

## **Análise das propriedades termo físicas das envoltórias de edificações residenciais: aperfeiçoamento dos parâmetros padronizados**

### ***Analysis of thermophysical properties of residential buildings envelopes: improvement of standardized parameters***

profa. Jussara Grosch Ludgero Ramos; profa. Anna Christina Miana; Caio Alves de Figueiredo; Isabela Cristina Silva Mota; Marina Keola Ramalho Rodrigues; Matheus de Almeida Fadul

Centro Universitário Metodista Izabela Hendrix

#### **Resumo**

Esse artigo apresenta os resultados parciais da pesquisa desenvolvida pela equipe de professores e estudantes do curso de Arquitetura e urbanismo do Instituto Metodista Izabela Hendrix iniciada em 2015. O objetivo principal dessa pesquisa é aperfeiçoar a metodologia de análise de desempenho para efeito de normalização, buscando definir os critérios mais apropriados das propriedades termo físicas das envoltórias que garantam o bom desempenho térmico de edificações residenciais multifamiliares através de investigação teórica e do método de simulação computacional. Como conclusão do trabalho verificou-se que deve ser verificado o desempenho térmico a partir da análise de transferência de calor por unidade de área de fachada observando a contribuição dos parâmetros individualmente e associados além de verificar a contribuição da orientação solar de fachada. Definou-se, ainda, a tipologia arquitetônica e o melhor software a ser utilizado nos experimentos.

**Palavras-chave:** desempenho térmico; envoltórias; propriedades termo físicas; tipologia arquitetônica; residencial multifamiliar.

#### **Introdução**

Como solução ao desperdício de energia elétrica em edificações, o Brasil vem adotando políticas de racionalização do uso da energia. No que tange ao consumo energético das edificações foram desenvolvidas normalizações que classificam e impõem critérios de desempenho termo energético. Entretanto essas iniciativas são recentes e ainda incipientes. A importância da avaliação do desempenho térmico das envoltórias se justifica não apenas pelo conforto térmico dos usuários, mas também pela racionalização da energia elétrica.

Em 2009 foi instituída a Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios (BRASIL, 2009) desenvolvida pelo PROCEL<sup>12</sup> Edifica, ele faz a avaliação do desempenho energético através de um índice de consumo para envoltória, sistema de iluminação e condicionamento de ar. A NBR 15575 – Desempenho de Edificações Habitacionais foi publicada a primeira versão em 2008 (ABNT, 2008) e em 2013 (ABNT, 2013) a versão final. A norma técnica avalia a qualidade de sistemas construtivos individualmente a partir de requisitos para diversos sistemas da edificação. Ancorada na NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações (ABNT, 2005), dentre outras normas nacionais e internacionais, a NBR 15575 (ABNT, 2013) buscou sintetizar parâmetros relacionados ao conforto dos usuários e ao desempenho térmico, acústico, estrutural, de proteção contra incêndio, entre outros. Com relação à avaliação térmica, a norma classifica a envoltória como satisfatória ou insatisfatória através do método prescritivo das propriedades térmicas dos elementos construtivos ou através de dados de simulação. A análise de desempenho parametrizada avalia os elementos construtivos opacos, ou seja, paredes e cobertura, contudo não são estipulados requisitos para os sistemas as aberturas externas, exceto pelo Fator Solar.

Esse artigo apresenta os resultados parciais da pesquisa desenvolvida pela equipe de professores e estudantes do Instituto Metodista Izabela Hendrix iniciada em 2015. O objetivo principal dessa pesquisa é buscar definir critérios apropriados das propriedades térmicas das envoltórias de edificações que garantam o bom desempenho térmico de edificações residenciais multifamiliares. Os demais objetivos são: analisar, através de revisão bibliográfica, os parâmetros estabelecidos na NBR 15220:2005 e NBR 15575:2013, observando se esses garantem o desempenho e conforto térmico das edificações; estabelecer o melhor programa computacional a ser utilizado por estudantes do ensino superior; definir tipologia habitacional que corresponda ao parque edificado de média renda do Brasil na atualidade.

