

Eficiência energética da envoltória de edifícios de escritórios de Florianópolis: discussões sobre a aplicação do método prescritivo do RTQ-C

Energy efficiency of office buildings envelope: discussions around application of prescriptive method of RTQ-C

Michele Fossati
Roberto Lamberts

Resumo

Impulsionado pelo crescente consumo energético em edificações e pela Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, o governo brasileiro regulamentou a adoção de medidas visando à alocação eficiente de recursos. Para tanto, os níveis máximos de consumo de energia ou mínimos de eficiência energética de edificações construídas no país passaram a ser estabelecidos com base em indicadores técnicos e regulamentação específica. Os edifícios comerciais, de serviços e públicos tiveram seu Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética (RTQ-C) aprovado em junho de 2009. O RTQ-C baseia-se na avaliação de três requisitos principais: o desempenho térmico da envoltória do edifício; a eficiência e potência instalada do sistema de iluminação; e a eficiência do sistema de condicionamento do ar. Este artigo apresenta os resultados e discussões acerca da avaliação da envoltória de dez edifícios de escritórios de Florianópolis, SC, realizada pelo método prescritivo do RTQ-C. A classificação dos edifícios foi apresentada com exemplos de variações no percentual de abertura nas fachadas, ângulos de sombreamento e fator solar dos vidros. Com os resultados pôde-se perceber que o percentual de abertura na fachada é a variável de maior impacto no indicador de consumo da envoltória, seguido das proteções solares.

Palavras-chave: Eficiência energética. Edifícios de escritórios. RTQ-C. Avaliação da envoltória.

Abstract

Driven by growing energy consumption in buildings and by the National Policy of Conservation and Rational Use of Energy, the Brazilian government has drawn up the adoption of measures aiming at an efficient allocation of resources. Maximum levels of energy consumption or minimum levels of building energy efficiency began to be established based on technical indicators and specific regulations. The Regulations for energy efficiency labelling of commercial buildings in Brazil was approved in June 2009, establishing the conditions for the energy efficiency certification of Brazilian buildings (commercial and public). These regulations specify the methods of energy efficiency rating of buildings and include the requirements for energy conservation measures in three main aspects: lighting systems, air conditioning systems and building envelopes. This paper presents the results and discussions on the assessment of the envelopes of ten office buildings from Florianópolis, SC, Brazil, undertaken according to the method prescribed by the Regulations. The classification of the buildings was presented with examples of variations in their construction characteristics. The results show that the percentage of openings in the façade is the variable that has the highest impact in the consumption indicator of the envelope, followed by shading devices

Keywords: Energy efficiency. Office buildings. RTQ-C. Envelope assessment.

Michele Fossati
Laboratório de Eficiência
Energética em Edificações
Departamento de Engenharia
Civil
Universidade Federal de Santa
Catarina
Cx. Postal 476
Florianópolis - SC - Brasil
CEP 88040-900
Tel.: (48) 3721-5184
E-mail: michele@ecv.ufsc.br

Roberto Lamberts
Laboratório de Eficiência
Energética em Edificações
Departamento de Engenharia
Civil
Universidade Federal de Santa
Catarina
E-mail:
lamberts@labeec.ufsc.br

Recebido em 22/02/2010
Aceito em 05/05/2010

Introdução

Num momento em que cada vez mais as preocupações com as alterações climáticas, com o aquecimento global e com o futuro do planeta estão em debate, é notório que edifícios eficientes e a mudança nos padrões de consumo da população podem reduzir consideravelmente as alterações provocadas pelo homem no clima (IPCC, 2007).

Os edifícios são responsáveis por parcela significativa do consumo de energia elétrica nacional – mais de 40% do total da energia utilizada no país (BRASIL, 2008) – e, apesar de o setor residencial ser responsável pela metade desse consumo (a outra metade fica com os setores comercial e industrial), a taxa de crescimento anual do setor comercial é em geral superior.

Geller (1994) identifica cinco vantagens da conservação de eletricidade: o aumento da eficiência diminui custos; a conservação reduz a probabilidade de falta de eletricidade; a conservação de eletricidade reduz a necessidade de investimentos no setor público, e investir na eficiência do uso final é menos intensivo que construir usinas elétricas e linhas de transmissão; o aumento da eficiência na utilização da energia pode ajudar as indústrias e os produtos nacionais a competirem no mercado mundial; e a conservação da eletricidade resulta em impactos ambientais e sociais muito mais favoráveis do que os do fornecimento (a construção de usinas hidroelétricas pode inundar grandes áreas de terra, geralmente com destruição de instalações e perda de reservas naturais; os combustíveis fósseis e as usinas nucleares provocam poluição do ar, afetam a segurança e requerem o tratamento do lixo). A redução do impacto no consumo de recursos naturais, cada vez mais escassos, ajuda a preservar o meio ambiente, possibilitando às gerações futuras a capacidade de satisfazer suas necessidades.

