Necessidade de Revisão dos Métodos de Avaliação do Desempenho Térmico de Edificações no Âmbito da Norma NBR 15575 e do SiNAT

2

**Adriana Camargo de Brito
Elisa Morandé Sales
Fúlvio Vittorino
Marcelo de Mello Aquilino
Maria Akutsu**

1. Procedimentos para Avaliação do Desempenho Térmico de Edifícios Segundo a Norma NBR 15575

A Norma NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece três métodos para a avaliação do desempenho térmico: um método simplificado, que envolve cálculos de propriedades térmicas de componentes da envoltória, como paredes externas e cobertura, e dois métodos detalhados, relativos a simulações computacionais ou medições no local.

O método simplificado apresenta valores limites para a transmitância e para a capacidade térmica de paredes e também para a transmitância térmica de coberturas. A transmitância térmica é calculada levando em conta as espessuras dos materiais, sua condutividade e resistência térmica de espaços de ar, sendo relacionada ao isolamento térmico do componente, ou seja, suas propriedades em dificultar as trocas de calor entre ambientes. A capacidade térmica é calculada em função das espessuras dos materiais, do calor específico

e da massa específica, referindo-se à inércia térmica, ou seja, à capacidade dos componentes em atenuar as variações da temperatura do ar interior.

Em vários países, há normas e outros documentos técnicos que estabelecem critérios e métodos de avaliação da eficiência energética de edifícios, com base em valores limites para a transmitância térmica ou a resistência térmica da envoltória. Isso ocorre, especialmente, nos locais em que predominam condições de inverno rigoroso, situação comum no hemisfério norte, onde há temperaturas muito abaixo das que propiciam conforto térmico, havendo necessidade de uso de sistemas de calefação praticamente o tempo todo. Nesse contexto, o isolamento térmico dos componentes construtivos é determinante da eficiência energética da envoltória.

Por outro lado, em locais com predomínio de condições de verão, onde as temperaturas do ar exterior estão relativamente próximas daquelas que proporcionam conforto térmico, conforme ocorre em parte significativa do Brasil, fatores relacionados somente ao isolamento térmico da envoltória, como a transmitância térmica, não são suficientes para caracterizar a resposta térmica de edificações. Nesses locais, é necessário levar em conta também a inércia térmica dos edifícios, segundo ressaltam vários autores (AKUTSU, 1998; AKUTSU; VITTORINO, 1990; GRANJA, 2003; BARRIOS et al., 2012; BRITO, 2015).

Akutsu (1998) ilustra essa questão por meio da análise da resposta térmica de habitações, no verão e no inverno, correlacionando, dentre vários fatores, a temperatura máxima do ar interior e a carga térmica para aquecimento ou resfriamento do ambiente com as características térmicas das paredes (capacidade térmica e resistência térmica). A autora identificou uma forte correlação entre a resistência térmica das paredes e a carga térmica de aquecimento do ambiente no inverno (fator de correlação da ordem de 98%), como indicado no exemplo da Figura 1. Isso mostra que a resistência térmica é um bom indicador do desempenho térmico de uma edificação em condição de inverno, confirmando a adequação do uso desse fator para regular a eficiência energética de edifícios com calefação em locais com clima frio. Observa-se que essa foi a única situação na qual a resistência térmica teve boas correlações com um indicador da resposta térmica da edificação.

Por outro lado, houve boas correlações entre a capacidade térmica das paredes e a temperatura máxima do ar interior em condições de verão (fator de correlação da ordem de 95%), como apresentado no exemplo da

Figura 2. Isso indica que, para condições de verão, é possível utilizar também a capacidade térmica como indicador do desempenho térmico de edificações não climatizadas.

Figura 1. Exemplo de boa correlação entre carga térmica total diária para aquecimento e resistência térmica média de paredes externas e internas de ambiente com cobertura de laje mista (AKUTSU, 1998).

Figura 2. Exemplo de boa correlação entre temperatura máxima diária do ar interior e capacidade térmica média de paredes externas e internas de ambiente com cobertura de laje mista (AKUTSU, 1998).

Nesse contexto, a norma NBR 15575 (ABNT, 2013) mostra avanços na obtenção de avaliações mais consistentes do desempenho térmico de edificações expostas a climas com predomínio de condições de verão, sem o uso de sistemas de condicionamento térmico, pois incorpora aspectos relativos à inércia térmica de edificações, quando é importante considerar a capacidade térmica das paredes, juntamente com os fatores relacionados ao isolamento térmico da envoltória (transmitância térmica das paredes e cobertura).

