



## **ANÁLISE DA VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DO MÉTODO PRESCRITIVO DO RTQ-C PARA AVALIAR O NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA EM EDIFICAÇÕES COMERCIAIS COM ÁREA TOTAL INFERIOR A 500 M<sup>2</sup>**

**Carolina Rocha Carvalho (1); Veridiana Atanasio Scalco (2); Thalessa Dâmaris Maia (3);  
Roberto Lamberts (4)**

(1) Arquiteta, Doutoranda do PPGEC/UFSC, arqcarolcarvalho@gmail.com

(2) Arquiteta, Pós-doutoranda do Pós ARQ/UFSC, veridiana@labeee.ufsc.br

(3) Acadêmica, Curso de Arquitetura e Urbanismo/UFSC, thalessa.maia@gmail.com

(4) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil, lamberts@labeee.ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Cx Postal 476, Florianópolis - SC, 88040-900, Tel.: (48) 3721-5184

### **RESUMO**

O Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) é de caráter voluntário e visa classificar uma edificação com relação a eficiência energética. Uma restrição do RTQ-C é que este é aplicável a edificações com área total mínima de 500 m<sup>2</sup> e/ou tensão de abastecimento superior ou igual a 2,3 kV. Esta pesquisa objetivou avaliar a viabilidade de aplicação do método prescritivo para avaliar a envoltória edificações comerciais com área total inferior a 500 m<sup>2</sup>. Para tanto, foram elaborados modelos com área total inferior a 500 m<sup>2</sup> variando entre 35 a 450 m<sup>2</sup> (360 modelos), assim como outros modelos que adotaram variações de Fator de Forma (270 modelos). As análises consideraram o FF calculado e o FF ajustado de acordo com o limite máximo para cada Zona Bioclimática (ZB), conforme especificado no RTQ-C. Como resultados principais comprovou-se que em 29% dos casos o Índice de Consumo resultou em valores negativos. Destes, apenas 5% resultaram em divergência entre o nível de eficiência de modelos com FF calculado e do limite máximo de FF. Apenas a ZB 7 apresentou divergências no nível de eficiência, onde 88% dos casos resultaram em aumento do nível de eficiência energética. Pode-se concluir que é possível aplicar as equações do método prescritivo do RTQ-C para avaliar o nível de eficiência energética da envoltória de edificações comerciais com área total inferior a 500 m<sup>2</sup> nas diferentes ZB.

Palavras-chave: RTQ-C, método prescritivo, eficiência energética.

### **ABSTRACT**

The Technical Regulation on the Quality Level of Energy Efficiency of Commercial Buildings, and Public Services (RTQ-C) is a voluntary scheme that aims to classify a building in relation to its energy efficiency. There is a restriction regarding the application of the RTQ-C, which applies to buildings which are equal to or bigger than 500 m<sup>2</sup> of total area and / or have a supply voltage greater than or equal to 2.3 kV. This research is aimed at evaluating the feasibility of applying the prescriptive method to evaluate the envelope of commercial buildings with total area less than 500 m<sup>2</sup>. Therefore, models were developed with areas totaling less than 500 m<sup>2</sup> with designs ranging from 35 to 450 m<sup>2</sup> (360 models), as well as other models that adopted variations of Form Factor (270 models). The analysis considered the FF calculated and the adjusted FF according to the FF maximum for each Bioclimatic Zone (ZB) as specified in the RTQ-C. The main results proved that in 29% of the cases, the Consumption Index resulted in negative values. Of these, only 5% resulted in a discrepancy between the level of efficiency calculated for those models with a FF and maximum FF limit. Only the ZB 7 presented discrepancies in the level of energy efficiency, where 88% of the cases

resulted in increased levels of energy efficiency. It can be concluded that it is possible to apply the equations of the prescriptive method of RTQ-C to assess the level of energy efficiency for commercial buildings envelopes with total area less than 500 m<sup>2</sup> in different ZB.

Keywords: RTQ-C, Prescriptive method, Energy efficiency.

## 1. INTRODUÇÃO

O Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) foi lançado no dia 27 de fevereiro de 2009 através da portaria n° 53, como parte do Programa de Etiquetagem Brasileiro do INMETRO. O RTQ-C vigente foi promulgado através da Portaria n° 372 publicada no dia 17 de setembro de 2010. Cabe ressaltar que o RTQ-C encontra-se em sua terceira versão completa e possui uma Portaria Complementar. Trata-se de um processo evolutivo que se faz necessário em função do aprimoramento e aperfeiçoamento do programa.

O RTQ-C visa estabelecer parâmetros para a determinação do nível de eficiência energética de edificações comerciais, de serviços e públicas, apresentando duas metodologias para a avaliação: método prescritivo ou simulação.

O método prescritivo avalia a eficiência energética de uma edificação através da análise da envoltória, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar, ponderados para definir a classificação do nível de eficiência energética.

Segundo Carlo (2008), o método prescritivo utilizado para a avaliação da envoltória foi elaborado através de simulações de edificações representativas que forneceram dados de consumo de energia utilizados para o desenvolvimento de equações de regressão linear multivariada. Como resultado, foram desenvolvidas equações para a avaliação dos Indicadores de Consumo da Envoltória ( $IC_{env}$ ) para diferentes Zonas Bioclimáticas. As equações foram estabelecidas como um conjunto de regras que visam identificar a eficiência energética de uma edificação (CARLO, 2010).

