura bioclimática.

E-mail: ednanr@terra.com.br.

RESUMO

Minimizar o consumo energético nas edificações, referenciais de conforto térmico em ambientes não climatizados têm sido alvo de pesquisa em muitos países, tendo como alusão o conforto adaptativo. A normativa brasileira NBR 15575-1 define os parâmetros de desempenho térmico para adoção nos procedimentos de simulação computacional em habitações ventiladas naturalmente, não considerando o usuário como fator decisivo na classificação dos níveis de desempenho da mesma. O objetivo desta pesquisa foi avaliar os parâmetros relacionando-os com o conforto adaptativo da ASHRAE e o índice Frequência de Desconforto Térmico (FDT). A metodologia adotada foi alicerçada em simulações para uma situação modelo padrão de unidade habitacional com dois dormitórios e área de aproximadamente 70m² localizado na cidade de Vitória - ES, sendo os dados obtidos avaliados a partir de três aspectos de enfoque específicos: a variação do período de simulação; a variação de ocupação e de ganhos térmicos internos e os critérios de avaliação de desempenho térmico. Os resultados demonstraram que a extrema simplificação da análise de desempenho térmico da NBR 15575-1 e a ausência de correlação com referenciais de conforto térmico tornam esta metodologia vulnerável. A simulação do dia típico de projeto de verão, a análise somente de valores máximos diários de temperatura e a não consideração de ocupação e ganhos térmicos no ambiente geraram resultados distorcidos, cuja ampliação do período de análise comprovou a inadequabilidade do método. O comparativo utilizando a FDT confirmou que deveriam ser considerados parâmetros mínimos de conforto para a classificação de desempenho da edificação na NBR.

Palavras-chave: ASHRAE 55. Conforto térmico. Desempenho térmico. NBR 15575.

ABSTRACT

Minimize the energy consumption of the buildings, thermal comfort benchmarks in non-air conditioned environments have been the subject of research in many countries, taking as reference the adaptive comfort. The Brazilian standard NBR 15575-1 defines the parameters of thermal performance to be adopted in procedures of computer simulation in naturally ventilated dwellings, not considering the user as a decisive factor in the classification of performance levels of them. The aim of this research was to evaluate those parameters, linking them to the ASHRAE's adaptive comfort and the Frequency of Thermal Discomfort (FTD). The methodology was based on simulations for a standard model of housing with two bedrooms and area of approximately 70 square meters located in Vitória city - ES, and the data obtained were evaluated from three specific focus aspects: variation of the simulation period; variation of occupation and internal thermal gains and criteria for thermal performance evaluation. The results showed that the extreme simplification of the thermal performance analysis from NBR 15575-1 and the absence of correlation with thermal comfort benchmarks make this methodology vulnerable. Simulation of a typical day of summer design, analysis only the daily maximum temperature values and no consideration of occupation and thermal gains in the environment yielded results distorted whose enlargement of the period of analysis confirmed the inappropriateness of the method. The comparison using the FTD confirmed that the minimum parameters of comfort should be considered for the building performance rating in NBR.

Keywords: ASHRAE 55. NBR 15575. Thermal comfort. Thermal performance.

Introdução

O conforto térmico é de fundamental importância para a satisfação do usuário, e quando um edifício não proporciona conforto em seu interior influencia diretamente no consumo energético, considerando que os ocupantes tendem a tomar medidas para torná-lo confortável, por exemplo, o uso de ar-condicionado (ROAF, CRICHTON e NICOL, 2009).

O estudo do desempenho térmico para edifícios ventilados naturalmente se fundamenta por apresentarem grande potencial para o uso racional de energia, desejável no setor da construção civil, e por estes proporcionarem ambientes internos com percentagens elevadas de satisfação dos ocupantes (CÂNDIDO, 2010).

A intensificação de pesquisas em ambientes ventilados naturalmente tem demonstrado uma preocupação, especialmente nos países tropicais, na definição de edifícios que viabilizem o uso mais ostensivo da ventilação natural como condicionante térmico passivo. Nesse sentido, o conforto adaptativo tem sido amplamente referenciado como modelo preditivo de conforto para estes tipos de edifícios. Para Humphreys, Rijal e Nicol (2013), o modelo adaptativo de conforto térmico é uma abordagem que não parte do pressuposto da teoria da troca de calor, mas das adaptações comportamentais que os ocupantes realizam para ficarem confortáveis. Os ocupantes se adaptam ao ambiente, fazendo alterações em suas vestimentas, posturas e atividades; e, também, adaptam o seu ambiente para a sua exigência atual com ações como abrir/fechar janelas. Por meio de tais processos pessoais busca-se o equilíbrio dinâmico com o meio envolvente.

A metodologia do conforto adaptativo considera a temperatura como fator primordial para a determinação da aceitabilidade de conforto térmico do usuário para um determinado clima e edifício. Esta relação é especialmente útil ao ser aplicada quando um edifício está operando sem qualquer sistema de climatização artificial e permite que os projetistas verifiquem, por meio de simulação térmica, se um projeto é capaz de proporcionar conforto térmico durante uma estação quente, sem refrigeração mecânica (HUMPHREYS, RIJAL e NICOL, 2013). Tais relações são ferramentas projetuais úteis e são incluídas em algumas das normas atualmente válidas, como a americana ASHRAE 55 (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, 2004) e a europeia EN 15251 (COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION, 2007).

No Brasil, as normativas referentes à melhoria da eficiência energética nas edificações foram aprovadas em 1985, com o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), objetivando a racionalização da produção e consumo de energia elétrica. Em 2005 foi aprovada a NBR 15220 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005a, 2005b, 2005c) relativa ao desempenho térmico de edificações. Entre outros aspectos, suas partes normatizam o zoneamento bioclimático brasileiro associado às diretrizes

construtivas para habitações unifamiliares de interesse social por meio de estratégias de condicionamento térmico passivo.

Sancionada em 2008, a NBR 15575, quarta edição (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a, 2013b), estabelece requisitos e critérios de desempenho aplicáveis às edificações habitacionais, determinando as condições de habitabilidade por meio de requisitos dos usuários expressos por diversos fatores, dentre os quais o desempenho térmico dos ambientes.

As normativas brasileiras apresentam para a análise do desempenho da edificação um método prescritivo – que descreve os critérios para a avaliação do desempenho térmico –, e outro que utiliza a simulação computacional, sendo tais alternativas propostas pela NBR 15575-1. Destaca-se que o foco desta norma está nos requisitos do usuário para o edifício habitacional voltado para seu comportamento em uso, não sendo direcionado para a prescrição de como os sistemas devem ser construídos, caracterizando-se, assim, como uma norma complementar às prescritivas sem, no entanto, substituí-las (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a).

