

Determinação do nível de eficiência da envoltória de edificações comerciais de acordo com o RTQ-C

Citation for published version (APA):

Melo, A. P., Costola, D., Lamberts, R., & Hensen, J. L. M. (2011). Determinação do nível de eficiência da envoltória de edificações comerciais de acordo com o RTQ-C. In *Anais do XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Buzios (Brazil), August 2011* (pp. 1-10). ANTAC.

Document status and date:

Published: 01/01/2011

Document Version:

Accepted manuscript including changes made at the peer-review stage

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.



XIENCAC
ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

VIIELACAC
ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

Búzios - RJ - 2011

DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA DA ENVOLTÓRIA DE EDIFICAÇÕES COMERCIAIS DE ACORDO COM O RTQ-C

Ana Paula Melo (1); Daniel Cóstola (2); Roberto Lamberts (3); Jan Hensen (4)

- (1) Mestre em Engenharia Civil, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, apaula_melo@labeec.ufsc.br, Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Florianópolis
- (2) PhD, Postdoc researcher of Department of Architecture, Building and Planning, D.Costola@tue.nl, Eindhoven University of Technology, Building Physics & Systems group, Eindhoven
- (3) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil, lamberts@labeec.ufsc.br, Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Florianópolis
- (4) PhD, Professor of Department of Architecture, Building and Planning, J.Hensen@tue.nl, Eindhoven University of Technology, Building Physics & Systems Group, Eindhoven

RESUMO

Este artigo apresenta uma avaliação preliminar sobre a precisão do modelo simplificado para a avaliação da eficiência da envoltória do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). A metodologia consiste em avaliar e comparar os níveis de eficiência obtidos para diferentes tipologias através do Método Prescritivo e do Método de Simulação. Foram adotadas 4 tipologias com diferentes características, sendo estas analisadas para o clima de Florianópolis – Brasil. O programa computacional Energyplus foi adotado para a utilização do Método de Simulação, uma vez que este enquadra-se em todos os pré-requisitos exigidos pelo RQT-C. Na comparação entre os dois métodos, observou-se que o uso do modelo simplificado resultou em níveis de eficiência de envoltória inferiores para as tipologias adotadas quando comparado ao Método de Simulação. Este comportamento refletiu mais significativamente para as tipologias que apresentam o valor de Fator de Forma inferior ao limite mínimo exigido pelo regulamento. Esta análise demonstra limitações do modelo simplificado para a avaliação da envoltória presente no RTQ-C modelo, contribuindo para o aprimoramento dos instrumentos legais relativos a eficiência energética no ambiente construído.

Palavras-chave: modelo simplificado, simulação computacional, RTQ-C, eficiência energética.

ABSTRACT

This paper provides a preliminary evaluation on the accuracy of the simplified model for energy performance assessment provided by the Regulation for Energy Efficiency Labelling of Commercial Buildings in Brazil (RTQ-C). The methodology consisted on evaluating and comparing results obtained for different typologies by applying the Prescriptive Method and Simulation Method, adopting the weather file of Florianópolis – Brazil. The program EnergyPlus was adopted to run the simulations as this program encloses all the requirements established by RTQ-C. Results have shown that the use of the simplified model led to a lower energy efficiency label than the one obtained using the Simulation Method. This behavior was highlighted in typologies with Shape Factor (FF) value outside from the RTQ-C limits conditions. This analysis demonstrates limitations of the RTQ-C simplified model for energy performance assessment, contributing to the improvement of regulation regarding energy efficiency in the built environment.

Keywords: simplified model, computer simulation, RTQ-C, energy efficiency.

1. INTRODUÇÃO

O conceito de sustentabilidade e a busca por edifícios verdes vêm modificando práticas na área da construção civil. Os edifícios verdes, os quais são supostamente construídos com o mínimo de impacto ambiental possível, vem ganhando grande conceito no mercado e contribuindo com na construção de edificações mais eficientes energeticamente.

Muitos países vêm percebendo a importância de construir de forma sustentável, buscando elaborar certificações as quais aumentem a eficiência das suas edificações. Muitas destas certificações baseiam-se no desempenho energético das edificações, informando através de uma etiqueta o nível de eficiência obtido. Investimentos na eficiência energética de edificações além de oferecer benefícios financeiros, também proporcionam benefícios ambientais. No entanto, Sardanou (2008) ressalta que os governantes responsáveis devem estar cientes que a educação ambiental e de energia também devem ser considerados como uma estratégia de conservação. Pérez-Lombard et al. (2009) relata que o sucesso de uma certificação baseia-se em três fatores: obter uma certificação que derive resultados de qualidade para o investimento aplicado; a precisão da economia de energia alcançada; e o compromisso de reduzir os gases de efeito estufa, a fim de prevenir os impactos do aquecimento global.