O  $IC_{env}$  deve ser calculado através de equações que envolvem alguns parâmetros relacionados às características da edificação, como:

- Fator de Forma (FF): este parâmetro é um indicador da volumetria da edificação definido pela relação entre Área da Envoltória ( $A_{env}$ ) e Volume Total da edificação ( $V_{tot}$ );
- Fator Altura (FA): indica o número de pavimentos da edificação definido pela razão entre Área da Projeção da cobertura ( $A_{pcob}$ ) e Área Total da edificação ( $A_{tot}$ );
- Percentual de Abertura da Fachada Total (PAFt): caracterizando a percentagem da área da fachada que recebe materiais transparentes ou translúcidos;
- Ângulos de Sombreamento: são definidos por Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS) e Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS);
- Fator Solar (FS): valor relacionado à característica do vidro.

O território brasileiro está dividido em 8 Zonas Bioclimáticas (ZB) com regiões agrupadas em função das condicionantes climáticas (NBR 15220/2005). Em função da classificação climática, o método prescritivo apresenta diferentes equações dependendo da ZB em que a edificação está inserida.

O RTQ-C apresenta as equações para o cálculo do  $IC_{env}$  e agrupa algumas ZB em função das condicionantes climáticas semelhantes, resultando em 5 grupos em função da ZB. Além da distinção em função da Zona Bioclimática, há ainda a necessidade da divisão em duas equações, dependendo da Área de Projeção da Edificação ( $A_{pe}$ ). O Regulamento apresenta uma equação para  $A_{pe} \leq 500m^2$  e outra para  $A_{pe} > 500 m^2$ .

As equações utilizadas no artigo foram extraídas do RTQ-C portaria 372/2010 e são referentes à avaliação de eficiência energética em edificações comerciais, de serviços e públicas com Área de Projeção da Edificação ( $A_{pe}$ ) inferior a 500 m<sup>2</sup>.

As equações do RTQ-C 372/2010 referentes à edificações com  $A_{pe} \leq 500,00 m^2$  possuem limites máximos para Fator de Forma (FF). Este limite determina que quando a equação for aplicada em edificações com dimensões que resultem no valor de FF acima do limite, este deverá ser ajustado para o valor limite máximo para utilizar nas equações do método prescritivo.

A seguir são apresentadas as Equações de 1 a 5, extraídas do RTQ-C, diferindo de acordo com a ZB em que está inserida a edificação em análise com a apresentação do limite de FF máximo, que também é distinto dependendo da ZB.

Equação1, para ZB 1, possui limite de FF máximo de 0,60:

$$IC_{env} = -43,0.FA - 316,62.FF + 16,83.PAF_T + 7,39.FS - 0,20.AVS + 0,20.AHS + 132,5.\frac{FA}{FF} - 77.FA.FF - 0,92.FF.PAF_T.AHS + 182,66 \quad \text{Equação 1}$$

Equação 2, para ZB 2 e 3, possui limite de FF máximo de 0,70:

$$IC_{env} = -175,30.FA - 212,79.FF + 21,86.PAF_T + 5,59.FS - 0,19.AVS + 0,15.AHS + 275,19.\frac{FA}{FF} + 213,35.FA.FF - 0,04.PAF_T.FS.AVS - 0,45.PAF_T.AHS + 190,42 \quad \text{Equação 2}$$

Equação 3, para ZB 4 e 5, com limite de FF máximo de 0,75:

$$IC_{env} = 105,39.FA - 207,12.FF + 4,61.PAF_T + 8,08.FS - 0,31.AVS - 0,07.AHS - 82,34.FA.FF + 3,45.PAF_T.FS - 0,005.PAF_T.FS.AVS.AHS + 171,27 \quad \text{Equação 3}$$

Equação 4, para ZB 7, com limite de FF máximo de 0,60:

$$IC_{env} = 32,62.FA - 580,03.FF - 8,59.PAF_T + 18,48.FS - 0,62.AVS - 0,47.AHS + 200,0.\frac{FA}{FF} - 192,5.FA.FF + 70,22.FF.PAF_T - 0,55.PAF_T.AHS + 318,65 \quad \text{Equação 4}$$

Equação 5, para ZB 6 E 8, com limite de FF máximo de 0,48:

$$IC_{env} = 454,47.FA - 1641,37.FF + 33,47.PAF_T + 7,06.FS + 0,31.AVS - 0,29.AHS - 1,27.PAF_T.AVS + 0,33.PAF_T.AHS + 718 \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

$IC_{env}$ : Indicador de Consumo da Envoltória (adimensional);

$A_{tot}$ : Área Total Construída (m<sup>2</sup>);

$A_{env}$ : Área da Envoltória (m<sup>2</sup>);

$A_{pcob}$ : Área de Projeção da Cobertura (m<sup>2</sup>);

AVS: Ângulo Vertical de Sombreamento;

AHS: Ângulo Horizontal de Sombreamento;

FF: Fator de Forma ( $A_{env}/V_{tot}$ );

FA: Fator Altura ( $A_{pcob}/A_{tot}$ );

FS: Fator Solar;

PAF<sub>T</sub>: Percentual de Abertura na Fachada total (adimensional, para uso na equação);

$V_{tot}$ : Volume Total (m<sup>3</sup>).

As equações são utilizadas para calcular três Indicadores de Consumo (IC):

- $IC_{env}$ : Indicador de Consumo da envoltória da edificação a ser avaliada;
- $IC_{mín}$ : Indicador de Consumo mínimo, onde deve-se adotar FF e FA da edificação, entretanto outros parâmetros devem ser ajustados (PAF<sub>t</sub> = 0,60; FS = 0,61; AVS = 0 e AHS = 0) consideradas de uma envoltória eficiente, de forma a resultar em um menor IC (CARLO, 2008);
- $IC_{máxD}$ : Indicador de Consumo máximo para uma edificação classificada como nível D. Para o  $IC_{máxD}$  deve-se adotar valores de FF e FA da edificação em análise, entretanto outros dados devem ser alterados ((PAF<sub>t</sub> = 0,05; FS = 0,87; AVS = 0 e AHS = 0).

