

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

AValiação DA Eficiência Energética DO PRÉDIO DE ENGENHARIA MECÂNICA DA UFPA UTILIZANDO O MÉTODO PRESCRITIVO DETERMINADO PELO RTQ-C

Paulo Henrique Franco Ferreira, paulohff@hotmail.com¹

Ivana de Fatima Cavaleiro de Macêdo Braga, ivanacmb@yahoo.com.br²

Kelvin Alves Pinheiro, kelvin_alves@hotmail.com³

Irwing Diego Costa Gomes, irwing.g@hotmail.com⁴

Sergio Aruana Elarrat Canto, aruana@ufpa.br⁵

Danielle Regina da Silva Guerra, daguerra@ufpa.br⁶

^{1,2,3,4,5,6}Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 01 - Guamá. CEP 66075-110.

Resumo: A implantação de programas e políticas de conservação e uso racional de energia são algumas das medidas que vem sendo adotadas no Brasil como forma de minimizar problemas relacionados ao consumo de energia. Desta forma, o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações tem por objetivo promover a eficiência energética de edificações através do RTQ-C. Este trabalho aplicou o método prescritivo do RTQ-C no prédio do laboratório de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará, onde foram avaliados a envoltória, o sistema de iluminação e o condicionamento de ar. Os dados foram levantados com inspeção in loco e consulta à planta-baixa do edifício, os resultados obtidos foram: nível B, para a iluminação; nível C, para a envoltória e para o sistema de condicionamento de ar. Como melhoria o trabalho sugeriu a troca do telhado de fibrocimento e uma substituição de todos os equipamentos de condicionamento de ar, por um equivalente, porém com etiqueta nível A, o que gerou uma diminuição de 12,8% do consumo de KWh/mês. Por fim concluiu-se que com o método prescritivo do RTQ-C foi possível determinar a eficiência do LABEM, porém este método é falho em alguns aspectos, como a dificuldade de determinar a eficiência para envoltórias muito grandes e complexas, e também uma falta de correlação entre a absorvância e transmitância térmica.

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

1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia em edificações está relacionado aos ganhos ou perdas de calor pelo envoltório 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.

Em edifícios comerciais e públicos – com e sem sistemas de condicionamento de ar –, 64% do consumo de energia elétrica deve-se aos usos finais de iluminação e de condicionamento, chegando a 86% em bancos e escritórios (Geller, 1994). Segundo Lamberts et al. (2004), eficiência energética em edifícios se dá quando um edifício proporciona as mesmas condições ambientais que outro, porém com menor consumo e energia.

O Brasil tem desenvolvido vários programas de eficiência energética, dentre eles um dos mais bem difundido é o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo INMETRO, cuja finalidade o programa tem por informar o consumidor quanto ao desempenho energético de equipamentos e edificações, tipicamente com ênfase em eletricidade. Para a determinação da etiquetagem de prédios o INMETRO utiliza o regulamento, lançado em 2009, Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Assim, espera-se que a eficiência seja um atributo considerado pelos consumidores na hora da compra.

Todo o desenvolvimento deste trabalho foi baseado nas diretrizes do RTQ-C, no seu regulamento, no seu manual, nas dissertações, teses e artigos a respeito do desenvolvimento e aplicação da metodologia para obtenção da etiqueta de eficiência energética do RTQ-C.

2. O RTQ-C

O RTQ-C avalia a eficiência do edifício levando em consideração três sistemas: a envoltória, o sistema de iluminação e o sistema de ar condicionado. Estes três itens, mais bonificações, são reunidos em uma equação geral de classificação do nível de eficiência da edificação. Este nível será condicionado ao atendimento dos pré-requisitos gerais e específicos.

A classificação da envoltória faz-se através da determinação de um conjunto de índices referentes às características físicas da edificação. A eficiência da iluminação é determinada calculando a densidade de potência instalada pela iluminação interna, de acordo com as diferentes atividades exercidas pelos usuários de cada ambiente.

A classificação da eficiência do sistema de condicionamento de ar pode ser dividida em duas classes diferentes. Uma classe está relacionada aos sistemas individuais e split, já classificados pelo INMETRO. Desta forma, deve-se apenas consultar os níveis de eficiência fornecidos nas etiquetas do INMETRO para posteriormente aplicar o resultado na equação geral da edificação. E a outra classe que trata a eficiência de sistemas de condicionamento de ar como as centrais, que não são classificados pelo INMETRO, assim, a classificação do nível de eficiência destes sistemas é mais complexa, pois sua definição depende da verificação de um número de requisitos e não pode ser simplesmente obtida pela consulta da etiqueta (Manual do RTQ-C, 2013).