Nas Tabelas 1 a 3, são apresentados os valores limites da transmitância térmica para coberturas e os valores limites da transmitância térmica e capacidade térmica de paredes, conforme a Zona Bioclimática previstos na norma NBR 15575 (ABNT, 2013). Os componentes construtivos devem ter valores das propriedades térmicas dentro dos limites indicados, o que proporciona à edificação o atendimento do nível “Mínimo” de desempenho térmico.

Tabela 1. Valores da transmitância térmica de coberturas (ABNT, 2013).

Transmitância térmica da cobertura (U) W/(m².K)				
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8	
$U \leq 2,3$	$\alpha^* \leq 0,6$	$\alpha^* > 0,6$	$\alpha^* \leq 0,4$	$\alpha^* > 0,4$
	$U \leq 2,3$	$U \leq 1,5$	$U \leq 2,3 \text{ FT}^{**}$	$U \leq 1,5 \text{ FT}^{**}$

* absorptância à radiação solar da superfície externa da cobertura; ** Fator de correção da transmitância (FT), estabelecido na NBR 15220-3 (ABNT, 2008).

Tabela 2. Valores da transmitância térmica de paredes externas (ABNT, 2013).

Transmitância térmica de paredes externas (U) W/(m².K)		
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 8	
$U \leq 2,5$	$\alpha^* \leq 0,6$	$\alpha^* > 0,6$
	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$

*absortância à radiação solar da superfície externa da parede.

Tabela 3. Valor da capacidade térmica de paredes externas (ABNT, 2013).

Capacidade térmica de paredes externas (CT) kJ/(m².K)	
Zona 8	Zonas 1 a 7
Sem exigência	≥ 130

Sistemas construtivos com estrutura em *Steel Frame*, por exemplo, costumam ter fechamentos leves, com paredes em chapas cimentícias ou placas de OSB na face externa e placa de gesso acartonado na face interna, e coberturas em forro de gesso acartonado ou madeira, com telhas metálicas ou cerâmicas. Nesses casos, as paredes têm transmitância térmica da ordem de $2,6 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, capacidade térmica próxima de $50 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$ e transmitância térmica da cobertura por volta de $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ (Figura 3).

Figura 3. Exemplo de sistema construtivo leve.

Sistemas construtivos mais tradicionais costumam ser mais pesados, como aqueles feitos com paredes de tijolos cerâmicos maciços, revestidas com argamassa em ambas as faces, cobertura em laje de concreto e telhado em telhas cerâmicas. Nesses sistemas, as paredes tem transmitância térmica e capacidade térmica da ordem de $2,0 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ e $500 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$ respectivamente, e cobertura com transmitância térmica aproximada de $1,5 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ (Figura 4).

Figura 4. Exemplo de sistema construtivo pesado.

Para ver mais valores calculados da transmitância térmica, da capacidade térmica de paredes e da transmitância térmica de coberturas, pode-se consultar a Norma NBR 15220 (ABNT, 2008), que também inclui uma descrição da forma de se efetuar os cálculos dessas grandezas, bem como tabelas com valores das características de materiais de construção e resistência de espaço de ar, utilizadas nos cálculos.

De modo geral, os valores limites dessas grandezas (capacidade térmica e transmitância térmica) estabelecidos na norma NBR 15575 para paredes e coberturas (ABNT, 2013) levam em conta as características macro climáticas das regiões do país. Como exemplo, na referida norma, é estabelecido o uso de componentes de parede com maior capacidade térmica em lugares onde ela tem maior potencial para melhorar o desempenho térmico dos ambientes, como é o caso de São Paulo, cidade alocada na Zona Bioclimática 3. Para locais como Salvador, que faz parte da Zona Bioclimática 8, não seria adequado utilizar componentes muito pesados, não havendo exigência quanto à capacidade térmica de paredes.

A aprovação do sistema construtivo pelo método simplificado (fachadas e cobertura) visa garantir que, em habitações típicas, não sejam

utilizados componentes construtivos totalmente inadequados às condições climáticas do local. Caso não sejam atendidos os critérios de avaliação por esse método, é possível efetuar uma avaliação por meio do método detalhado, que consiste na simulação computacional do comportamento térmico do edifício ou em medição dos parâmetros térmicos no local onde a edificação foi construída.