Os parâmetros de análise do desempenho térmico das edificações através das regulamentações estão sendo criticadas e por vezes questionadas. Oliveira, Souza e Silva (2013) consideram que é necessária uma revisão geral na legislação acerca do desempenho térmico dos edifícios no Brasil. Segundo Chvatal (2014) “há ainda poucos estudos no Brasil que analisam a NBR 15575”. Segundo Oliveira *et al* (2005), os

---

<sup>12</sup> PROCEL é o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica do governo federal.

cálculos feitos pela ABNT (NBR 15220:2005) são demasiadamente simplificados, não comportando a diversidade climática do país. Para Santo; Alvarez e Rodrigues (2013), a NBR 15575:2008 não considera o usuário como fator decisivo na classificação dos níveis de desempenho da mesma.

Brito *et al.* (2012) e Marques e Chvatal (2013) observaram discrepâncias entre o procedimento simplificado e o método de simulação dessa norma, apresentando resultados diferentes para uma mesma edificação. Loura, Assis e Bastos (2011) fizeram a comparação entre o método simplificado da NBR 15.575 (ABNT, 2008) e o método prescritivo do RTQ-R, aplicado à zona bioclimática 8 e observaram várias divergências nos resultados finais entre ambos.

A respeito dos parâmetros de simulação computacional, Lima, Pedrini e Alves (2012) verificaram grande diferença no cálculo dos graus-hora de resfriamento para a avaliação através de simulação. Brito *et al.* (2010) consideraram o método de simulação da NBR 15575 (ABNT, 2008) insatisfatório, tanto pela faixa de temperatura adotada na avaliação quanto pela simulação de apenas um dia típico. Silva e Guisi (2014) observaram que dependendo do cenário de análise, os métodos de simulação do RTQ-R e da NBR 15575 podem produzir resultados divergentes.

O estudo de Chvatal (2014) fez a análise da influencia das propriedades térmicas nos dois procedimentos de análise da NBR 15575. “Os resultados demonstraram que o impacto conjugado da transmitância e da absortância não é representado de forma adequada nos limites estabelecidos pelo procedimento simplificado” (CHVATAL, 2014). Esse estudo não apresentou variação significativa das capacidades térmicas dos elementos construtivos.

A norma de desempenho de edificações (NBR 15575:2013) está baseada na norma 15220 (ABNT, 2005), contudo estabelece critérios simplificados e diferentes para as mesmas zonas bioclimáticas. Ferreira, Souza e Assis (2015) fizeram uma comparação entre as normas NBR 15220 (ABNT, 2005), NBR 15575 (ABNT, 2013) e o método da tabela de Mahoney através de simulações parametrizadas de um cômodo de uma edificação residencial multifamiliar. Constataram que os dados estipulados por todos os métodos não garantem o conforto nas zonas bioclimáticas 7 e 8, por terem condições climáticas excessivamente quentes; além disso, para as outras zonas, a NBR 15220 apresentou as piores respostas de horas de desconforto e Mahoney, as melhores. Deve-

se fazer a consideração que a simulação utilizou aberturas sem sombreamento, o que pode gerar uma carga de calor irradiada dentro da edificação. Esse calor irradiado pode alterar o resultado final da simulação, o qual deve ser mais bem investigado. As autoras observaram que existe uma contradição dos valores limites normativos e aqueles adequados ao conforto térmico.

Assim sendo, os parâmetros estipulados pelas normas vigentes não são suficientes para estimar o desempenho térmico de uma edificação. Faz-se necessário o aprofundamento da discussão a cerca dos critérios de desempenho térmico nas edificações estabelecidos pelas normas.

### **Análise das Propriedades Térmicas**

Estudos apontam a influência de diversas características da envoltória da edificação no desempenho termo-energético da edificação, sendo consideradas as mais importantes: orientação solar das fachadas, percentual de área envidraçada da fachada, sombreamento das aberturas, propriedades térmicas da envoltória, fator solar do vidro e cor do revestimento. O estudo de Carlo (2008) demonstra que as propriedades termo-físicas da envoltória não representam de forma linear a variação do consumo energético, necessitando de estudos mais aprofundados sobre o tema, tal como relata Carlo:

“A Transmitância Térmica de paredes é dependente de suas Capacidades Térmicas, de temperaturas internas e externas e da volumetria da edificação. A complexidade dos resultados indicou a necessidade de se ampliar o estudo para avaliar o fenômeno perante outros climas” (CARLO, 2008, p. 148).