A diferença entre  $IC_{mín}$  e  $IC_{máxD}$  é dividida em quatro intervalos que definem as faixas representativas de IC para cada nível de eficiência energética, que vai do nível A (mais eficiente) ao nível E (menos eficiente), conforme apresentado na Figura 1. Logo, deve-se verificar a posição do  $IC_{env}$  para determinar o nível de eficiência energética da envoltória da edificação que está sendo avaliada.



Figura 1- Escala do nível de eficiência energética da envoltória.

Na amostragem de edificações que participaram das simulações e formulação das equações que determinam o  $IC_{env}$ , edificações com área total inferior de 500 m<sup>2</sup> não foram incluídas. Sendo assim, desde o lançamento do programa, o Regulamento apresenta restrição em sua aplicação, onde se deve empregar a metodologia descrita apenas em edificações com área total mínima de 500 m<sup>2</sup> e/ou com tensão de abastecimento superior ou igual a 2,3 kV.

Esta limitação restringe o número de edificações passíveis de serem avaliadas através do método prescritivo, reduzindo o universo de edificações comerciais, de serviços e públicas etiquetadas. Com a evolução do programa surgiu a demanda pela avaliação de eficiência energética em edificações com área total inferior a 500 m<sup>2</sup>. Visando atender a demanda e aumentar a área de abrangência de aplicação do RTQ-C observou-se a necessidade de analisar a viabilidade de aplicação do método prescritivo em edificações menores. Neste sentido, este artigo visa investigar os efeitos da aplicação das equações do método prescritivo para avaliar a envoltória de edificações com área total inferior a 500 m<sup>2</sup> em todas as Zonas Bioclimáticas.

Para a avaliação da envoltória deve-se calcular o Índice de Consumo (IC) e atender a alguns pré-requisitos específicos, que envolve respeitar limites de transmitância térmica (paredes e cobertura); cores e absorvância de superfícies (paredes e cobertura); e Iluminação Zenital. Para o desenvolvimento deste artigo considerou-se que os modelos em análise atenderam aos limites dos pré-requisitos específicos em todas as zonas bioclimáticas e não há abertura zenital nos modelos.

## 2. OBJETIVO

Analisar a viabilidade de aplicação de equações do método prescritivo do RTQ-C para avaliar o nível de eficiência energética da envoltória de edificações comerciais, de serviços e públicas com área total inferior a 500 m<sup>2</sup> em todas as Zonas Bioclimáticas.

## 3. MÉTODO

O método desenvolvido neste artigo seguiu as seguintes etapas:

1. Caracterização de geometrias com área total inferior a 500 m<sup>2</sup>;
2. Análise dos modelos com adoção do valor de Fator de Forma limite;
3. Caracterização de modelos definidos pelo Fator de Forma;
4. Análise de Indicadores de Consumo da Envoltória e avaliação comparativa entre os níveis de eficiência energética.

### 3.1. Caracterização de geometrias com área total inferior a 500 m<sup>2</sup>

O item 3.1 envolveu a análise da eficiência energética de edificações com área total inferior a 500 m<sup>2</sup>. Alguns casos foram modelados de forma a compor uma sequência de exemplos de edificações de pequeno porte.

Foram elaborados 12 modelos variando a área total entre 35,00 m<sup>2</sup> e 450,00 m<sup>2</sup>. Esta faixa foi definida de forma a abranger valores com dimensões variadas com área total inferior a 500 m<sup>2</sup>. O número de pavimentos dos modelos variou de 1 a 4 andares. As dimensões foram definidas de forma aleatória e o pé-direito considerado foi de 3,00 m. As características das edificações são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Dimensões e características geométricas dos Modelos.

Modelo	Dimensões (m x m)	Núm Pav	A <sub>tot</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>pcob</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>pe</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>env</sub> (m <sup>2</sup> )	V <sub>tot</sub> (m <sup>3</sup> )	FF	FA
TESTE-1	5 X 7	1	35	35	35	107	105	<b>1,02</b>	<b>1</b>
TESTE-2	7 X 7	1	49	49	49	133	147	<b>0,90</b>	<b>1</b>
TESTE-3	8 X 8	1	64	64	64	160	192	<b>0,83</b>	<b>1</b>
TESTE-4	10 X 10	1	100	100	100	220	300	<b>0,73</b>	<b>1</b>
TESTE-5	6 X 10	2	120	60	60	252	360	<b>0,70</b>	<b>0,50</b>
TESTE-6	7 X 7	3	147	49	49	301	441	<b>0,68</b>	<b>0,33</b>
TESTE-7	7 X 8	3	168	56	56	326	504	<b>0,65</b>	<b>0,33</b>
TESTE-8	8 X 10	2	160	80	80	296	480	<b>0,62</b>	<b>0,50</b>
TESTE-9	15 X 15	1	225	225	225	405	675	<b>0,60</b>	<b>1</b>
TESTE-10	20 X 20	1	400	400	400	640	1200	<b>0,53</b>	<b>1</b>
TESTE-11	10 X 10	4	400	100	100	580	1200	<b>0,48</b>	<b>0,25</b>
TESTE-12	15 X 15	2	450	225	225	585	1350	<b>0,43</b>	<b>0,50</b>

As geometrias dos modelos seguiram as dimensões apresentadas na Tabela 1 e tiveram alguns parâmetros variados, como o Percentual de Abertura da Fachada total (PAFt) e o Fator Solar (FS) do vidro. As variações de PAFt e de FS são importantes para analisar a influência destes parâmetros na avaliação final. Os ângulos de sombreamento (AVS e AHS) foram considerados 0°. A Figura 2 apresenta de forma esquemática os parâmetros definidos para cada modelo.