No RTQ-C pode-se utilizar dois métodos para obter a classificação: o método de simulação (utilizando softwares credenciados) e o método prescritivo (utilizando tabelas e equações). Este último método é o abordado neste trabalho.

A Figura 1 representa os cinco níveis de eficiência do RTQ-C. Para o nível A o RTQ-C não define limite superior, uma vez que desempenhos mais elevados de eficiência energética devem ser sempre almejados. Para o nível E também não é definido um limite.



Figura 1. Níveis de Eficiência (Manual do RTQ-C, 2013).

Após aplicar um dos métodos é gerado a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), esta etiqueta pode ser parcial ou geral. A Ence pode ser aplicada ainda no projeto de construção do prédio e também no prédio já construído.

3. METODOLOGIA

3.1 Parte 1: O Método Prescritivo Descrito no RTQ-C

Para a classificação geral as avaliações parciais recebem pesos, distribuídos da seguinte forma: Envoltória = 30%; Sistema de Iluminação = 30%; e Sistema de Condicionamento de Ar = 40%. A seguir será descrito a metodologia para se obter o índice numérico equivalente de cada um desses três sistemas.

- Envoltória

A envoltória deve atender os pré-requisitos específicos para cada nível de eficiência, quanto mais elevado o nível pretendido, mais restritivos são os requisitos a serem atendidos. A tab. 1 apresenta uma síntese dos pré-requisitos da envoltória exigidos por nível de eficiência da Zona Bioclimática 8, pois Belém, a cidade onde o estudo de caso deste trabalho foi realizado, encontra-se nesta ZB.

Tabela 1. Síntese dos pré-requisitos para ZB8 (Autoria Própria, 2016).

Dados	Nível A	Nível B	Nível C e D
Transmitância Parede	2,5 W/m ² K se Ct = 80 kJ/m ² K	2,5 W/m ² K se Ct = 80 kJ/m ² K	2,5 W/m ² K se Ct = 80 kJ/m ² K
	3,7 W/m ² K se Ct > 80 kJ/m ² K	3,7 W/m ² K se Ct > 80 kJ/m ² K	3,7 W/m ² K se Ct > 80 kJ/m ² K
Transmitância Cobertura (Climatizado)	1 W/m ² K	1,5 W/m ² K	2 W/m ² K
Transmitância Cobertura (Não Climatizado)	2 W/m ² K	2 W/m ² K	2 W/m ² K
Absortância Cobertura	$\alpha < 0,5$	$\alpha < 0,5$	-
Absortância Parede	$\alpha < 0,5$	-	-

Para o cálculo do IC_{env} existem duas equações por Zona Bioclimática: uma para edifícios com área de projeção (A_{pe}) menor que 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. As equações para A_{pe} < 500 m² são válidas para um Fator de Forma máximo permitido. Acima ou abaixo desses, deve-se utilizar os valores limites. A seguir estão as equações do IC_{env} para ZB8.

Para A_{pe} > 500 m² tem-se a eq. 1, e um limite mínimo de FF=0,17.

$$IC_{env} = -160,63.FA + 1277,29.FF - 19,21.PAFt + 2,95.FS - 0,36.AVS - 0,16.AHS + \dots \quad (1)$$

$$\dots + 290,25.FF.PAFt + 0,01.PAFt.AVS.AHS - 120,58$$

Para A_{pe} ≤ 500 m² tem-se a eq. 2, e um limite máximo de FF=0,48.

$$IC_{env} = 454,47.FA - 1641,37.FF + 33,47.PAFt + 7,06.FS + 0,31.AVS - 0,29.AHS - \dots \quad (2)$$

$$\dots - 1,27.AVS.PAFt + 0,33.PAFt.AHS + 718$$

Onde: FA= Fator de altura; FF= Fator de forma; PAFt= Percentual total de abertura na fachada; FS= Fator solar; AVS=Ângulo de sombreamento vertical; AHS= Ângulo de sombreamento horizontal.

Tendo todas as variáveis, o IC é calculado para três tipos de envoltórias: IC_{env}, IC_{máxD} e IC_{mín}. O cálculo do IC_{env} é realizado usando os dados de projeto da edificação. O cálculo do IC_{máxD} e do IC_{mín} é calculado fazendo as devidas alterações de valores indicadas pelo manual do RTQ-C. O IC_{máxD} corresponde ao limite entre o nível D e E. Caso IC_{env} seja maior que IC_{máxD}, então o nível da envoltória desse edifício é E.