A primeira iniciativa no âmbito de legislações efetivamente instituídas para promover a eficiência energética no país surgiu como consequência da crise de energia de 2001. Nessa ocasião foi sancionada a Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001 (BRASIL, 2001a), que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e afirma que “o Poder Executivo desenvolverá mecanismos que promovam a eficiência energética nas edificações construídas no país”. Dois meses depois, o Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001 (BRASIL, 2001b), regulamentou a referida lei, decretando que “os níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou

comercializados no país, bem como as edificações construídas, serão estabelecidos com base em indicadores técnicos e regulamentação específica”. Com relação às edificações, o decreto estabelece que devem ser propostos: a adoção de procedimentos para avaliação da eficiência energética das edificações; indicadores técnicos referenciais do consumo de energia das edificações para certificação de sua conformidade em relação à eficiência energética; e requisitos técnicos para que os projetos de edificações a serem construídas no país atendam aos indicadores mencionados no item anterior.

Antes que o referencial de eficiência energética nacional tivesse sido desenvolvido, as cidades de Salvador (CARLO; GHISI; LAMBERTS, 2003) e Recife (CARLO; PEREIRA; LAMBERTS, 2004) foram as primeiras a avaliar e a propor prescrições de eficiência energética em seus códigos de obras, incluindo parâmetros de conforto térmico e visual e de eficiência energética, ainda não presentes no código anterior.

Em junho de 2009 um grande passo rumo à eficiência energética de edifícios brasileiros foi dado com a aprovação, pela Portaria nº 163 do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro) (BRASIL, 2009b), do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Esse regulamento tem como objetivo criar condições para a etiquetagem do nível de eficiência energética dos edifícios e, para tanto, especifica os requisitos técnicos e os métodos para classificação dos edifícios comerciais, de serviços e públicos. É de caráter voluntário para edificações novas e existentes e passará a ter caráter obrigatório para edificações novas em prazo a ser definido. Sua aplicação é voltada para edifícios com área total útil mínima de 500 m² e/ou com tensão de abastecimento superior ou igual a 2,3 kV (subgrupos A1, A2, A3, A3a, A4 e AS), incluindo edifícios condicionados, parcialmente condicionados e não condicionados.

O consumo de energia em edificações está relacionado aos ganhos ou perdas de calor pela envoltória da edificação, que, associados à carga interna gerada pela ocupação, pelo uso de equipamentos e pela iluminação artificial, resultam no consumo dos sistemas de condicionamento de ar, além dos próprios sistemas de iluminação e equipamentos (CARLO, 2008). Assim como em normas de outros países (GOULART, 2005a, 2005b, 2007), a etiquetagem de eficiência energética deve atender aos requisitos relativos à

eficiência e potência instalada do sistema de iluminação, eficiência do sistema de condicionamento do ar e o desempenho térmico da envoltória do edifício. O RTQ-C apresenta duas possibilidades para avaliação dos edifícios: pelo método prescritivo e por simulação computacional do desempenho termoenergético, que compara o desempenho do edifício proposto para ser etiquetado (real) com um edifício similar (de referência), cujas características devem estar de acordo com o nível de eficiência pretendido. Parcelas de edifícios também podem ser avaliadas quanto ao sistema de iluminação e condicionamento de ar (um pavimento ou conjunto de salas, por exemplo), recebendo uma classificação parcial do nível de eficiência referente a cada um desses itens.

Para obter a classificação geral do edifício são atribuídos pesos às classificações por requisitos (envoltória: 30%; iluminação: 30%; e condicionamento de ar: 40%), resultando numa classificação final. O nível de classificação de cada requisito equivale a um número de pontos correspondentes, e cada pontuação, a um nível de eficiência. Assim como no Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE/Inmetro), que atribui a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (Ence) a condicionadores de ar, lâmpadas fluorescentes compactas, eletrodomésticos, veículos leves e outros equipamentos, a classificação é feita em cinco níveis: A (mais eficiente), B, C, D e E (menos eficiente).

Para a edificação ser elegível à etiquetagem, é exigido o cumprimento de alguns pré-requisitos gerais. Dependendo do nível pretendido para o edifício, também são exigidos pré-requisitos específicos da envoltória, do sistema de iluminação e do sistema de condicionamento de ar. Por fim, bonificações são concedidas a iniciativas que aumentem a eficiência da edificação, podendo crescer até um ponto na classificação geral do edifício. Para tanto, essas iniciativas deverão ser justificadas, e a economia gerada deve ser comprovada. As bonificações referem-se a sistemas e equipamentos que racionalizem o uso da água; sistemas ou fontes renováveis de energia (aquecimento solar de água, energia eólica e/ou painéis fotovoltaicos); sistemas de cogeração e inovações técnicas ou de sistemas que comprovadamente aumentem a eficiência energética da edificação.

Devido à necessidade de estabelecer regras equânimes e de conhecimento público para a etiquetagem dos edifícios e para a concessão da Ence, a Portaria Inmetro nº 185, de 22 de junho de 2009 (BRASIL, 2009c), instituiu o Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de

Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de serviços e públicos (RAC-C). Esse regulamento determina os mecanismos de avaliação da conformidade aplicáveis, que são a etiquetagem e a inspeção.