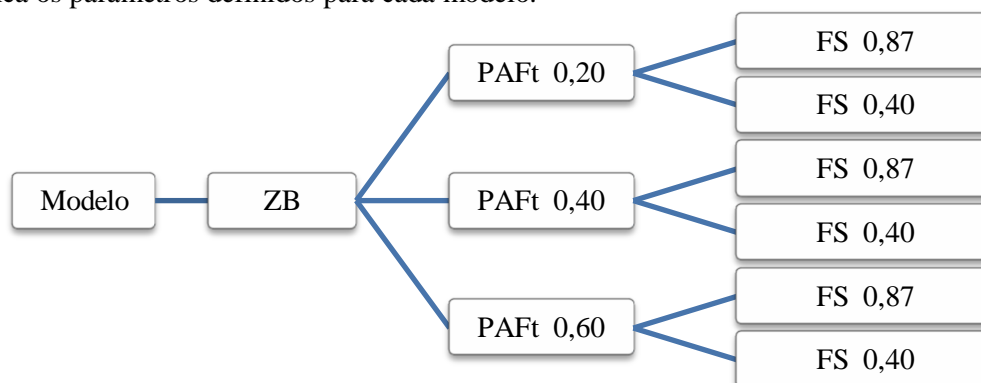


Figura 2- Esquema de definição de parâmetros para os modelos.

Conforme apresentado na Figura 2, os modelos tiveram 6 variações para cada um dos 12 modelos e estes foram aplicados para as diferentes ZB (5 equações). Ao total foram analisados 360 modelos, considerando os valores encontrados em decorrência dos dados da geometria.

A razão entre a área da envoltória e volume total da edificação resultou em valores de FF que variaram de 1,02 a 0,43. O FA variou de 1,00, que corresponde a uma edificação de 1 pavimento, à 0,25, que representa uma edificação de 4 pavimentos.

### 3.2. Análise dos modelos com adoção do valor de Fator de Forma limite

Carlo (2008) apresenta algumas restrições para a aplicação das equações, e estas são expressas em limites no FF. Sendo assim, o RTQ-C 372/2010 apresenta valores limites de FF máximo para edificações com  $A_{pe}$  menor igual a 500 m<sup>2</sup> que varia dependendo da ZB. Caso a edificação em análise apresente valor de FF maior que os limites máximos, deve-se adotar o valor limite. Os limites de Fator de Forma máximo apresentados no RTQ-C são:

- ZB1 = FF máximo 0,60;
- ZB 2 e 3 = FF máximo 0,70;
- ZB 4 e 5 = FF máximo 0,75;
- ZB 7 = FF máximo 0,60;
- ZB 6 e 8 = FF máximo 0,48.

Cada modelo foi analisado segundo o método prescritivo do RTQ-C para a avaliação da envoltória com o objetivo de calcular o  $IC_{env}$  e definir o nível de eficiência energética da edificação. Como o FF variou de 1,02 a 0,43, alguns valores encontraram-se acima dos limites estabelecidos pelo RTQ-C como FF máximo. Com isto, estes cálculos precisaram ser revistos e recalculados considerando os valores limite de FF.

Como o limite de FF é diferente para cada ZB, alguns modelos precisaram ser analisados, onde a ZB1 apresentou 8 ocorrências de FF acima do valor limite; a ZB 2 e 3 apresentou 4 ocorrências; ZB 4 e 5 apresentou 3; ZB 7 apresentou 8; e ZB 6 e 8 apresentou 11. Os modelos que precisaram ser analisados com o ajuste no FF totalizaram 34 ocorrências variando os valores de PAFt e FS conforme apresentado na Figura 2.

### 3.3. Caracterização de modelos definidos pelo Fator de Forma

Com a análise modelos avaliados no item 3.1 constatou-se que o parâmetro que define a geometria precisou, em cerca de 56% das ocorrências, ser ajustado para atender o limite do FF. Com isso, optou-se por analisar outros modelos, sem elaborar edificações com dimensões hipotéticas, mas variando apenas o valor de FF. Nesta etapa adotou-se valores de Fator Altura (FA) de 1,00 com modelos de apenas um pavimento, assim como manteve-se os valores de AVS e AHS de 0°.

Para outra etapa optou-se por variar o valor do FF a partir de 1,00 até 0,60. Desta forma, outros 9 outros modelos foram elaborados, variando o FF a cada 0,05, seguindo o mesmo processo apresentado na Figura 2. Nesta etapa 270 novos testes tiveram seu  $IC_{env}$  calculados e seus resultados analisados.

### 3.4. Análise de Indicadores de Consumo da Envoltória e avaliação comparativa entre os níveis de eficiência energética

Os modelos primeiramente tiveram suas características definidas, variando valores de FF, FA, PAFt e FS, conforme descrito no item 3.1. Após a primeira análise, constatou-se a necessidade de ajuste de FF em função do valor limite máximo (item 3.2). Os valores de  $IC_{env}$  obtidos das duas avaliações, com o valor de FF da edificação e com o ajuste em função do limite de FF, assim como as classificações com relação ao nível de eficiência energética foram analisados e comparados.

No item 3.3, os testes foram definidos conforme o valor de FF, que variaram de 1,00 a 0,60. Os 9 casos foram analisados seguindo o mesmo processo apresentado na Figura 2. Estes casos tiveram seu  $IC_{env}$  calculado e seu nível de eficiência energética comparado com os resultados da avaliação com valores limite de FF máximo, definido para cada ZB.