Partindo do pressuposto de que a norma de desempenho é estabelecida para atender aos requisitos do usuário (qualitativos), por meio da definição de critérios (quantitativos) e métodos de avaliação, no caso do desempenho térmico os requisitos do usuário referem-se ao conforto térmico, e o método de avaliação deveria permitir a mensuração do atendimento a tal requisito. Constata-se, no entanto, que a NBR 15575-1 não aborda ou recomenda indicadores de conforto térmico.

As normas atualmente válidas, americana e europeia, ao contrário da brasileira, foram elaboradas com base em pesquisas de aceitabilidade térmica dos ambientes pelo usuário (BRAGER e DEAR, 1998; NICOL e HUMPHREYS, 2010). A partir de um modelo que define índices de conforto térmico aceitáveis pelo usuário (no caso EN 15251), Sicurella, Evola e Wurtz (2012) propõem um método para mensurar a frequência das condições de conforto/desconforto no interior dos ambientes, por meio de um modelo estatístico para conforto térmico e visual.

Considerando o exposto, este estudo propôs uma investigação dos parâmetros de desempenho térmico para ambientes ventilados naturalmente, definidos na NBR 15575-1, com o uso da simulação computacional e foco no conforto térmico do usuário, utilizando como modelo preditivo o conforto adaptativo proposto pela ASHRAE e a metodologia de avaliação de conforto térmico utilizada por Sicurella, Evola e Wurtz (2012), descritos a seguir.

Metodologia

O procedimento de avaliação investigou parâmetros de desempenho térmico para edificações residenciais ventiladas naturalmente e de conforto térmico dos usuários. Foram aplicados os critérios da NBR 15575-1, e a avaliação dos parâmetros de conforto foi baseada no método de Sicurella, Evola e Wurtz (2012), que adota indicadores fundamentados em uma abordagem estatística, dentre os quais a Frequência de Desconforto Térmico (FDT) utilizada na pesquisa. Os resultados consideraram a classificação do nível de desempenho definido na normativa brasileira e o modelo de conforto adaptativo da ASHRAE. O instrumento adotado para obtenção de dados foi a simulação de desempenho térmico por meio do *software DesingBuilder*, v.3.

Considerando o Zoneamento Bioclimático Brasileiro, definido na NBR 15.220-3 (2005), selecionou-se para análise a zona bioclimática 8 (ZB8), por ter maior abrangência (53,7% do território nacional) e por definir nas estratégias aberturas maiores, destacando a necessidade da ventilação natural para a obtenção do conforto térmico. Foram considerados os critérios de avaliação apenas para o período do verão, visto que o critério de inverno não precisa ser verificado para ZB8, conforme a NBR 15575-1. Os estudos foram direcionados para cidade de Vitória-ES.

Norma Brasileira de Desempenho

O requisito de desempenho térmico para o verão consiste em condições térmicas para o interior do edifício habitacional, com temperaturas menores ou iguais às do ambiente externo, à sombra, para o dia típico de projeto de verão, sendo este definido pela NBR 15575-1 simplesmente como: o dia mais quente do ano segundo a média do período dos últimos dez anos. A norma apresenta dados de dias típicos de projeto de verão para algumas cidades brasileiras, inclusive para Vitória, cujo valor de temperatura máxima diária é de 34,6°C.

Para a avaliação do desempenho, a NBR 15575-1 considera a simulação computacional e define os valores de temperatura interna máxima diária para os recintos de permanência prolongada, como salas e dormitórios, desconsiderando fontes internas de calor, como ocupantes, lâmpadas e equipamentos em geral. A classificação dos níveis de desempenho varia entre mínimo, intermediário e superior, e, esta é atingida ou não, em função da diferença entre o valor máximo diário da temperatura externa e interna, sendo que, quanto maior a diferença, melhor o desempenho da edificação. Para o nível de desempenho superior considera-se, ainda, a relação entre os valores mínimos diários de temperatura externa e interna (Figura 1).

Figura 1

Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão para zona bioclimática 8.

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013a).

Nível de desempenho	Critério
Mínimo	$T_{i, \text{máx}} \leq T_{e, \text{máx}}$
Intermediário	$T_{i, \text{máx}} \leq (T_{e, \text{máx}} - 1^\circ\text{C})$
Superior	$T_{i, \text{máx}} \leq (T_{e, \text{máx}} - 2^\circ\text{C})$ e $T_{i, \text{mín}} \leq (T_{e, \text{mín}} + 1^\circ\text{C})$

$T_{i, \text{máx}}$ - valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius

$T_{e, \text{máx}}$ - valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius

$T_{e, \text{mín}}$ - valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius

$T_{i, \text{mín}}$ - valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius

Norma Americana de Conforto Adaptativo

O diagrama do modelo de conforto adaptativo da ASHRAE foi derivado de uma base de dados global de 21.000 medições realizadas, principalmente, em edifícios de escritórios, relacionando as médias mensais de temperatura externa com intervalos de temperaturas internas consideradas confortáveis para 80% e 90% dos usuários (BRAGER e DEAR, 1998).

As diferenças nas variações fisiológicas e psicológicas de cada pessoa são aspectos que impedem a definição de um nível de 100% de satisfação para todos, em um mesmo espaço, visto que as condições necessárias para obtenção do conforto não são iguais para os diferentes usuários. Assim, os limites de aceitabilidade de 90% devem ser usados quando se deseja um padrão mais elevado de conforto térmico (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, 2004).

Destaca-se que a NBR 15575-1 trata de edificações habitacionais e o modelo de conforto adaptativo da ASHRAE é fruto de uma pesquisa em edifícios de escritórios e sua elaboração considerou as exigências de conforto térmico para os usuários desta tipologia. O mesmo foi tomado como parâmetro, no entanto, pela ausência de referenciais de conforto adaptativo nas normativas brasileiras. Ressalta-se que o modelo adaptativo da ASHRAE já foi pesquisado para o clima brasileiro.

Experimentos de campo realizados por Cândido, Dear e Lamberts (2011) no clima quente-úmido do Brasil registraram compatibilidade em relação à aceitabilidade térmica acima de 89%, dentro da faixa de temperatura de conforto prescrita na ASHRAE 55. Salienta-se, porém, que para as condições climáticas brasileiras o usuário necessitaria de valores mais elevados da velocidade do vento para aceitabilidade ao movimento do ar ao serem comparados aos definidos pela normativa americana.

Indicador de conforto térmico - FDT

Sicurella, Evola e Wurtz (2012) propõem uma metodologia que introduz indicadores baseados em abordagem estatística para a avaliação de conforto térmico e visual. Os indicadores para o conforto térmico, relacionados a seguir, foram definidos ao se considerar um intervalo de conforto que utiliza a variável temperatura operativa. Acima do limite superior de temperatura de conforto, os ocupantes têm a sensação de calor e, abaixo do limite inferior, a maioria das pessoas estaria em desconforto térmico, com sensação de frio.

