

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE ETIQUETAGEM DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES DE CENTRO ADMINISTRATIVO DE UNIDADE INDUSTRIAL

Camila Soares Lana da Silva, camilaslana@hotmail.com¹
Marcela Álvares Maciel, marcela.alvares.maciell@hotmail.com¹
Frederico Romagnoli Silveira Lima, fredrsl@des.cefetmg.br¹

¹ Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, CEFET-MG, Avenida Amazonas, nº7675. Bairro Nova Gameleira. Belo Horizonte, MG.

Resumo: Neste trabalho apresentam-se os resultados de uma auditoria energética realizada em edificação comercial localizada em Belo Horizonte, mais especificamente de um centro administrativo de uma unidade industrial. Em termos metodológicos o trabalho envolve a aplicação dos procedimentos do Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ). Para tanto, a auditoria energética foi realizada para os três subsistemas da edificação, isto é, envoltória, iluminação e condicionamento de ar. Assim, como principais resultados temos a classificação das etiquetas parciais de envoltória em nível E, sistema de iluminação em nível D e sistema de condicionamento de ar nível B. A composição das etiquetas parciais permite a classificação do edifício completo em nível C. Para fins de incremento da eficiência energética da edificação sugere-se a instalação de brises, permitindo uma economia de energia de cerca de 20% e reclassificação do etiqueta de eficiência energética do edifício completo para nível B.

Palavras-chave: Auditoria Energética, Eficiência Energética, Edificações, Etiquetagem.

1. INTRODUÇÃO

Entende-se como Auditoria Energética a relação entre consumo de recursos energéticos mensais e a forma como estes recursos são usados no processo direta ou indiretamente (iluminação, ar condicionado ou processo de produção). O processo de auditoria energética visa à identificação de possíveis formas de se economizar energia pela utilização de equipamentos mais eficientes nos processos identificados, aplicando-se conjuntamente uma análise econômica sobre os investimentos necessários e os recursos economizados. (THUMAN, 1991)

Auditorias energéticas em edificações comerciais podem ser realizadas em distintos níveis de detalhamento, que vão desde uma breve visita *in loco* até a realização de simulações termo-energéticas da edificação. Krarti (2000) apresenta a distinção de três tipos de auditoria energética, sendo elas: *in loco*, básica e detalhada. A publicação da Portaria nº53 do INMETRO, de 27 de fevereiro de 2009, Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), apresenta-se como uma primeira iniciativa a nível nacional para definição de procedimentos para avaliação da eficiência energética de edificações.

De acordo com o InMetro (2009), o processo de etiquetagem geral envolve a composição das etiquetas parciais de envoltória, sistemas de iluminação e condicionamento de ar. É importante destacar que se consideram como edifícios comerciais escolas; instituições ou associações de diversos tipos, incluindo prática de esportes; tratamento de saúde de animais ou humanos, tais como hospitais, postos de saúde e clínicas; vendas de mercadorias em geral; prestação de serviços; bancos; diversão; preparação e venda de alimentos; escritórios e edifícios empresariais, de uso de entidades, instituições ou organizações públicas municipais, estaduais e federais, incluindo sedes de empresas ou indústrias, desde que não haja a atividade de produção nesta última; edifícios destinados à hospedagem sejam eles hotéis, motéis, resorts, pousadas ou similares. Assim, nesse trabalho propõe-se a avaliação da eficiência energética para fins de etiquetagem completa de um centro administrativo de unidade industrial localizada em Belo Horizonte (MG).

2. METODOLOGIA

A etiqueta nacional de conservação de energia de edificações apresenta cinco níveis de desempenho, variando de mais eficiente (nível A) a menos eficiente (nível E). A etiquetagem de eficiência energética de edifícios deve atender aos requisitos relativos ao desempenho da envoltória, à eficiência e potência instalada do sistema de iluminação e à eficiência do sistema de condicionamento do ar. Em termos metodológicos, o RTQ-C apresenta duas abordagens para o processo de etiquetagem de edificações, sendo: método prescritivo e simulação computacional.