Atualmente, muitas das certificações adotam o uso de simulação computacional de edificações para a sua avaliação energética, através de programas como EnergyPlus and ESP-r. Entretanto, muitos países, como Portugal, Holanda e Brasil, vêm desenvolvendo seus próprios métodos para a avaliação energética da edificação, sendo que estes geralmente tem como base um modelo simplificado.

Em Portugal, o novo regulamento térmico foi implementado 2006, sendo dividido entre edifícios residenciais (RCCTE, 2006) e edifícios de escritórios com HVAC (RSECE, 2006). O tipo e o nível dos requisitos dependem da categoria do edifício. A precisão do método simplificado da regulação térmica de Portugal para os edifícios existentes foi avaliada por Silva et al. (2009). Baseado em medições "in-situ" para a calibração de dados de entrada, os resultados mostram que geralmente o modelo simplificado apresenta resultados em torno de 11% superiores aos resultados da método detalhado. No entanto, Chvatal e Corvacho (2009) indicam que o aumento no isolamento térmico do envelope refletem a um maior número de horas de desconforto durante o período de ocupação para edifícios comerciais localizados em Portugal.

Desde 1995, as novas construções de edificações na Holanda devem estar de acordo com o Código Holandês (NEN 2916) para determinar o desempenho energético dos edifícios não residenciais. Este código é adotado para estimar o consumo total de energia primária para iluminação, refrigeração, aquecimento, ventiladores, bombeamento, umidificação e água quente para uso doméstico. Além disso, este código contém um novo processo para estabelecer as necessidades energéticas de aquecimento e refrigeração para diferentes sistemas de condicionamento de ar. Entretanto, a relação entre o desempenho energético com base na certificação e no real consumo da edificação foram avaliadas (CDC, 2004; Santil et al, 2009) e demonstram que há uma significativa diferença entre os valores de EPC e consumo atual.

Com a crise do setor elétrico, em 2001, o Brasil começou a estabelecer ações para estimular o uso eficiente da energia elétrica. O primeiro passo foi a elaboração da Lei Nº 10.295, publicada pelo Ministério de Minas e Energia em 17 de outubro de 2001, a qual estabelece a criação de mecanismos que resultem em edificações mais eficientes energeticamente (BRASIL, 2001a). Em dezembro de 2001, esta lei foi regulamentada pelo Decreto Nº 4.059 (BRASIL, 2001b), advertindo que os fabricantes e importadores de máquinas e aparelhos consumidores de energia são obrigados a adotar níveis máximos de consumo de energia e mínimos de eficiência energética, de acordo com os estudos referentes a cada máquina e aparelho. Depois de alguns anos de discussão e de trabalhos envolvendo diversas instituições, foi aprovado sob a portaria de Nº 53 no dia 27 de Fevereiro de 2009 (INMETRO, 2009) o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Este regulamento visa a etiquetagem de edificações no Brasil, classificando pelo nível de eficiência energética e baseando-se em três requisitos principais: Eficiência e potência instalada do sistema de iluminação; Eficiência do sistema do condicionamento de ar e Desempenho térmico da envoltória da edificação. Inicialmente, o regulamento é de caráter voluntário, mas depois de alguns anos da sua implantação esta proposta passará a ter caráter obrigatório, sendo a edificação avaliada de acordo com requisitos que variam de eficiência A (mais eficiente) a E (menos eficiente). O RTQ-C apresenta dois métodos para a avaliação do nível final de eficiência da edificação: Método Prescritivo ou através do Método de Simulação.

Através da utilização de programas de simulação energética é possível avaliar o desempenho térmico e energético de edificações. Nos últimos anos, nota-se que diferentes programas de simulação têm sido desenvolvidos (CRAWLEY et al., 2008), aumentando a possibilidade de analisar a interação de diferentes sistemas presentes no projeto. Por outro lado, a utilização destes programas exige uma demanda considerável de tempo e recursos. Além disso, o uso de programas de simulação do desempenho térmico requer um nível

deconhecimento muito amplo e complexo quando comparado com os métodos simplificados. Os métodos simplificados geralmente adotam poucos dados de entrada e são desenvolvidos adotando diversas suposições quanto ao clima, padrões de uso e tipo de construções. Estes métodos fornecem uma ferramenta rápida para a avaliação do desempenho da edificação, mas também podem compreender uma incerteza considerável em seus resultados, levando a comprometer o processo de certificação dos edifícios.