- **Frequência de Conforto Térmico (FCT):** percentagem de tempo durante o qual as condições de conforto térmico no interior da edificação são atingidas;
- **Frequência de Desconforto Térmico (FDT):** percentagem de tempo em que a temperatura operativa está acima ou abaixo do intervalo de conforto;
- **Intensidade de Desconforto Térmico (IDT):** mensura o quanto um ambiente pode acumular mais calor, evidenciando diferenças para os casos que possuem o mesmo valor de frequência de desconforto.

Este método pode ser aplicado para períodos de um dia, mês ou ano, dependendo da análise que se pretende. Esta abordagem pode ser utilizada, por exemplo, para avaliar a influência do tamanho e da tipologia de uma janela no desempenho térmico dos ambientes internos (SICURELLA, EVOLA e WURTZ, 2012). Neste trabalho foi utilizada a FDT para o calor e os limites de conforto foram estabelecidos de acordo com 90% de aceitabilidade térmica do modelo de conforto adaptativo da ASHRAE.

Variáveis

Com base no exposto, a metodologia utilizada neste trabalho foi delineada a partir da observação de pontos identificados na NBR 15575-1, definindo-se as seguintes variáveis: o **período de simulação**, a **ocupação** e **ganhos térmicos internos** e a **temperatura**.

Período de simulação

O período de simulação estipulado pela NBR é o dia típico de projeto de verão. Para determinar esse dia no arquivo climático de Vitória foi realizada a simulação do sítio e identificados os valores máximos de temperatura externa para cada dia do verão (Figura 2), identificando o dia 20 de março com o mesmo valor de temperatura dado pela norma para Vitória (34,6°C).

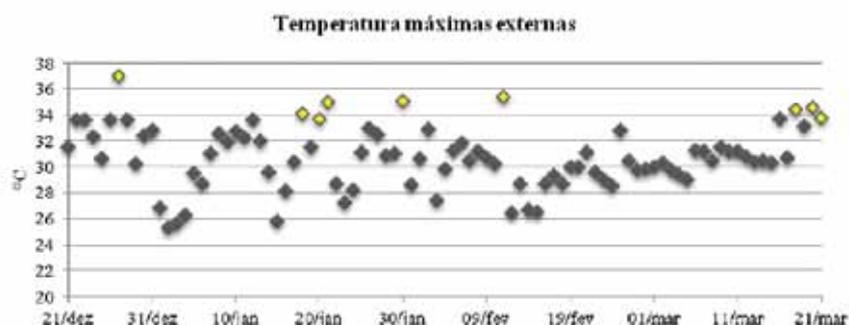
Este período, além de representar uma situação crítica para o calor, não possui representatividade estatística. Pelo Teorema Central do Limite sabe-se que quanto maior o tamanho da amostra a distribuição da variável tende à normalidade e a magnitude do erro diminui.

Com vistas a uma análise mais criteriosa de desempenho em relação aos dias mais quentes, foi estabelecido como recorte 10% do período simulado, resultando em 9 dias mais quentes (destacados em amarelo).

Figura 2

Temperaturas máximas externas obtidas pela simulação do sítio do arquivo climático de Vitória, com destaque em amarelo para os 9 dias – 10% da amostragem – com maiores picos de temperaturas.

Fonte: Elaborado pelos próprios autores.



Com objetivo de uma análise mais abrangente, optou-se por analisar ainda todos os dias do verão. Assim, foram estipulados como períodos de simulação 1, 9 e 91 dias (verão completo).

Ocupação e ganhos térmicos

Para os aspectos inerentes à ocupação e ganhos térmicos internos, o ambiente proposto pela norma deve estar desocupado, ou seja, sem a presença de pessoas e sem ganhos térmicos internos devido ao uso de equipamentos ou iluminação artificial. Este critério contradiz no que se refere ao desempenho térmico de um ambiente que está relacionado com o conforto do usuário, destacando-se, principalmente, que a presença de ocupantes interfere no desempenho térmico do ambiente. Frota e Schiffer (2007) destacam que 80% da energia adquirida pelo organismo humano, através do metabolismo, transformam-se em calor que deve ser dissipado para que o organismo seja mantido em equilíbrio.

O pressuposto fundamental da abordagem adaptativa é expresso pelo princípio de que se ocorrer uma mudança que gere desconforto, os usuários reagem de maneira que tendem a restaurar o seu conforto. Ao vincular as ações dos usuários para o conforto, o princípio de adaptação relaciona a temperatura de conforto com o contexto em que os ocupantes se encontram; assim, a temperatura de conforto é um resultado da interação entre os usuários e o ambiente que estão ocupando (ROAF, CRICHTON e NICOL, 2009). Desta forma, no modelo adaptativo, ao contrário da norma brasileira, considera-se o ambiente ocupado e em funcionamento normal.

Assim, visando correlacionar as duas normativas e verificar a influência da ocupação e dos ganhos térmicos no nível de desempenho da edificação, optou-se por variar o tipo de ocupação.

Temperatura

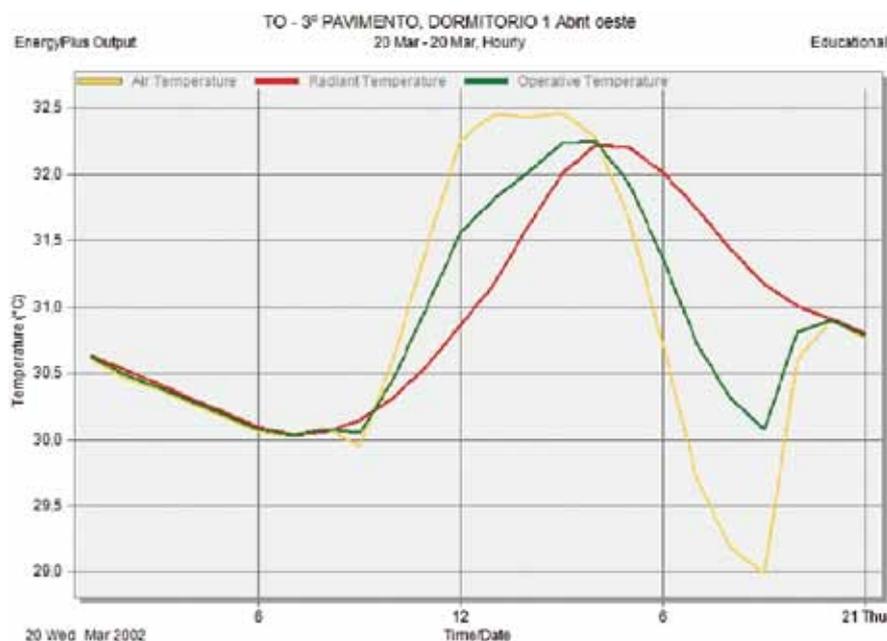
Outro ponto observado relaciona-se à variável temperatura. A norma brasileira considera os valores de temperatura do ar, enquanto a ASHRAE e a EN 15251 utilizam a temperatura operativa como principal variável de análise de conforto térmico. No Brasil, o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais – RTQ-R (BRASIL, 2010) utiliza também os valores de temperatura operativa.

