

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE ENVOLTÓRIA: COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO RTQ-C E INI-C ATRAVÉS DE ESTUDO DE CASO

DOI: <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v9e02020532-552>



Ellen Flávia Weis Leite¹
Ana Mirthes Hackenberg²

RESUMO

Este artigo apresenta a aplicação da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE, do Programa Procel Edifica, para avaliar uma edificação de uso público da cidade de Joinville/SC, considerando o critério parcial de envoltória. Para tal, dispõe de duas metodologias, a primeira baseada no Regulamento Técnico de Qualidade para edifícios comerciais, de serviço e públicos (RTQ-C), método vigente para obtenção da Etiqueta, e a segunda na Instrução Normativa Inmetro (INI-C), uma proposta de atualização do método avaliativo para a mesma certificação. São realizadas discussões acerca das diferenças entre os métodos de avaliação, tanto em relação ao processo, quanto aos resultados e possibilidades exploratórias. A classificação final é apresentada para ambos os métodos, acompanhada de análises e reflexões em relação à carga térmica de refrigeração da edificação, e seus influenciadores.

Palavras-chave: Eficiência Energética. Análise de Envoltória. Conforto Térmico. Procel Edifica.

¹ Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC. Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC. E-mail: efw.leite@edu.udesc.br

² Pós Doutora. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC. Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. E-mail: ana.hackenberg@udesc.br

ENERGY ENVIRONMENTAL EFFICIENCY: COMPARISON OF RTQ-C AND INI-C EVALUATION METHODS BY CASE STUDY

ABSTRACT

This article presents a proposal of the National Label of Conservation of Energy - ENCE, of Procel Edifica Program, to evaluate a building of public use from Joinville/SC, considering just envelopment. To that end, use two methodologies, the first, "Regulamento Técnico de Qualidade" to commercial, service and public buildings (RTQ-C) current method for obtaining the ENCE, and then, "Instrução Normativa Inmetro" (INI-C) - a proposal to update the assessment level for the same certification. Discussions are made about the differences between the evaluation methods, both in relation to the process, as well as the results and exploratory possibilities. The final classification is presented for both methods, accompanied by analyzes and reflections about the cooling load of the building, and its influencers.

Key words: Energy Efficiency. Envelopment Analysis. Thermal Comfort. Procel Edifica.

1 INTRODUÇÃO

Ao longo de sua vida útil uma edificação consome grande quantidade de energia, água potável e recursos naturais em geral, além de ser uma fonte geradora de resíduos e de emissão de CO₂. Conforme Quintella (2016) a construção civil é responsável por até 30% do consumo de recursos naturais e 35% das emissões de CO₂ na atmosfera. O consumo doméstico de energia elétrica pode chegar a 42% de toda energia gerada no país, 21% da água tratada e ainda, nas edificações são gerados cerca de 65% dos resíduos que estão em aterros sanitários.

Há algumas décadas, a preocupação com o desenvolvimento sustentável se tornou uma necessidade, e foram desenvolvidas diversas políticas e incentivos em prol deste desenvolvimento. Na construção civil, a criação dos sistemas de certificação ambiental foi o método adotado para incentivar a construção de edifícios sustentáveis (LUCAS, 2011).

Segundo a Eletrobrás/Procel, o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO, e o Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações – Cb3e (2014), o Procel - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - foi criado no Brasil pela Eletrobrás e instaurado em 1991 como uma iniciativa

do governo brasileiro para promover a racionalização da produção e consumo da energia elétrica no país. Concentrado inicialmente na criação da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), seu foco principal era avaliar a eficiência do consumo de energia de equipamentos elétricos, através da classificação dos produtos antes de chegarem ao consumidor, os etiquetando de A (mais eficiente) até E (menos eficiente) de modo a deixar claro para o consumidor a relação custo x benefício que o produto oferece (OLIVEIRA *et al.*, 2016).

Devido à crise energética em 2001 e dados alarmantes do consumo de energia monitorados pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE, o Procel ganhou um novo foco: o consumo consciente e o incentivo a edificações com eficiência energética. Para medir a eficiência energética de uma construção foi criado em 2003 o **Procel Edifica**, que ao longo de anos avançou no desenvolvimento de métodos para analisar e classificar o desempenho energético de edificações. Em 2009, a Eletrobrás, em parceria com o INMETRO elaborou e publicou os RTQs (Regulamentos Técnicos da Qualidade) para etiquetagem do nível de eficiência energética de edificações, nascendo então a etiqueta PBE Edifica. Os regulamentos foram elaborados em dois tipos, RTQ-R, para edificações residenciais, e RTQ-C, para edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (ELETROBRÁS/PROCEL; INMETRO; CB3E, 2014).

Como explicam Lamberts, Dutra e Pereira (2014), esta qualificação tornou mensurável o desempenho e permitiu criar no mercado brasileiro estímulos quanto a exigência no uso consciente e racional da energia elétrica em edificações, mas sem privar os usuários da funcionalidade e conforto que qualquer ambiente construído deve promover. A PBE Edifica concentra-se na eficiência energética de modo a incentivar o consumo consciente da energia elétrica através do condicionamento passivo, incorporando em seus critérios os conceitos de Arquitetura Bioclimática.

Sabendo-se ainda, conforme Eletrobrás/Procel, Inmetro e Cb3e (2014, p. 03), que “a maior demanda de gasto energético nas edificações é para obtenção de conforto ambiental, principalmente iluminação artificial (20% a 35%) e condicionamento de ar (40% a 55%)”, eleva-se a importância das discussões de estratégias simultâneas da área de conforto e eficiência energética. Como afirmam Lamberts, Dutra e Pereira (1997, p.14) “um edifício é mais eficiente energeticamente

quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia”.