Durante o desenvolvimento do modelo simplificado para a avaliação da envoltória presente no RTQ-C, foram encontradas algumas limitações com relação à volumetria do edifício e do parâmetro transmitância térmica das paredes (CARLO, 2008). Sendo assim, foram determinados dois modelos simplificados para a avaliação da envoltória referentes a área da projeção da edificação; e o parâmetro transmitância térmica das paredes foi excluído do modelo.

Com base nestas limitações referentes à volumetria e envoltória das edificações, este trabalho tem como objetivo avaliar a precisão do modelo simplificado para o cálculo da eficiência da envoltória segundo o Método Prescritivo do RTQ-C. Para isso, serão avaliadas e comparados os níveis de eficiência alcançados através do Método Prescritivo e do Método de Simulação.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é avaliar a precisão do modelo simplificado para avaliação da envoltória do Método Prescritivo do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos do Brasil.

3. MÉTODO

A metodologia deste trabalho consiste em avaliar o nível de eficiência da envoltória obtido para diferentes edificações comerciais adotando o modelo simplificado do Método Prescritivo presente no RTQ-C. Posteriormente, baseando-se nos resultados de nível de eficiência encontrados através do modelo simplificado, será realizada uma comparação com o nível de eficiência obtido com a utilização do Método de Simulação. Para certificar-se que a comparação será adequada, os mesmo parâmetros fixos adotados no desenvolvimento do modelo simplificado (densidade de carga interna, padrão de uso, eficiência e tipo do sistema de condicionamento de ar, orientação das maiores fachadas) serão adotados para o cálculo do Método de Simulação.

3.1. Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos

Em Fevereiro de 2009, foi aprovado o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). A implementação deste regulamento reflete na busca por construções eficientes, apresentando uma grande melhoria na eficiência energética dos edifícios brasileiros.

O RTQ-C visa classificar os edifícios de acordo com cinco níveis: a partir de "A" (mais eficiente) a "E" (menos eficiente). Esta classificação pode ser realizada através do Método Prescritivo, o qual se refere a uma equação onde são atribuídos pesos a cada requisito; ou através do Método de Simulação o qual se adota a utilização de um programa de simulação computacional. O nível de eficiência da edificação ou dos sistemas é indicado através da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE).

3.1.1. Método Prescritivo

O Método Prescrito define a eficiência geral da edificação através de equações fornecidas pelo RTQ-C. Para cada requisito foi atribuído um peso, sendo que para a envoltória o peso atribuído foi de 30%, para o sistema de iluminação também atribuiu-se 30% e para o sistema de condicionamento de ar atribuí-se um peso de 40%.

A definição do nível de eficiência da envoltória da edificação para o Método Prescritivo, o qual é o foco deste artigo, é baseada na utilização de um modelo simplificado. Este modelo foi desenvolvido através da utilização do método estatístico de regressão linear múltipla, baseando-se em resultados de consumo final de diferentes edificações comerciais gerados através do uso de simulação computacional.

Durante o desenvolvimento do modelo simplificado, todos os casos considerados foram adotados com sistema de condicionamento de ar do tipo de janela e com eficiência A; e com as maiores fachadas das edificações voltadas para o Norte e Sul. Estes parâmetros foram adotados como fixos uma vez que o

consumo do sistema de condicionamento de ar é proporcional à eficiência do sistema; e as orientações apresentaram pouco impacto no envoltório (CARLO, 2008).

Após encontrar uma correlação de alta qualidade com a aplicação do método estatístico, todos os parâmetros não relacionados com o envelope da edificação foram considerados com valores fixos, como é o caso para a variável de DCI (densidade de carga interna) e PU (padrão de uso) os quais foram considerados com valores fixos de 25 W/m² e 11 horas, respectivamente. Ressalta-se que os valores de transmitância térmica das paredes e coberturas foram excluídos do modelo simplificado por não apresentarem uma relação linear com o consumo de energia. A influência do parâmetro da transmitância térmica das paredes depende da presença e comportamento de outros parâmetros presentes na edificação (MELO e LAMBERTS, 2008). Como consequência, o modelo simplificado leva em consideração somente a volumetria da edificação e alguns parâmetros relacionados à abertura: PAF (projeção de abertura na fachada), FS (fator solar), AVS (ângulo vertical de sombreamento) e AHS (ângulo horizontal de sombreamento).