2.1 Método Prescritivo

Para a classificação geral do edifício utilizando-se o método prescritivo, são atribuídos pesos para os subsistemas envolvidos sendo 30% para envoltória, 30% para sistemas de iluminação e 40% para sistemas de condicionamento de ar. A pontuação final (PT) é obtida através da Eq.(1), sendo que cada faixa de PT está associada a uma classificação final da eficiência energética, conforme apresentado na Tab.(1). Cada nível de eficiência energética dos sistemas parciais também apresenta um equivalente numérico.

$$PT = 0,3 \left\{ \left(EqNumEnv \frac{AC}{AU} \right) + \left(\left(\frac{APT}{AU} \right) 5 + \frac{ANC}{AU} EqNumV \right) \right\} + 0,3 (EqNumDPI) + 0,4 \left\{ \left(EqNumCA \frac{AC}{AU} \right) + \left(\left(\frac{APT}{AU} \right) 5 + \frac{ANC}{AU} EqNumV \right) \right\} + b \quad (1)$$

Onde:

EqNumEnvol é o equivalente numérico da envoltória

AC é área condicionada (m²)

AU é a área útil (m²)

APT é a área de permanência transitória (m²)

ANC é área não condicionada (m²)

EqNumV é o equivalente numérico de ventilação

EqNumDPI é o equivalente numérico do sistema de iluminação

EqNumCA é o equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar.

Tabela 1. Classificação geral da eficiência energética de edificação

Classificação	A	B	C	D	E
PT	4,5 ≤ PT < 5,0	3,5 ≤ PT < 4,5	2,5 ≤ PT < 3,5	1,5 ≤ PT < 2,5	< 1,5
EqNumEnv EqNumDPI EqNumV EqNumCA	5	4	3	2	1

Fonte: Adaptado de INMETRO (2009).

A etiqueta nacional de conservação de energia para edificações (ENCE) é apresentada na Fig.(1). Observa-se a existência da classificação dos sistemas parciais de envoltória, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar, além da classificação para o edifício completo.

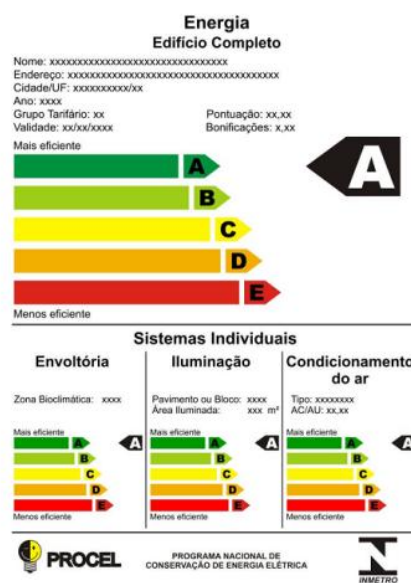


Figura 1. Etiqueta nacional de conservação de energia para edificações.

Fonte: Inmetro (2009)

2.1.1 Envoltória

A determinação do equivalente numérico da envoltória (EqnumEnv) envolve a quantificação de um indicador de consumo (IC). Existem equações específicas para cada zona bioclimática definida conforme norma NBR-15.220-3, bem como para áreas de projeção da edificação inferiores e superiores a 500 m². A utilização dessas equações apresenta limitações de utilização com relação ao fator de forma, que consiste na razão entre área de envoltória e volume da edificação. Para edificações localizadas em Belo Horizonte com áreas superiores a 500 m², por exemplo, a utilização da Eq.(2) é restrita a fator de forma mínimo de 0,15.

$$IC = -14,14.FA - 113,94.FF + 50,82.PAFt + 4,86.FS - 0,32.AVS + 0,26.AHS - \frac{35,75}{FF} - 0,54.PAFt.AHS + 277,98 \quad (2)$$

De uma maneira geral, as equações do indicador de consumo são funções das características geométricas da edificação, tais como área de projeção da cobertura (Apcob), área de piso total, área de envoltória, percentual de abertura da fachada (PAft), volume total. Acrescenta-se a isso a avaliação do fator solar (FS) e dos ângulos de sombreamento das fachadas vertical (AVS) e horizontal (AHS).

O nível de eficiência energética da edificação é obtido a partir da comparação entre o indicador de consumo da envoltória e as faixas de indicadores de consumo máximo e mínimo definidas conforme apresentado na Tab.(2), onde o intervalo das faixas (i) equivale a um quarto da diferença entre o indicador de consumo máximo e mínimo.

Tabela 2. Quantificação das faixas para determinação do equivalente numérico da envoltória.