Segundo a Norma NBR 15575 (ABNT, 2013), as simulações computacionais devem ser realizadas para os dias típicos de projeto, para o período de verão e de inverno, definidos para oito Zonas Bioclimáticas Brasileiras, conforme zoneamento apresentado na Norma NBR 15220 (ABNT, 2008). Para edificações nas zonas bioclimáticas 1 a 5, em que há períodos de verão e de inverno característicos, a avaliação é feita nas duas situações.

Para as zonas bioclimáticas 6 a 8, nas quais há predomínio de condições de verão praticamente o ano todo, não é necessário considerar o período de inverno. São utilizados como referência os dados climáticos dos dias típicos de projeto indicados na norma NBR 15575 (ABNT, 2013).

As simulações computacionais devem ser efetuadas levando em conta a integralidade da edificação, com cada recinto sendo considerado uma zona térmica, a partir do uso de programas semelhantes ao *EnergyPlus* (USDOE, 2015), que considera condições dinâmicas de trocas de calor e tem capacidade de simular a inércia térmica de edificações. São analisados os dados de um dormitório e da sala de estar em condições mais críticas de exposição ao clima, ou seja, com a janela dos dormitórios e salas voltadas para oeste no dia típico de verão e para sul no dia típico de inverno (ABNT, 2013).

Na Figura 5, é apresentado um exemplo da geometria de uma edificação simulada no programa *EnergyPlus*, construída com o auxílio do *plugin Open Studio* no programa *Sketchup*. Na figura, são indicadas algumas características de uma face do telhado na zona térmica da cobertura (*roof*). Essa superfície volta-se para o ambiente exterior e está exposta ao sol e ao vento (*sun exposed and wind exposed*), com o componente construtivo denominado pelo avaliador como “cobertura”. No programa *EnergyPlus*, há campos específicos em que este componente é descrito em camadas e de acordo com as características físicas e térmicas dos materiais que as compõe, como espessura, condutividade térmica, calor específico, massa específica, absorvância à radiação solar, emissividade.

Figura 5. Exemplo de geometria de edificação simulada no programa EnergyPlus.

As edificações devem ser simuladas sem fontes internas de calor, para que seja indicada a resposta térmica da interação da edificação com o clima. Os recintos são simulados com módulos simplificados de ventilação com uma taxa de 1 ou 5 renovações do volume de ar do ambiente por hora (Ren/h).

Esses valores geralmente são obtidos em recintos com dimensões habitacionais típicas, por infiltração a partir de frestas ou sem a presença de vento, no caso de 1 Ren/h e com a presença de vento, na situação em que há 5 Ren/h. Não são utilizados módulos de ventilação mais complexos, os quais levariam em conta também as peculiaridades do projeto arquitetônico que interferem nas movimentações do ar nos ambientes.

Na avaliação, são determinados os valores horários da temperatura do ar no interior dos referidos recintos. Os critérios de avaliação de edificações não condicionadas, apresentados no Anexo E da Norma NBR 15575-1 (ABNT, 2013), classificam o desempenho térmico da edificação em função do seu comportamento nos dias típicos de verão e de inverno, segundo três níveis: “M” (Mínimo), “I” (Intermediário) ou “S” (Superior), adotando-se, como parâmetro de avaliação, a temperatura do ar interior.

É obrigatório o atendimento aos critérios referentes ao nível “Mínimo” de desempenho, sendo opcional o atendimento aos demais (intermediário e superior). Nas Tabelas 4 e 5, são apresentados, respectivamente, os critérios de avaliação do desempenho térmico para condições de verão e de inverno.

Como a norma é voltada para edificações habitacionais típicas, não climatizadas, nas quais não há controle das condições ambientais, o atendimento do nível mínimo de desempenho térmico não garante, necessariamente, o conforto térmico do usuário, mas somente que o habitante esteja exposto a condições iguais ou melhores que aquelas encontradas no ambiente exterior, descartando aberrações construtivas. Somente com o atendimento dos níveis intermediário e superior, há maior possibilidade de proporcionar conforto térmico do usuário.

Tabela 4. Critério de avaliação do desempenho térmico de edificações para condições de verão (ABNT, 2013).

Nível de Desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
Mínimo	$T_{im\acute{a}x} \leq T_{em\acute{a}x}$	$T_{im\acute{a}x} \leq T_{em\acute{a}x}$
Intermediário	$T_{im\acute{a}x} \leq (T_{em\acute{a}x} - 2\text{ }^{\circ}\text{C})$	$T_{im\acute{a}x} \leq (T_{em\acute{a}x} - 1\text{ }^{\circ}\text{C})$
Superior	$T_{im\acute{a}x} \leq (T_{em\acute{a}x} - 4\text{ }^{\circ}\text{C})$	$T_{im\acute{a}x} \leq (T_{em\acute{a}x} - 2\text{ }^{\circ}\text{C})$

T_{im} é o valor máximo diário da temperatura do ar interior, em graus Celsius; *T_{em}* é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior, em graus Celsius.