Em 2014, a obtenção desta certificação passou a ser obrigatória para edificações públicas federais, tanto para obras novas quanto de reforma. De acordo com Eletrobrás/Procel, Inmetro e Cb3e (2014) essa iniciativa visa aumentar a relevância das discussões de estratégias simultâneas da área de conforto e eficiência energética através da aplicação do método e seus resultados.

Atualmente, o programa PROCEL Edifica, junto à Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, vêm trabalhando em uma nova proposta de método de avaliação em substituição ao RTQ, denominado INI (Instrução Normativa Inmetro). O novo método se baseia no consumo da energia primária de edificações a partir da utilização de dados provenientes de um metamodelo fundamentado através de redes neurais artificiais, e surgiu perante a constatação de limitações relacionadas ao atual método prescritivo do RTQ (LAMBERTS; CLETO, 2019).

O presente trabalho tem por objetivo realizar um estudo de caso avaliando a envoltória de fachada de uma edificação do poder público municipal de Joinville/SC, aplicando os dois métodos de avaliação, RTQ-C e INI-C, afim de não apenas obter a classificação de desempenho através de cada método, mas principalmente analisar as diferenças entre o processo de desenvolvimento da avaliação, os resultados obtidos através de cada metodologia e verificar se realmente houveram significativas melhorias.

2 METODOLOGIA

2.1 Aspectos Gerais: RTQ x INI

Conforme Inmetro (2013), no Regulamento Técnico de Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) são estabelecidos critérios para avaliar o desempenho de edificações segundo três sistemas: envoltória, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar. Os resultados das avaliações são expressos através de etiquetagem (ENCE). O regulamento prescreve a possibilidade de adquirir quatro tipos de etiquetas – edifício

completo, envoltória, envoltória + iluminação e envoltória + condicionamento de ar. Esta mesma categorização em três sistemas é mantida no INI-C, assim como os quatro tipos de etiquetas (CB3E, 2017).

A envoltória, principal aspecto da avaliação no quesito arquitetônico, se caracteriza pelo sistema construtivo externo à edificação – vedações e cobertura - onde se avaliam seus materiais segundo parâmetros como a transmitância térmica, cores, níveis de absorvância, percentual de aberturas, ângulos de sombreamento, ventilação natural, ou outros, interligando tais aspectos ao clima local (ELETROBRÁS/PROCEL; INMETRO; CB3e, 2014). “Para que uma edificação possua bons índices de desempenho é necessário o uso de estratégias adequadas desde a fase inicial de projeto, que devem ser adotadas em função do clima, posição solar, uso, dentre outros” (BABTCK; TORRES, 2017, p. 126).

No Brasil, o principal conjunto de recomendações construtivas visando adequação climática se dá através da NBR 15220, que trata do desempenho térmico de edificações. Dividida em cinco partes, abrange dentre vários itens, diretrizes construtivas para habitações a partir do zoneamento bioclimático brasileiro, que divide o território nacional em oito zonas (ABNT, 2005).

Deste modo, a Eletrobrás/Procel, o Inmetro, e o CB3e (2014), recomendam no Manual para Etiquetagem um estudo em relação às características climáticas locais através dos critérios de zoneamento bioclimático estipulado pela NBR 15220, para que o invólucro de fachada seja concebido de maneira a trazer bom desempenho. Os critérios da referida norma são adotados como parâmetro para classificação segundo o RTQ-C (INMETRO, 2013). Já o INI-C se baseia numa proposta de atualização do Zoneamento Bioclimático Brasileiro, e consequentemente da norma, desenvolvida por Roriz (2014), que segmenta o território nacional em vinte e quatro zonas, de modo a melhor tratar os dados climáticos de cada região, proporcionando um agrupamento mais homogêneo, assim como a proposição de características de desempenho mais eficientes dentro de cada contexto climático (RORIZ, 2014).

Quanto à etiquetagem de envoltória, o processo de análise do projeto pode ser feito segundo dois métodos – **método prescritivo** e método de **simulação termo energética**, para o RTQ-C e **método simplificado** e método de **simulação termo energética**, para o INI-C. Apresentam as seguintes características:

- O método de simulação termo energética pode ser aplicado tanto para o INI-C quanto para o RTQ-C. Conforme Inmetro (2013) a edificação deve ser modelada conforme as características de projeto, e a classificação da envoltória é determinada segundo as **horas ocupadas em conforto** dos ambientes de permanência prolongada não condicionados. Para avaliação conforme o INI-C, a simulação se baseia em um modelo computacional da edificação contraposto à um modelo de referência (conforme parâmetros pré-estabelecidos pelo método). O objetivo é obter as **horas não atendidas de conforto** da edificação e correlacionar com a carga térmica anual (CB3E, 2017). Destaca-se que em ambos os casos apenas este possibilita considerar a ventilação natural dos ambientes, por isso é recomendado como complementar aos métodos prescritivo ou simplificado.
- O método prescritivo, ferramenta do RTQ-C, avalia o sistema de envoltória através de cálculos orientados por parâmetros pré-estabelecidos no regulamento, aliados a características da edificação, gerando como resultado o “Índice de Consumo da Envoltória”, um valor adimensional, que estabelece parâmetros de classificação e de desempenho. Não considera ventilação natural e nem consumo de equipamentos. (INMETRO, 2013).
- O método simplificado, ferramenta do INI-C, avalia a envoltória através da criação de metamodelos baseados em redes neurais artificiais. Para tal, os dados da edificação são aplicados à planilha de metamodelo em duas “versões” – real e referência. A versão real corresponde exatamente à edificação de estudo, enquanto para a de referência se aplicam, dentro dos mesmos aspectos de geometria e configuração de zonas térmicas internas (conforme a disposição de ambientes) da construção real, materiais e características de envoltória padronizados, compilados conforme os aspectos construtivos predominantes no contexto brasileiro para o tipo de ocupação estudado. São obtidos a partir dos metamodelos os valores de consumo de energia anual com refrigeração dos ambientes (carga térmica de resfriamento) para as duas versões, e estes valores são correlacionados para definição da classificação de desempenho (CB3E, 2017).