A análise dos resultados examinou os valores de  $IC_{env}$  calculados, assim como comparou o nível de eficiência energética obtido através da definição do  $IC_{env}$  na escala de eficiência calculada para cada geometria. A comparação foi necessária para comprovar a alteração ou não do nível de eficiência energética da edificação ao aplicar equações do método prescritivo em edificações com área total inferior a 500 m<sup>2</sup>.

## 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

O objetivo geral foi analisar a viabilidade de aplicação das equações apresentadas no RTQ-C para avaliar a eficiência energética em edificações com área total inferior a 500 m<sup>2</sup> em todas as Zonas Bioclimáticas. A primeira análise (item 3.1) realizada foi em relação à dimensão dos modelos, analisando a relação entre a área total do modelo e seu Fator de Forma ( $FF = A_{env}/V_{tot}$ ). Os modelos apresentados na Tabela 1 que possuem apenas um pavimento (FA = 1) tiveram seus dados de FF e Área Total apresentados na Figura 3. Este gráfico apresenta esta relação, destacando que quanto menor a área total da edificação maior é seu FF.

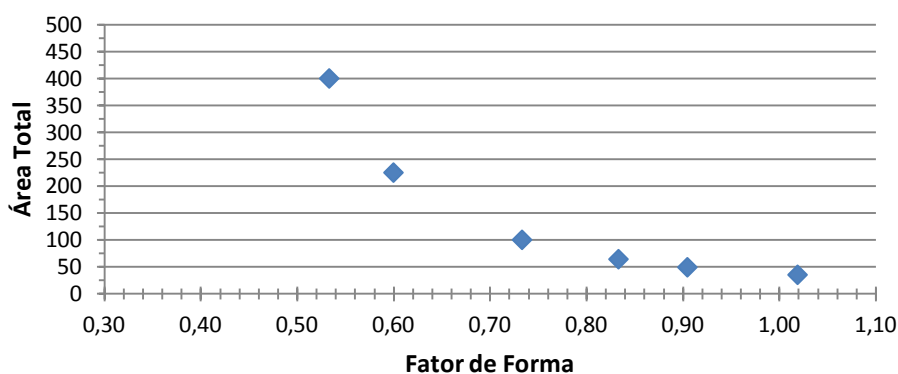


Figura 3- Análise da relação entre Área Total da Edificação e Fator de Forma ( $A_{env}/V_{tot}$ )

Após a análise dos primeiros 12 modelos descritos no item 3.1, observou-se que as dimensões dos menores modelos resultaram em dados de Fator de Forma (FF) com valores superiores ao limite do FF máximo. Mesmo apresentando valores de FF acima dos limites estabelecidos, os limites de  $IC_{env}$  para os diferentes níveis de classificação foram calculados e seu nível de eficiência energética obtido.

Como resultado da análise dos modelos do item 3.1, observou-se que alguns casos, quando não foi adotado o limite de FF, apresentaram valores de  $IC_{env}$  **negativos**. Como não é possível obter consumo negativo, este resultado não seria válido. Entretanto, continuou-se a análise, considerando os valores negativos de  $IC_{env}$  como válidos, foram obtidos valores de  $IC_{mín}$  e  $IC_{máxD}$ , que mantiveram números negativos. Mesmo tendo conhecimento da inconsistência de se obter valores negativos, a análise do  $IC_{env}$  dentro dos limites, pôde-se obter o nível de eficiência energética da envoltória.

Após esta etapa, os valores de FF foram ajustados segundo o RTQ-C e seu  $IC_{env}$  foi calculado. O nível de eficiência energética foi obtido através da análise da posição do  $IC_{env}$  dentro das faixas limites para cada nível de classificação.

Os dados resultantes da avaliação dos modelos com características estabelecidas e com o ajuste de FF foram comparados. Apesar de modelos com FF acima do limite máximo apresentarem valores negativos para  $IC_{env}$ , sua classificação final do nível de eficiência energética resultou, na maioria dos casos, igual ao resultado da análise que adotaram o ajuste de FF. Dentre as equações apresentadas no RTQ-C, apenas a Zona

Bioclimática 7 apresentou divergências com relação à comparação entre o nível de eficiência obtido pelos modelos e com o ajuste de FF aplicado.

Na ZB7 o Teste 1 e o 12 com PAFt 0,40 e FS 0,87 tiveram seu nível de eficiência **reduzido** quando aplicado o ajuste de FF. Quando, na ZB 7, o FS foi alterado para 0,40, os testes de 1 a 7 tiveram seu nível de eficiência energética **elevado** quando se aplicou o ajuste de FF.

Ressalta-se que a única equação que apresentou divergências entre o nível de eficiência energética com FF calculado e o limite de FF máximo foi da Zona Bioclimática 7. As demais equações apresentaram resultados similares entre o FF calculado e o ajuste de FF, mesmo apresentado valores negativos de  $IC_{env}$ .

A Tabela 2 apresenta dados com relação ao número de modelos analisados, número de casos em que precisou-se calcular com o valor limite de FF máximo, Número de casos em que o  $IC_{env}$  resultou em valores negativos e número de vezes em que houve alteração do nível de eficiência energética.

Tabela 2 – Análise dos resultados da avaliação de modelos.

	Modelos	Modelos que apresentaram necessidade de ajuste no valor de FF	Valores de $IC_{env}$ negativos	Porcentagem de $IC_{env}$ negativos	Alteração do nível de eficiência energética após ajuste do FF
<b>ZB1</b>	72	48	18	25 %	0
<b>ZB 2 e 3</b>	72	24	0	0 %	0
<b>ZB 4 e 5</b>	72	18	6	8 %	0
<b>ZB 7</b>	72	48	18	25 %	16
<b>ZB 6 e 8</b>	72	66	48	67 %	0

Esta tabela apresenta dados com relação ao número de ocorrências, destacando que apenas a Zona Bioclimática 7 apresentou alteração do nível de eficiência energética quando foi adotado o valor limite de FF máximo. Destes casos, um apresentou redução do nível de eficiência, 14 tiveram seu nível elevado e um caso apresentou diferença do nível sem estar vinculado com o ajuste de FF.