Tabela 5. Critério de avaliação do desempenho térmico de edificações para condições de inverno (ABNT, 2013).

Nível de Desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zonas 6, 7 e 8
Mínimo	$T_{im\acute{i}n} \geq (T_{em\acute{i}n} + 3\text{ }^{\circ}\text{C})$	Não precisa ser verificado
Intermediário	$T_{im\acute{i}n} \geq (T_{em\acute{i}n} + 5\text{ }^{\circ}\text{C})$	
Superior	$T_{im\acute{i}n} \geq (T_{em\acute{i}n} + 7\text{ }^{\circ}\text{C})$	

T_{im} é o valor mínimo diário da temperatura do ar interior, em graus Celsius; *T_{em}* é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior, em graus Celsius.

2. Aspectos a Aprimorar nos Métodos de Avaliação do Desempenho Térmico de Habitações da Norma NBR 15575 e no SiNAT

Em decorrência da execução de inúmeros trabalhos pelo Laboratório de Conforto Ambiental – LCA do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, identificou-se que a Norma NBR 15575

apresenta problemas nos critérios estabelecidos para o método simplificado, bem como não contém todos os dados necessários para a realização de avaliações por medições e por simulações computacionais. Isso pode acarretar resultados inconsistentes nas avaliações, visto que deixa a livre a escolha do avaliador, o qual nem sempre dispõe de dados adequados.

Nas avaliações do desempenho térmico de edificações no âmbito do SiNAT, é fundamental estabelecer procedimentos específicos para a realização das avaliações por simulações, levando em conta a necessidade de identificação da adequação climática de um sistema construtivo, e não somente de uma edificação específica.

A seguir são destacados os principais fatores que precisam ser revisados na norma NBR 15575 (ABNT, 2013), tanto para o método simplificado como para o método detalhado, em função também do objetivo da avaliação, fator não citado na referida norma. São destacados os problemas existentes quanto a dados ausentes ou incompletos para efetuar avaliações por simulações computacionais e medições no local.

2.1. Método Simplificado

No método simplificado, há ausência de informações dos limites de aplicabilidade do método, além de critérios pouco exigentes, especialmente para a Zona Bioclimática 8, que podem resultar no atendimento do nível “Mínimo”, sem que as edificações, na prática, apresentem desempenho adequado.

2.2. Método Detalhado: Tipo de Avaliação

Dependendo da necessidade do avaliador, seja a de identificar o desempenho térmico de uma habitação existente ou de uma edificação em fase de projeto ou apenas de um sistema construtivo, há peculiaridades a serem consideradas em cada tipo de avaliação, bem como em quais circunstâncias os resultados podem ser utilizados.

No âmbito do SiNAT – Sistema Nacional de Avaliação Técnica de Sistemas Inovadores e Convencionais, o objetivo da avaliação é identificar o desempenho térmico potencial de um sistema construtivo, e não necessaria-

mente de uma edificação, visto que os resultados são utilizados para aprovação de empreendimentos habitacionais com projetos diversos.

Entretanto, para realizar avaliações do desempenho térmico por simulação ou medição, é necessário relacionar o projeto de uma edificação com o sistema construtivo em questão. Atualmente, diante dos diferentes projetos utilizados nas avaliações, há dificuldade em identificar somente o efeito do sistema construtivo na resposta térmica da edificação e, conseqüentemente, não se tem informação precisa sobre sua adequação ao clima do local.

Os documentos de avaliação técnica – DATec's, nos moldes atuais, não fazem menção ao projeto da edificação que foi avaliada. Nos casos em que o projeto apresenta especificidades que tenham um papel significativo no atendimento do nível “Mínimo” de desempenho térmico da edificação, essas questões deveriam constar no referido documento para que os construtores tenham conhecimento e as considerem nas edificações que irão produzir.

Caso contrário, essa falha nos DATec's permite que um sistema construtivo aprovado no âmbito do SiNAT, eventualmente, não proporcione um desempenho térmico adequado em edificação construída com um projeto diferente daquele utilizado na avaliação. Como exemplo, pode-se considerar a avaliação de uma habitação com sistema construtivo leve, sem materiais isolantes térmicos na cobertura, cujo nível de desempenho térmico é, geralmente, afetado de modo mais significativo por alterações no projeto. Caso na avaliação o acabamento externo das telhas seja com cores claras, e a edificação atenda o nível “Mínimo”, é provável que em uma edificação já construída, com cor escura na cobertura, não seja atendido o nível “Mínimo” de desempenho térmico.