2.2 Levantamento de dados conforme RTQ-C

Para avaliar o desempenho da envoltória são necessários os seguintes dados relativos à edificação (INMETRO, 2013):

- Área total construída;
- Área de projeção da cobertura;
- Volume da edificação;
- Área de envoltória;
- Fator Solar (razão entre o ganho de calor de um ambiente e radiação solar nele incidente);
- Percentual de área de aberturas nas fachadas;
- Percentual de área de aberturas na fachada Oeste;
- Percentual de área de aberturas zenitais (se houver);
- Ângulo Vertical de sombreamento;
- Ângulo Horizontal de sombreamento;
- Fator altura;
- Fator forma (razão entre área de envoltória e volume da edificação);
- Zona Bioclimática;
- Características dos materiais de envoltória (transmitância, absorvância e capacidade térmica de coberturas e paredes);

Vale destacar que as características dos materiais de envoltória da edificação devem ser estudadas preliminarmente, para verificar se atendem aos requisitos mínimos exigidos pelo método, apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Requisitos mínimos de desempenho para o RTQ-C

Síntese das exigências para transmitância térmica de cobertura para os diferentes níveis de eficiência e Zonas Bioclimáticas						
Zonas Bioclimáticas	U _{COB} A (W/m ² K)		U _{COB} B (W/m ² K)		U _{COB} C e D (W/m ² K)	
	Ambientes Condicionados	Ambientes não condicionados	Ambientes Condicionados	Ambientes não condicionados	Ambientes Condicionados	Ambientes não condicionados
ZB 1 e 2	0,5	1,0	1,0	1,5	2,0	
ZB 3 a 8	1,0	2,0	1,5	2,0		

Síntese das exigências para transmitância térmica de paredes externas os diferentes níveis de eficiência e Zonas Bioclimáticas			
Zonas Bioclimáticas	U _{PAR} A (W/m ² K)	U _{PAR} B (W/m ² K)	U _{PAR} C e D (W/m ² K)
ZB 1 e 2	1,0	2,0	3,7
ZB 3 a 6	3,7		
ZB 7 e 8	2,5 W/m ² K, para C _T < 80 kJ/m ² K		
	3,7 W/m ² K, para C _T > 80 kJ/m ² K		

Fonte: Inmetro, 2013.

Os demais dados são necessários para realizar o cálculo Indicador de Consumo da Envoltória (IC_{env}), o critério criado para análise do desempenho. Este valor é balizado conforme os parâmetros de Indicador de Consumo Máximo da Envoltória (IC_{máxD}) e Indicador de Consumo Mínimo da Envoltória (IC_{mín}), onde o valor obtido com IC_{máxD} representa a obtenção de classificação D e o IC_{mín} o consumo mínimo para aquela volumetria, e consequentemente, baliza a classificação A.

O cálculo do IC_{máxD} e do IC_{mín} é feito com base na mesma equação de IC_{env}, mas adotando parâmetros pré-estabelecidos, conforme Tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros de cálculo IC

Parâmetros do IC _{máxD}				Parâmetros do IC _{mín}			
PAF _T	FS	AVS	AHS	PAF _T	FS	AVS	AHS
0,60	0,61	0	0	0,05	0,87	0	0

Fonte: Inmetro, 2013.

Após, com o IC_{env} , $IC_{máxD}$ e IC_{min} determinados, é feito o cálculo de Intervalo (I), seguindo a Equação 1:

$$i = \frac{(IC_{máxD} - IC_{min})}{4} \quad (1)$$

Com o valor de I é possível obter os valores limites de classificação da envoltória, como apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Limites de intervalos dos níveis de eficiência para o RTQ-C

CLASSIFICAÇÃO	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	$IC_{máxD} - 3i + 0,01$	$IC_{máxD} - 2i + 0,01$	$IC_{máxD} - i + 0,01$	$IC_{máxD} - 3i + 0,01$
Limite máximo	$IC_{máxD} - 3i$	$IC_{máxD} - 2i$	$IC_{máxD} - i$	$IC_{máxD}$	-

Fonte: Inmetro, 2013.

No site do PBE Edifica é possível ter acesso à uma ferramenta online de automatização do cálculo - o Web Prescritivo - uma plataforma criada pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina – Labeee/UFSC. Esta ferramenta possibilita realizar o cálculo apresentado conforme RTQ-C de modo automatizado e também a inserção de pré-requisitos baseados na NBR 15220 em relação a transmitância térmica dos materiais apropriadas à cada Zona Bioclimática, tornando a classificação mais rápida e completa (LABEEE/UFSC, 2013).

2.3 Levantamento de dados conforme o INI-C

Na avaliação de desempenho pelo INI-C, muitos dos dados utilizados são os mesmos do RTQ-C, ou similares, porém, se exige uma etapa inicial, que interfere em todo o restante: a definição da tipologia e a divisão do edifício em zonas térmicas. As zonas térmicas podem ser de dois tipos – interna ou perimetral – e devem ser definidas somente para os ambientes com climatização artificial. Cada Zona só pode estar associada a uma orientação de fachada, e para zonas perimetrais se considera uma distância de até 4,5m da parede externa, e a partir dessa medida, as zonas são consideradas internas (CB3E, 2017).