Como resultado inicial, observou-se que o parâmetro que influenciava no valor de  $IC_{env}$  é o Fator de Forma, como conforme apresentado no Gráfico 1, quanto menor a área total da edificação maior será seu FF. Esta primeira análise direcionou a pesquisa. Como o FF foi determinante no valor de  $IC_{env}$ , optou-se por analisar variações de FF sem definir dimensões para edificações hipotéticas.

Na segunda etapa os testes foram definidos pelo FF, que variou de 1,00 a 0,60, com variação de 0,05, formando 9 outros testes. Os testes foram analisados seguindo a mesma definição de variação dos parâmetros segundo Figura 2. Nesta etapa 270 novos testes tiveram seu  $IC_{env}$  calculados e seus resultados analisados.

A Tabela 2 apresenta os parâmetros definidos para os testes que variaram o FF, o valor de  $IC_{env}$ , assim como os valores limites para os diferentes níveis de classificação e como resultado final o nível obtido. Destacando que a Tabela 2 apresenta valores calculados para a ZB1 com o FS de 0,87.

Para a ZB1, o limite de FF máximo é de 0,60, então este FF foi destacado na Tabela Tabela 2 de forma a permitir a comparação dos níveis de eficiência energética calculado para os demais casos em que o FF apresenta-se acima do limite estabelecido pelo RTQ-C.

A mesma sequência de testes foi analisada para as demais Zonas Bioclimáticas, de acordo com as equações apresentadas no RTQ-C. As demais equações apresentaram resultados similares, onde alguns casos geraram resultados com valores negativos de  $IC_{env}$ , entretanto a classificação do nível de eficiência energética foi a mesma quando o ajuste de FF foi adotado.

A equação referente à ZB 7 foi a única que apresentou algumas divergências entre valores de FF do teste e FF com ajuste. A Tabela 3 apresenta as características do teste com variações de FF, assim como o  $IC_{env}$  calculado, os limites de cada nível de eficiência e a classificação final para a ZB7.

Ao final da tabela é apresentado o teste com o FF de 0,60, que é o limite de FF máximo para esta equação de forma a permitir a análise comparativa entre os valores variados de FF e o valor limite máximo de FF.

Como ocorrido nas primeiras análises, em testes em que o FF encontra-se acima do limite máximo, alguns casos apresentaram valores negativos de  $IC_{env}$ . Mesmo com  $IC_{env}$  com valores que não representam adequadamente o consumo energético, a classificação final do nível de eficiência energética, em sua maioria, apresentou resultados similares.

Dentre os resultados obtidos na segunda etapa, a ZB 7 apresentou algumas divergências. Sendo que com a adoção de FS de 0,87, apenas os casos com FF 1,00 e 0,95 apresentaram níveis de classificação maiores do que quando aplicado o ajuste do valor limite de FF máximo.

Tabela 3 - Testes com variações de FF para ZB1 e FS de 0,87

Teste	FA	PAFt	FS	AVS AHS	ICenv	Limites				Nível de eficiência
						Nível A	Nível B	Nível C	Nível D	
FF 1,00	1	0,20	0,87	0	-111,66	-112,36	-110,52	-108,69	-106,85	B
	1	0,40	0,87	0	-108,30	-112,36	-110,52	-108,69	-106,85	D
	1	0,60	0,87	0	-104,93	-112,36	-110,52	-108,69	-106,85	E
FF 0,95	1	0,20	0,87	0	-85,01	-85,70	-83,87	-82,03	-80,20	B
	1	0,40	0,87	0	-81,64	-85,70	-83,87	-82,03	-80,20	D
	1	0,60	0,87	0	-78,28	-85,70	-83,87	-82,03	-80,20	E
FF 0,90	1	0,20	0,87	0	-57,58	-58,27	-56,44	-54,60	-52,77	B
	1	0,40	0,87	0	-54,21	-58,27	-56,44	-54,60	-52,77	D
	1	0,60	0,87	0	-50,85	-58,27	-56,44	-54,60	-52,77	E
FF 0,85	1	0,20	0,87	0	-29,24	-29,93	-28,10	-26,26	-24,43	B
	1	0,40	0,87	0	-25,87	-29,93	-28,10	-26,26	-24,43	D
	1	0,60	0,87	0	-22,51	-29,93	-28,10	-26,26	-24,43	E
FF 0,80	1	0,20	0,87	0	0,18	-0,51	1,33	3,16	4,99	B
	1	0,40	0,87	0	3,55	-0,51	1,33	3,16	4,99	D
	1	0,60	0,87	0	6,92	-0,51	1,33	3,16	4,99	E
FF 0,75	1	0,20	0,87	0	30,91	30,22	32,05	33,88	35,72	B
	1	0,40	0,87	0	34,27	30,22	32,05	33,88	35,72	D
	1	0,60	0,87	0	37,64	30,22	32,05	33,88	35,72	E
FF 0,70	1	0,20	0,87	0	63,21	62,52	64,35	66,18	68,02	B
	1	0,40	0,87	0	66,57	62,52	64,35	66,18	68,02	D
	1	0,60	0,87	0	69,94	62,52	64,35	66,18	68,02	E
FF 0,65	1	0,20	0,87	0	97,45	96,76	98,59	100,43	102,26	B
	1	0,40	0,87	0	100,81	96,76	98,59	100,43	102,26	D
	1	0,60	0,87	0	104,18	96,76	98,59	100,43	102,26	E
FF 0,60 *	1	0,20	0,87	0	134,12	133,43	135,26	137,09	138,93	B
	1	0,40	0,87	0	137,48	133,43	135,26	137,09	138,93	D
	1	0,60	0,87	0	140,85	133,43	135,26	137,09	138,93	E

\* FF = 0,60 é o limite máximo de FF apresentado para aplicação da equação para a ZB1.