Nível	A	B	C	D	E
Lim Mín	-	$IC_{\max D} - 3i + 0,01$	$IC_{\max D} - 2i + 0,01$	$IC_{\max D} - i + 0,01$	$IC_{\max D} + 0,01$
Lim Max	$IC_{\max D} - 3i$	$IC_{\max D} - 2i$	$IC_{\max D} - i$	$IC_{\max D}$	-

Fonte: INMETRO (2009)

Os indicadores de consumo máximo e mínimo são obtidos aplicando-se a equação do indicador de consumo da envoltória, considerando-se as características geométricas da edificação associadas aos valores pré-definidos na Tab.(3).

Tabela 3. Valores para determinação de Indicador de Consumo (IC) máximo e mínimo

IC	PAft	FS	AVS	AHS
Maximo	0,6	0,61	0	0
Mínimo	0,05	0,87	0	0

Fonte: Adaptado de INMETRO (2009)

Além do indicador de consumo, a definição da etiqueta parcial da envoltória também contempla o atendimento a pré-requisitos específicos relativos à transmitância térmica de paredes e cobertura, absorvância máxima e percentual de abertura para iluminação zenital. Na Tabela 4 sintetizam-se os pré-requisitos para cada nível de etiqueta pretendido para edificações localizadas na Zona Bioclimática 3.

Tabela 4. Pré-requisitos para distintos níveis de etiquetagem para Zona Bioclimática 3

Nível	U_{\max} (W/m ² K)			α_{\max}	Zenital
	Parede	Cobertura			
		Condicionado	Não Condicionado		
A	3,7	1	2	0,4	5%
B	3,7	1,5	2	0,4	-
C	-	2	2	-	-

Fonte: Adaptado de INMETRO (2009)

2.1.2 Sistema de Iluminação

A determinação do equivalente numérico do sistema de iluminação (EqnumDPI) envolve a quantificação da densidade de potência relativa final (DPIRL), conforme Eq.(3) e também o atendimento aos pré-requisitos apresentados na Tab.(5). O pré-requisito divisão dos circuitos define que cada ambiente deve possuir no mínimo um dispositivo de controle manual para que permita o acionamento independente da iluminação interna do ambiente com facilidade. A contribuição da luz natural define que o circuito de iluminação deve ser dividido de forma que as luminárias próximas à janela tenham dispositivo de desligamento independente do restante do sistema de modo a permitir a integração entre iluminação natural e artificial. Dessa forma sistemas de iluminação artificiais serão utilizados como sistemas complementares a iluminação natural. Já o pré-requisito desligamento automático determina que o sistema deve possuir dispositivos que garantam seu desligamento em ambientes desocupados. É importante destacar que o sistema de iluminação que não contemplar o atendimento a nenhum desses pré-requisitos receberá etiqueta nível D, independente do DPIRL obtido.

$$DPIRL = \frac{n.P}{100.A/Ef} \quad (3)$$

Tabela 5. Pré-requisitos do Sistema de Iluminação

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

Fonte: INMETRO (2009)

A partir da Eq.(3) observa-se que a determinação do DPIRL é função da iluminância final (Ef), que é obtida a partir da Eq.(4). A Equação 5 permite o dimensionamento do número mínimo de lâmpadas (n) necessário para garantir o fluxo luminoso de projeto (Ep) requerido pela norma NBR 5413 para cada atividade a ser desempenhada no ambiente. O fator de depreciação (Fd) está relacionado à depreciação da lâmpada, sendo adotado pelo Inmetro (2009) o valor de 0,8 Já o fator de utilização (Fu) é função do índice do ambiente (K), que permite classificar diferentes ambientes de acordo com a área. No caso de ambientes retangulares, esse índice K é função do comprimento (C), da largura (L) e da altura (h) do ambiente, conforme Eq.(6). Na Tabela 6 apresentam-se os valores de K e os respectivos limites de DPIRL por nível de eficiência energética do sistema de iluminação.

$$Ef = \frac{n.FL.F.u}{A}.Fd \quad (4)$$

$$n = \frac{A.Ep}{FL.Fu.Fd} \quad (5)$$

$$k = \frac{C.L}{h(C+L)} \quad (6)$$

Tabela 6. Determinação dos limites de DPIRL para cada nível de eficiência energética em relação ao índice k.

k	DPIRL			
	A	B	C	D
0,60	2,84	4,77	5,37	6,92
0,80	2,50	3,86	4,32	5,57
1,00	2,27	3,38	3,77	4,86
1,25	2,12	3,00	3,34	4,31
1,50	1,95	2,75	3,00	3,90
2,00	1,88	2,53	2,77	3,57
2,50	1,83	2,38	2,57	3,31
3,00	1,76	2,27	2,46	3,17
4,00	1,73	2,16	2,33	3,00
5,00	1,71	2,09	2,24	2,89

Fonte: INMETRO (2009).