Após a definição das zonas, são necessários os seguintes dados para cada uma (CB3E, 2017):

- Área total;
- Densidade de potência de Equipamentos;
- Densidade de potência da Iluminação;
- Fator Solar;
- Pé direito;
- Percentual de aberturas;
- Ângulos de sombreamento das aberturas;
- Características dos materiais de envoltória (transmitância, absorvância e capacidade térmica de coberturas e paredes);

E também dados relativos à edificação completa (CB3E, 2017):

- Grupo Bioclimático;
- Volume da edificação;
- Área de envoltória;
- Fator Forma;

Os dados das zonas térmicas são utilizados para verificação dos requisitos mínimos para aplicação do método (Tabela 4), e posteriormente para criação dos metamodelos (real e de referência), resultando no valor da Carga de Refrigeração de cada zona, e por conseguinte, da edificação inteira – a Carga Térmica de Refrigeração Total (CgT ou CTT).

Tabela 4: Requisitos mínimos de desempenho para o INI-C

Parâmetros	Limites ¹	
	Valor mínimo	Valor máximo
Absortância solar da cobertura (α)	0,2	0,8
Absortância solar da parede (α)	0,2	0,8
Ângulo de obstrução vizinha (AOV)	0°	80°
Ângulo horizontal de sombreamento (AHS)	0°	80°
Ângulo vertical de sombreamento (AVS)	0°	90°
Capacidade Térmica da cobertura (CTcob)	0,22 kJ/m ² K	450 kJ/m ² K
Capacidade Térmica da parede (CTpar)	0,22 kJ/m ² K	450 kJ/m ² K
Contato com o solo	Sem contato (ex.: sobre pilotis ou em balanço)	Em contato
Densidade de Potência de equipamentos (DPE)	4 W/m ²	40 W/m ²
Densidade de Potência de iluminação (DPI)	4 W/m ²	40 W/m ²
Fator solar do vidro (FS)	0,21	0,87
Percentual de abertura zenital	0%	3%
Pé-direito (PD)	2,6 m	6,6 m
Percentual de abertura da fachada (PAF)	0%	80%
Piso com isolamento	Não, se isolamento < 5 mm	Sim, se isolamento > 5 mm
Transmitância térmica da cobertura (Ucob)	0,51 W/m ² K	5,07 W/m ² K
Transmitância térmica da parede externa (Upar)	0,50 W/m ² K	4,40 W/m ² K
Transmitância térmica do vidro (Uvid)	1,9 W/m ²	5,7 W/m ²

Fonte: CB3e, 2017.

Após, utiliza-se o valor de Fator Forma e o Grupo Climático para se determinar o valor de CRCgTD-A, e junto ao CgTref (da edificação de referência) é calculo o valor coeficiente de intervalos entre classes (i), conforme Equação 2.

$$i = \frac{(CgT_{TREF} * CRCgT_{D-A})}{3} \quad (2)$$

Ao final, o valor de CgTref, relacionado ao valor de i, cria os intervalos de classificação, onde o valor de CgT representa o nível D de eficiência energética (Tabela 5). Para realizar a classificação da etiqueta, utiliza-se o valor de Cgtda edificação real, o enquadrando dentro dos intervalos criados.

Tabela 5: Parâmetros de cálculo dos limites de intervalos dos níveis de eficiência para o INI-C

CLASSIFICAÇÃO	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	> $Cg_{tref} - 3i$	> $Cg_{tref} - 2i$	> $Cg_{tref} - i$	> Cg_{tref}
Limite máximo	< $Cg_{tref} - 3i$	< $Cg_{tref} - 2i$	< $Cg_{tref} - i$	< Cg_{tref}	-

Fonte: CB3e, 2017.

No capítulo seguinte são apresentados os resultados das avaliações da edificação conforme cada método, com discussões à cerca das semelhanças e diferenças tanto no desenvolvimento e processo de avaliação, quanto nos resultados alcançados.



3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Dados da edificação

Construída no início da década de 90 no bairro Fátima, em Joinville/SC, a edificação de estudo foi edificada para abrigar uma unidade básica de saúde, que encerrou suas atividades em meados dos anos 2000. Após uma pequena reforma, a edificação passou a sediar a Subprefeitura Sudeste (Figura 1), dispondo atualmente de espaços de trabalho e atendimento ao público.

O prédio apresenta iluminação e ventilação natural, paredes com espessura mediana compostas por tijolos furados, reboco e pintura nas duas faces, e cobertura em telha cerâmica, com forro PVC. As características de desempenho dos materiais de envoltória são demonstradas na Tabela 6.

Figura 1: Fachada Frontal da Subprefeitura Sudeste.



Fonte: As autoras.

O prédio apresenta iluminação e ventilação natural, paredes com espessura mediana compostas por tijolos furados, reboco e pintura nas duas faces, e cobertura em telha cerâmica, com forro PVC. As características de desempenho dos materiais de envoltória são demonstradas na Tabela 6.

Tabela 6: Características de desempenho dos materiais

DESEMPENHO DOS MATERIAIS	
Transmitância Térmica da Cobertura - AC* (<u>Ucob</u>)	1,75
Transmitância Térmica da Cobertura - ANC** (<u>Ucob</u>)	1,75
Transmitância Térmica das paredes (<u>Upar</u>)	1,98
Percentual de Aberturas Zenitais (PAZ)	0%
<u>Absortância</u> Solar da cobertura (<u>αcob</u>)	80%
Capacidade Térmica das paredes (<u>CTpar</u>)	232
<u>Absortância</u> Solar das paredes (<u>αpar</u>)	39%
Fator Solar (FS) – vidro comum 3mm	0,82

Fonte: As autoras.

3.2 Avaliação conforme critérios do RTQ-C

A cidade catarinense de Joinville está localizada, conforme NBR 15220, dentro da **Zona Bioclimática 05** – característica de estações bem marcadas, com inverno frio, verão quente e altas taxas de umidade do ar – onde é recomendado o uso de paredes leves refletoras, coberturas isoladas, sombreamento das aberturas, ventilação, e vedações internas pesadas para inércia térmica de aquecimento (ABNT, 2005). Na Tabela 7 constam as variáveis do edifício.