Uma das estratégias de desempenho de edificações, utilizada para tratar a troca de calor do ambiente exterior é a chamada massa térmica, descrita pelo fenômeno da inércia térmica, que é função das propriedades dos materiais construtivos opacos. A inércia térmica dos componentes construtivos é uma estratégia bioclimática que pode auxiliar na redução das amplitudes das temperaturas internas. Segundo Santamouris e Asimakopoulos (1996 p. 42), o processo de inércia térmica promove um resfriamento passivo, no qual “o frescor é coletado durante a noite e é liberado no outro dia, amenizando o efeito de calor acumulado dentro do edifício”. O uso da inércia térmica

na edificação ajuda no atraso e na diminuição dos picos de calor externos. Uma edificação com pouca inércia segue muito próxima a variação da temperatura externa (PAPST, 1999). Um sistema construtivo é considerado como de “alta” inércia quando provoca acentuados atrasos e amortecimentos (RORIZ, 1996). O fato de armazenar calor dentro da estrutura da edificação funciona como um dissipador de calor, evitando a oscilação e os picos durante o dia, e dissipando o calor mais tarde (YANNAS e MALDONADO, 1995, *apud* PAPST 1999).

O uso da inércia térmica é recomendado como estratégia bioclimática para climas quentes com grandes amplitudes térmicas, como é o caso do quente e seco. Segundo Dornelles e Roriz (2004), dependendo da variação climática, a inércia pode trazer efeito negativo, neutro ou positivo no desempenho térmico de edifícios.

### **Escolha de Software**

Para a melhor avaliação do desempenho térmico em edificações, são necessários cálculos e análises complexas, sendo utilizados programas computacionais. Existem vários softwares que auxiliam neste processo e que vem sendo implantados como o EnergyPlus® utilizado em diversas pesquisas (CARLO, TOCCOLINI, 2005; LAMBERTS *et al*, 2005), o VisualDOE® (PEDRINI *et al*, 2005), o Tas® e o DesignBuilder®.

O EnergyPlus® provém dos programas Blast® e DOE-2® e foi desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos. A simulação de carga térmica e análise energética de edificações e seus sistemas se dá pelo cálculo do modelo de um edifício e que posteriormente, gerará uma análise energética (Melo, Matos e Westphal 2009). Porém, é um programa de simulação sequencial o qual não há troca de dados entre as categorias de análise como zonas de construção e sistemas de distribuição de ar.

O DesignBuilder® é uma interface avançada com simulação integrada entre as categorias de análise. De acordo com Costa (2013), o software tornou-se fundamental “uma vez que permite efetuar simulações muito fiáveis, entrando com uma vasta gama de variáveis, tais como as dimensões do edifício, características das superfícies, equipamentos instalados, etc.”.

Ambos os programas são amplamente usados considerando suas interfaces práticas, suas frequentes atualizações, seus algoritmos e seus resultados. Outro benefício do DesignBuilder® é a possibilidade de modelagem 3D enquanto no EnergyPlus®, não há esta possibilidade e apenas insere-se as informações. Além disso, a inserção de dados no DesignBuilder® é mais prática. Isso decorre pela presença de duas bibliotecas: de componentes (materiais de construção, equipamentos, horários de utilização, climas, etc.) e outra de modelos já existentes (COSTA, 2013). Concomitantemente, o DesignBuilder® conta com manuais, tutoriais e vídeos para manuseio do programa de fácil compreensão.

A validação de resultados do programa DesignBuilder® ocorre pelo método BEStest (Building Energy Simulation Test). Após a análise do modelo, os resultados são dados por gráficos de fácil leitura (com legenda), que poderão ser exportados para o programa Microsoft Excel.