Tabela 4 - Testes com variações de FF para ZB7 e FS de 0,40

Teste	FA	PAFt	FS	AVS AHS	ICenv	Limites				Nível de Eficiência
						Nível A	Nível B	Nível C	Nível D	
FF 1,00	1	0,20	0,40	0	-201,54	-194,83	-187,56	-180,28	-173,01	A
	1	0,40	0,40	0	-189,22	-194,83	-187,56	-180,28	-173,01	B
	1	0,60	0,40	0	-176,89	-194,83	-187,56	-180,28	-173,01	D
FF 0,95	1	0,20	0,40	0	-153,09	-146,33	-139,54	-132,75	-125,96	A
	1	0,40	0,40	0	-141,47	-146,33	-139,54	-132,75	-125,96	B
	1	0,60	0,40	0	-129,84	-146,33	-139,54	-132,75	-125,96	D
FF 0,90	1	0,20	0,40	0	-103,47	-96,67	-90,36	-84,05	-77,75	A
	1	0,40	0,40	0	-92,55	-96,67	-90,36	-84,05	-77,75	B
	1	0,60	0,40	0	-81,63	-96,67	-90,36	-84,05	-77,75	D
FF 0,85	1	0,20	0,40	0	-52,47	-45,63	-39,80	-33,98	-28,16	A
	1	0,40	0,40	0	-42,26	-45,63	-39,80	-33,98	-28,16	B
	1	0,60	0,40	0	-32,04	-45,63	-39,80	-33,98	-28,16	D
FF 0,80	1	0,20	0,40	0	0,16	7,04	12,39	17,73	23,07	A
	1	0,40	0,40	0	9,67	7,04	12,39	17,73	23,07	B
	1	0,60	0,40	0	19,19	7,04	12,39	17,73	23,07	D
FF 0,75	1	0,20	0,40	0	54,75	61,68	66,54	71,40	76,26	A
	1	0,40	0,40	0	63,56	61,68	66,54	71,40	76,26	B
	1	0,60	0,40	0	72,38	61,68	66,54	71,40	76,26	D
FF 0,70	1	0,20	0,40	0	111,72	118,70	123,07	127,45	131,82	A
	1	0,40	0,40	0	119,83	118,70	123,07	127,45	131,82	B
	1	0,60	0,40	0	127,94	118,70	123,07	127,45	131,82	D
FF 0,65	1	0,20	0,40	0	171,62	178,64	182,54	186,43	190,32	A
	1	0,40	0,40	0	179,03	178,64	182,54	186,43	190,32	B
	1	0,60	0,40	0	186,44	178,64	182,54	186,43	190,32	D
FF 0,60 *	1	0,20	0,40	0	235,19	242,25	245,66	249,07	252,48	A
	1	0,40	0,40	0	241,89	242,25	245,66	249,07	252,48	A
	1	0,60	0,40	0	248,60	242,25	245,66	249,07	252,48	C

\* FF = 0,60 é o limite máximo de FF apresentado para aplicação da equação para a ZB7.

Quando aplicado um material translúcido com FS de 0,40 as divergências na equação que representa a ZB 7 aumentaram. Conforme apresentado na Tabela 3, o resultado do teste com FF 0,60, que é o limite máximo para a ZB7, elevou o nível de eficiência energética de todos os testes que adotaram valores



superiores ao FF limite máximo. Entretanto, ao analisar os valores do  $IC_{env}$  para a ZB7, pode-se observar que a diferença entre um nível e outro está nas casas decimais.

A Tabela 4 apresenta dados com relação ao número de modelos analisados com variações de FF, Número de casos em que o  $IC_{env}$  resultou em valores negativos e número de vezes em que houve alteração do nível de eficiência energética.

Tabela 5 – Análise dos resultados da avaliação de modelos com variação de FF.

	Modelos	Valores de $IC_{env}$ negativos	Porcentagem de $IC_{env}$ negativos	Alteração do nível de eficiência energética
<b>ZB1</b>	54	25	46,30 %	0
<b>ZB 2 e 3</b>	54	0	0 %	0
<b>ZB 4 e 5</b>	54	6	11,11 %	0
<b>ZB 7</b>	54	24	44,44 %	18
<b>ZB 6 e 8</b>	54	36	66,67%	0

Esta tabela apresenta dados com relação ao número de ocorrências, destacando que apenas a Zona Bioclimática 7 apresentou alteração do nível de eficiência energética quando foi adotado o valor limite de FF máximo. Destes casos, dois apresentaram redução do nível de eficiência e 16 tiveram seu nível elevado.

## 5. CONCLUSÕES

O item 3.1 envolveu a caracterização de 12 modelos com variação do PAFt e FS para analisar a avaliação segundo método prescritivo do RTQ-C. Com isto, foram analisados 72 modelos para cada Zona Bioclimática, totalizando 360 modelos.

As equações do RTQ-C referentes à edificações com Área de Projeção da Edificação menor igual a 500 m<sup>2</sup> possuem uma restrição de aplicação das equações, apresentando um limite de FF máximo definido pela Zona Bioclimática em que o projeto está inserido.