Carlo e Lamberts (2010) descrevem o Método Prescritivo presente no RTQ-C e avaliam as limitações encontradas durante o seu desenvolvimento. Dentre as limitações encontradas, destaca-se a volumetria das edificações. Através do método estatístico adotado para o desenvolvimento do método simplificado não foi possível considerar, na mesma equação, todas as variações de volumetria analisadas. Como consequência, foram estabelecidas duas equações baseadas na área de projeção da edificação: maiores que 500m² e menores ou iguais a 500m². Antes de adotar o uso destas equações para avaliação da envoltória da edificação é essencial que sejam determinados dois fatores: Fator de Altura (FA) e Fator de Forma (FF). O primeiro fator descreve a razão entre a área da cobertura e área total da edificação. O fator seguinte descreve a razão entre a área da envoltória e o volume total da edificação. Com base nestes fatores, é possível compreender se a volumetria da edificação analisada está entre as geometrias consideradas para o desenvolvimento do modelo simplificado. Ressalta-se que para cada Zona Bioclimática brasileira foram estabelecidas duas equações com base na área de projeção da edificação, apresentando diferentes valores de FF máximo e mínimo.

$A_{pe} \leq 500 \text{ m}^2$ <p>Limite: Fator de forma máximo (A_{env}/V_{tot}) = 0,70</p> $IC_{env} = -175,30.FA - 212,79.FF + 21,86.PAF_T + 5,59.FS - 0,19.AVS + 0,15.AHS +$ $+ 275,19.\frac{FA}{FF} + 213,35.FA.FF - 0,04.PAF_T.FS.AVS - 0,45.PAF_T.AHS + 190,42$ $A_{pe} > 500 \text{ m}^2$ <p>Limite: Fator de forma mínimo (A_{env}/V_{tot}) = 0,15</p> $IC_{env} = -14,14.FA - 113,94.FF + 50,82.PAF_T + 4,86.FS - 0,32.AVS + 0,26.AHS -$ $- \frac{35,75}{FF} - 0,54.PAF_T.AHS + 277,98$

Figura 1 – Equações para o cálculo do Indicador de Consumo da envoltória para as Zonas Bioclimáticas 2 e 3.

A Figura 1 apresenta as equações do RTQ-C referentes às Zonas Bioclimáticas 2 e 3, onde se localiza a cidade de Florianópolis, Santa Catarina, a qual foi utilizada nas análises apresentadas neste artigo. Observa-se que, dependendo da área de projeção da edificação deve ser considerado um valor de Fator de Forma máximo e mínimo para o cálculo do modelo simplificado. De acordo com a regulamentação, os resultados para o modelo simplificado não representam o consumo da edificação, e sim um Indicadores de

Consumo (IC). Assim sendo, os resultados do modelo simplificado não são diretamente comparáveis com os resultados obtidos pelo Método de Simulação (resultados de consumo real em kWh/m²). Contudo, caso o modelo simplificado indique adequadamente o nível de eficiência do edifício, o nível calculado usando cada um dos métodos deve, na maior parte dos casos, ser o mesmo. Assim, as análises realizadas neste artigo são baseadas no nível de eficiência calculado, e não no consumo calculado.

3.1.2. Método de Simulação

O Método de Simulação do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos permite que o usuário compare o edifício real com um edifício de referência, o qual deve ser modelado de acordo com os pré-requisitos fornecidos pelo RTQ-C para o nível de eficiência pretendido. Através da simulação, compara-se o consumo final de cada edifício (real e de referência) sendo que: o consumo do edifício real deve ser menor ou igual ao do edifício de referência para que o mesmo alcance o nível de eficiência pretendido.

Para a utilização deste método, são exigidos pré-requisitos específicos quanto ao programa de simulação computacional e ao arquivo climático adotado. Além disso, são exigidas características em comum entre ambos os modelos (real e de referência) como mesma orientação; mesmo padrão de uso e operação dos sistemas, mesmo tipo de sistema de condicionamento de ar com o mesmo valor de *setpoint* de resfriamento e aquecimento.