O RTQ-C, o RAC-C e um manual para aplicação desses dois regulamentos (BRASIL, 2009a) foram desenvolvidos pelo Laboratório de Eficiência Energética de Edificações (Labeec) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), por meio de um convênio firmado entre essa universidade e a Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobras).

Atualmente, o RTQ-C está sendo aplicado em diversos edifícios, e pontos críticos estão sendo avaliados para possíveis revisões do documento.

Este artigo tem como objetivo apresentar e discutir os resultados da avaliação da envoltória de edifícios de escritórios de Florianópolis, SC, obtidos por meio da aplicação do método prescritivo do RTQ-C. Os dez edifícios objeto de estudo fazem parte de uma amostra de edifícios avaliada em relação à sustentabilidade em uma pesquisa mais abrangente conduzida por Fossati (2008), cujo objetivo era a definição de uma metodologia de avaliação da sustentabilidade de projetos de edifícios. A avaliação da eficiência energética era um dos requisitos considerados na categoria energia,¹ e a versão do RTQ-C utilizada para as avaliações foi a que estava em desenvolvimento na época. Para este artigo, os cálculos foram refeitos com a versão aprovada do RTQ-C pela Portaria nº 163 do Inmetro (BRASIL, 2009b).

O método prescritivo classifica a eficiência da envoltória com base em um indicador de consumo obtido por meio de equações que foram desenvolvidas a partir de simulações do desempenho termoenergético de protótipos cujas tipologias representam edificações construídas no país. Os protótipos foram elaborados após um levantamento fotográfico que identificou características externas das edificações (área de janelas, tipo de vidro, existência e dimensões de proteções solares, proporção das menores fachadas em relação às maiores, número de pavimentos e forma), dando origem a cinco protótipos, cada qual com uma volumetria distinta e representativa de uma atividade comercial: hotéis, grandes e pequenos escritórios, grandes e pequenas lojas. Esse levantamento foi realizado em 1.103 edificações em cinco capitais brasileiras. Os

¹ As categorias avaliadas por Fossati (2008) foram: uso e ocupação do solo; água; materiais e recursos; transporte e acessibilidade; energia e qualidade do ambiente interno e saúde.

protótipos representativos foram alterados para o pior caso de cada atividade comercial encontrado no levantamento e avaliados sob diversas situações. Medidas de conservação de energia foram aplicadas a um protótipo pouco eficiente, a fim de verificar suas relevâncias na eficiência energética. As medidas mais relevantes que compõem a envoltória fazem parte das equações de cálculo do indicador de consumo (LAMBERTS *et al.*, 2007).

Método de pesquisa

Determinação do nível de eficiência da envoltória

Determinação da zona bioclimática, da área de projeção (A_{pe}) e do fator de forma da edificação $FF = A_{env}/V_{tot}$

A NBR 15220-3 (ABNT, 2005) estabelece o zoneamento bioclimático brasileiro, e sua determinação é necessária para definir quais equações serão utilizadas para o cálculo da eficiência da envoltória. O RTQ-C apresenta duas equações por zona bioclimática: uma representando edifícios com área de projeção (A_{pe}) menor ou igual a 500 m²; e outra para edifícios com área de projeção maior que 500 m².

As equações para $A_{pe} > 500$ m² são válidas para um fator de forma mínimo permitido (A_{env}/V_{tot}). As equações para $A_{pe} \leq 500$ m² são válidas para um fator de forma máximo permitido (A_{env}/V_{tot}). Acima ou abaixo destes, usam-se os valores-limite.

Determinação do indicador de consumo da envoltória (IC_{env})

O indicador de consumo da envoltória (IC_{env}) é definido por meio das equações presentes no RTQ-C. Os edifícios objetos deste estudo estão localizados na zona bioclimática 3 (Florianópolis), cuja equação para cálculo do IC_{env} para área de projeção $A_{pe} \leq 500$ m² é apresentada na Equação 1, e para áreas de projeção $A_{pe} > 500$ m², na Equação 2.

$A_{pe} \leq 500$ m²

Limite: Fator de forma máximo (A_{env}/V_{tot}) = 0,70

$$IC_{env} = -175,30.FA - 212,79.FF + 21,86.PAF_T + 5,59.FS - 0,19.AVS + 0,15.AHS + 275,19.(FA/FF) + 213,35.FA.FF - 0,04.PAF_T.FS.AVS - 0,45.PAF_T.AHS + 190,42 \quad \text{Eq. 1}$$

$A_{pe} > 500$ m²

Limite: Fator de forma mínimo (A_{env}/V_{tot}) = 0,15

$$IC_{env} = -14,14.FA - 113,94.FF + 50,82.PAF_T + 4,86.FS - 0,32.AVS + 0,26.AHS - 35,75/FF - 0,54.PAF_T.AHS + 277,98 \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

IC_{env} : indicador de consumo da envoltória (adimensional);

A_{pe} : área de projeção do edifício (m²);

A_{env} : área da envoltória (m²);

A_{pcob} : área de projeção da cobertura (m²);

A_{tot} : área total de piso (m²);

AVS: ângulo vertical de sombreamento,² entre 0 e 45 (graus);

AHS: ângulo horizontal de sombreamento,³ entre 0 e 45 (graus);

FF: fator de forma, (A_{env}/V_{tot});

FA: fator altura, (A_{pcob}/A_{tot});

FS: fator solar do vidro;

PAF_T: porcentual de abertura na fachada total (adimensional, para uso na equação); e

V_{tot} : volume total da edificação (m³).

