



XIENCAC
ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

VIIELACAC
ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Búzios - RJ - 2011

AValiação Comparativa entre o Método Prescritivo e o Método de Simulação para Determinação do Nível de Eficiência da Envoltória de Edificações Comerciais

Ana Paula Melo (1); Daniel Cóstola (2); Roberto Lamberts (3); Jan L. M. 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 RTQ-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. Esta análise demonstra e confirma as limitações do modelo simplificado para a avaliação da envoltória presente no RTQ-C modelo, contribuindo para o aprimoramento dos instrumentos legais relativos à 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 consists on evaluating and comparing results obtained for four different typologies by applying the Prescriptive Method and Simulation Method, considering the weather file of Florianópolis – Brazil. The EnergyPlus program 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 analysis demonstrates and confirms the 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

Muitos países vêm percebendo a importância de construir de forma sustentável, buscando elaborar certificações que aumentem a eficiência das suas edificações. Muitas destas certificações baseiam-se no desempenho energético das edificações, indicando 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, Sardianou (2008) ressalta que os governantes responsáveis devem estar cientes de 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 proporcione 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 e 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 em 2006, sendo dividido entre edifícios residenciais (RCCTE, 2006) e edifícios de escritórios com sistema de condicionamento de ar (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 do método detalhado.

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. 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 (*Energy Performance Calculations*) 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, porém 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 e método de simulação.

Através da utilização de programas de simulação energética é possível avaliar o desempenho térmico e energético de edificações. Por outro lado, a utilização destes programas exige uma demanda considerável de tempo e recursos. Além disso, o uso de programas de simulação para avaliação do desempenho térmico requer um nível de conhecimento 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 envolver 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 limitações com relação à volumetria do edifício e do parâmetro transmitância térmica das paredes (CARLO, 2008). Como resultados foram determinados dois modelos simplificados para a

avaliação da envoltória referentes à área da projeção da edificação; e o parâmetro transmitância térmica das paredes foi excluído do modelo.

Com base nestas limitações referentes à volumetria e a 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 avaliados 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 mesmos parâmetros fixos adotados no desenvolvimento do modelo simplificado 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, refletindo em 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 peso a cada requisito; ou através do Método de Simulação, adotando o uso 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 se atribuiu 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 foram modelados 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 ($R^2 = 0,9978$ para edificações com área de projeção menor ou igual a $500m^2$; e $R^2 = 0,9989$ para edificações com área de projeção maior que $500m^2$) com a aplicação do método estatístico, todos os parâmetros não relacionados com o envelope da edificação foram considerados com valores fixos. A variável de DCI (densidade de carga interna) e PU (padrão de uso) foram considerados com valores fixos de $25 W/m^2$ 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: projeção de abertura na fachada (PAF_T), fator solar (FS), ângulo vertical de sombreamento (AVS) e ângulo horizontal de sombreamento (AHS).

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 modelo simplificado não foi possível considerar, na mesma equação, todas as variações de volumetria analisadas. Como consequência, estabeleceu-se duas equações baseadas na área de projeção das edificações: menores ou iguais a 500 m^2 (Equação 1) e maiores que 500 m^2 (Equação 2). Antes de adotar as 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.

$$\begin{aligned}
 IC_{env} = & -175,30.FA - 212,79.FF + 21,86.PAF_T + 5,59.FS - 0,19.AVS + 0,15.AHS \\
 & + 275,19.\frac{FA}{FF} + 213,35.FA.FF - 0,04.PAF_T.FS.AVS - 0,45.PAF_T.AHS + 190,42
 \end{aligned}
 \tag{Equação 1}$$

$$\begin{aligned}
 IC_{env} = & -14,14.FA - 113,94.FF + 50,82.PAF_T + 4,86.FS - 0,32.AVS + 0,26.AHS \\
 & - \frac{35,75}{FF} - 0,54.PAF_T.AHS + 277,98
 \end{aligned}
 \tag{Equação 2}$$

Onde:

IC_{env} é o indicador de consumo da envoltória [adimensional];

FA é o fator de altura;

FF é o fator de forma;

PAF_T é o percentual de abertura na fachada total [adimensional];

FS é o fator solar;

AVS é o ângulo vertical de sombreamento;

AHS é o ângulo horizontal de sombreamento.