A temperatura operativa é resultante da temperatura do ar interna e da temperatura radiante média, variando de acordo com a velocidade do ar. A avaliação do conforto térmico considerando apenas a temperatura do ar pressupõe que a temperatura radiante – que representa, por exemplo, o ganho térmico da edificação acumulado devido à incidência da radiação solar – não é um fator importante. Observa-se (Figura 3) que a partir de um determinado horário, a temperatura do ar diminui bruscamente, mas a temperatura radiante acumulada aquece o ambiente, influenciando a temperatura operativa.

Figura 3

Temperatura do ar, temperatura radiante e temperatura operativa para o mesmo dia.

Fonte: DesignBuilder v3 (2012).



Para não descaracterizar cada metodologia analisada, optou-se por manter, na análise de desempenho da NBR, a temperatura do ar; e para os cálculos de FDT, a temperatura operativa.

A partir das considerações expostas, foram definidas as variáveis independentes e dependentes que norteariam o comparativo entre os critérios de desempenho térmico e o referencial de conforto utilizado – o índice FDT (Figura 4).

Figura 4

Variáveis.

Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

Variáveis independentes	Variáveis dependentes
<p>Período de simulação</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ dia típico de projeto de verão ▪ 9 dias mais quentes ▪ 91 dias do verão <p>Ocupação e ganhos térmicos internos</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ambiente desocupado e sem fontes de ganhos térmicos ▪ Ambiente ocupado e com fontes de ganho térmico por utilização de iluminação artificial 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Níveis de desempenho térmico – NBR 15575-1 (temperatura do ar) ▪ Frequência de desconforto térmico – FDT (temperatura operativa)

Foram estabelecidos dois grupos para realização das simulações: o primeiro grupo considerou a variação do período; e o segundo a variação da ocupação e ganhos térmicos. Para cada grupo de variáveis independentes foram gerados resultados para a análise do desempenho térmico e do conforto térmico, conforme sintetizado (Figura 5).

Figura 5

Esquema dos resultados da simulação a serem avaliados.

Fonte: Elaborado pelos próprios autores.



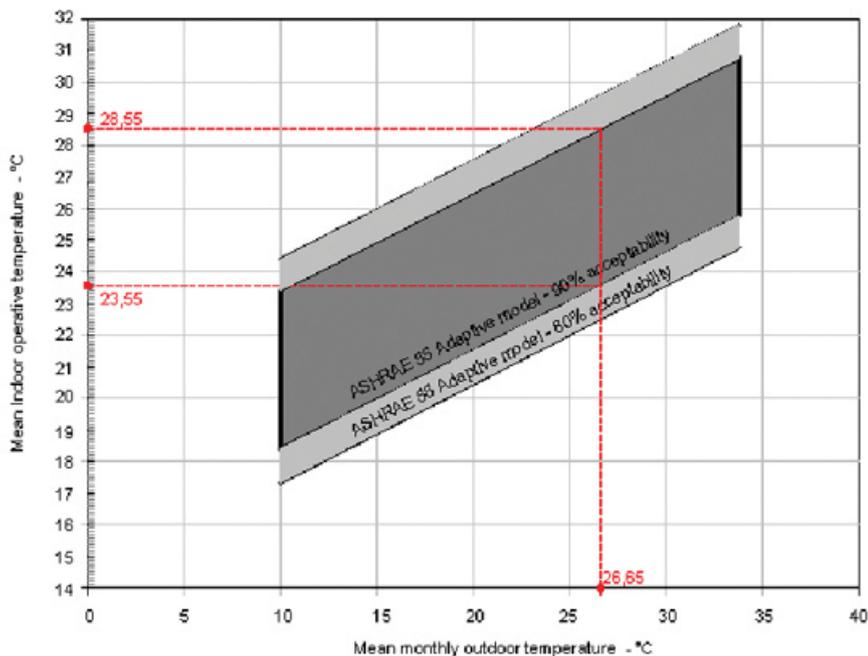
Para classificação do nível de desempenho, segundo os critérios da NBR 15575-1, foi observada a diferença entre a temperatura máxima diária externa e interna para cada período de simulação estipulado. Os resultados finais representam a frequência de ocorrência do nível de desempenho predominante em cada período.

Para definição da FDT foram obtidas, por meio das simulações do sítio, os valores médios mensais de temperatura do ar externo, lançados no diagrama do modelo de conforto adaptativo da ASHRAE (Figura 6) e obtidos os intervalos de temperatura operativa de conforto adaptativo considerando 90% de satisfação.

Figura 6

Modelo de conforto adaptativo, destacando a média mensal externa para o mês de março e o intervalo de temperatura operativa.

Fonte: Adaptado de ASHRAE 55 (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, 2004).



A partir da definição dos intervalos de temperatura de conforto foram identificados os limites superiores de temperatura operativa para o conforto (Figura 7), considerando que acima destes valores os ocupantes estariam em desconforto térmico para o calor.

Figura 7

Médias mensais das temperaturas externas e intervalos de conforto térmico.

Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

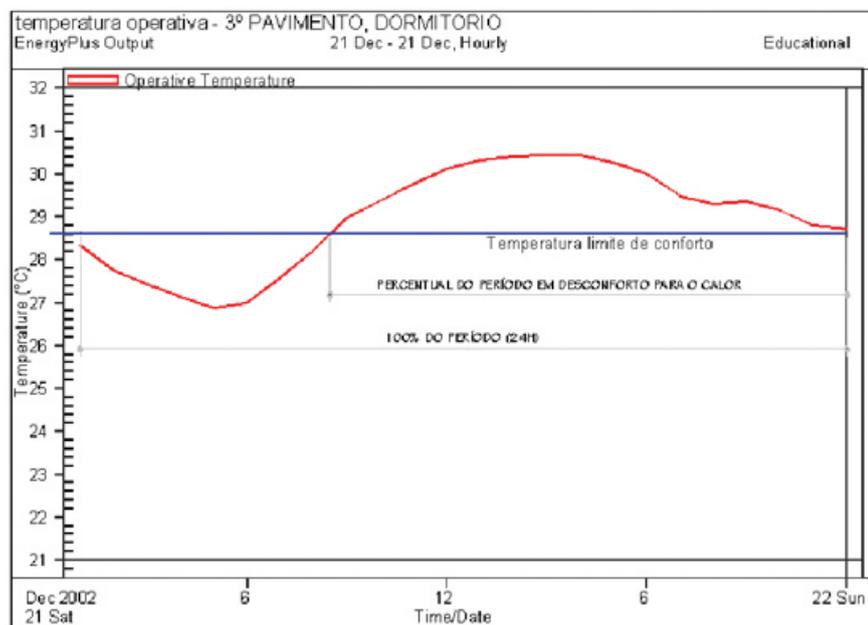
Meses	Média mensal da temperatura externa	Intervalo de conforto (temperatura operativa)
Dezembro	26,86°C	23,6 – 28,6°C
Janeiro	26,35°C	23,45 – 28,45°C
Fevereiro	25,76°C	23,25 – 28,25°C
Março	26,65°C	23,55 – 28,55°C