Determinação do indicador de consumo máximo ($IC_{máxD}$) e mínimo da envoltória ($IC_{mín}$)

O indicador de consumo máximo ($IC_{máxD}$) foi calculado utilizando-se a mesma equação do cálculo do indicador de consumo da envoltória (Equação 1), mas com os parâmetros de entrada fornecidos pelo RTQ-C e apresentados na Tabela 1. O $IC_{máxD}$ representa o indicador máximo que a edificação deve atingir para obter a classificação D. Acima desse valor, a edificação passa a ser classificada com o nível E.

O limite mínimo ($IC_{mín}$) foi calculado com a mesma Equação 1, mas com parâmetros de entrada fornecidos pelo RTQ-C e apresentados na Tabela 2. O $IC_{mín}$ representa o indicador de consumo mínimo para aquela volumetria.

Os limites $IC_{máxD}$ e $IC_{mín}$ representam o intervalo dentro do qual a edificação deve se inserir. O intervalo foi então dividido em quatro partes (i), cada uma referente a um nível de classificação, numa escala de desempenho que varia de A a E. A subdivisão i do intervalo foi calculada com a Equação 3.

$$i = \frac{(IC_{máxD} - IC_{mín})}{4} \quad \text{Eq. 3}$$

Com o valor de i calculado, foi preenchida a Tabela 3.

² Os AVS são referentes à existência de proteções solares horizontais nas aberturas.

³ Os AHS são referentes à existência de proteções solares verticais nas aberturas.

Determinação do nível de eficiência da envoltória

O IC_{env} foi comparado com os limites da Tabela 3, e foi identificado o nível de eficiência da envoltória dos edifícios de acordo com o indicador de consumo obtido.⁴

Variáveis utilizadas para a determinação do nível de eficiência da envoltória

Características de projeto

Informações sobre as dimensões, altura, áreas, volume e ângulo de sombreamento da edificação foram obtidas nos projetos arquitetônicos dos edifícios e em levantamento fotográficos realizados in loco.

Orientação solar

A orientação solar das fachadas dos edifícios foi obtida nos projetos de implantação e situação e foram conferidas por meio do Google Earth.

Para a definição da orientação das fachadas, determinou-se, para cada ponto cardeal, um limite de abrangência de 45° no sentido horário e anti-horário (Figura 1), ou seja, para fachadas orientadas em outras direções geográficas foi adotada a orientação mais próxima, da seguinte forma:

- (a) de 0 a 45,0° e de 315,1° a 360,0°, a orientação geográfica é norte;
- (b) de 45,1° a 135,0°, a orientação geográfica é leste;
- (c) de 135,1° a 225,0°, a orientação geográfica é sul; e
- (d) de 225,1° a 315,0°, a orientação geográfica é oeste.

Percentual de abertura na fachada total (PAFT) e Percentual de abertura zenital (PAZ)

O PAF_T foi calculado pela razão entre a soma das áreas de abertura⁵ envidraçada, ou com fechamento transparente ou translúcido, de cada fachada, e a área total de fachada da edificação. O PAF_T utilizado corresponde a um valor médio representativo do percentual de aberturas de todas as fachadas. Para o uso desse valor, primeiramente foi

⁴ Os pré-requisitos descritos no item 2.2 não foram considerados nessa classificação.

⁵ Abertura: todas as áreas do envoltório do edifício, translúcidas ou transparentes (que permitem a entrada da luz), incluindo janelas, painéis plásticos, claraboias, portas de vidro (com mais da metade da área de vidro) e paredes de blocos de vidro. O cálculo do PAF_T refere-se exclusivamente a aberturas em paredes verticais com inclinação superior a 60° em relação ao plano horizontal, tais como janelas tradicionais, portas de vidro ou *sheds*, mesmo sendo estes últimos localizados na cobertura.

realizado o cálculo do PAF para a fachada oeste (PAF_O) e do PAF_T . Quando o $PAF_T + 20\%$ foi maior que o PAF_O , adotou-se o PAF_T nas Equações 1 e 2. Caso contrário, foi utilizado o PAF_O .

Para o PAZ foi determinado o percentual de abertura zenital (claraboia) na cobertura.

Fator solar do vidro (FS)

O fator solar dos vidros das fachadas foi consultado em documentação disponibilizada e em catálogos dos fabricantes dos vidros. O FS utilizado foi uma média ponderada do fator solar dos vidros pelas áreas em que estão presentes.

Elementos de proteção solar (AVS e AHS)

Em edifícios com elementos de proteção solar nas fachadas foram verificados os ângulos horizontal e vertical de sombreamento (AHS e AVS respectivamente).