Uma vez obtidos IC_{env}, IC_{máxD} e IC_{mín} realiza-se o cálculo dos limites dos níveis de eficiência para o edifício em questão. Os limites IC_{máxD} e IC_{mín} representam o intervalo dentro do qual a edificação proposta deve se inserir. O intervalo é dividido em 4 partes (i), cada parte se refere a um nível de classificação numa escala de desempenho que varia de A à E. A subdivisão i do intervalo é calculada com a eq. 3.

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

Com o valor de i calculado, preenche-se a tab. 2.

Tabela 2. Limites dos intervalos dos níveis de eficiência (Manual do RTQ-C, 2013).

	A	B	C	D	E
Lim. Min		$IC_{máxD} - 3i + 0,01$	$IC_{máxD} - 2i + 0,01$	$IC_{máxD} - i + 0,01$	$IC_{máxD} + 0,01$
Lim. Máx.	$IC_{máxD} - 3i$	$IC_{máxD} - 2i$	$IC_{máxD} - i$	$IC_{máxD}$	

- Iluminação

O sistema de iluminação tem dois tipos de consumo de energia: o consumo direto, ao utilizar eletricidade para gerar luz, e o consumo indireto, decorrente do calor gerado nesse processo. Esse calor tem de ser retirado dos ambientes obrigando a um maior gasto do sistema de condicionamento de ar, aumentando desta forma o consumo geral de energia da edificação.

Os sistemas eficientes são definidos através da densidade de potência instalada (DPI) do sistema de iluminação. Quanto mais elevado o nível de eficiência maior o número de pré-requisitos a serem atendidos. A fig. 2 mostra quais pré-requisitos devem ser atendidos para cada nível de eficiência do RTQ-C.

Pré-requisito	Nível A	Nível B	Nível C
Divisão dos circuitos	Sim	Sim	Sim
Contribuição da luz natural	Sim	Sim	
Desligamento automático do sistema de iluminação	Sim		

Figura 2. Relação entre pré-requisitos e níveis de eficiência (Manual do RTQ-C, 2013).

Um dos métodos contido no RTQ-C para se calcular a eficiência do sistema de iluminação é o método da área da do edifício avalia de forma conjunta todos os ambientes do edifício e atribui um único valor limite para a avaliação do sistema de iluminação. Este método deve ser utilizado para edifícios com até três atividades principais, ou para atividades que ocupem mais de 30% da área da do edifício.

Deve-se identificar a atividade principal do edifício utilizando uma tabela que o RTQ-C fornece. Nesta tabela contém a densidade de potência de iluminação limite (DPI_L -W/m²) para cada nível de eficiência. Para edifícios com atividades não listadas deve-se escolher uma atividade equivalente.

Em seguida deve-se determinar a área iluminada do edifício e multiplicar essa área pela DPI_L para encontrar a potência limite do edifício. Quando o edifício for caracterizado por até três atividades principais determina-se a densidade de potência de iluminação limite para cada atividade e a área iluminada para cada uma. A potência limite para o edifício será a soma das potências limites para cada atividade do edifício.

Após isso deve-se comparar a potência total instalada no edifício e a potência limite de cada nível e identificar o EqNum do sistema de iluminação.

- Condicionamento de ar

Os sistemas de condicionamento de ar são tratados de dois modos distintos no RTQ-C, dependendo se os condicionadores são avaliados pelo PBE/INMETRO ou não. Os sistemas compostos por condicionadores de ar de janela e split, avaliados pelo PBE/INMETRO, são classificados através do nível de eficiência que o INMETRO atribui a cada modelo. No site do INMETRO está disponível uma lista dos modelos avaliados.

Neste trabalho será tratado apenas os condicionadores avaliados com a etiqueta do INMETRO, pois os que não tem etiqueta precisa-se fazer simulação, o que não se enquadra no que foi proposto para este trabalho.

No caso de haver mais de um sistema independente de condicionamento de ar no edifício, os níveis de eficiência de cada sistema independente devem ser encontrados e seus equivalentes numéricos ponderados pela capacidade dos seus respectivos sistemas, afim de estimar o equivalente numérico final envolvendo todos os sistemas de condicionamento de ar e, portanto, o nível de eficiência do sistema de condicionamento de ar do edifício.