Tabela 7: Variáveis da edificação

VARIÁVEIS DA EDIFICAÇÃO	
Área total construída (A_{tot})	194,05m ²
Área de projeção da cobertura (A_{pcob})	194,05m ²
Área de projeção da edificação (A_{pe})	194,05m ²
Volume da edificação (V_{tot})	726,00m ³
Área de envoltória (A_{env})	414,10m ²
Fator Solar (FS) – vidro comum 3mm	0,82
Percentual de área de aberturas na fachada (PAF_T)	15,20%
Percentual de área de aberturas na fachada Oeste (PAF_{to})	0%
Ângulo Vertical de sombreamento (AVS)	0
Ângulo Horizontal de sombreamento (AHS)	33°
Fator altura (FA)	1
Fator de forma (FF)	0,57

Fonte: As autoras.

De posse dos dados, conforme o RTQ-C (Inmetro, 2013), para o cálculo do IC_{env} considerando enquadrar-se na Zona Bioclimática 05, $A_{pe} < 500m^2$ e $FF < 0,75$, aplica-se a Equação 3:

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

Assim, tem-se que o IC_{env} = 118,66 para o edifício. Destaca-se que este valor é adimensional. Para determinar a classificação final da edificação, seus dados foram aplicados na ferramenta de automatização de cálculos “WebPrescritivo”, associando o consumo energético da envoltória aos pré-requisitos de desempenho térmico e materiais. A classificação obtida para o edifício foi **Nível C** (Figura 2).

Observa-se que esta classificação foi limitada pelo requisito mínimo de desempenho da cobertura, como descrito na Figura 2, o que demonstra que seu baixo nível de isolamento térmico influencia no desempenho geral da edificação, diminuindo a eficiência energética da envoltória.

Figura 2 - Classificação conforme Web Prescritivo

Envoltória

Localização
 Zona Bioclimática [ZB 5] Cidade [Água Branca AL]

Pré-requisitos
 U_{COB-AC} [1.75] W/(m²K) α_{COB} [80] %
 U_{COB-ANC} [1.75] W/(m²K) C_{TPAR} [0] kJ/(m²K)
 U_{PAR} [1.98] W/(m²K) α_{PAR} [39] %
 PAZ [0] % FS [0]

Dados Dimensionais da Edificação
 A_{TOT} [194.05] m² FA: 1.00
 A_{PCOB} [194.05] m²
 A_{PE} [194.05] m²
 V_{TOT} [728.00] m³ FF: 0.57
 A_{ENV} [414.1] m²

Características das Aberturas
 FS [0.82]
 PAF_T [15.2] %
 PAF_O [0] %
 AVS [0] °
 AHS [33] °

* O nível de eficiência alcançado foi limitado pela transmitância térmica da cobertura dos ambientes condicionados.

Calcular Eficiência Limpar

Fonte: Adaptado de Labeee/UFSC (2013).

3.3 Avaliação conforme critérios do INI-C

O método simplificado não considera especificamente a tipologia de edifícios públicos, portanto, considerando os ambientes característicos de uso para espaço de trabalho, a tipologia adotada foi “escritórios”. Esta tipologia conta com valores de referência expostos na tabela 8.

Tabela 8: Valores de referência para edificações de escritório

Uso típico	Edificações de escritórios	
	Condição real	Condição de referência
Geometria		
Forma		Condição real
Orientação solar (°)		Condição real
Pé-direito (piso a teto) (m)		Condição real
Aberturas		
PAF - Percentual de abertura da fachada (%)	Condição real	50
PAZ - Percentual de abertura zenital (%)	Condição real	0
Componentes construtivos		
<i>Paredes</i>	Condição real	Argamassa interna (2,5 cm), bloco cerâmico furado (9 cm), argamassa externa (2,5 cm)
U _{par} - Transmitância da parede externa (W/m ² K)	Condição real	2,39
α _{PAR} - Absortância da parede (adimensional)	Condição real	0,5
C _{Tpar} - Capacidade térmica da parede (kJ/m ² K)	Condição real	150
<i>Cobertura</i>	Condição real	Telha de fibrocimento, câmara de ar (>5 cm) e laje maciça de concreto (10 cm)
U _{cob} - Transmitância da cobertura (W/m ² K)	Condição real	2,06
α _{COB} - Absortância da cobertura (adimensional)	Condição real	0,8
C _{Tcob} - Capacidade térmica da cobertura (kJ/m ² K)	Condição real	233
<i>Vidro</i>	Condição real	Vidro simples incolor 6mm
FS - Fator solar do vidro (adimensional)	Condição real	0,82
U _{vid} - Transmitância do vidro (W/m ² K)	Condição real	5,7
AHS - Ângulo horizontal de sombreamento (°)	Condição real	0
AVS - Ângulo vertical de sombreamento (°)	Condição real	0
AOV - Ângulo de obstrução vertical (°) *	Condição real	Condição real
Iluminação e ganhos		
DPI - Densidade de potência de iluminação (W/m ²) **	Condição real	14,1***
Ocupação (m ² /pessoa)	10,0	10,0
DPE - Densidade de potência de equipamentos (W/m ²)	9,7	9,7
Horas de ocupação (horas)		10
Dias de ocupação (N _{mes})****		260
Condição do piso		Condição real
Condição da cobertura		Condição real
Isolamento do piso	Condição real	Sem isolamento