2.2.1. Conteúdo de Relatórios no Âmbito do SiNAT

Em contato com órgãos relacionados ao Ministério das Cidades, identificou-se que muitos relatórios apresentados ao SiNAT, para a obtenção do DATec, nem sempre apresentam o mesmo nível de informação, seja sobre o método de avaliação ou referente à descrição da edificação e seus componentes. Esses fatores dificultam a identificação de eventuais inconsistências na avaliação, o que precisa ser revisto.

2.3. Simulações

2.3.1. Dados Climáticos de Dias Típicos de Projeto

Não há dados de dias típicos de projeto para as cidades constantes nas Zonas Bioclimáticas 2 e 5, lacuna da norma NBR 15220 (ABNT, 2008), utilizada como referência nas avaliações, o que dificulta a análise do desempenho térmico de edificações alocadas nessas zonas climáticas.

2.3.2. Temperatura do Solo

A temperatura do solo é um fator fundamental a ser considerado nas simulações para a análise da resposta térmica de habitações térreas e de ambientes em contato com o solo. Em decorrência das trocas de calor que ocorrem entre a edificação e o solo, ao inserir dados inadequados sobre a temperatura da superfície do terreno, a resposta térmica dos recintos e o nível de desempenho alcançado podem ser afetados de modo significativo.

2.3.3. Dia do Ano

Mesmo sendo inseridos no programa de simulação, os dados de um dia típico de projeto com informações da radiação solar diária incidente no plano horizontal, – que são apresentados na norma para várias cidades –, para efeito de incidência solar na edificação, é necessário escolher o dia em que a avaliação será feita, a fim de proporcionar análises da eficiência de dispositivos de sombreamento na resposta térmica dos recintos, também em função do objetivo da avaliação.

2.3.4. Zoneamento Bioclimático

O zoneamento bioclimático utilizado como referência para a avaliação do desempenho térmico de habitações, apresentado na Norma NBR 15220 (ABNT, 2008), aloca, na mesma zona, cidades com características climáticas diferentes do ponto de vista da adequação climática de uma edificação. Esse fator proporciona que uma mesma edificação possa ser classificada segundo diferentes níveis de desempenho térmico em localidades diferentes dentro de uma mesma Zona Bioclimática, o que não deveria acontecer.

Isso ocorre em virtude da forma como o zoneamento foi elaborado, com base nas temperaturas médias, máximas e mínimas do ar, e na umidade

relativa do ar em vários locais, que representam algumas das principais variáveis que afetam o conforto térmico humano, mas não contemplam as principais variáveis climáticas que afetam a resposta térmica das edificações, as quais incluem também a radiação solar incidente no plano horizontal e a amplitude diária da temperatura do ar.

Desse modo, o zoneamento apresentado na norma NBR 15220 (ABNT, 2008) é inadequado e impreciso para fins de avaliação do desempenho térmico de edificações. Há necessidade de refazer o zoneamento de maneira consistente, agrupando cidades em uma mesma zona com características climáticas que proporcionem o mesmo nível de desempenho térmico de edificações com determinadas características. Para isso, deve-se levar em conta as principais variáveis climáticas que interferem na resposta térmica das edificações, como as temperaturas máximas diárias ou mínimas diárias, a amplitude diária da temperatura do ar e a radiação solar global incidente em plano horizontal.

2.4. Medições

A Norma NBR 15575 (ABNT, 2013) apresenta procedimentos para efetuar as medições da resposta térmica da edificação em dias típicos de projeto. Considerando que há certa dificuldade em realizar as medições em um dia idêntico ao dia apresentado na norma, não há indicações sobre os procedimentos que devem ser executados durante a avaliação, para que seja possível tirar conclusões sobre o seu desempenho térmico, a partir de dados obtidos em dias com condições climáticas diferentes daquelas dos dias típicos.

3. Proposta Conceitual para Aprimorar Métodos Detalhados de Avaliação do Desempenho Térmico de Habitações e Sistemas Construtivos

Para proporcionar maior clareza dos aspectos que são fundamentais para a consistência dos resultados de avaliações do desempenho térmico de habitações pelos métodos detalhados, é necessário determinar, desde o início, qual é o objetivo da avaliação e, posteriormente, estabelecer procedimentos para alcançar cada objetivo de modo adequado.