A avaliação de cada sistema individual utiliza equivalentes numéricos, um número de pontos correspondente a determinada eficiência, atribuídos de acordo com a fig. 3.

A	5
B	4
C	3
D	2
E	1

Figura 3. Equivalente numérico para cada nível de eficiência (Manual do RTQ-C, 2013).

A classificação geral do edifício é calculada de acordo com a distribuição dos pesos através da eq. 4:

$$PT = 0,35 \cdot \left[\left(EqNumEnv \times \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right] + 0,3 \cdot (EqNumDPI) + \dots \quad (4)$$

$$\dots + 0,40 \cdot \left[\left(EqNumCA \times \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \times 5 + \frac{ANC}{AU} \right) \times EqNumV \right] + b_0^1$$

Onde: PT= Pontuação total; EqNumEnv= Equivalente numérico da envoltória; EqNumDPI= Equivalente numérico do sistema de iluminação; EqNumCA= Equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar; EqNumV= Equivalente numérico de ambientes não condicionados e/ou ventilados naturalmente; APT= Área útil dos ambientes de permanência transitória, desde que não condicionados; ANC= Área útil dos ambientes não condicionados de permanência prolongada. AC= Área útil dos ambientes condicionados; AU= Área útil; b= Pontuação obtida pelas bonificações, que varia de zero a 1.

A relação AC/AU indica a fração de área de piso de ambientes condicionados da edificação, pavimento ou conjunto de salas. Assim, a área útil deve ser a área útil da edificação ou a área útil da parcela que está sendo submetida à etiquetagem, independente da existência de condicionamento. Após calcular PT, deve-se verificar na fig.4 qual é a sua classificação final.

CLASSIFICAÇÃO FINAL	PT
A	$\geq 4,5$ a 5
B	$\geq 3,5$ a $< 4,5$
C	$\geq 2,5$ a $< 3,5$
D	$\geq 1,5$ a $< 2,5$
E	$< 1,5$

Figura 4 - Classificação Final (Manual do RTQ-C).

3.2 Parte 2: O Método Prescritivo Aplicado no Estudo de Caso

O estudo de caso deste artigo foi realizado no prédio do laboratório de Engenharia Mecânica (LABEM), da Universidade Federal do Pará (UFPA), localizado no campus da cidade de Belém, é um prédio com mais de 40 anos, onde já foi realizado várias modificações desde o seu projeto original.

- **Envoltória**

Para se obter os dados da envoltória foi realizada, além da consulta in loco, uma consulta à planta baixa. Para o cálculo da transmitância e capacidade térmica da parede e da cobertura a NBR 15220 já mostra tabelado os tipos mais comuns de paredes e fornece esses dados. Através do projeto arquitetônico do prédio foi possível escolher o tipo de parede e cobertura com seus respectivos valores de transmitância e capacitância mostrados na fig. 5.

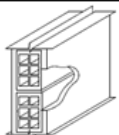
Parede	U [W/(m ² .K)]	C _T [kJ/(m ² .K)]	Cobertura	U [W/(m ² .K)]	C _T [kJ/(m ² .K)]
	2,48	159		1,09	106

Figura 5. Tipos de parede escolhidas segundo a tabela D.3 da NBR 15220.

As cores das paredes da envoltória do LABEM não são homogêneas, com isso, realizou-se uma análise parede por parede e uma média ponderada para poder determinar sua absorptância utilizando os dados de absorptância da NBR 15220. O material da cobertura é todo homogêneo, e segundo os dados retirados da planta-baixa fornecida pela administração do LABEM, a cobertura é de fibrocimento. Segundo Matos (2007) a absorptância térmica de telhas fibrocimento consideradas escurecidas com o tempo vale $\alpha=0,8$. Todas as outras variáveis necessárias para o cálculo do IC_{env} foram calculadas com dados retirados diretamente da planta-baixa.

- **Iluminação**

Para o levantamento de dados da potência de iluminação instalada, realizou-se uma verificação in loco em cada ambiente/sala do LABEM, foram escolhidas as atividades principais do LABEM, de acordo com a tabela encontrada no RTQ-C. As atividades escolhidas e seus limites máximos aceitáveis estão mostrados na tab. 3. Com o auxílio da planta-baixa, agrupou-se todas as salas/ambientes com mesma função e calculou-se a área total de cada uma.

Tabela 3. Densidade de potência de iluminação limite W/m².