As equações acima são 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 o RTQ-C, os resultados para o modelo simplificado não representam o consumo da edificação, e sim 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/m^2). 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.

Outra limitação encontrada por Carlo e Lamberts (2010) no modelo simplificado refere-se a edificações com grandes áreas envidraçadas com a utilização de vidros de alto desempenho. Os autores observaram que, a combinação entre vidro de alta eficiência em grandes áreas envidraçadas não resulta em um melhor nível de eficiência para edificações analisadas através do método prescritivo.

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 consumo 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, entre outras.

Para o Método de Simulação além das características de cada tipologia, foram considerados os valores adotados como fixos para o desenvolvimento do modelo simplificado (Tabela 1). 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.

Tabela 1-Valores considerados para o desenvolvimento do modelo simplificado..

Parâmetros	
Orientação da edificação (maiores fachadas)	Norte e Sul
Sistema de condicionamento de ar	Sistema do tipo de janela
Eficiência do sistema de condicionamento de ar	3.19 W/W
Setpoint do sistema de condicionamento de ar	18 °C para aquecimento 24 °C para resfriamento
Densidade de carga interna instalada	25 W/m ²
Padrão de uso	11 horas
Infiltração	- 0.5 ACH (escritórios) - 0.8 ACH (hotel) - 1.0 ACH (lojas)

Conforme descrito na seção anterior, a comparação foi realizada adotando o clima da cidade de Florianópolis, Santa Catarina – Brasil. Sendo assim, a avaliação através do Método Prescritivo foi realizada com base na equação de Indicador de Consumo para a Zona Bioclimática 3; e para o Método de Simulação foi considerado o mesmo arquivo climático de Florianópolis adotado para a simulação dos casos que geraram o desenvolvimento do modelo simplificado: *test reference year* (TRY) 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 projeção de abertura na fachada, fator solar e ângulo vertical de sombreamento. As características das tipologias podem ser observadas na Tabela 2 e a representação das tipologias em 3D é apresentada na Figura 1. Todas as tipologias adotadas são totalmente condicionadas, exceto a parte central da Tipologia 02 e 04.

Tabela 2 – Características das tipologias adotadas.

Tipologias	01	02	03	04
Comprimento (m)	50	26,7	50	50
Largura (m)	50	7,5	50	30
Altura (m)	3,5	14,7	52,5	59,5
Área total (m ²)	2.500	1.001	37.500	25.500
Número de pavimentos	1	5	15	17
PAF _T (%)	50	70	50	60
Fator Solar	0,58	0,58	0,58	0,25
AVS (°)	0	12,5	0	0

Optou-se em considerar para este trabalho tipologias e valores de parâmetros encontrados atualmente na arquitetura brasileira. A Tipologia 01 representando uma edificação de uma grande loja, a Tipologia 02 um edifício de pequenos escritórios e a Tipologia 03 e Tipologia 04 de edifícios de grandes escritórios.

Mesmo com o conhecimento que o modelo simplificado apresenta limitações quanto à volumetria e à combinação de grandes áreas envidraçadas com vidros de alto desempenho, optou-se em adotar valores de PAF_T compreendendo entre 50-70% e vidros com eficiência de 0,25 e 0,58; e edificações com diferentes valores de FA e FF para poder avaliar a influência destas limitações no resultado do modelo simplificado.