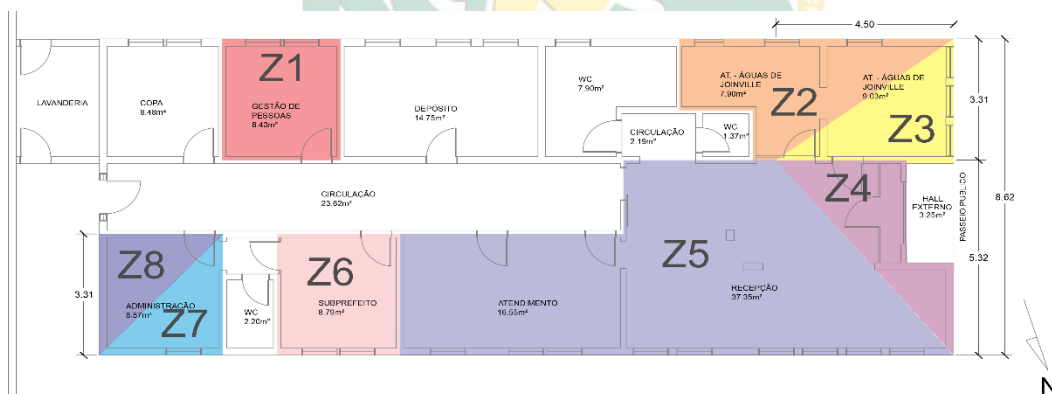
Fonte: CB3e, 2017.

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 9, n. esp , p. 532-552, fev. 2020

Para realizar a avaliação, a edificação foi dividida em 8 Zonas Térmicas (Figura 3), conforme critérios apontados na “Proposta de Método para Avaliação” (CB3E, 2017), que estabelece a caracterização de zonas perimetrais para ambientes que distam até 4,5m das paredes externas, com tolerância de 1,0m, e para zonas internas os espaços que estejam afastados das paredes externas, além destas medidas. Nota-se que esta edificação conta apenas com Zonas Perimetrais. As características principais de cada zona estão apresentadas na Tabela 9.

Junto aos dados de desempenho dos materiais e variáveis da edificação, já apresentados na seção 3.1, as especificações das zonas térmicas são utilizadas para criar o metamodelo da edificação, utilizando a ferramenta online PBEEDIFICA, 2017. Destaca-se em relação ao zoneamento bioclimático que Joinville/SC encontra-se na Zona 9, cuja cidade representativa é Niterói/RJ, adotada para formulação do modelo.

Figura 3: Divisão de Zonas Térmicas da edificação



Fonte: As autoras.

Tabela 9: Especificações das Zonas Térmicas

ZONAS TÉRMICAS DA EDIFICAÇÃO					
Número	Tipo	Orientação	Área (m ²)	Percentual de aberturas	Pé direito (m)
01	Perimetral	Sul	9,87	22,20%	2,90
02	Perimetral	Sul	12,98	14,90%	2,90
03	Perimetral	Oeste	7,44	16,58%	2,90
04	Perimetral	Oeste	8,61	0%	2,90
05	Perimetral	Norte	51,12	28,68%	2,90
06	Perimetral	Norte	10,25	22,20%	2,90
07	Perimetral	Norte	5,17	11,10%	2,90
08	Perimetral	Leste	5,17	0%	2,90

Fonte: As autoras.

Aplicando-se os critérios de classificação, o edifício foi etiquetado como **Nível B**, conforme Tabela 10. Foram obtidas as Cargas Térmicas de refrigeração Totais (CTT) da edificação real e de referência, demonstradas na Tabela 11.

Tabela 10: Classificação de eficiência energética de envoltória

CLASSIFICAÇÃO	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	8316,452	9341,768	10.367,08	11392,4
Limite máximo	8316,452	9341,768	10367,084	11.392,40	-

Fonte: Adaptado de CB3e, 2017.



Além dos resultados básicos para a classificação (CTT da edificação real e de referência), foram trabalhados resultados “extras” desenvolvidos através de modelos alternativos de referência para avaliar o impacto de variáveis que influenciam no consumo de energia com o uso do ar condicionado, discriminados na Tabela 11 como Referência 1, 2 e 3.

Tabela 11: Densidade de Cargas Térmicas para Refrigeração

DENSIDADE DE CARGA TÉRMICA (DCT) PARA REFRIGERAÇÃO										
REAL X REFERÊNCIA										
Zona	Estimativa de Rede									
	REAL		REFERÊNCIA		REFERÊNCIA 1		REFERÊNCIA 2		REFERÊNCIA 3	
	Resfriamento/área (kwh/m ²)	Carga Total Resfriamento (kwh)	Resfriamento/área (kwh/m ²)	Carga Total Resfriamento (kwh)	Resfriamento/área (kwh/m ²)	Carga Total Resfriamento (kwh)	Resfriamento/área (kwh/m ²)	Carga Total Resfriamento (kwh)	Resfriamento/área (kwh/m ²)	Carga Total Resfriamento (kwh)
1	79,53	784,91	94,06	928,35	81,03	799,73	83,52	824,38	102,02	1006,9
2	76,86	997,59	94,06	1220,86	77,84	1010,38	83,52	1084,14	102,02	1324,17
3	81,9	609,34	99,68	741,65	83,7	622,69	88,14	655,78	108	803,55
4	69,07	594,68	99,68	858,28	66,09	569,06	87,8	755,92	108	929,92
5	88,27	4512,45	106,9	5464,67	94,79	4845,86	106,9	5464,67	115,58	5908,52
6	85,57	877,08	106,9	1095,71	91	932,78	89,95	921,94	115,58	1184,71
7	81,28	420,24	106,9	552,67	85,22	440,61	89,95	465,02	115,58	597,56
8	70,04	362,13	102,56	530,21	67,57	349,36	102,56	530,21	110,93	573,49
CTT		9158,42		11392,4		9570,47		10702,06		12328,82

1 - Edificação de referência aplicando-se o percentual de aberturas na fachada da edificação real (relaciona-se ao tamanho das aberturas).