Foram gerados gráficos com os valores de temperatura operativa para cada dia do verão. As temperaturas limites superiores de conforto (temperatura operativa) para cada mês analisado foram marcadas em cada um destes gráficos (Figura 8) e, a partir deste parâmetro, foi calculada a FDT. Os resultados finais indicam as médias das Frequências de Desconforto Térmico encontradas para cada período simulado.

Figura 8

Exemplo cálculo FDT.

Fonte: Elaborado pelos próprios autores.



Software de simulação de desempenho térmico

O simulador utilizado para a identificação e análise do desempenho térmico foi o *DesignBuilder v3* (DESINGBUILDER, 2012), que utiliza a calculadora do *Energy Plus v7* e permite analisar sistemas de aquecimento, resfriamento, possuindo o módulo CFD (*Computational Fluid Dynamic*), e é recomendado pelo Procel Info (BRASIL, 2013) para modelagem de edifícios e simulações de desempenho termoenergético.

A validação de um programa é a principal forma de verificar a precisão dos resultados. Um método de validação amplamente aceito na atualidade e adotado pela ASHRAE Standard 140 (ASHRAE, 2001) é o *BESTest* (*Building Energy Simulation test*), que consiste em um teste comparativo entre diferentes programas. Outra forma de validação, de acordo com Judkoff e Neymark (1998, *apud* WESTPHAL e LAMBERTS, 2004) é a verificação empírica, a partir do comparativo entre medições em um caso real e resultados simulados.

Costa (2013) aplicou o *BESTest* comparando os resultados do *DesignBuilder* com o *Energy Plus* e concluiu que as diferenças obtidas nos consumos energéticos anuais não foram significativas, validando a utilização deste programa para a análise de desempenho termoenergético. Baharvand *et. al.* (2013) validaram o *Design Builder* por meio da comparação dos resultados simulados com dados experimentais. Os autores examinaram a temperatura e a velocidade do ar e compararam a medição de dados com resultados do CFD atestando o uso deste *software* para prever valores de temperatura interna e velocidade do ar com boa precisão.

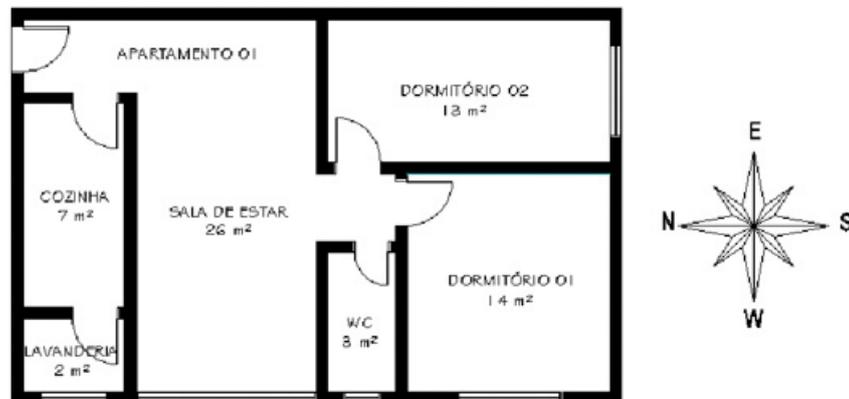
Características do modelo virtual

O modelo virtual utilizado nas simulações possui tipologia residencial multifamiliar com dois dormitórios e área de aproximadamente 70m², de acordo com o 20º Censo Imobiliário da Grande Vitória (SINDUSCON-ES, 2011), que constatou a crescente procura por imóveis com essas características (Figura 9). O RTQ-R (BRASIL, 2010) propõe um modelo base de edificação residencial multifamiliar para simulação, em consonância com estes objetivos e o mesmo foi adotado como referencial para esta pesquisa.

Figura 9

Planta do modelo virtual utilizado.

Fonte: Adaptado de Sorgato, Versage e Lamberts (2011).



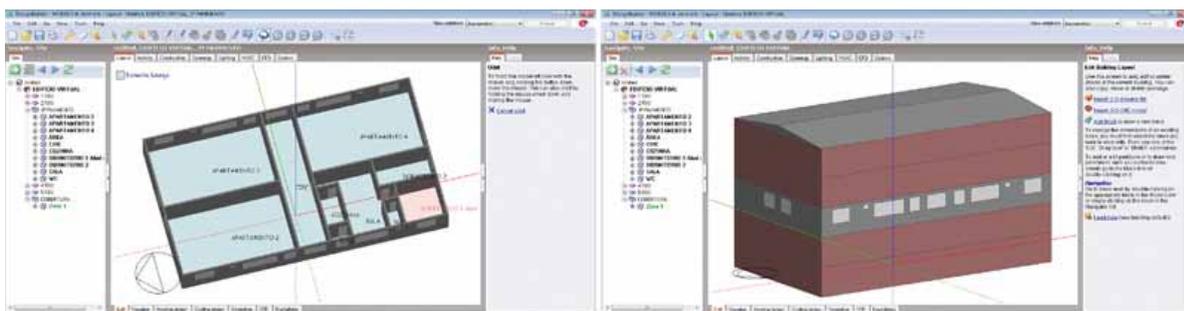
Para a geometria do modelo de simulação foi considerada a habitação como um todo (apartamento tipo), sendo cada ambiente uma zona térmica, para uma edificação de cinco pavimentos (Figura 10). O ambiente simulado foi o dormitório 1, do terceiro andar, com a janela orientada para o oeste. A definição do andar intermediário tem como objetivo isolar a influência das perdas térmicas pelo solo e dos ganhos térmicos pela cobertura, proporcionando maior influência da fachada, verificada no posicionamento do dormitório, que recebe influência simultânea de duas orientações nas paredes externas. A orientação da janela para a fachada oeste segue a recomendação definida pela NBR 15575-1 para simulação de desempenho térmico.

Figura 10

a) Planta do 3º andar do modelo virtual;

b) Volumetria.

Fonte: DesignBuilder v3 (2012).