Atendimento aos pré-requisitos específicos da envoltória

O RTQ-C exige que após o cálculo do nível de eficiência da envoltória seja verificado o atendimento aos pré-requisitos específicos: transmitâncias térmicas, cores e absorvância de superfícies, e iluminação zenital. A Tabela 4 relaciona os pré-requisitos específicos da envoltória que devem ser atendidos para cada nível de eficiência do RTQ-C. Não atendendo a nenhum desses pré-requisitos, o nível máximo a ser alcançado no requisito envoltória é **nível E**. A avaliação dos pré-requisitos não será apresentada neste trabalho, que se limita à discussão das variáveis construtivas que influenciam no resultado dos indicadores de consumo da envoltória.

Caracterização dos edifícios avaliados

Avaliaram-se 10 edifícios de escritórios da parte insular de Florianópolis, com três ou mais pavimentos, com pavimento-garagem, cujos projetos foram aprovados entre 2000 e 2005. Essa amostra faz parte de um estudo mais abrangente, realizado por Fossati (2008) em sua tese de doutoramento. Os edifícios não foram identificados em função da confidencialidade exigida pelos construtores para a disponibilização dos projetos e informações necessárias para as avaliações. Os edifícios foram numerados sequencialmente de 1 a 10, conforme mostra a Tabela 5, que apresenta as principais características deles.

Na Tabela 5 percebe-se que os edifícios 1, 2, 3, 6, 7, 8 e 9 possuem área de projeção menor que 500 m², e os demais (edifícios 4, 5 e 10), área de projeção maior que 500 m². Por essa razão, foram utilizadas, respectivamente, a Equação 1 e a Equação 2 para a determinação do indicador de consumo da envoltória. Todos os edifícios apresentaram fatores de forma (FF) dentro dos

limites determinados pelo RTQ-C para utilização das referidas equações.

Os cálculos dos indicadores de consumo das envoltórias dos edifícios foram realizados com a torre correspondente aos pavimentos de escritório da edificação. Nos casos em que a base do edifício era maior, utilizada como pavimentos-garagem, lojas e sobrelojas, ela foi excluída dos cálculos.

PAFT	FS	AVS	AHS
0,6	0,61	0	0

Tabela 1 - Parâmetros do IC_{máxD}

PAFT	FS	AVS	AHS
0,05	0,87	0	0

Tabela 2 - Parâmetros do IC_{mín}

Eficiência	A	B	C	D	E
Lim Mín	-	IC _{máxD} - 3i + 0,01	IC _{máxD} - 2i + 0,01	IC _{máxD} - i + 0,01	IC _{máxD} + 0,01
Lim Máx	IC _{máxD} - 3i	IC _{máxD} - 2i	IC _{máxD} - i	IC _{máxD}	-

Tabela 3 - Limites dos intervalos dos níveis de eficiência

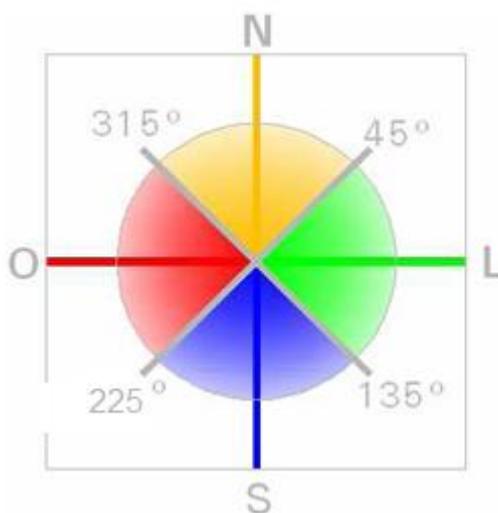


Figura 1 - Quadrantes para a definição da orientação das fachadas

Pré-requisito	Nível A	Nível B	Nível C	Nível D
Transmitância térmica da cobertura e paredes exteriores	Sim	Sim	Sim	Sim
Cores e absorvância de superfícies	Sim	Sim		
Iluminação zenital	Sim			

Tabela 4 - Relação entre os pré-requisitos da envoltória e os níveis de eficiência

Característica	Edifício									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fachada principal*	oeste	oeste	sul	sul	oeste	leste	leste	norte	leste	oeste
A_{pe} (m ²)	152,04	322,14	208,06	719,64	1.052,76	279,68	295,91	218,93	346,84	1.390,80
A_{pcob} (m ²)	152,04	322,14	208,06	719,64	1.052,76	279,68	295,91	226,56	346,84	1.390,80
A_{tot} (m ²)	1.083,03	4.187,82	1.872,20	3.598,18	3.608,78	1.398,38	3.170,20	2.189,28	1.734,20	8.344,80
A_{env} (m ²)	1.524,88	2.966,94	1.920,19	2.392,14	2.945,54	1.413,19	2.546,51	2.041,24	1.571,84	4.524,00
V_{tot} (m ³)	3.429,91	11.725,90	5.391,94	10.794,53	14.448,78	4.307,00	8.718,05	6.129,98	4.855,76	29.206,80
$FA = A_{pcob}/A_{tot}$	0,14	0,08	0,11	0,20	0,29	0,20	0,09	0,10	0,20	0,17
$FF = A_{env}/V_{tot}$	0,44	0,25	0,36	0,22	0,20	0,33	0,29	0,33	0,32	0,15
PAF_T	0,17**	0,55**	0,51**	0,36	0,41	0,44	0,45**	0,19	0,34	0,49**
FS	0,60	0,56	0,60	0,66	0,47	0,47	0,47	0,64	0,56	0,47
AVS (graus)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AHS (graus)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