### **Análise Tipológica de Edificações Residenciais Multifamiliar**

Foram feitas pesquisas das tipologias de edifícios multifamiliares construídos na região metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), destinados a classe média-baixa, através de folders de venda disponibilizados pelas construtoras, entrevistas e coleta de informações de projetos de construtoras locais, além da análise de tipologias de plantas de outras pesquisas observadas nas figuras 1-4. A partir desses estudos, observou-se que o padrão de habitações para o público alvo das classes média e baixa possui dois ou três quartos; a área dos apartamentos de baixa renda são entorno de 70m<sup>2</sup>, já os de média renda variam de 80 a 100m<sup>2</sup>; em algumas tipologias pequenas varandas propostas são estabelecidas de forma a serem transformadas, após o habite-se, em uma ampliação da sala;. Além disso, observam-se as seguintes características que se repetem nas várias tipologias: as áreas de serviço e cozinha são conjugadas; salas de televisão, jantar e estar estão conjugadas em um único ambiente e possuem espaço bem reduzido; todos possuem pequenas aberturas, espelhamento de planta do pavimento tipo e, por consequência, a ausência de preocupação com a orientação solar, tendo em vista que a maioria não possui uma direção favorável determinante. Dessa forma, é possível concluir que existe pouca preocupação com o conforto térmico das edificações.

Foram observados os dados utilizados para a elaboração do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios (RTQ-R), o relatório ‘Levantamento de dados visando a definição de protótipos de edificações brasileiras’ (Lamberts, Carlo e Toccolini, 2005). Segundo o relatório, os protótipos residenciais foram baseados em Tavares (2003). Foram definidos quatro protótipos residenciais, dois unifamiliar e dois multifamiliar. O estudo de Tavares (2003) se baseou em dados de órgãos oficiais tais como o IBGE e a ABNT. Esse apresenta um resultado da significância do modelo residencial multifamiliar corresponde a 10% do total da amostra pesquisada, os outros 90% corresponde ao residencial unifamiliar. Os protótipos multifamiliar são de 70m<sup>2</sup> para baixa renda e 100m<sup>2</sup> para média renda, vistos nas figuras 5 e 6.

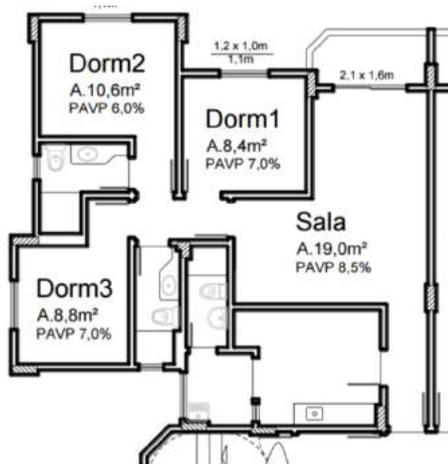


Figura 1 - Tipologia 3 quartos - 100m<sup>2</sup>, Campo Grande-MS Fonte: Versace, 2011.



Figura 2 - Tipologia 2 quartos - 70m<sup>2</sup>, Vitória-ES Fonte: Santo, Alvarez e Rodrigues, 2013

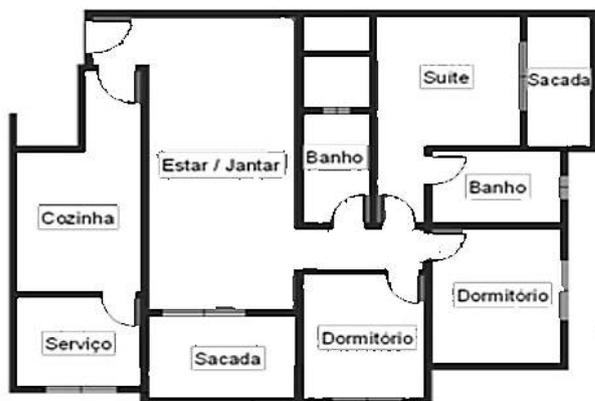


Figura 3 - Tipologia 3 quartos - 75 m<sup>2</sup>, Florianópolis-SC Fonte: Longo e Castro, 2012.

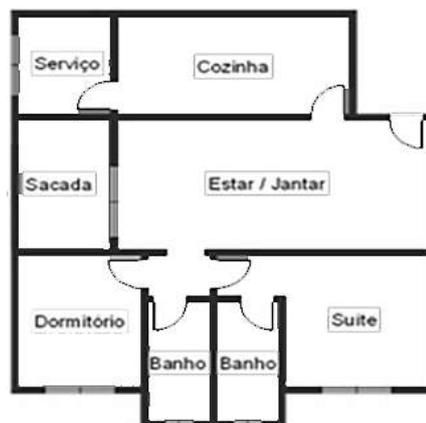


Figura 4 - Tipologia 2 quartos - 83m<sup>2</sup>, Florianópolis-SC Fonte: Longo e Castro, 2012.