Em relação ao dimensionamento das aberturas para ventilação, a NBR 15220-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005c) recomenda para ZB8 vãos sombreados, com área igual ou acima de 40% da área do piso do ambiente. Entretanto, o modelo utilizado considerou a área de abertura de 8% da área de piso definido como mínimo pela NBR 15575-4 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b) para a mesma zona. A última norma considera, como condição “padrão” para o procedimento de simulação computacional, a ausência de sombreamento, assim, o modelo analisado não possui proteção solar. Os materiais utilizados nas janelas são os de uso comum na região analisada – duas folhas em vidro incolor 6mm com molduras em alumínio.

O procedimento normativo simplificado para avaliação da adequação de habitações quanto ao desempenho térmico considera, conforme NBR 15575-4, para paredes externas da edificação os valores de capacidade térmica e transmitância térmica, definidos pela NBR 15220-2 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b) (Figura 11).

Figura 11

Dimensões gerais e propriedades dos materiais da envoltória adotados nas simulações.

Fonte: NBR 15220-2

Dimensões		
- Área do ambiente (dormitório)		14,5 m ²
- Área da janela		2,379 m ²
- Área de ventilação		1,16 m ²
Envoltória		
- Paredes: tijolos 8 furos quadrados (9x19x19 cm), emboço de 2,5 cm em ambas as faces		14 cm (espessura)
- Transmitância térmica paredes (U)		1,76 W/(m ² .K)
- Lajes: concreto, reboco na face inferior, contrapiso e piso na face superior		14 cm (espessura)
- Transmitância térmica das lajes (U)		2,7 W/(m ² .K)
- Emissividade (ε) das paredes e piso		0,9
- Absortância (α) das paredes e piso		0,3
- Transmitância térmica do vidro incolor 6 mm (U)		5,77 W/(m ² .K)
- Transmitância térmica da moldura de alumínio da janela (U)		5,88 W/(m ² .K)

O modelo de ventilação configurado no *DesingBuilder* foi a ventilação natural calculada, em que a ventilação e as taxas de infiltração de fluxo de ar são calculadas com base nas dimensões das aberturas e frestas, nas programações de operação das janelas e na flutuabilidade das pressões dos ventos. Seguindo este conceito, as janelas foram desenhadas individualmente e seu modo de operação foi configurado com 50% de abertura (janela com sistema de abertura do tipo de correr) para o período de 8h00 a 21h00 e fechada 0% de abertura, de 21h00 a 8h00. O padrão de ocupação foi configurado conforme detalhado (Figura 12).

Figura 12

Ocupação e cargas térmicas.

Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

	Ambiente desocupado	Ambiente ocupado e com cargas internas
- Densidade de ocupação	0 pessoas/m ²	0,14 pessoas/m ²
- Vestimenta	-	0,5 clo
- Metabolismo	-	90 W
- Atividade – leitura	-	115 W/pessoa
- Padrão de ocupação: 2 pessoas	-	100% de ocupação/24h
- Iluminação artificial	-	5 W/m ²
- Ar cond. e outros equipamentos	-	-

Na configuração do sítio foi utilizado o arquivo climático de Vitória. Para a determinação das temperaturas de solo foram simuladas as temperaturas médias mensais do ar do sítio e registradas como temperaturas mensais do solo, segundo recomendações de Venâncio (2009).

Resultados e Discussão

Variação do período de simulação

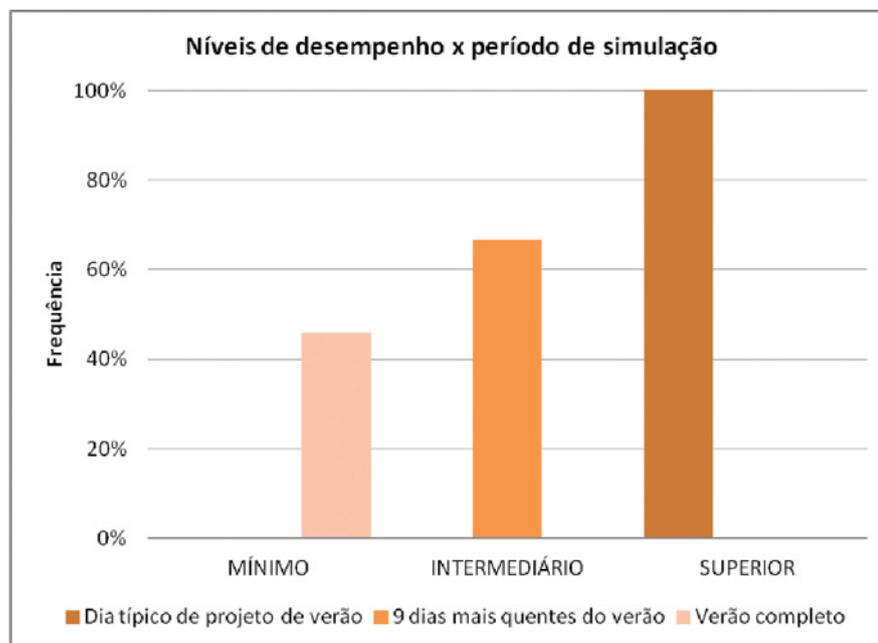
A simulação do dia típico de projeto de verão, uma situação crítica para o calor, induz à suposição de que a edificação classificada no nível superior de desempenho térmico para uma determinada condição climática teria a mesma classificação referente ao desempenho para situações mais amenas, o que não ocorreu na prática.

Os resultados indicaram, tanto para o dia típico de projeto de verão quanto para os 9 dias mais quentes um nível de desempenho intermediário, um nível de desempenho superior para o dormitório analisado; para os nove dias mais quentes, o nível de desempenho oscilou entre intermediário (seis dias) e superior (três dias); e para os 91 dias, o nível de desempenho predominante foi o mínimo, sendo que para alguns dias do verão o nível mínimo não foi atendido (Figura 13).

Figura 13

Níveis de desempenho térmico obtido a partir da variação do período de simulação.

Fonte: Elaborado pelos próprios autores.



A média da diferença entre a temperatura máxima interna e externa foi considerada um estimador bom, não viciado e consistente. Para a amostra dos nove dias mais quentes do verão, a média da diferença foi de 1,61°C e a magnitude do erro foi de 21,37% em relação à média. Para os 91 dias do verão, a média da diferença foi de 0,81°C e a magnitude do erro foi de 16,63% em relação à média, com uma confiabilidade de 95% para os dois períodos.