*Fachada principal = orientação da fachada voltada para a rua principal

**Foi utilizado PAFo

Tabela 5 - Característica dos edifícios avaliados

Discussões sobre os resultados da aplicação do RTQ-C

A Tabela 6 apresenta os indicadores de consumo da envoltória, os limites mínimos e máximos para cada nível de eficiência e a classificação obtida pelos edifícios. Não há um limite mínimo para a edificação atingir nível A: quanto menor o indicador obtido, mais eficiente será a envoltória da edificação. Na outra ponta, percebe-se que não há um limite máximo para a edificação classificada como nível E, esteja o indicador de consumo próximo aos valores mínimos definidos para esse nível ou muito mais elevados.

Dos dez edifícios avaliados, dois atingiram nível A; um nível B; quatro nível C; e três nível D.⁶

Considerando a mesma volumetria de cada edifício, a área de abertura nas fachadas, as proteções solares, o fator solar dos vidros e a orientação das fachadas são discutidos a seguir.

Percentual de abertura na fachada (PAF)

Grandes áreas de janela permitem ganhos ou perdas excessivas de calor, ou seja, há um acréscimo no consumo anual de energia com o

aumento da porcentagem de janela na fachada (GHISI; TINKER; 2005). Além disso, para amenizar o desconforto causado por esse ganho ou perda de calor, torna-se mais intenso o uso de ar condicionado ou de sistemas de aquecimento, tendo como consequência aumento do consumo de energia.

Carlo (2008) demonstra que o indicador de consumo é crescente com o aumento da área de aberturas. Em Santana (2006), o PAF destacou-se como a variável que apresentou maior influência na variação do consumo de energia: a cada 10% de aumento do PAF ocorreu um acréscimo no consumo de energia de 2,9%.

Nos edifícios avaliados pôde-se perceber que os que possuem maior PAF foram os que obtiveram menores classificações (edifícios 2, 3 e 10, com percentuais de abertura de 55%, 51% e 49% respectivamente; classificação D). Os edifícios com baixo percentual de aberturas obtiveram nível A (edifícios 1 e 8, com 17% e 19% respectivamente).

⁶ Os pré-requisitos de transmitância térmica de paredes e coberturas, cores e absorvância de superfícies e iluminação zenital não fizeram parte desta avaliação. A classificação considerou somente o valor obtido para o indicador de consumo da envoltória. A classificação dos edifícios pode variar de acordo com o atendimento ou não aos pré-requisitos específicos da envoltória.

	IC _{env}	Limites dos intervalos dos níveis de eficiência										Classificação (Nível)
		A		B		C		D		E		
		Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	
Edifício 1	178,49	-	180,02	180,03	182,66	182,67	185,30	185,31	187,94	187,95	-	A
Edifício 2	226,06	-	219,51	219,52	222,15	222,16	224,79	224,80	227,43	227,44	-	D
Edifício 3	203,98	-	198,08	198,09	200,72	200,73	203,36	203,37	206,00	206,01	-	D
Edifício 4	110,08	-	102,02	102,03	108,69	108,70	115,36	115,37	122,04	122,05	-	C
Edifício 5	98,38	-	88,70	88,71	95,38	95,39	102,05	102,06	108,72	108,73	-	C
Edifício 6	279,53	-	275,88	275,89	278,52	278,53	281,16	281,17	283,81	283,82	-	C
Edifício 7	218,12	-	214,26	214,27	216,90	216,91	219,54	219,55	222,18	222,19	-	C
Edifício 8	202,03	-	202,89	202,90	205,54	205,55	208,18	208,19	210,82	210,83	-	A
Edifício 9	280,88	-	278,91	278,92	281,56	281,57	284,20	284,21	286,84	286,85	-	B
Edifício 10	54,36	-	40,61	40,62	47,29	47,30	53,96	53,97	60,63	60,64	-	D

Tabela 6 - Indicadores de consumo e classificação dos edifícios avaliados

Orientação das fachadas

Apesar de a orientação das fachadas não ser considerada diretamente na equação do cálculo do indicador de consumo, ela é considerada quando se tem um percentual de abertura na fachada oeste significativamente maior que o percentual de abertura total das fachadas (mais de 20%). Nesses casos, o PAF_O é utilizado nas Equações 1 e 2, em vez do PAF_T, aumentando o percentual a ser considerado nos cálculos.