Função	Nível A	Nível B	Nível C	Nível D
Escola/Universidade	10,7	12,3	13,9	15,5
Escritório	9,7	11,2	12,6	14,1
Oficina	12,9	14,8	16,8	18,7

- **Condicionamento de ar**

Foi realizada um levantamento de dado in loco em cada sala para determinar a potência instalada de condicionadores de ar no prédio.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Resultado da Envoltória

A absorptância térmica do telhado como dito anteriormente vale $\alpha=0,8$, e da parede resultou em $\alpha=0,57$. O AHS é zero pois não se tem proteção lateral em nenhuma das aberturas do prédio. O fator solar foi determinado sabendo que o

LABEM utiliza vidro liso de espessura 5mm, com esse dado estipulou-se o seu fator solar tirando a média dos fatores solares dos vidros de 6mm de acordo com o Catálogo de propriedades térmicas e óticas de vidros comercializados no Brasil (2015).

Tabela 4. Resultado das variáveis necessária para o cálculo do ICenv (Autoria própria, 2016).

Variáveis	Resultado	Variáveis	Resultado	Variáveis	Resultado
<i>Ape (m²)</i>	1833,80	<i>PAFt</i>	0,1541	<i>Apcob (m²)</i>	2770,30
<i>Atot (m²)</i>	3667,61	<i>FA</i>	0,75	<i>PAFoeste</i>	0,2385
<i>Aenv (m²)</i>	4414,67	<i>FF</i>	0,32	<i>AVS (°)</i>	29,22
<i>Vtot (m³)</i>	13382,30	<i>FS</i>	0,40	<i>AHS</i>	0

Como o $PAFoeste > 1,2 \cdot PAFtotal$, adota-se o $PAFoeste$ para o cálculo da pontuação total. Com esses resultados e com os dados indicados no manual do RTQ-C calcula-se o $IC_{máxD}$ e o $IC_{mín}$. Com a eq. 3 calcula-se o valor da subdivisão de cada nível i . Os resultados foram: $IC_{máxD} = 213,88$; $IC_{mín} = 174,13$; $i = 9,94$.

Com esses valores preenche-se a tab. 2 para se ter os intervalos de cada nível de eficiência energética, mostrados na tab. 5.

Tabela 5. Resultado dos limites dos níveis de eficiência para o prédio do LABEM (Autoria própria, 2016).

Eficiência	A	B	C	D	E
Lim. Mín.		184,08	194,02	203,96	213,89
Lim. Max	184,07	194,01	203,95	213,88	

Calculou-se o IC_{env} do prédio pela eq. 1 pois $Ape > 500 \text{ m}^2$, e comparou-se o resultado com as faixas de intervalo da tab. 5, este resultado não leva em consideração os pré-requisitos da tab. 1, ao analisar os pré-requisitos verifica-se uma redução no nível de eficiência pois a absorvância da cobertura e da parede é maior que o limite dos níveis A e B. Os resultados são mostrados na tab. 6. O $EqNumEnv$ foi determinado pela fig. 3.

Tabela 6. Resultado do nível de eficiência da envoltória do LABEM (Autoria própria, 2016).

Variável	Resultado	Nível sem pré-requisito	Nível com pré-requisitos	EqNumEnv
<i>ICenv</i>	176,11	A	C	3

4.2. Resultado do Sistema de Iluminação

A tabela 7 mostra a potência instalada e a tab. 8 mostra a área total de cada função, bem como seus limites. Esses limites foram obtidos ao se multiplicar a área de cada função pelos seus limites de DPI da tab. 3.

Tabela 7. Potência instalada total de cada atividade (Autoria própria, 2016).

Função	Potência Instalada (W)	Função	Potência Instalada (W)
Escola/Universidade	4846	Oficina	2390
Escritório	8309	Total	15545

Tabela 8. Limite dos níveis de eficiência para o sistema de iluminação (Autoria própria, 2016).

Função	Área total de cada função	Potência Limite (W)			
		Nível A	Nível B	Nível C	Nível D
Escola/Universidade	631,49	6756,943	7767,327	8777,711	9788,095
Escritório	1109,64	10763,508	12427,97	13981,46	15645,92
Oficina	946,42	12208,818	14007,02	15899,86	17698,05
Total	2687,55	29729,269	34202,31	38659,03	43132,07

Comparando a potência total instalada com a potência limite total de cada nível tem-se o resultado. Por exemplo, para o sistema ser nível A, a potência instalada deve ser de no máximo 29729,269 W, acima disso e até 34202,31 W

passa a ser B, e assim por diante. A tab. 9 mostra esse resultado do nível de eficiência do sistema de iluminação bem como seu EqNumDPI.