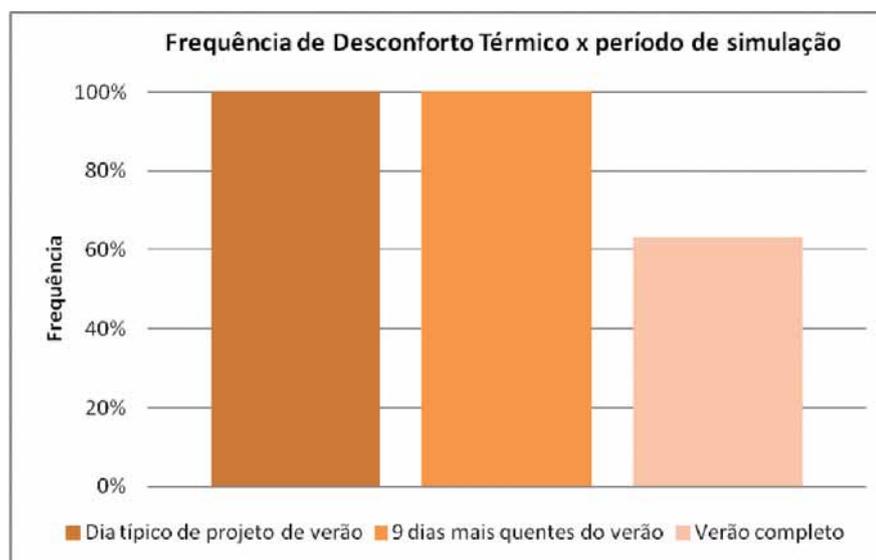
Tais resultados demonstraram que a simulação para um dia, mesmo sendo considerada a pior situação, não é suficiente para definir o nível de desempenho, o qual oscilou ao ser ampliado o período de análise. De forma mais específica, os resultados indicaram que a escolha do dia típico de verão como um dia de referência não consolida a classificação de desempenho para um nível aceitável de habitabilidade.

Para os resultados da FDT, foram encontrados 100% de desconforto tanto para o dia típico de projeto, como para os nove dias mais quentes do verão. Para o período do verão completo, esse índice ficou em 63% de frequência de desconforto térmico (Figura 14).

Figura 14

Variação da FDT de acordo com o período de simulação.

Fonte: Elaborado pelos próprios autores.



Esses resultados demonstram a inadequabilidade dos parâmetros metodológicos adotados pela NBR 15575-1, visto a incoerência apresentada entre os valores relativos aos níveis de desempenho térmico e o referencial de conforto do usuário obtidos para o mesmo ambiente, ressaltando que para os dias mais quentes o nível de desempenho variou entre superior e intermediário, enquanto que a frequência de desconforto térmico foi de 100%.

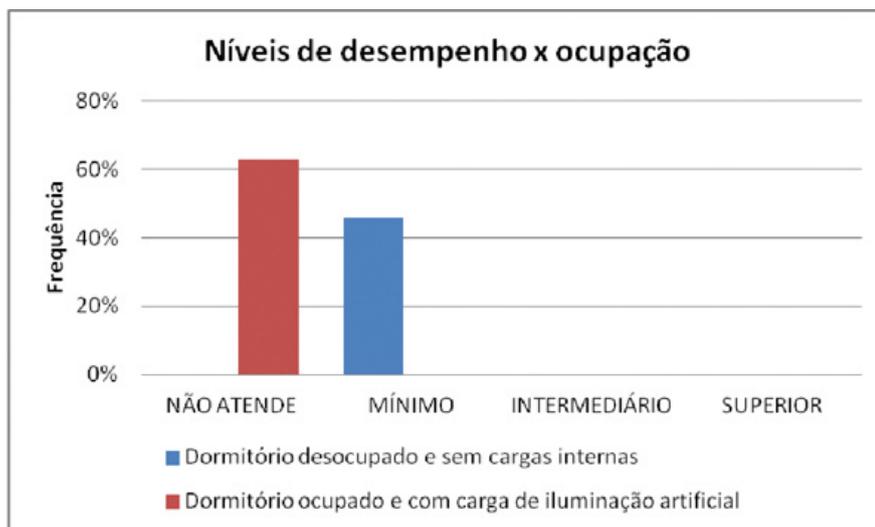
Variação da ocupação e ganhos térmicos internos

Os resultados confirmaram que a presença de usuários e cargas internas com iluminação influenciam de maneira significativa no desempenho térmico do ambiente (Figura 15). No primeiro caso, quando o ambiente está desocupado, o nível de desempenho predominante para o verão foi o mínimo, com frequência de 46%. Quando se considera o dormitório ocupado e utilizando a iluminação artificial, o nível de desempenho ficou abaixo do mínimo em 63% do período analisado.

Figura 15

Níveis de desempenho térmico obtidos a partir da variação da ocupação e ganhos térmicos por uso da iluminação artificial.

Fonte: Elaborado pelos próprios autores.



Para as mesmas condições, o ambiente foi simulado visando à aplicação do FDT e os resultados indicaram que a presença de usuários e o uso da iluminação artificial aumentaram as condições de desconforto no ambiente, sendo que, para o ambiente com dois ocupantes, a média de frequência de desconforto atingiu 86% do período analisado (Figura 16). Assim, constata-se que a presença de ocupantes e de equipamentos internos – em uma situação regular de uso – produzem calor, influenciando o conforto térmico e a classificação do nível de desempenho térmico do ambiente, sendo possível afirmar que ignorar tais fatores pode comprometer a credibilidade da avaliação de desempenho térmico.

Figura 16

FDT obtidos a partir da variação da ocupação e ganhos térmicos por uso da iluminação artificial.

Fonte: Elaborado pelos próprios autores.



Critérios de avaliação de desempenho térmico da NBR 15575

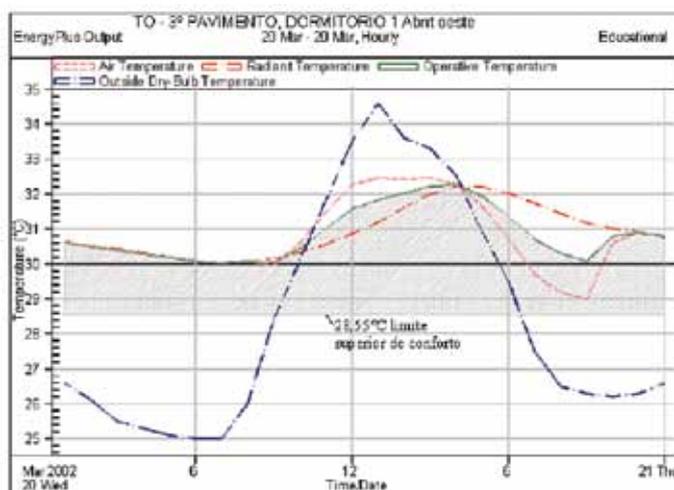
A NBR 15575-1 utiliza como critério de avaliação de desempenho térmico a diferença entre os valores máximos de temperatura do ar no exterior e no interior do ambiente, para o dia típico de verão. Para uma análise mais detalhada deste critério – que considera principalmente os picos de temperatura –, o índice estatístico FDT foi adotado como referência.