Nos edifícios 1, 2, 3, 7 e 10 a fachada oeste é a mais envidraçada. No edifício 1 esse fato não teve grande influência, pois tanto o PAF_O (17%) quanto o PAF_T (11%) são baixos. Já nos edifícios 2, 3 e 10 houve influência na classificação. Nestas edificações, se fosse utilizado o PAF_T, os edifícios obteriam classificação um nível acima (passariam de D para C). Cabe ressaltar que mesmo o PAF_T é significativo nesses edifícios (41%, 39% e 39% respectivamente, em vez dos 55%, 51% e 49% do PAF_O). Já o edifício 7 passaria de nível C para nível A caso fosse utilizado o PAF_T (27%) em vez do PAF_O (45%).

Proteções solares

As proteções solares, representadas nas Equações 1 e 2 por meio dos ângulos vertical e horizontal de sombreamento (AVS e AHS), proporcionam redução no indicador de consumo devido ao aumento do sombreamento e consequente redução da carga térmica ao aumentar o ângulo de sombreamento em relação à janela (CARLO, 2008). Ao analisar os brises horizontais, Santana (2006) demonstra que a cada 10° de aumento do ângulo vertical de sombreamento o consumo de energia decresce em 1,8%.

Entre os edifícios avaliados, nenhum apresenta proteções solares que proporcionem sombreamento nas aberturas (AVS e AHS iguais a zero). Essa característica corrobora com o levantamento de tipologias realizado por Carlo (2008), que encontrou ausência de AVS em mais de 80% e de AHS em quase 100% da tipologia definida como grandes escritórios.

A ausência de sombreamento nas aberturas contribui para o aumento no consumo de energia dos edifícios e menor classificação no nível de eficiência em função da obtenção de indicadores de consumo mais elevados em relação a edifícios que possuem elementos de sombreamento.

A título de exemplo, se no edifício 2 fossem mantidas as demais características e o AVS fosse 45° (maior ângulo permitido para entrada na equação), a classificação do edifício passaria de nível D para nível A. O mesmo ocorreria caso AVS e AHS fossem iguais a 25°.

Fator solar dos vidros

O parâmetro *fator solar* é a variável presente na equação que apresenta menor influência no indicador de consumo da envoltória. Santana (2006) observou que a cada variação de 0,1 de fator solar ocorreu uma alteração no consumo de energia de 0,6%.

Os edifícios avaliados possuem fatores solares que variam de 0,47 (mais eficiente) a 0,66. Tomando como exemplo o edifício 2, com as mesmas características e fator solar igual a 0,22 (um dos menores fatores solares de vidros obtidos no mercado), a classificação passaria de nível D para nível C.

Conclusões

Este artigo apresentou os resultados e as discussões da avaliação da envoltória de edifícios de escritórios de Florianópolis, SC, aplicando-se o método prescritivo do RTQ-C. Os pré-requisitos específicos da envoltória (transmitâncias térmicas, cores e absorvância de superfícies, e iluminação zenital) não foram levados em consideração. A avaliação limitou-se às variáveis construtivas que influenciam nos indicadores de consumo da envoltória.

Analisando os resultados, pôde-se observar que o percentual de abertura na fachada é a medida de conservação de energia de maior relevância. Quanto maior o percentual de abertura, menor tende a ser o nível de eficiência da envoltória quando nenhuma outra medida construtiva é utilizada para amenizar tal efeito. A orientação das fachadas é uma variável importante e atrelada ao percentual de abertura, uma vez que, se a orientação for favorável, as aberturas poderão possuir áreas maiores. Com os resultados obtidos percebe-se claramente que grandes percentuais de abertura na fachada oeste podem comprometer a eficiência da envoltória.

As proteções solares aparecem como segundo fator de maior influência na eficiência energética da envoltória. Quanto mais sombreadas forem as aberturas, maior o nível de eficiência atingido. Entretanto, observa-se que essa é uma estratégia pouco explorada nos edifícios de escritórios brasileiros.

O fator solar dos vidros figura como a variável de menor influência na eficiência da envoltória. No entanto, não é um parâmetro a ser desconsiderado. A utilização de vidros com fatores solares baixos pode elevar o nível de eficiência de um edifício, principalmente se utilizado concomitantemente com as demais estratégias mencionadas.

Dado o exposto, pode-se perceber que, em muitos casos, estudos e medidas simples podem implicar uma redução significativa do consumo de energia. Melhores níveis de eficiência energética podem ser alcançados quando são levados em consideração no projeto de uma edificação o percentual, a orientação e o sombreamento das aberturas, aliados à escolha dos materiais e à adequação da edificação ao clima e ao entorno urbano. As características técnicas da construção, o microclima, a temperatura externa, a radiação solar, o vento, as trocas térmicas das paredes e cobertura, os ganhos de calor no interior da edificação provenientes do metabolismo dos usuários, os sistemas de iluminação e equipamentos eletrônicos são variáveis que

influenciam no balanço energético de uma edificação. Quando essas variáveis são pensadas conjuntamente, o edifício tem uma boa resposta com relação ao consumo de energia elétrica e ao conforto térmico dos ocupantes. A melhoria da eficiência energética da envoltória e a interação da edificação com o meio em que está inserida podem contribuir também na redução do uso de iluminação artificial e de sistemas de refrigeração mecânica, responsáveis pela maior parte da energia consumida nos edifícios comerciais.