2.1.3 Sistema de Ar Condicionado

A determinação do equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar (EqNumCA) envolve o atendimento a pré-requisitos específicos de projeto, incluindo valores mínimos de COP. Os pré-requisitos para os sistemas de condicionamento de ar não regulamentados pelo Inmetro incluem: cálculo de carga térmica de acordo com normas técnicas, controle de temperatura por zona, automação que inclui controles para acionamento e desativação sob diferentes condições de rotinas de operação, sensor de ocupação e temporizador de acionamento manual. Zonas de operação ou ocupação não simultânea devem ser divididas em áreas isoladas. Atendimento aos limites de potência dos ventiladores em sistemas de condicionamento de ar com potência total superior a 4,4 kW. Sistemas de recuperação de calor com eficiência mínima de 50% são obrigatórios para ventiladores com capacidade de insuflamento de ar nominal superior a 2.400 l/s e uma taxa de insuflamento de ar externo mínima de 70% da vazão total de projeto. Os sistemas devem apresentar ainda controle e dimensionamento de sistemas hidráulicos, tais como sistemas de vazão de líquido variável, isolamento de bombas e controles de reajuste de temperatura de água gelada e quente. Os equipamentos de rejeição de calor devem apresentar controle de velocidade do ventilador,

Para classificação em nível A de eficiência, todos os pré-requisitos do sistema de condicionamento de ar supracitados devem ser atendidos, desde que sejam aplicáveis. Sistemas que não atendam as tais especificações, incluindo COP inferior a 3 serão automaticamente classificados como nível E de eficiência. Na Tabela 7 apresenta-se uma síntese dos pré-requisitos para os sistemas de condicionamento de ar central não regulamentados pelo Inmetro. Para sistemas de nível A e B ainda existem restrições quanto a eficiência das torres de resfriamento e condensadores. Para torres de resfriamento com ventiladores helicoidais ou axiais exige-se desempenho mínimo de 3.23 l/s kW. Já para torres com ventiladores centrífugos esse valor deve ser superior a 1,7 l/s kW. Os condensadores resfriados a ar devem apresentar um COP superior a 69. É importante destacar que são essas restrições de eficiência que distinguem a eficiência níveis B e C, já que apresentam os mesmos pré-requisitos.

Tabela 7. Pré-requisitos para classificação do nível de eficiência de sistemas de ar condicionado central.

Pré-requisitos	A	B	C	D	E
COP	$\geq 3,1$			3,0	< 3,0
Cálculo carga térmica	Sim	Não	Não	Não	Não
Controle de temperatura por zona	Sim	Não	Não	Não	Não
Automação	Sim	Não	Não	Não	Não
Isolamento de zonas	Sim	Não	Não	Não	Não
Controle e dimensionamento de sistema de ventilação	Sim	Não	Não	Não	Não
Equipamentos de rejeição de calor	Sim	Não	Não	Não	Não
Controle e dimensionamento de sistemas hidráulicos	Sim	Não	Não	Não	Não

2.2 Simulação Computacional

De acordo com INMETRO (2009), a avaliação da eficiência energética de uma edificação através do método de simulação computacional apresenta pré-requisitos relativos a software e arquivo climático. O software utilizado deve ser validado pela norma ASHRAE Standard 140, modelar 8.760 horas por ano, incluindo variações horárias de ocupação, potência de iluminação, ar condicionado e efeitos de inércia térmica. Deve permitir também a modelagem de multi-zonas térmicas. Assim, neste trabalho foi utilizado o software DesignBuilder, que atende a todos esses pré-requisitos definidos pelo Inmetro (2009). O arquivo climático deve apresentar os formatos TRY, TMY, SWEC ou CTZ2, com valores horários de temperatura, umidade, radiação solar, direção e velocidade dos ventos. Esses dados climáticos devem ser representativos da zona bioclimática, sendo permitida a utilização da região mais próxima em caso de inexistência de arquivo climático do local de estudo. No caso do presente estudo, foi utilizado o arquivo de Belo Horizonte, com dados climáticos provenientes da estação meteorológica do aeroporto da Pampulha.