Tabela 9. Resultado do nível de eficiência do sistema de iluminação (Autoria própria, 2016).

Nível sem pré-requisito	Nível com pré-requisitos	EqNumDPI
A	B	4

O pré-requisito do sistema automático de iluminação para áreas maiores de 250 m² não foi atendido pelo laboratório do grupo de estudos em tecnologia da soldagem. Por isso o sistema foi rebaixado para o nível B.

4.3. Resultado do Sistema de Condicionamento de Ar

Com os dados de todos os condicionadores de ar do prédio, montou-se a tab. 10, e obteve-se o resultado da ponderação do EqNumCA.

Tabela 10. Dados e Resultados do EqNum do sistema de ar condicionado (Autoria própria, 2016).

Nível	EqNum	Potência (Btu/h)	Nº de Equipamentos	Potência Total (Btu/h)	Ponderação	Ponderação EqNum
A	5	13000	1	13000	0,011	0,053
A	5	12000	8	96000	0,079	0,393
B	4	18000	6	108000	0,088	0,354
B	4	12000	9	108000	0,088	0,354
B	4	7500	1	7500	0,006	0,025
C	3	30000	4	120000	0,098	0,295
C	3	24000	7	168000	0,137	0,412
C	3	18000	8	144000	0,118	0,354
C	3	12000	10	120000	0,098	0,295
C	3	9000	2	18000	0,015	0,044
C	3	7500	1	7500	0,006	0,018
D	2	18000	14	252000	0,206	0,412
E	1	30000	2	60000	0,049	0,049
		Total	73	1222000	1	3,057

Compara-se o resultado do EqNum com a fig. 4, como $2,5 \leq 3,057 < 3,5$, obtêm-se que a classificação do sistema de ar condicionado do edifício é C. Os pré-requisitos não precisam ser avaliados. Logo, o EqNumCA vale 3.

4.4. Classificação geral

Para a classificação geral aplica-se a eq. 4, a tab. 11 mostra os dados das variáveis necessárias para o cálculo.

Tabela 11 - Variáveis para o cálculo da pontuação total.

Variável	Valor	Variável	Valor	Variável	Valor
<i>EqNumEnv</i>	3	<i>EqNumV</i>	Não se aplica	<i>APT</i>	484,78
<i>EqNumDPI</i>	4	<i>AC</i>	1624,52	<i>ANC</i>	Não se aplica
<i>EqNumCA</i>	3	<i>AU</i>	3239,62	<i>b</i>	Não se aplica

As variáveis EqNumV e ANC para serem determinadas precisam de simulações avançadas, o que não se aplica a este trabalho, vale ressaltar que mesmo se o EqNumV fosse de nível C o resultado final deste trabalho não se alteraria. A variável b não se aplica, pois, o prédio do LABEM não possui nenhuma das bonificações descritas no RTQ-C, são elas: fontes renováveis de energia, sistemas de cogeração e sistemas ou equipamentos que racionalizem o uso da água.

E finalmente têm-se que PT=2,5 o que segundo a fig. 4 classifica o prédio com ENCE total nível C. A fig. 6 mostra a etiqueta de eficiência energética do prédio do LABEM.



Figura 6. Etiqueta do nível de eficiência energética do LABEM (Autoria Própria, 2016).

5. ANÁLISE E SUGESTÕES DE MELHORIAS

O nível de eficiência da envoltória caiu para o nível C devido ao seu telhado ser de telha fibrocimento que escurece com o tempo fazendo com que sua absorvância seja muito grande, uma solução seria trocar o telhado e mudar o tipo de superfície das paredes, como por exemplo, pintar com cores mais claras para que assim se possa reduzir a absorvância térmica e adotar telhas de cerâmica para a cobertura, ou até mesmo desenvolver teto jardim. Outra melhoria seria substituir vidros que compõem grande área da fachada por modelos de alto desempenho, mais eficientes.

O sistema de iluminação ao ser avaliado pelo método do RTQ-C, se torna um pouco falho devido aos limites aceitáveis de DPI serem altos, por exemplo, em um escritório de 23 m² mesmo com oito lâmpadas de 32 W ele é considerado como nível A. O RTQ-C também não é capaz de detectar falhas como as mostradas na fig. 7 (onde uma luminária está iluminando uma parede divisória e outra luminária fica iluminando o teto de um ambiente), pois mesmo com esses “erros” de iluminação o sistema de iluminação ficou com nível A, isso evidencia que o uso do RTQ-C não dispensa um bom projeto luminotécnico.