Basicamente, é possível identificar pelo menos 3 tipos de avaliações: a) avaliação do desempenho térmico de edificação existente; b) avaliação do projeto de edificação a ser construída em um determinado terreno e c) avaliação do potencial de um sistema construtivo ser adequado ao clima do local.

3.1. Avaliação por Medições de Edificação Existente

Na avaliação por meio de medições do desempenho térmico de uma habitação, há uma série de peculiaridades que estão sendo abordadas, seja quanto ao projeto, à geometria ou às condições de exposição dos recintos ao clima. Nesse contexto, não é possível identificar contribuições somente do sistema construtivo ou do projeto, no nível de desempenho térmico obtido, devido ao fato da edificação ser avaliada em condições únicas quanto à orientação de aberturas, geometria e especificidades do microclima do local, especialmente no caso das medições.

Destaca-se ainda que o microclima local sofre influências diversas do entorno, como sombreamento por outras edificações, presença de vegetação, dentre outros aspectos, que podem produzir condições substancialmente diferentes do macroclima da cidade. Nesse caso, os resultados da avaliação indicam a resposta térmica e o nível de desempenho somente da edificação que está sendo analisada.

Quanto ao período de medições, na impossibilidade de se obter as condições climáticas de um dia típico do local, com o intuito de se ter uma ideia da representatividade dos resultados, o avaliador precisa identificar a frequência de ocorrência dos dados climáticos obtidos no dia das medições utilizado para avaliar o desempenho térmico da edificação. Isso possibilitará verificar o grau de rigor da avaliação que foi feita, ou seja, caso o dia em que foram feitas as análises tenha 50% de frequência de ocorrência, por exemplo, significaria que sua avaliação pode ter sido pouco rigorosa, pois somente em metade do período a edificação terá garantido aquele desempenho.

Caso não haja dados climáticos medidos na região para análise estatística de sua frequência de ocorrência, não é recomendável realizar a avaliação por medições se o intuito da avaliação for construir edificações iguais na região, pois os resultados obtidos não são suficientes para tirar conclusões sobre o desempenho térmico do edifício. Nesse contexto, medições seriam adequadas somente para a realização de análises comparativas do desempenho térmico de habitações com a finalidade

de verificar efeitos do projeto ou do sistema construtivo em sua resposta térmica, o que é comum em etapas de desenvolvimento de novos sistemas construtivos, testados em edificações que funcionam como protótipos. Além disso, nesse tipo de avaliação é importante selecionar dados medidos em um dia com uma série homogênea de pelo menos três dias, para que a avaliação seja consistente, visto que a resposta térmica das edificações sofre influência dos dias anteriores (AKUTSU, 1998).

3.2. Avaliação de Edificação em Fase de Projeto por Simulações

As simulações computacionais de um projeto a ser construído em um determinado terreno representam situação similar à anterior, ou seja, os resultados obtidos são aplicáveis somente à edificação analisada, visto que, geralmente, são consideradas características específicas quanto à orientação de aberturas e geometria.

Na fase de projeto, é possível ainda fazer avaliações do desempenho térmico do edifício com várias opções de sistemas construtivos ou com variações na geometria da futura edificação, possibilitando a identificação das soluções mais adequadas do ponto de vista de seu desempenho térmico. Essa é uma ferramenta importante para os projetistas.

3.3. Avaliação de Sistema Construtivo por Medições ou Simulações

Quando há o objetivo de identificar o desempenho potencial de um sistema construtivo, rápidas análises dos componentes pelo método simplificado de avaliação do desempenho térmico informam as características gerais do sistema. Geralmente, quanto mais inovador é o sistema construtivo, maior é a probabilidade de ele não conseguir atender aos critérios desse método, pois há uma tendência em se utilizar elementos leves, que possuem capacidade térmica abaixo dos valores limites estabelecidos pela norma.

Isso torna necessário efetuar análises mais detalhadas, por meio de medições ou simulações computacionais, que requerem um projeto arquitetônico ou uma edificação construída. Nessas situações, há uma questão importante referente ao efeito que o projeto do edifício pode ter na resposta térmica da edificação com o sistema construtivo que se deseja analisar.

Projetos arquitetônicos bem elaborados podem contribuir para a melhoria do desempenho térmico da edificação, mesmo quando composta por sistema potencialmente inadequado ao clima. Lembrando ainda que o oposto também pode ocorrer no caso de um projeto com problemas.