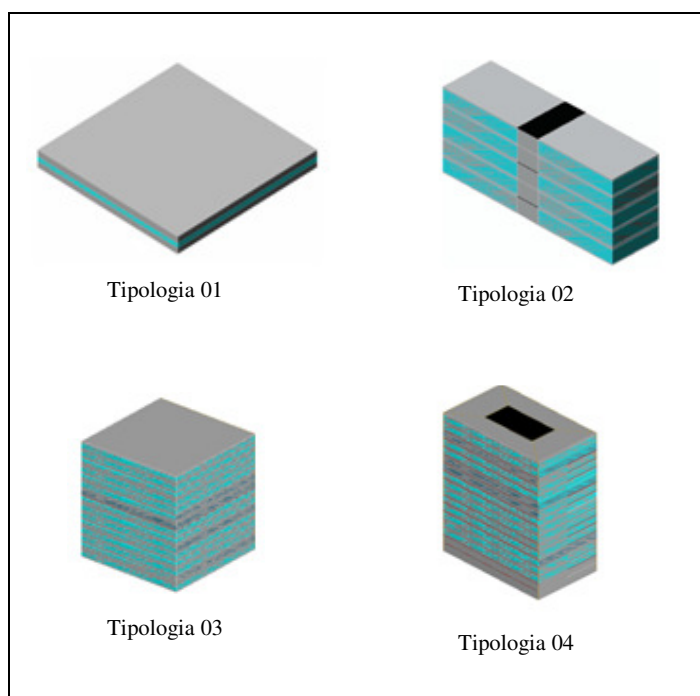


Figura 2 – Representação das tipologias em 3D.

Foram realizados os cálculos do FA e FF para as quatro tipologias apresentadas. Os valores são apresentados na Tabela 3.

De acordo com o RTQ-C, para os edifícios localizados na Zona Bioclimática 3 e com uma área de projeção total superior a 500 m² deve ser considerado um valor mínimo de fator de forma de 0,15 e para as edificações com uma área de projeção total inferior ou igual a 500 m² deve ser considerado um valor máximo de Fator de Forma de 0,70. 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 0,20 e 0,41, respectivamente. As duas tipologias citadas anteriormente apresentam os valores de fator de forma dentro do valor mínimo e mínimo estabelecido pelo RTQ-C, sendo estes considerados para o cálculo da avaliação do nível de eficiência da envoltória da edificação através do modelo simplificado. Entretanto, avaliando os valores de FF para a

Tipologia 03 e 04, observa-se que os mesmos encontram-se fora dos limites mínimos do RTQ-C. Para esses dois últimos casos, o valor mínimo de FF recomendado de 0,15 foi considerado para o cálculo do modelo simplificado.

Tabela 3 – Cálculo do FA e FF das tipologias adotadas.

Tipologias	01	02	03	04
FA	1.00	0.20	0.07	0.06
FF	0.37	0.41	0.10	0.12
FFfinal	0.37	0.41	0.15	0.15

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Método Prescritivo *versus* Método de Simulação

As Tabelas 4 a 7 apresentam os níveis de eficiência calculados de acordo com o modelo simplificado e com o Método de Simulação presente no RTQ-C.

Tabela 4-Níveis de eficiência para a Tipologia 1.

Modelo Simplificado					
Eficiência	A	B	C	D	E
Min (IC)	-	137.87	144.54	151.21	157.88
Max (IC)	137.86	144.53	151.20	157.87	-

Método de Simulação				
Eficiência	A	B	C	D
Min (kWh/m ²)	94.8	97.5	100.4	108.3

O resultado final do Indicador de Consumo obtido através do modelo simplificado para a Tipologia 01 é de 152,65. 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 este valor 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.

Tabela 5-Níveis de eficiência para a Tipologia 2.

Modelo Simplificado					
Eficiência	A	B	C	D	E
Min (IC)	-	211.18	213.82	216.46	219.11
Max (IC)	211.17	213.81	216.45	219.10	-

Método de Simulação				
Eficiência	A	B	C	D
Min (kWh/m ²)	73.7	76.5	78.7	80.1

O resultado final do modelo simplificado para a Tipologia 02 é de 218,54. Este valor indica que a envoltória é nível D. Analisando o resultado final encontrado com a utilização do Método de Simulação, 78,2 kWh/m², nota-se que este valor enquadra-se no nível C de eficiência da envoltória.