Para o Método de Simulação além das características de cada tipologia, foram considerados os valores adotados como fixos para o desenvolvimento do modelo simplificado: padrão de uso de 11 horas, sistema de condicionamento de ar do tipo de janela com eficiência A, DCI de 25 W/m², orientação das maiores fachadas voltadas para Norte e Sul. Para o modelo real de todas as tipologias, considerou-se uma transmitância térmica de paredes e coberturas limites de acordo com o nível de eficiência A do RTQ-C. Ou seja, foram considerados os valores de transmitância de 3,7 W/m²K para as paredes e 1,0 W/m²K para a cobertura.

Conforme descrito na seção anterior, a comparação foi realizada adotando o clima da cidade de Florianópolis, Santa Catarina – Brasil. Sendo assim, para a avaliação com base no Método Prescritivo foi adotada a equação de Indicador de Consumo para a Zona Bioclimática de número 3; e para o Método de Simulação foi considerado o arquivo climático de Florianópolis do tipo TRY (*Test Reference Year*) de 1963, o qual representa um ano típico dentro de uma série de 10 anos. A análise através do Método de Simulação foi realizada utilizando o programa computacional *EnergyPlus*, o qual aborda todos os pré-requisitos exigidos pelo Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos.

3.2. Definição das tipologias

Para a aplicação do Método Prescritivo e do Método de Simulação, foram definidas 4 tipologias com diferentes número de pavimentos e área total construída; e com diferentes características de PAF (projeção de abertura na fachada), FS (fator solar) e AVS (ângulo vertical de sombreamento). As características das tipologias estão apresentadas nas Figura 2 a Figura 5.

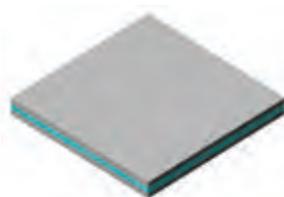


Figura 2 – Tipologia 01.

A Tipologia 01 apresenta uma área total de 2500m², totalmente condicionada. Para este modelo foi considerado um PAF de 50% distribuído para todas as fachadas, e sem a utilização de proteção de sombreamento. O fator solar dos vidros adotado para este tipologia é de 0,58, representando um vidro reflexivo.

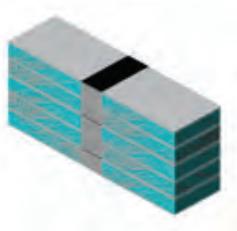


Figura 3 – Tipologia 02.

Para a Tipologia 02 considerou-se uma edificação com 5 pavimentos tipo, com um total de 1001m^2 de área construída. A edificação é totalmente condicionada, exceto na parte central onde há a presença de escadas e elevadores. O PAF é de 70% nas fachadas das áreas condicionadas, adotando um ângulo vertical de sombreamento de 35° . Os vidros possuem um valor de fator solar de 0,58.



Figura 4 – Tipologia 03.

A Tipologia 03 representa uma edificação com uma área total de 25.500m^2 . O modelo possui 17 pavimentos, com um valor de 60% de PAF distribuídos em todas as fachadas. Neste caso não foi considerado ângulo de sombreamento e os vidros possuem um valor de fator solar de 0,25.

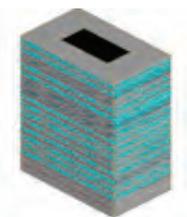


Figura 5 – Tipologia 04.

A área da Tipologia 04 é de 35.000m^2 , representando uma edificação com um total de 15 pavimentos. Foi considerado um valor de PAF de 50% distribuídos igualmente para todas as fachadas. Não foi considerado ângulo de sombreamento; e o fator solar adotado possui um valor de 0,58.