3.3.1. Projeto Padrão de Ensaio

De modo geral, em locais com alta amplitude da temperatura do ar, onde é requerida maior inércia térmica das edificações, como estratégia passiva de climatização de edifícios, com o uso de sistemas construtivos muito leves, há um baixo potencial em proporcionar recintos com desempenho térmico adequado. Isso pode ser observado na Figura 6, que indica a resposta térmica de dois ambientes constituídos de geometrias iguais com fechamentos em componentes leves e pesados, expostos às condições climáticas da cidade de São Paulo.

Figura 6. Exemplo de resposta térmica de recinto com sistema construtivo leve (à esquerda) e sistema construtivo pesado (à direita), em um dia típico de verão na cidade de São Paulo.

O sistema construtivo leve acompanha as variações que ocorrem na temperatura do ar exterior, apresentando a mesma ordem de grandeza

destas, resposta térmica típica de recinto com baixa inércia térmica. Por outro lado, em relação ao sistema pesado, há um significativo amortecimento na amplitude diária da temperatura do ar interior em comparação com a amplitude do ar exterior, comportamento típico de recintos com alta inércia térmica.

Recintos com sistemas leves têm uma resposta térmica mais suscetível a alterações no projeto da edificação, em comparação aos recintos com sistemas pesados, com alta inércia térmica (BRITO, 2015). Essas alterações são relacionadas a fatores como: cor da superfície externa dos componentes (GRANJA; LABAKI, 2003; CHENG; GIVONI, 2005; BRITO; AKUTSU, 2015), orientação solar de aberturas (AKUTSU; VITTORINO, 1990; CLARO, 2010), sombreamento de aberturas, contato do piso com o solo (CHIRAS, 2002; SOUZA et al., 2011; MAZZARRÓN et al., 2012; BRITO et al., 2013) e área envidraçada nos recintos (AKUTSU; VITTORINO, 1990; CLARO, 2010; SALES et al., 2014). Para o último aspecto, Sales et al. (2014) mostram que a alteração na área envidraçada na fachada de um recinto habitacional de 15 % da área de piso para 30%, proporciona um aumento de até 3°C no valor da temperatura máxima do ar interior em ambiente com sistema leve, enquanto, em um sistema pesado, ocorre um aumento da ordem de 0,7°C.

Devido à influência do projeto na resposta térmica dos recintos, em especial aqueles com baixa inércia térmica, nas avaliações em que se deseja ter uma ideia da adequação climática do sistema construtivo, é fundamental estabelecer um projeto padrão de ensaio para a avaliação do desempenho térmico dos recintos. Isso não implica, de maneira alguma, a imposição de um projeto para ser construído em todas as localidades brasileiras, mas somente a escolha de um projeto de referência para ser usado em todas as avaliações, de modo a possibilitar análises comparativas do desempenho térmico dos vários sistemas construtivos.

O projeto arquitetônico padrão de ensaio precisa representar as principais tipologias de habitações típicas brasileiras, como casa térrea, sobrado e apartamento, além de ter características de exposição ao clima, mais críticas do ponto de vista térmico, que sejam suficientes para gerar informações sobre desempenho térmico do sistema construtivo e que possam ser extrapoladas para outras edificações, com o mesmo sistema analisado,

expostas a condições menos críticas que aquelas que foram consideradas na avaliação.

Algumas dessas características, como a orientação solar de aberturas para a direção oeste no verão e sul no inverno, já são abordadas pelo texto atual da norma NBR 15575 (ABNT, 2013), havendo a necessidade de acrescentar informações quanto à porcentagem de área envidraçada e área de elementos opacos na fachada da habitação padrão de ensaio.

Um construtor que consiga obter o DATec para o sistema construtivo que comercializa teria a possibilidade de ter liberdade para fazer alterações no projeto das edificações, desde que suas características gerais sejam iguais ou menos críticas do que as da habitação utilizada nas avaliações (casa térrea, sobrado, apartamento).

3.3.2. Avaliações por Medições

No caso de avaliações por medições, além de considerar os projetos padrão de ensaio, o avaliador deve garantir que a edificação está exposta a condições mais críticas, sem haver sombreamento por árvores e vegetações, e que possam fornecer dados adequados.

Entretanto, mesmo com tais cuidados, ainda há influências do microclima local, que pode ser muito diferente se o campo de ensaio estiver em uma área rural ou em região urbana densamente edificada. Além disso, o período de medições precisa ser representativo de condições climáticas mais extremas, da ordem de grandeza de um dia típico de projeto, com frequência de ocorrência da ordem de 10%, o que nem sempre é possível. Desse modo, para esse tipo de avaliação, seria mais adequado realizar a avaliação por meio de simulações computacionais.