Até então poucos arquitetos levavam em consideração os contextos urbano, geográfico e climático em seus projetos, tirando partido da iluminação e ventilação naturais e aproveitando as condições climáticas da região, a orientação solar, os ventos predominantes e as condições do entorno. Em algumas situações, modelos arquitetônicos internacionais eram importados sem o cuidado de serem adaptados às potencialidades brasileiras.

Nesse sentido, o RTQ-C surge como uma ferramenta para estimular o emprego de técnicas de projeto e estratégias bioclimáticas para a criação de soluções arquitetônicas mais adequadas ao ambiente climático em que estão inseridas. Ressalta-se que objetivo do RTQ-C não é fixar parâmetros, e sim estimular que os projetistas lancem mão de medidas combinadas para maior eficiência das edificações. Acredita-se que o método regulamentado pelo RTQ-C tende a se disseminar no mercado e a promover a eficiência energética das edificações ao compará-las a um desempenho mínimo obrigatório para cada nível de classificação desejado.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15.220-3**: desempenho térmico de edificações: parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

BRASIL. **Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001**. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Brasília, DF, 2001a. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/qualidade/lei10295.pdf>>. Acesso em: 24 fev. 2007.

BRASIL. **Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001**. Regulamenta a Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. Brasília, DF, 2001b. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/qualidade/decreto4059.pdf>>. Acesso em: 24 fev. 2007.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional 2008**. Brasília, DF, 2008. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 14 set. 2009.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Manual para Aplicação dos Regulamentos: RTQ-C e RAC-C**. Brasília, DF, 2009a. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/eletrobras/etiquetagem/arquivos/4_Manual.pdf>. Acesso em: 06 ago. 2009.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria nº 163, de 08 de junho de 2009**. Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Brasília, DF, 2009b. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/eletrobras/etiquetagem/arquivos/2_RTQ_C.pdf>. Acesso em: 06 ago. 2009.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria nº 185, de 22 de junho de 2009**. Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RAC-C). Brasília, DF, 2009c. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/eletrobras/etiquetagem/arquivos/3_RAC_C.pdf>. Acesso em: 06 ago. 2009.

CARLO, J. C. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envoltório de Edificações Não-Residenciais**. 2008. 196 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

CARLO, J. C.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. The Use of Computer Simulation to Establish Energy Efficiency Parameters for a Building Code of a City in Brazil. In: PASSIVE LOW ENERGY ARCHITECTURE CONFERENCE, 20., 2003, Santiago, Chile. **Proceedings...** Santiago: PLEA. 2003. p. 131-138.

CARLO, J.; PEREIRA, F.; LAMBERTS, R. Iluminação Natural para Redução do Consumo de Energia de Edificações de Escritório aplicando Propostas de Eficiência Energética para o Código de Obras do Recife. In: CONFERÊNCIA LATINO AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2004, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2004.

FOSSATI, M. **Metodologia para Avaliação da Sustentabilidade de Projetos de Edifícios: o caso de escritórios em Florianópolis**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

GELLER, H. **O Uso Eficiente da Eletricidade: uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil**. Rio de Janeiro: INEE: ACEEE, 1994.

GHISI, E.; TINKER, J. A. An Ideal Window Area Concept for Energy Efficient Integration of Daylight and Artificial Light in Buildings. **Building and Environment**, Oxford, v. 40, n. 1, p. 51-61, 2005.

GOULART, S. V. G. **Levantamento da Experiência Internacional em Eficiência Energética de Edifícios: experiência nos Estados Unidos**. Florianópolis: Eletrobrás: UFSC, 2005a. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/eletrobras/reg_aet_3.php>. Acesso em: 06 ago. 2009.

GOULART, S. V. G. **Levantamento da Experiência Internacional em Eficiência Energética de Edifícios: experiência Européia**. Florianópolis: Eletrobrás: UFSC, 2005b. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/eletrobras/reg_aet_3.php>. Acesso em: 06 ago. 2009.

GOULART, S. V. G. **Levantamento da Experiência Internacional em Eficiência Energética de Edifícios: experiência australiana e discussão final**. Florianópolis: Eletrobrás: UFSC, 2007. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/eletrobras/reg_aet_3.php>. Acesso em: 06 ago. 2009.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Mitigation of Climate Change**. Bangkok, 2007. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch>>. Acesso em: 28 maio 2007.

LAMBERTS, R. *et al.* Regulamentação de Etiquetagem Voluntária de Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais e Públicos. In: ENCONTRO NACIONAL, 9., ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., 2007, Outro Preto. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2007.

SANTANA, M. V. **Influência de Parâmetros Construtivos no Consumo de Energia de Edifícios de Escritório Localizados em Florianópolis – SC**. 2006. 181 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.