Observa-se, para este dia, a diferença entre os valores máximos de temperatura externa/interna de 2,14 °C [17], induzindo inicialmente a uma classificação como nível superior de desempenho. Mas, para a classificação neste nível seria necessário ainda, atender a uma diferença entre os valores mínimos de temperatura externa/interna de até 1°C, o que não ocorreu, ficando este dia classificado como desempenho intermediário.

Figura 17

Gráfico resultante da simulação do dia típico de projeto de verão.

Fonte: Elaborado pelos próprios autores.



A análise da FDT resultou que os valores internos de temperatura do ar e operativa estão acima do valor máximo definido para conforto térmico, gerando uma frequência de desconforto térmico de 100% para este dia. Como este é caracterizado por ser um dia crítico em relação ao calor, é natural que a frequência de desconforto térmico esteja presente durante todas as horas do dia, para um ambiente não climatizado.

A partir do exposto, pode-se inferir que os critérios adotados para avaliação de desempenho pela NBR 15575, não representam a percepção adequada do nível de conforto térmico obtido para o interior do ambiente, considerando que a classificação do desempenho térmico como “intermediário”, para uma edificação nessa situação, não condiz com os resultados de FDT do usuário para o mesmo ambiente.

Considerações Finais

Sancionada em 2008, hoje em sua quarta edição, a Norma de Desempenho – NBR 15575 – foi alvo de muitos questionamentos e processos de revisão desde o seu lançamento, porém, o início da vigência da referida norma representou um considerável avanço na busca pela melhoria na qualidade da construção civil brasileira, especialmente no que diz respeito à habitação de interesse social.

A presente pesquisa investigou as diretrizes metodológicas da NBR 15575-1 em relação aos critérios de avaliação de desempenho térmico por simulação computacional para edificações ventiladas naturalmente, relacionando-as com referenciais de conforto do usuário adotados pela ASHRAE.

Os resultados obtidos demonstraram que os critérios relativos ao desempenho térmico adotados pela NBR 15575 são inadequados. A definição de um período de simulação de apenas um dia – denominado como dia típico de projeto de verão –, correspondendo, de fato, a uma situação extrema, combinado com o critério de análise – valores máximos de temperatura – geram resultados equivocados, cuja ampliação apenas do período de análise já permite a identificação da deficiência do método.

Outro aspecto relevante é que a ocupação do ambiente e o uso de equipamentos produzem calor e influenciam no conforto térmico e, conseqüentemente, no desempenho do ambiente. Assim, a desconsideração desses fatores gera resultados distorcidos, enfatizando a conclusão de que a simplificação do processo de análise de desempenho térmico proposto pela NBR 15575-1 e a ausência de correlação desta com referenciais de conforto térmico do usuário tornam esta metodologia vulnerável. Ressalta-se que esta pesquisa tomou como referencial para teste a zona bioclimática ZB8, porém, é possível afirmar que os aspectos considerados na análise realizada e os conseqüentes resultados conceituais são passíveis de serem replicados para as demais zonas bioclimáticas brasileiras.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelos recursos financeiros aplicados no financiamento do projeto.

Referências

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE 55 Handbook – Fundamentals**. Atlanta, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1: Edifícios habitacionais – Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013a.

_____. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2013b.

_____. **NBR 15220-1**: Desempenho térmico de edificações – Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações – Parte 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, 2005b.

_____. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005c.

BAHARVAND, M.; AHMAD, M.; SAFIKHANI, T.; MAJID, A. DesignBuilder Verification and Validation for Indoor Natural Ventilation. **Journal of Basic and Applied Scientific Research**. v. 3 (4) p. 182-189, 2013.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO. Portaria n. 449, 25 de novembro de 2010. **Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**. Rio de Janeiro, 2010.

_____. Ministério de Minas e Energia. Eletrobras/Procel – Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética – Procel Info. Disponível em: <<http://www.eletrobras.com>>. Acesso em: 10 jul. 2013.

BRAGER, G.S.; DEAR, R.J. Thermal adaptation in the built environment: a literature review. **Energy and Buildings**, v. 27, p. 83–96, 1998.

CÂNDIDO, C. Florianópolis, 2010. **Indoor air movement acceptability and thermal comfort in hot-humid climates**. 2010.180f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

CÂNDIDO, C.; DEAR, R.; LAMBERTS, R. Combined thermal acceptability and air movement assessments in a hot humid climate. **Building and Environment**, v. 46, p 379-385, 2011.

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION. EN 15251: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics.

Brussels, 2007.

DESIGNBUILDER. **Design Builder Software Ltd.** Version 3.0.0.097. 2012.

COSTA, M. F. C. C. **Aplicação do DesingBuider à avaliação de soluções de aquecimento e arrefecimento de edifícios para diferentes zonas climáticas portuguesas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2013. 89p.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S.R. **Manual de Conforto Térmico.** São Paulo: Studio Nobel, 2007.

HUMPHREYS, M.A.; RIJAL, H.B.; NICOL, J.F. Updating the adaptive relation between climate and comfort indoors; new insights and an extended database. **Building and Environment**, v. 63, p. 40-55, 2013.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES – LABEEE. Seção Downloads. Arquivos climáticos em formato EPW. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads>>. Acesso em: 2 set. 2012.

NICOL, F; HUMPHREYS, M. Derivation of the adaptative equations for thermal comfort in free-running buildings in European standard EN15251. **Building and Environment**. v. 45, p. 11-17, 2010.

ROAF, S.; CRICHTON, D.; NICOL, F. **Adapting buildings and cities for climate change.** Oxford: Architectural Press, 2009.

SICURELLA, F.; EVOLA, G.; WURTZ, E. A statistical approach for the evaluation of thermal and visual comfort in free-running buildings. **Energy and Buildings**, v. 47, p. 402-410, 2012.

SINDUSCON-ES. Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado do Espírito Santo – Censo Imobiliário. Disponível em: <<http://www.sinduscon-es.com.br>>. Acesso em: 10 jul. 2011.

SORGATO, M. J.; VERSAGE, R.; LAMBERTS, R. **A influência da área de ventilação no desempenho térmico de edificações residenciais.** 2011. (Nota Técnica) Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011. Disponível em: <www.labeee.ufsc.br/publicacoes/notas-tecnicas/>. Acesso em: 23 out. 2012.

VENÂNCIO, Raoni. **Treinamento para o programa DesignBuilder versão 2.0.** Laboratório de Conforto Ambiental – Departamento de arquitetura e urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2009. 83 p.

WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R. Simulação térmica e energética de edificações a partir de dados climáticos simplificados: validação através do método BESTEST. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 4, n. 3, p. 37-49, 2004.