3.3.3. Avaliações por Simulações

Nas avaliações por simulações, com projetos padrão de ensaio, também é necessário considerar ajustes nos procedimentos de simulação que possam reduzir eventuais inconsistências em avaliações, decorrentes das imprecisões apontadas no zoneamento climático apresentado na norma NBR 15220 (ABNT, 2008) e dos dados climáticos de dias típicos de projeto ausentes ou incompletos, como apresentado anteriormente, bem como na forma de apresentar os resultados.

Quanto ao zoneamento, é possível apontar dois caminhos a seguir: a) refazê-lo ou corrigi-lo, o que não foi previsto no escopo do projeto de pesquisa da qual esta publicação faz parte, e necessitaria um projeto específico diante de sua complexidade; b) padronização de parte dos dados climáticos de entrada nas simulações.

Os dados climáticos de entrada no programa de simulação devem ser complementados de modo a reduzir a atuação do avaliador na sua escolha, proporcionando maior consistência dos resultados, visto que este profissional se limitará a tomar decisões somente quanto aos dados descritivos da geometria e das características dos materiais.

Com referência ao relatório de apresentação dos resultados das avaliações no âmbito do SiNAT, é necessário estabelecer um escopo mínimo de informações, abrangendo a descrição do método de trabalho, que deve ter como base os procedimentos da norma NBR 15575 (ABNT, 2013); uma descrição detalhada dos dados climáticos e do sistema construtivo, incluindo características térmicas das camadas de materiais e todas as informações necessárias à eventual reprodução das simulações. Além disso, é fundamental ter um profissional que assine o relatório de avaliação, responsabilizando-se por seus resultados.

Referências

AKUTSU, M. **Método para avaliação do desempenho térmico de edificações no Brasil**. 1998. 150 p. Tese (doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

AKUTSU, M.; VITTORINO, F. Aplicação de Isolante Térmico em Edificações: Efeito no Conforto Térmico e nas Cargas Térmicas de Condicionamento de Ambientes. In: Encontro Nacional de Conforto Ambiental, 1990, Gramado. **Anais...** Gramado: Antac, 1990. p. 69-77.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15220**: Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15575**: Edifícios Habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

BRITO, A.C.; AKUTSU, M.; VITTORINO, F.; AQUILINO, M.M. O efeito da verticalização do edifício e do sistema construtivo na inércia térmica de habitações unifamiliares. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2013, Brasília. **Anais...** Brasília: Antac, 2013.

BRITO, A.C. **Contribuição da inércia térmica na eficiência energética de edifícios de escritórios na cidade de São Paulo**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica de Energia de Fluidos) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3150/tde-13062016-102613/>>.

BRITO, A.C.; AKUTSU, M. Contribuição da cor da cobertura na melhoria do desempenho térmico de habitação no período de verão. In: XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC 2015), 2015, Campinas. **Anais...** Campinas: Antac, 2015.

CHENG, V.; GIVONI, B. Effect of envelope colour and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate. **Solar Energy Journal**, v. 78, p. 528-534, 2005.

CHIRAS, D. D. **The solar house**: passive heating and cooling. 1. ed. Chelsea Green Publishing Company, 2002.

CLARO, M.S. **Análise do efeito do envidraçamento sobre a eficiência energética de fachadas em edifícios de escritórios de grande porte na cidade de São Paulo**. 2010, 194 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, São Paulo, 2010.

GRANJA, A.D.; LABAKI, L. C. Influence of external surface colour on the periodic heat flow through a flat solid roof with variable thermal resistance. **Journal of Energy Research**, v. 27, p. 771-779, 2003.

MAZZARRÓN, F.R.; FALCETO, J.C.; CAÑAS, I. Ground Thermal Inertia for Energy Efficient Building Design: A Case Study on Food Industry. **Energies**, p. 227-241, 2012.

SALES, E.M.; AKUTSU, M.; BRITO, A. C. Efeito de variações no projeto de arquitetura de uma habitação no seu desempenho térmico In: XV encontro nacional de tecnologia do ambiente construído (ENTAC 2014), 2014, Maceió. **Anais...** Maceió: Antac, 2014.

SOUZA, H.A.D.; AMPARO, L.R.; GOMES, A.P. **Influência da inércia térmica do solo e da ventilação natural no desempenho térmico**: um estudo de caso de um projeto residencial em light steel framing. Ambiente Construído. Porto Alegre, v. XI, p. 113-118, 2011.