Uma das sugestões de melhoria seria fazer o desligamento automático do sistema de iluminação para as salas que forem maiores que 250 m². Isso faria com que fosse aumento o nível desse sistema para A.

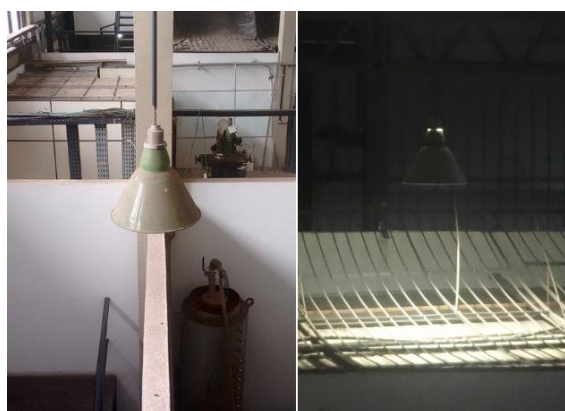


Figura 7. Sistema inadequado de iluminação do LABEM (Autoria própria).

A avaliação do condicionamento de ar é onde o RTQ-C mais apresenta falha, pois segundo o manual, para obter nível A, basta que todos os equipamentos instalados no prédio estejam com etiqueta de nível A, ou seja, ele não considera a carga térmica de cada sala e consequentemente ele não detecta superdimensionamento de equipamentos.

A fig. 8 mostra um gráfico onde realizou-se a simulação de substituição de todos os equipamentos *Splits* por um com etiqueta nível A com consumo de energia mais baixo possível de acordo com a tabela do INMETRO (2016), manteve-se o mesmo Btu dos *Splits* atuais. Esta simulação mostra uma economia de 12,8% de *KWh* consumidos por mês pelo LABEM, o que resultaria em uma economia de 3976,8 *KWh* durante o ano.

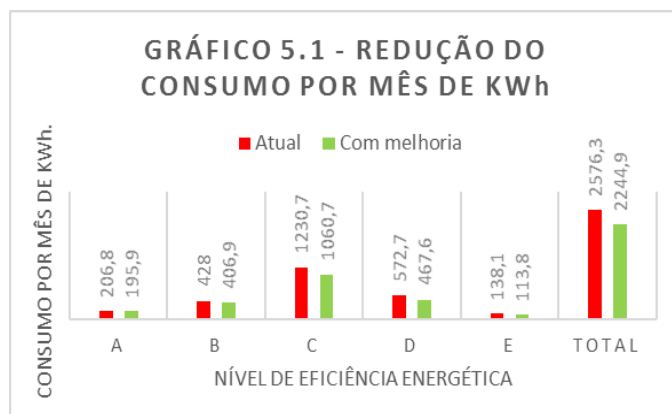


Figura 8. Gráfico com melhorias para o sistema de condicionamento de ar do LABEM.

Com essas melhorias o nível da envoltória e do sistema de condicionamento de ar passa a ser **A**, o que resulta em uma pontuação total de 3,5 levando à uma nova etiqueta para o prédio com eficiência **B**. Vale ressaltar aqui que este trabalho não realizou nenhum tipo de simulação, e essa simulação é necessária para se obter a classificação geral de nível A, é por isso que mesmo os três sistemas sendo nível A, a etiqueta do edifício ficou com nível B.

6. CONCLUSÃO

Este trabalho buscou aplicar o método prescritivo do RTQ-C para determinar o nível de eficiência de um prédio público. O sistema de condicionamento de ar ficou com classificação C, o sistema de iluminação ficou com B e a envoltória ficou com classificação nível C, o que resultou em uma ENCE nível C. Em seguida foram sugeridas propostas de melhorias para se chegar à uma ENCE nível B.

A principal dificuldade na aplicação do método prescritivo refere-se à obtenção de dados do projeto arquitetônico e dos materiais especificados usados na sua construção. Tal situação mostra que a aplicação do RTQ-C depende de um envolvimento entre vários atores da construção do prédio.