Foram realizados os cálculos do Fator de Altura e Fator de Forma para as quatro tipologias apresentadas. Com base nestes fatores, é possível compreender a geometria de cada edificação. De acordo com o RTQ-C, para os edifícios localizados na Zona Bioclimática de número 3 e com uma área de projeção total superior a 500m^2 deve ser considerado um valor mínimo de Fator de Forma de 0,15. Como resultado, a Tipologia 01 apresenta um valor de 1,00 para o FA e um valor de 0,37 para o FF. A Tipologia 02 apresenta um FA e FF de 0,17 e 0,34, respectivamente. As duas tipologias citadas anteriormente apresentam os valores de Fator de Forma dentro do valor mínimo estabelecido pelo RTQ-C, podendo estes valores ser considerados para o cálculo da avaliação do nível de eficiência da envoltória da edificação através do modelo simplificado. Entretanto, avaliando os valores de FA e FF para a Tipologia 03 e para a Tipologia 04, observa-se que os mesmos encontram-se fora dos limites mínimos do RTQ-C. Para a Tipologia 03 os valores de FA e FF resultam em 0,07 e 0,10, respectivamente. E, para a Tipologia 04 os valores encontrados são 0,02 para o FA e 0,12 para FF. Para esses dois últimos casos, o valor mínimo de FF recomendado de 0,15 foi considerado para o cálculo do modelo simplificado.

A próxima seção apresenta os resultados obtidos para os níveis de eficiência da envoltória destes quatro edifícios comerciais, utilizando o modelo simplificado e o Método de Simulação.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1. Método Prescritivo versus Método de Simulação

As Figuras 6 a 9 apresentam os níveis de eficiência calculados de acordo com o modelo simplificado do RTQ-C e de acordo com o Método de Simulação.

Modelo Simplificado					
Eficiência	A	B	C	D	E
Lim Mín	-	137.87	144.54	151.21	157.88
Lim Máx	137.88	144.53	151.20	157.87	-

Método de Simulação				
Eficiência	A	B	C	D
Lim Máx	94.77	97.46	100.43	108.26

Figura 6 – Níveis de eficiência para a Tipologia 01.

O resultado final do Indicador de Consumo obtido através do modelo simplificado para a Tipologia 01 é de 152,55. Analisando e comparando este resultado nota-se que este valor enquadra-se entre os limites máximos e mínimos estabelecidos pelo nível de eficiência D. Através da utilização do Método de Simulação, o valor final encontrado foi de 98,08 kWh/m². Comparando estes valores com os limites máximos encontrados nota-se que o valor final é inferior ao valor máximo para o nível C e superior para o nível B. Sendo assim, o nível indicado para esta tipologia é o nível C.

Modelo Simplificado					
Eficiência	A	B	C	D	E
Lim Mín	-	145.49	152.16	158.84	165.51
Lim Máx	145.50	152.15	158.83	165.50	-

Método de Simulação				
Eficiência	A	B	C	D
Lim Máx	73.75	76.55	78.76	80.06

Figura 7 – Níveis de eficiência para a Tipologia 02.

O resultado final do modelo simplificado para a Tipologia 02 é de 159,23. Com base neste valor nota-se que a avaliação da envoltória indica o nível D. Analisando o resultado final encontrado com a utilização do Método de Simulação, 78,26kWh/m², e comparando este valor com os valores máximos para cada nível de eficiência nota-se que o resultado final é superior ao limite máximo para o nível B e inferior ao limite máximo do nível C. Sendo assim, o nível final para esta tipologia é C.

Modelo Simplificado					
Eficiência	A	B	C	D	E
Lim Mín	-	35.06	41.74	48.41	55.08
Lim Máx	35.05	41.73	48.40	55.07	-

Método de Simulação				
Eficiência	A	B	C	D
Lim Máx	25.27	27.09	28.82	31.47

Figura 8 – Níveis de eficiência para a Tipologia 03.

Para a Tipologia 03 o resultado encontrado através do modelo simplificado foi de 49,84. Avaliando este valor e comparando com os limites máximos e mínimos para cada nível de eficiência, nota-se que o valor encontrado indica um nível D de envoltória. A utilização do Método de Simulação resultou em um valor de 26,89 kWh/m², resultando em um nível de eficiência B.

Modelo Simplificado					
Eficiência	A	B	C	D	E
Lim Mín	-	35,73	42,40	49,07	55,75
Lim Máx	35,72	42,39	49,06	55,74	-

Método de Simulação				
Eficiência	A	B	C	D
Lim Máx	121,95	123,53	126,43	132,66

Figura 9 – Níveis de eficiência para a Tipologia 04.

Avaliando a Tipologia 04, o resultado do Indicador de Consumo para o modelo simplificado resultou em 53,99. Este valor fica entre os limites máximos e mínimos para a o nível de eficiência D. O resultado encontrado através da utilização do Método de Simulação foi de 122,44kWh/m², resultando em um valor de consumo final inferior ao nível B, porém superior ao nível A. Sendo assim, o nível final para esta edificação é nível B.