A primeira análise com relação aos modelos, confirmou que **quanto menor a área total da edificação, maior será seu Fator de Forma**, ou seja, quanto menor a edificação maior será a influência de cada área de fachada por volume da edificação. Desta forma, o indicador que define a volumetria (FF) apresenta-se maior em edificações de pequeno porte e estas, segundo Carlo (2008), não respondem adequadamente às equações do RTQ-C.

Dentre os 360 modelos analisados, **57%** dos casos (204 ocorrências) precisaram ser revisados e ter seu FF ajustado conforme o limite máximo de acordo com a ZB respectiva. Mesmo com valores de FF acima dos limites, os Indicadores de Consumo da Envoltória foram calculados, resultando em **25%** dos casos (90 ocorrências) com valores negativos de  $IC_{env}$ , não representando adequadamente o consumo energético. Dentre a análise dos 12 modelos a única equação que não apresentou nenhum valor negativo de  $IC_{env}$  foi a referente à ZB 2 e 3. Mesmo com valores de  $IC_{env}$  negativos foi possível analisar o nível de eficiência energética dos modelos, onde a aplicação de 4 equações resultou na mesma classificação quando se utilizava o FF calculado e o limite de FF.

A aplicação da equação referente à ZB 7 resultou em 22% dos casos (16 ocorrências) onde houve alteração do nível de eficiência quanto comparado com o resultado proveniente da adoção do FF limite. Com o FS de 0,87, foram constatados 2 ocorrências que tiveram o nível de eficiência **reduzido**, entretanto, quando aplicado FS de 0,40, resultaram em 14 ocorrências que **elevaram** a classificação.

Na segunda etapa, foram analisados 9 casos que variaram o FF de 1,00 a 0,60, com as mesmas variações de PAFt e FS adotadas na primeira etapa. Esta parte da pesquisa contou com a análise de 54 para cada ZB, totalizando 270 casos.

Os resultados da segunda etapa apresentaram conclusões similares. Em **34%** (91 ocorrências) dos cálculos de  $IC_{env}$  resultaram em números negativos e em **7%** dos modelos (18 ocorrências) resultaram em alteração do nível de eficiência. A equação referente à ZB2 e 3 não apresentou nenhum valor negativo de  $IC_{env}$ . Entretanto, a ZB7 foi a única que apresentou alteração do nível de eficiência em 18 casos, com 2 reduções quando o FS é de 0,87 e 16 casos em que houve melhoria na classificação com FS de 0,40.

A amostra global foi definida em 126 modelos para cada ZB, totalizando 630 análises. Destes, 30 novos casos foram calculados considerando o limite de FF máximo em todas as ZB. Dentre os cálculos do Indicador de Consumo da Envoltória, alguns valores resultaram em números negativos. Destacando que a equação referente à **ZB2 e 3 não resultou em nenhum valor negativo** para  $IC_{env}$ , e a equação da **ZB 6 e 8 apresentou o maior número de valores negativos** (67% dos casos). Analisando toda a amostra, **29%** dos casos apresentaram valores negativos de  $IC_{env}$ .

Após a avaliação do nível de eficiência energética, mesmo com a presença de valores negativos de  $IC_{env}$  na maioria das equações, a ZB 7 foi a única em que apresentou alteração da classificação. Da amostra da ZB 7 foram encontradas 34 ocorrências (27% da amostra referente à ZB 7) em que houve alteração da classificação. Destas, **12% dos casos (4 ocorrências) houve redução do nível de eficiência e 88% (30 ocorrências) houve aumento da classificação.**

Considerando a amostra global, onde foram analisados 660 casos, 27% (181 ocorrências) apresentaram valores negativos de  $IC_{env}$ , entretanto apenas 5% (34 ocorrências) apresentaram alteração do nível de eficiência. Sendo que em 88% dos casos a aplicação do FF limite resultou em aumento da classificação do nível de eficiência energética.

Como resultado comprovou-se que **pode-se adotar as mesmas equações disponíveis no RTQ-C vigente (372/2010) para avaliar edificações com área total inferior a 500m<sup>2</sup>**, viabilizando sua avaliação de eficiência energética e ampliando a abrangência de aplicação do RTQ-C. Onde, com sua aplicação, mesmo apresentando valores negativos no cálculo do Indicador de Consumo da Envoltória, o nível de eficiência energético da edificação sofreu alteração em apenas 5% dos casos, e estes ocorreram apenas na equação da ZB 7. Além disto, na maioria dos casos (88%), a alteração elevou o nível de eficiência.

Esta análise é importante uma vez que pôde-se comprovar a viabilidade de aplicação do método descrito no RTQ-C e em casos onde são apresentadas divergências (ZB 7), estas não prejudicam o proprietário da edificação em casos em que o FF calculado precise ser ajustado ao limite de FF máximo.

A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que **é possível aplicar as equações do método prescritivo do RTQ-C para avaliar o nível de eficiência energética de edificações com área total inferior a 500 m<sup>2</sup> nas diferentes Zonas Bioclimáticas.** A análise de resultados comprovou a viabilidade de aplicação do método prescritivo para avaliar o nível de eficiência energética em edificações comerciais de pequeno porte, como pequenas edificações que abrigam salas comerciais e de serviços, que atualmente estão carentes de um método de avaliação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.
- BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria 53, de 27 de fevereiro de 2009. Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos.** Rio de Janeiro, 2009.
- \_\_\_\_\_. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria 372, de 17 de setembro de 2010. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos.** Rio de Janeiro, 2010.
- 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) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.
- CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. **Parâmetros e Métodos Adotados no Regulamento de Etiquetagem da Eficiência Energética de Edifícios - Parte 1: Método Prescritivo.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p 7-26, abr./jun. 2010.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à ELETROBRAS/PROCEL pelos recursos financeiros concedidos.