Concluiu-se que falta uma preocupação geral sobre a eficiência do prédio do LABEM, várias reformas na sua envoltória são realizadas sem o mínimo estudo de transmitância térmica, várias salas com equipamentos de condicionamento de ar superdimensionados, o mau uso da energia da parte dos discentes e docentes que por vezes deixam todos os seus equipamentos ligados no final do expediente, tudo isso acaba gerando mais custos para a universidade. Concluiu-se também que o método do RTQ-C por tentar abranger vários tipos de prédios no Brasil todo acaba sendo falho em alguns aspectos, como:

Limitação no método prescritivo para avaliação de formas complexas da envoltória, sendo mais adequada a avaliação pelo método de simulação. A questão dessa limitação refere-se à variável Fator de Forma, pois ela se baseia apenas nos modelos representativos das edificações mais comuns no Brasil, não abrangendo as edificações com volumes pouco comuns, muito pequenos ou muito grandes;

O regulamento e o manual não apresentam de forma clara a correlação entre transmitância e absorptância da envoltória e não faz relação com o percentual de abertura na fachada. Os vidros de alto desempenho não são avaliados de maneira adequada, e a interpretação do Fator Solar deixa claro que quanto menos aberturas, ou quanto menores elas forem, mais fácil se torna alcançar uma etiqueta maior de eficiência energética.

O regulamento não estipula estratégias bioclimáticas como, por exemplo, estratégias de ventilação. Essas estratégias promovem a troca de calor do ambiente e ajudam a diminuir a sensação de calor, estimulando um menor uso dos equipamentos de condicionamento de ar e diminuindo o consumo de energia.

Todas essas imprecisões citadas são, de certa forma, barreiras no processo de compreensão do regulamento. O objetivo geral e os específicos foram alcançados, onde a análise do RTQ-C foi aplicada em uma edificação real e foi possível realizar a sua classificação de eficiência energética. Outro objetivo que também foi atingido por este trabalho foi o da divulgação deste método tão pouco conhecido entre os engenheiros e arquitetos, mas que com o tempo passará ter caráter obrigatório para todos os prédios e residências.

7. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15220: Desempenho de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

- Catálogo de propriedades térmicas e óticas de vidros comercializados no Brasil. Disponível em: http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/catalogo-propriedades-vidros-comercializados-brasil-13032015_v2.pdf. Acesso em: 20 de novembro de 2015.
- GELLER, H. S. O uso eficiente da eletricidade – uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil. Rio de Janeiro: INEE, ACEEE, 1994.
- INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Tabelas de consumo/eficiência energética – Condicionador de ar split. Disponível em: <http://www.INMETRO.gov.br/consumidor/pbe/condicionadores.asp> Acesso em: 20 de novembro de 2016.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. Eficiência energética na arquitetura. 2. Ed. São Paulo, 2004.
- Manual do RTQ-C, 2013. Disponível em: http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/manual-rtqc_V4.pdf.
- MATOS, M. Simulação computacional do desempenho térmico de residências em Florianópolis utilizando a ventilação natural. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

8. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

EVALUATION OF ENERGY EFFICIENCY IN THE UFPA MECHANICAL ENGINEERING BUILDING USING THE RTQ -C METHOD

Paulo Henrique Franco Ferreira, paulohff@hotmail.com¹
Ivana de Fatima Cavaleiro de Macêdo Braga, ivanacmb@yahoo.com.br²
Kelvin Alves Pinheiro, kelvin_alves@hotmail.com³
Irwing Diego Costa Gomes, irwing.g@hotmail.com⁴
Sergio Aruana Elarrat Canto, aruana@ufpa.br⁵
Danielle Regina da Silva Guerra, daguerra@ufpa.br⁶

^{1,2,3,4,5,6}Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 01 - Guamá. CEP 66075-110.

Abstract. The implantation of energy programs, energy preservation policies and ration use of energy are some of the measures that have been adopted in Brazil, as a way of minimize the problems related with energy use. Thus, the Brazilian Labeling Building Program purposes to promote the building energy efficiency through RTQ-C method. In this work, the RTQ-C prescriptive method was applied in the Mechanical Engineering laboratory building (LABEM) of Universidade Federal do Pará, where its envelopment, lighting system and air conditioning were availed. The data was taken by in loco inspection and inquiring the blueprint building, the results for energy label obtained were: grade B for the lighting system; grade C for the envelopment and air conditioning. The work suggested, as improvement, the change of the fiber cement roof and the substitution of all the air conditioners for an equivalent, but with grade A, which generated a lack of 12,8% of the consumption, in kWh/month. Lastly it was concluded that by the RTQ-C prescriptive method it is possible to determine the LABEM building efficiency, however, this method is flawed in some aspects, as the difficulty to determine the efficiency for big and complex envelopments, and also a lack of correlation between absorptivity and thermal transmittance.

Keywords: building energy efficiency, RTQ-C, prescriptive method.