Analisando os resultados obtidos com o modelo simplificado e com o Método de Simulação nota-se que a utilização do modelo simplificado conduziu a uma menor nível de eficiência energética quando comparado com o nível obtido através do Método de Simulação para as tipologias analisadas. Para a Tipologia 01 e Tipologia 02, percebe-se que a avaliação através do Método de Simulação indica um nível superior de eficiência quando comparado ao nível encontrado através do modelo simplificado. Esta diferença é ainda maior para as Tipologia 03 e 04, onde nota-se que o Método de Simulação indica dois níveis de eficiência superior ao modelo simplificado. Partindo da premissa que o Método de Simulação fornece os resultados mais confiáveis quanto ao nível de eficiência energética da edificação, as diferenças encontradas nos resultados acima indicam que o modelo simplificado é incapaz de calcular adequadamente o nível de eficiência das 4 tipologias analisadas.

Além disso, observa-se grandes diferenças na magnitude dos resultados obtidos com o modelo simplificado (Indicador de Consumo) comparados aos resultados de consumo de energia pelo Método de Simulação. Nas Tipologias 1, 2 e 3, o Indicador de Consumo é bastante superior ao consumo calculado de energia. Contudo, na Tipologia 4 o Indicador de Consumo é muito inferior ao consumo calculado de energia. Considerando que o modelo simplificado foi desenvolvido com base em resultados de consumo de edificações comerciais calculados através de simulação computacional, seria correto esperar que ambos os métodos levassem a resultados similares, ou ao menos da mesma ordem de magnitude. Tais diferenças podem indicar que o método estatístico empregado na construção do modelo simplificado foi incapaz de capturar adequadamente a relação entre os dados de entrada e o resultado pretendido.

Por outro lado, os resultados finais de Indicador de Consumo podem sugerir que o modelo simplificado apresente um comportamento conservativo com relação ao Método de Simulação. Entretanto, os resultados de IC indicam que estes enquadram-se entre os limites máximos e mínimos do nível de eficiência D, precisando de mais incentivo para alcançar um nível superior.

Avaliando o consumo de energia final para os diferentes níveis de eficiência para o Método de Simulação, observar-se que os resultados são semelhantes. Dependendo da tipologia adotada, a diferença entre o consumo final mínimo entre os níveis é mínima. Porém, ressalta-se que o Método de Simulação exige um processo mais complexo que o modelo simplificado para alcançar um melhor nível de eficiência da envoltória. Para obter uma mínima redução no consumo final da edificação através do Método de Simulação, é necessário ter um conhecimento do funcionamento de todos os sistemas e parâmetros envolvidos na edificação.

5. CONCLUSÕES

Neste estudo a precisão do modelo simplificado presente no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) para a avaliação do nível de eficiência da envoltória foi avaliado. A metodologia baseia-se em uma comparação entre os níveis de eficiência obtidos através da utilização dos dois métodos de cálculo que podem ser adotados para a avaliação: Método Prescritivo e Método de Simulação. Com base nos resultados é possível traçar as seguintes conclusões:

- Para todas as 4 tipologias utilizadas neste estudo, o modelo simplificado indica nível de eficiência inferior ao calculado com o Método de Simulação;
- Em duas das tipologias, a diferença entre os resultados do modelo simplificado e do Método de Simulação é de dois níveis, indicando grande diferença no resultado obtido;
- Durante o cálculo do FF, percebeu-se que as Tipologia 03 e Tipologia 04 apresentaram valores inferiores ao limite mínimo de 0,15 exigido pelo RTQ-C. Este fator refletiu nos níveis de eficiência obtidos para as tipologias através do modelo simplificado, confirmando que o modelo simplificado apresenta limitação volumétrica sendo necessário adotar um valor mínimo/máximo de FF de acordo com a área de projeção do edifício;
- A ordem de magnitude dos resultados obtidos com o modelo simplificado difere largamente dos resultados obtidos pelo Método de Simulação, podendo indicar que o método estatístico empregado na construção do modelo simplificado foi incapaz de capturar adequadamente a relação entre os dados de entrada e o resultado pretendido;