2 - Edificação de referência aplicando-se o sombreamento de aberturas da edificação real.

3 - Edificação de referência aplicando-se os materiais de envoltória da edificação real.

Fonte: As autoras.

No modelo “Referência 1” foram aplicados sobre a edificação de referência PAFts relativos à condição real, na 2 houve a adoção do sombreamento das aberturas, e na 3 foram aplicados os parâmetros de materiais de envoltória da edificação real junto aos parâmetros de referência.

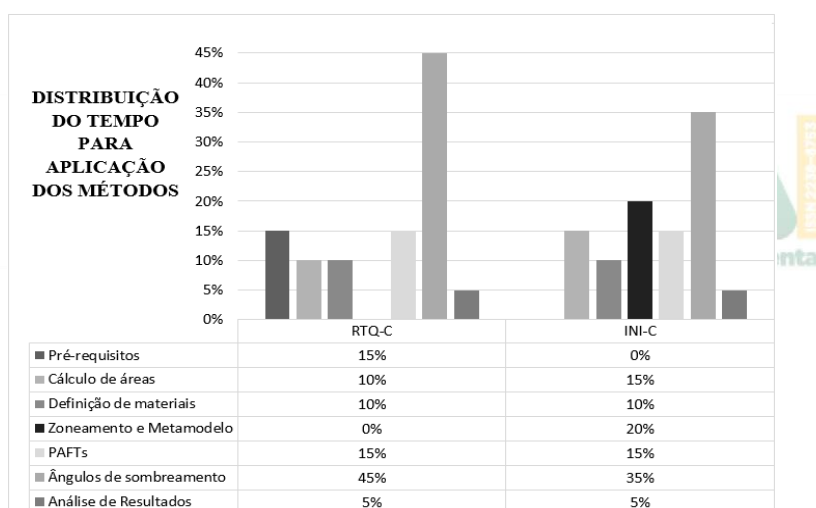
Pode-se observar que na edificação de referência, onde os materiais de envoltória e percentual de aberturas (sem sombreamento) são constantes, existe variação na carga térmica de acordo com a orientações solar, havendo uma maior CTT ao Norte e menor a Sul. Através do modelo “Referência 1” percebe-se que além da influência da orientação, a proporção do tamanho das janelas em relação à fachada (PAFt) é o que gera menor valor de carga térmica, seguido do sombreamento das aberturas, visto na “Referência 2”. É possível constatar ainda que os materiais de envoltória da edificação possuem baixo desempenho em relação ao modelo de referência, já que a carga térmica na “Referência 3” tem maior CTT registrado.

3.4 Semelhanças e diferenças entre métodos

Para desenvolver a avaliação da edificação através de cada método foram despendidas sete horas de trabalho. Dedicando-se três horas para o RTQ-C e quatro horas para o INI-C, foram considerados os parâmetros de entrada demonstrados no Gráfico 1, para os quais se registrou o tempo de trabalho parcial. Pode-se observar que os métodos têm diversos parâmetros em comum, que demandam tempo similar para desenvolvimento, com exceção de cálculos

de área, que no INI-C tem maior complexidade por conta das zonas térmicas. Verifica-se que o parâmetro de maior dedicação de tempo é o cálculo dos ângulos de sombreamento. Percebe-se também que os aspectos de pré-requisitos do RTQ-C não são compreendidos no INI-C, mas o tempo gasto com este item é superado pelo desenvolvimento do metamodelo e divisão das zonas térmicas. Os resultados encontrados são compatíveis em grande parte com o estudo apresentado por Palladini *et. al* (2014), em relação à atividade de maior demanda de tempo e distribuição de demais atividades, com exceção do tempo total gasto para cada método, que neste trabalho foi menor para o RTQ-C, e para Palladini *et. al* (2014) foi igual em ambos os casos, possivelmente pelo uso da ferramenta “WebPrescritivo”, que agiliza o processo de classificação, não utilizada pelos autores.

Gráfico 1: Distribuição do tempo



Fonte: As autoras.

Como apresentado na Tabela 12, os métodos possuem diversas semelhanças em relação aos parâmetros necessários para o processo de avaliação, apesar disso o grau de complexidade do INI-C se mostra um pouco maior, visto necessitar de mais tempo de dedicação.

Verifica-se que os resultados de classificação foram diferentes, nível C pelo RTQ-C e nível B pelo INI-C. A justificativa para tal pode ser apontada pelo maior detalhamento de informações necessárias para o segundo método, como DPI, DPE, e outros.

Tabela 12: Semelhanças e diferenças entre o RTQ-C e o INI-C

SEMELHANÇAS E DIFERENÇAS ENTRE O RTQ-C E O INI-C					
PARÂMETROS DE ENTRADA		TEMPO		RESULTADOS	
SEMELHANTES	DIFERENTES (APENAS INI-C)	RTQ-C	INI-C	RTQ-C	INI-C
Definição de desempenho dos materiais	Zoneamento Térmico	3h	4h	Classificação Qualitativa	Classificação Qualitativa
	Valor de DPI				
Cálculos de áreas*, forma e afins.	Valor de DPE	CLASSIFICAÇÃO			Influência de orientação solar
	Horas de ocupação				
Percentuais de abertura	Dias de ocupação				
	Condições de piso				
Ângulos de Sombreamento	Pé-direito dos ambientes	RTQ-C	INI-C		Aspectos quantitativos (kwh por m ² , por ambientes, etc)
Orientação solar**	Condições de cobertura	C	B		
		Zona bioclimática			

* Para o RTQ-C: Atot, Apcob, Ape e Aeny. Para o INI-C: áreas de casa Zonas Térmicas e Atot e Aeny.