Tabela 6-Níveis de eficiência para a Tipologia 3.

Modelo Simplificado					
Eficiência	A	B	C	D	E
Min (IC)	-	35.06	41.74	48.41	55.08
Max (IC)	35.05	41.73	48.40	55.07	-

Método de Simulação				
Eficiência	A	B	C	D
Min (kWh/m ²)	25.2	27.1	28.8	31.5

Para a Tipologia 03 o resultado encontrado através do modelo simplificado foi de 49,84. Este valor enquadra-se entre os limites máximos e mínimos do nível D de envoltória. A utilização do Método de Simulação resultou em um valor de 26,9 kWh/m², resultando em um nível de eficiência B.

Tabela 7-Níveis de eficiência para a Tipologia 4.

Modelo Simplificado					
Eficiência	A	B	C	D	E
Min (IC)	-	35.17	41.85	48.52	55.19
Max (IC)	35.16	41.84	48.51	55.18	-

Método de Simulação				
Eficiência	A	B	C	D
Min (kWh/m ²)	121.9	123.5	126.4	132.6

Avaliando a Tipologia 04, o resultado do Indicador de Consumo para o modelo simplificado resultou em 53,43. Este valor fica entre os limites máximos e mínimos para a o nível de eficiência D. Para o Método de Simulação o resultado encontrado foi de 122,4 kWh/m², resultando em um nível B 1 para esta edificação.

Analisando os resultados obtidos com o modelo simplificado e com o Método de Simulação nota-se que a utilização do modelo simplificado conduziu a um 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 de eficiência 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, observam-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 (kWh/m²). 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.

A regressão linear múltipla, a qual foi considerada para o desenvolvimento do modelo simplificado, ajuda a compreender a influência de um parâmetro independente no parâmetro dependente quando todos os outros parâmetros independentes estão fixos (análise paramétrica). Entretanto, a regressão linear não apresenta resultados satisfatórios quando a relação entre os dados de entrada e o de saída não é linear. Atualmente, existem diferentes métodos estatísticos que permitem determinar relações mais complexas entre dados de entrada e de saída, como por exemplo, o método de redes neurais. Este método está sendo aplicado nos casos que foram considerados para o desenvolvimento do modelo simplificado com o objetivo de melhorar o desempenho da equação. Estes resultados serão apresentados em um artigo futuro.

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 se enquadram 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 as tipologias adotadas com base nos 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 para cada nível estabelecido 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 ressaltar 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;
- Para as tipologias 03 e 04 encontrou-se uma diferença de dois níveis de eficiência entre os resultados do modelo simplificado (Eficiência D) e do Método de Simulação (Eficiência B), indicando grande diferença no resultado obtido;
- A ordem de magnitude dos resultados de Indicador de Consumo obtidos com o modelo simplificado difere largamente dos resultados em kWh/m² obtidos pelo Método de Simulação. Esta comparação indica que apesar de o método estatístico empregado no desenvolvimento do modelo simplificado ter resultado em um R² satisfatório, o método foi incapaz de capturar adequadamente a relação entre os dados de entrada e o resultado pretendido;
- As limitações do modelo simplificado com relação à volumetria e à utilização da combinação de grandes áreas envidraçadas com vidros de alto desempenho refletiram na diferença encontrada para os níveis de eficiência entre o modelo simplificado e o Método de Simulação. O modelo simplificado resultou em níveis de eficiência inferiores quando comparado com os resultados encontrados para o Método de Simulação, ressaltando o que foi afirmado por Carlo e Lamberts (2010) que o Método de Simulação é mais eficiente para determinar o nível de eficiência para edificações mais complexas.

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. 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 1: método prescritivo. **Revista Ambiente Construído**, v.10, n.2, p 7-26, 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.
- 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.