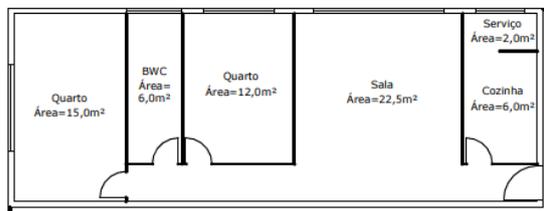


Figura 5 - Modelo multifamiliar, 2 quartos, baixa renda 70m<sup>2</sup>. Fonte: Tavares (2003)

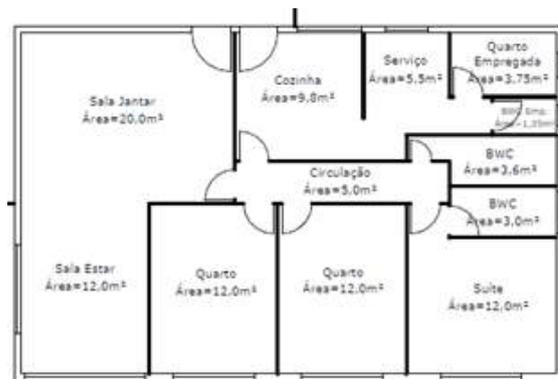


Figura 6 - Modelo multifamiliar, 3 quartos, média renda, 100m<sup>2</sup>. Fonte: Tavares (2003)

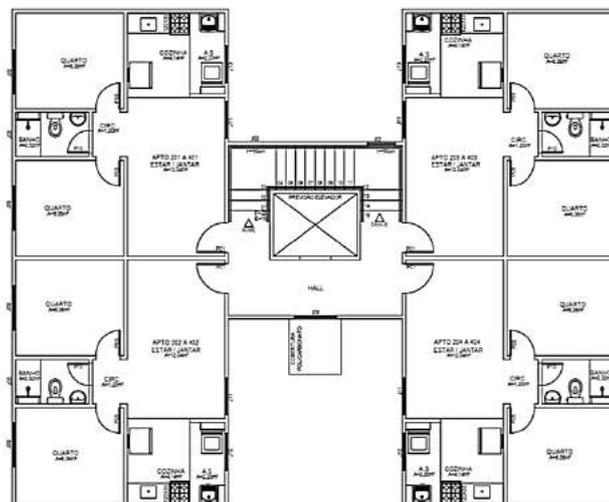


Figura 7 - Planta tipo "H", 4 aptos. de 2 quartos. Fonte: Disponibilizado por construtora de porte de Minas Gerais, 2015.

## Discussão

Sobre a análise de tipologia, pôde-se concluir que atualmente o padrão de apartamentos para o público alvo de classe média-baixa possuem de 2 a 3 quartos e área que varia de 70 a 100 m<sup>2</sup>. Podem-se perceber através das plantas algumas características padrões das edificações: o padrão de planta mais comum é o perfil H, sendo quatro unidades por andar, não existindo orientação favorável determinada.

Com relação à análise dos parâmetros do desempenho térmico, a simulação parametrizada deve ser feita em conjugação de inúmeras variáveis que influenciam no

desempenho térmico das edificações. Quer dizer, os diversos parâmetros e valores limites devem estar associados em conjunto para se obter respostas mais condizentes com o conforto térmico. A transmitância térmica deve estar associada à capacidade térmica, ao valor de atraso térmico e absorvância. Além disso, devem-se fazer os experimentos para diferentes condições de orientação solar, percentual de abertura de fachada e sombreamento das aberturas.

Ficaram definidos os objetivos para a continuidade da pesquisa: verificar o desempenho de horas de conforto e desconforto a partir da análise de transferência de calor por unidade de área de fachada observando a contribuição dos parâmetros individualmente e associados (transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e absorvância); analisar os dois componentes de fachada (alvenaria e vidros); verificar a contribuição da orientação solar de fachada no fluxo de calor; fazer análise comparativa dos resultados de simulação com o método simplificado segundo os valores limites das normas.