- Avaliando o resultado do Indicador de Consumo (IC) do modelo simplificado nota-se que este não apresenta um comportamento conservativo uma vez que as tipologias estudadas apresentaram valores finais distantes do valor mínimo para indicar um melhor nível de eficiência. Com base nos resultados, conclui-se que deve ser adotado o Método de Simulação para as edificações que exigem um maior nível de análise.
- O desenvolvimento do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos é um marco importante para o Brasil que determina atitudes frente ao aquecimento global e garante a construção de edificações mais eficientes energeticamente. O RTQ-C também traz a oportunidade de motivar os construtores que não abrangem o interesse em edifícios eficientes. No entanto, esse estudo ressalta a necessidade de determinar um modelo simplificado mais preciso e eficiente para a determinação do nível de eficiência da envoltória para edificações comerciais. Uma característica particular deste estudo é continuar avaliando o desenvolvimento do modelo simplificado do RTQ-C e com base nos resultados encontrados espera-se aprimorar este modelo adotado para a avaliação da envoltória de edificações comerciais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. **Decreto n. 4.059, de 19 de dezembro de 2001**. Regulamenta a Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. Brasília, DF, 2001a. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/ministerio/legislacao/decretos/Decreto%20n%204.059-2001.html>>. Acesso em: 7 fev. 2011.
- _____. **Lei n. 10.295, de 17 de outubro de 2001**. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Brasília, DF, 2001b. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/qualidade/lei10295.pdf>>. Acesso em: 7 fev. 2011.
- _____. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria 163, de 08 de junho de 2009**. Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001462.pdf>>. Acesso em: 01 mar. 2011.
- CARLO, J. **Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais**. Tese de doutorado. Departamento de Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2008.
- CARLO, J., LAMBERTS, R. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 2: método de simulação. **Revista Ambiente Construído**, v.10, n.2, p 27-40, 2010.
- CDC. **Relation between EPC and actual energy use of office buildings**, ir. E.R. van den Ham, Climatic Design Consult in order by SenterNovem, 2004.
- CHVATAL, K., CORVACHO, H. The impact of increasing the building envelope insulation upon the risk of overheating in summer and an increased energy consumption. **Journal of Building Performance Simulation**, v.2, n.4, p 267–282, 2009.
- CRAWLEY, D., HAND, W. J., Kummert, M., Griffith, B. Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. **Building and Environment**, v.43, n.4, p 661-673, 2008.
- MELO, A.P., LAMBERTS, R. Opaque envelope parameters versus energy consumption in commercial buildings in Brazil. **Journal of Building Performance Simulation**, v.1, n.4, p 237–244, 2008.
- NEN 2916, Energy performance of non-residential buildings - Determination method (em holandês), NNI, Delft (The Netherlands), 1994.
- PÉREZ-LOMBARD, L., ORTIZ, J., GONZÁLEZ, R., MAESTRE, I. R. A review of benchmarking, rating and labelling concepts within the framework of building energy certification schemes. **Energy and Buildings**, v.41, n.3, p 272-278, 2009.
- RCCTE. **Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios** (Regulation of the Buildings Thermal Behaviour Characteristics), Ministry of Public Works, Transportation and Communications, Decree-Law n° 80/2006 of April 4.
- RSECE. **Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização de Edifícios** (Regulation of the Buildings Energetic Systems and Climatization), Ministry of Public Works, Transportation and Communications, Decree-Law n° 79/2006 of April 4.
- SANTÍN O. G., ITARD, L., VISSCHER, H. The effect of occupancy and building characteristics on energy use for space and water heating in Dutch residential stock. **Energy and Buildings**, v.41, n.11, p 1223-1232, 2009.
- SARDINOU, E. Estimating space heating determinants: An analysis of Greek households. **Energy and Buildings**, v.40, n.10, p 1084-1093, 2008.
- SILVA, P., ALMEIDA, M., BRAGANÇA, L., MESQUITA, V. Methodology to enhance the Portuguese thermal regulation accuracy for existing buildings. In: BUILDING SIMULATION, 2009, Glasgow. **Proceedings...Glasgow**: IBPSA, 2009. p. 2106-2113.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor do artigo é um estudante de doutorado da Universidade Federal de Santa Catarina, realizando parte da pesquisa (doutorado *sanduiche*) na Eindhoven University of Technology. O trabalho apresentado neste artigo é uma análise preliminar dos resultados encontrados durante o desenvolvimento da tese de doutorado. O autor agradece à CAPES (Fundação e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelos recursos financeiros fornecidos para o desenvolvimento da tese, Proc. no 2335/10-7.