** Para o RTQ-C: diferenciação apenas do Oeste. Para o INI-C: separação de Zonas Térmicas por orientação solar.

Fonte: As autoras.

Percebe-se ainda maior riqueza de detalhes nos resultados gerados, já que para o RTQ-C se obtém apenas a classe de eficiência, enquanto para o INI-C é possível obter valores quantitativos no quais se baseia a classificação, e a influência de orientação solar e outros fatores.

4 CONCLUSÃO



Pode-se perceber que o INI-C demonstrou ser um instrumento de melhoria para a aplicação da certificação. Com a necessidade de mais informações e parâmetros de entrada para avaliação, além da maior complexidade do modelo, é visto um aumento no tempo necessário para desenvolver a análise, porém seus resultados são mais palpáveis, já que representam a carga térmica da edificação, que pode ser relacionada ao consumo de energia para refrigeração dos ambientes.

Destaca-se como deficiência de ambos os métodos a impossibilidade de considerar a ventilação natural, e para o INI-C a definição de parâmetros mínimos para desempenho dos materiais muito branda, já que pelo RTQ-C a edificação seria nível C devido ao baixo desempenho da cobertura, critério não aplicado ao INI-C, que permitiu assim que a edificação fosse classificada como nível B.

O INI-C se mostrou uma ferramenta útil não apenas para classificar a eficiência da envoltória, mas também para estudar a influência de cada variável de envoltória no desempenho térmico, podendo auxiliar no desenvolvimento de projetos que visem que o dimensionamento de aberturas e elementos de sombreamento e a adoção de materiais sejam apropriados ao clima local e à concepção de edificações mais eficientes.

AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), e a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PROPPG) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), pelos incentivos e recursos concedidos.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações**. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

BABTCK, C. S.; TORRES, M. C. A. Análise do desempenho térmico, lumínico e de ventilação natural de projeto padrão de edifício escolar do FNDE de acordo com os requisitos de normas e referenciais nacionais e internacionais nas 8 zonas bioclimáticas brasileiras. **Revista de Engenharia Civil IMED**, Passo Fundo, v. 4, n.2, p. 110-128, jul./dez. 2017.

CALDEIRA, N. D. N. B. **A concepção arquitetônica para a eficiência energética de edificações – o caso da etiquetagem no Brasil**. 2011. 215f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

CB3E - Centro Brasileiro de eficiência energética em edificações. **Proposta de método para a avaliação da eficiência energética com base em energia primária de edificações comerciais, de serviços e públicas** - versão 03. Florianópolis, 2017. Disponível em: http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Nova%20proposta%20de%20m%C3%A9todo%20completo_comercial_2.pdf. Acesso em: 12 jun. 2018.

CB3E - Centro Brasileiro de eficiência energética em edificações. **Introdução ao novo método de avaliação do PBE Edifica**. Florianópolis, 2019. Disponível em: <http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/1%20%20Introdu%C3%A7%C3%A3o%20ao%20novo%20m%C3%A9todo.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2019.

ELETOBRAS/PROCEL; INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial; CB3E - Centro Brasileiro de eficiência

energética em edificações. **Manual para etiquetagem de edificações públicas: gestor público.** Florianópolis, 2014.

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C).** Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/>>. Acesso em: 10 ago. 2018.

LABEEE/UFSC - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina. **Web Prescritivo.** 2013. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/webprescritivo/index.html?fbclid=IwAR2kM32tJVvYAaid8Avq05OvW7GoLV1PH_Hw2lv_MaZiep80BK_ysOldJIQ>. Acesso em: 08 nov. 2018.

LAMBERTS, R; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 3 ed. Revisada. São Paulo. Ed. Pro Livros, 2014.

LAMBERTS, R.; CLETO, L. T. Certificação de Sistemas PBE Edifica. Seminário Programa Brasileiro de Etiquetagem em Eficiência Energética para Sistemas de Refrigeração e Ar-condicionado. 2019. Disponível em: http://abrava.com.br/wp-content/uploads/2018/08/Seminario-PBE-RAC-03-PBEEDIFICA-Lamberts-e-Tomaz_compressed-1.pdf. Acesso em: 13 jun. 2019.

LUCAS, V. S. **Construção sustentável: sistema de avaliação e certificação.** 175f. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Ciências e Tecnologia e Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011. Disponível em: <<https://run.unl.pt/handle/10362/5613>> Acesso em: 15 set. 2018.

OLIVEIRA, L. K. S. *et al.* Simulação computacional da eficiência energética para uma arquitetura sustentável. **Holos.** v. 04, n. 32. p. 217-230. jul. 2017.

PALLADINI, G. D. *et al.*, **Aplicação de métodos para avaliação do nível de eficiência energética de um edifício exemplo.** Florianópolis, 2014.

PBEEDIFICA, **Interface Web:** Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas. 2017. Disponível em: http://pbeedifica.com.br/redes/comercial/index_with_angular.html# . Acesso em: ago. 2019.

QUINTELLA, B. M. **Instrumentos para avaliação da sustentabilidade em áreas urbanas:** Estudo de caso no Centro Metropolitano, Rio de Janeiro, aplicando a Certificação Ambiental LEED ND. 2016. 140 p. Dissertação de mestrado (Engenharia Urbana e Ambiental) - PUC, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <http://www.urb.puc-rio.br/dissertacao/dissertacao_bianca_quintella.pdf>. Acesso em: 13 out. 2018.

RORIZ, M. **Classificação de climas do Brasil** – versão 3.0. São Carlos: ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – Grupo de trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. 2014. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/projetos/proposta-de-revisao-do-zoneamento-bioclimatico-brasileiro>>. Acesso em: 27 set. 2018.