Serão desenvolvidos experimentos de simulação no software programa DesignBuilder® para o clima de Belo Horizonte utilizando a planta do tipo “H” com 70m<sup>2</sup> de área de apartamento, conforme topologia da Figura 7, sendo observados os dados dos dois quartos da habitação, por possuírem diferentes condições de exposição solar. Os dados de resposta irão contemplar a quantidade de ganho de calor da envoltória por unidade de área de fachada.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15575 - Edifícios habitacionais: desempenho**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575 - Edifícios habitacionais: desempenho**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

BRITO, A. C. *et al.* **Contribuições Para o Aprimoramento da NBR 15575 Referente ao Método Simplificado de Avaliação de Desempenho Térmico de Edifícios**. In:

ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14., Juiz de Fora, 2012. Anais... Juiz de Fora: ANTAC, 2012. p. 3191-3197.

BRITO, A. C. *et al.* **Sugestões para Revisão da Norma ABNT NBR 15575:2008, Referentes ao Desempenho Térmico.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 3., Canela, 2010. Anais... Canela: ANTAC, 2010.

CHVATAL, K. M. S. **Avaliação do procedimento simplificado da NBR 15575 para determinação do nível de desempenho térmico de habitações.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 4, out./dez. 2014. p. 119-134.

FERREIRA, C.C.; SOUZA, H. A. de; ASSIS, E. S. de. **Comparação de desempenho de envoltórias recomendadas por normas de desempenho e Mahoney.** In: ENCONTRO NACIONAL CONFORTO NO AMBIENTE CONTRUÍDO, 13; ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONTRUÍDO, 9. Campinas, 2015. Anais... Campinas: ANTAC, 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL-INMETRO. **Portaria nº 449: Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais.** Rio de Janeiro: INMETRO, 2010.

LAMBERTS, R.; CARLO, J. C.; TOCCOLINI, G. **Relatório: AET N° 02/04 Elaboração de Regulamentação e Classificação de Edificações Eficientes: Levantamento de dados visando a definição de protótipos de edificações brasileiras – Convênio ECV-007/2004 Eletrobrás-UFSC.** Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. Florianópolis, 2005.

LIMA, G.; PEDRINI, A.; ALVES, A. **Avaliação do Desempenho Térmico de Uma Habitação de Interesse Social Localizada no Clima Quente e Úmido da Cidade de Parnamirim/RN Com Base no Método de Simulação do RTQ-R.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14., Juiz de Fora, 2012. Anais... Juiz de Fora: ANTAC, 2012.

LOURA, R. M.; ASSIS, E. S. de; BASTOS, L. E. G. **Análise Comparativa entre Resultados de Desempenho Térmico de Envoltórias de Edifícios Residenciais Gerados por Diferentes Normas Brasileiras.** In: ENCONTRO NACIONAL CONFORTO NO AMBIENTE CONTRUÍDO, 11; ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONTRUÍDO, 7. Búzios, 2011. Anais... Búzios: ANTAC, 2011.

MARQUES, T. H. T.; CHVATAL, K. M. S. **A Review of the Brazilian NBR 15575 Norm: applying the simulation and simplified methods for evaluating a social house thermal performance.** In: SYMPOSIUM ON SIMULATION FOR ARCHITECTURE AND URBAN DESIGN, 4., San Diego, CA, 2013. Anais... San Diego: SCS, 2013.

OLIVEIRA, R. D.; SOUZA, R. V. G. de; SILVA, R. M. da. **Desempenho Térmico: Qual Valor Devemos Atender Para a Legislação Brasileira?** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12.; ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., Brasília, 2012. Anais... Brasília: ANTAC, 2012. p. 3191-3197.

RAMOS, J. G. L. **Efeito da inércia térmica em edifícios de escritórios: estudo de caso em Belo Horizonte, MG.** Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído, Patrimônio Sustentável, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

SILVA, A. S.; GHISI, E. **Análise comparativa dos resultados do desempenho térmico da envoltória de uma edificação residencial pelos métodos de simulação do RTQ-R e da NBR 15575-1.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 213-230, jan./mar. 2014.

MELO, A. P.; WESTPHAL, F. S.; MATOS, M. **Apostila Do Curso Básico do Programa EnergyPlus.** Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. Florianópolis, 2009.