O método de simulação consiste na avaliação do desempenho energético do edifício real comparado a edifícios de referência no nível de eficiência pretendido. Para tanto, utilizam-se os mesmos critérios definidos para o método prescritivo. Etiquetas parciais podem ser avaliadas pelo método de simulação, considerando-se os sistemas fora de avaliação com os valores de referência. Assim, por exemplo, a etiquetagem apenas da envoltória utiliza-se de dados de referência para os sistemas de iluminação e condicionamento de ar, enquanto a etiquetagem parcial da envoltória e do sistema de iluminação envolve a utilização de dados de referência do sistema de condicionamento de ar.

A aplicação do método de simulação no presente trabalho envolve todos os sistemas da edificação, ou seja, envoltória, iluminação e condicionamento de ar, comparados a edifícios de referência níveis C e D. A utilização do método de simulação computacional é recomendado para comprovar que, em certos casos, a utilização de parâmetros diferentes daqueles previstos pelo Inmetro (2009) proporciona maior economia de energia, mantendo-se as condições de conforto ambiental. É importante destacar que a realização da simulação computacional não substitui a avaliação pelo método prescritivo. Neste trabalho a simulação computacional foi realizada como um método complementar para avaliação da viabilidade econômica de alternativas para incremento da eficiência energética da edificação.

3. RESULTADOS E AVALIAÇÃO

3.1 Etiquetagem da Envoltória

O Centro Administrativo objeto de estudo consiste numa edificação de 6.828 m² de área útil, distribuídas em três pavimentos de 4 m pé direito. Um dos pavimentos, localizado no subsolo, é destinado a garagem e serviços de utilidades, com destaque para a central de equipamentos de ar condicionado. Com uma área total de envoltória de 3.240 m² e um volume de 20.590 m³, apresenta um fator de forma de 0,16. A relação entre área de envoltória e área útil permite ainda a quantificação do fator da altura em 0,5.

Cerca de 70% dessa área de envoltória é composta de aberturas em vidro simples reflexivo, com fator solar 0,35. Temos assim uma transmitância térmica das paredes de 5 W/m²K, que não atende aos pré-requisitos para envoltórias de eficiência nível A e B. A cobertura apresenta transmitância térmica de 1,5 W/m²K, que atende aos pré-requisitos para nível B, ou seja, inferior a 2 W/m²K. Fazendo-se uma avaliação completa em termos de atendimento aos pré-requisitos definidos para edificações com sistemas de condicionamento de ar localizadas na zona bioclimática 3, a edificação apresenta-se limitada a nível de eficiência C.

Para fins de etiquetagem, a proposta arquitetônica de fachadas com elevado percentual de vidros reflexivos sem a utilização de recursos para sombreamento das fachadas não são suficientes para propiciar uma eficiência energética nível A. Isso pode ser constatado através do indicador de consumo da envoltória igual a 60, valor esse superior ao indicador de consumo máximo 59. Assim, classifica-se a envoltória como nível E em eficiência energética. Nesse caso, a utilização de vidros com baixo fator solar não contribuiu para uma melhor classificação da envoltória em termos de eficiência energética. Já a utilização de recursos para sombreamento permitem um melhor desempenho energético da envoltória. Utilizando-se brises com ângulos horizontais e verticais de sombreamento, apropriados para a zona bioclimática 3, isto é, AVS e AHS de 45°, temos a alteração da classificação da envoltória para nível C. Na Figura 2 apresenta-se uma síntese dos resultados obtidos no processo de etiquetagem da envoltória pelo método prescritivo, apresentando ainda sugestões para incremento do nível de eficiência energética.

PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM DE EDIFICAÇÕES					
- ENVOLTÓRIA REAL -					
Pré-requisitos	Zona Bioclimática	ZB3			
	Ambiente é Condicionado?	Sim			
	U parede		[W/m ² K]		
	U cobertura		[W/m ² K]		
	α parede	0,4	[ad]		
α cobertura	0,4	[ad]			
Dados de Projeto	Ape (Área de projeção do edif.)	3431,72	[m ²]		
	Atot (Área piso total)	6828,33	[m ²]		
	Aenv (Área de envoltória)	3240,00	[m ²]		
	Vtot (Volume total)	20590,30	[m ³]		
	FA (Fator de altura)	0,50	[ad]		
	FF (Fator de Forma)	0,16	[ad]		
	PAFt (Perc. AberT. Fach. Total)	0,64	[ad]		
	FS (Fator Solar)	0,35	[ad]		
	AVS (Ang. Vertical Sombreamento)	0,00	[°]		
	AHS (Ang. Horizontal Sombreamento)	0,00	[°]		
Resultados	Icmax	59,20882	[ad]		
	Icmin	32,52142	[ad]		
	i	6,67185	[ad]		
	Ic _{env}	59,97802	[ad]		
	Etiqueta (pré-requisitos)	D			
Eficiência	A	B	C	D	E
Lim min	-	39,20	45,88	52,55	59,22
Lim max	39,19	45,87	52,54	59,21	-
Etiqueta Parcial Envoltória			E		

PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM DE EDIFICAÇÕES					
- ENVOLTÓRIA (PROPOSTA) -					
Pré-requisitos	Zona Bioclimática	ZB3			
	Ambiente é Condicionado?	Sim			
	U parede		[W/m ² K]		
	U cobertura		[W/m ² K]		
	α parede	0,4	[ad]		
α cobertura	0,4	[ad]			
Dados de Projeto	Ape (Área de projeção do edif.)	3431,72	[m ²]		
	Atot (Área piso total)	6828,33	[m ²]		
	Aenv (Área de envoltória)	3240,00	[m ²]		
	Vtot (Volume total)	20590,30	[m ³]		
	FA (Fator de altura)	0,50	[ad]		
	FF (Fator de Forma)	0,16	[ad]		
	PAFt (Perc. AberT. Fach. Total)	0,64	[ad]		
	FS (Fator Solar)	0,35	[ad]		
	AVS (Ang. Vertical Sombreamento)	45,00	[°]		
	AHS (Ang. Horizontal Sombreamento)	45,00	[°]		
Resultados	Icmax	59,20882	[ad]		
	Icmin	32,52142	[ad]		
	i	6,67185	[ad]		
	Ic _{env}	41,72602	[ad]		
	Etiqueta (pré-requisitos)	C			
Eficiência	A	B	C	D	E
Lim min	-	39,20	45,88	52,55	59,22
Lim max	39,19	45,87	52,54	59,21	-
Etiqueta Parcial Envoltória			C		

Figura 2. Síntese dos resultados para etiquetagem da envoltória real e proposta.

3.2 Etiquetagem do Sistema de Iluminação

O sistema de iluminação do Centro Administrativo é basicamente composto de lâmpadas fluorescentes compactas de 32 W. Apesar da utilização de lâmpadas eficientes, o projeto do sistema não atende a nenhum dos pré-requisitos definido pelo Inmetro (2009), ou seja, não apresenta divisão dos circuitos ou desligamento automático do sistema, nem mesmo integração entre sistemas de iluminação natural e artificial. Assim, independente da densidade de potência de iluminação, a classificação máxima em termos de eficiência do sistema está limitada a nível D.

A avaliação da densidade de potência de iluminação em 1,71 W/m².100 lux permite a classificação da eficiência do sistema de iluminação em nível B. Assim, a eficiência do sistema é prejudicada pelo não atendimento aos pré-requisitos. Propõe-se para incremento da eficiência energética do sistema de iluminação a divisão dos circuitos que permita a integração entre iluminação natural e artificial. Dessa forma, o nível de eficiência energética do sistema será nível B. Na Figura 3 apresenta-se uma síntese dos resultados obtidos para o sistema de iluminação a partir do método prescritivo, tanto para o sistema de iluminação atual quanto para o sistema de iluminação proposto.

- SISTEMA DE ILUMINAÇÃO REAL -					- SISTEMA DE ILUMINAÇÃO PROPOSTO -					
Pré-requisitos	Divisão dos circuitos	Não			Pré-requisitos	Divisão dos circuitos	Sim			
	Contribuição da Luz Natural	Não				Contribuição da Luz Natural	Sim			
	Desligamento automático	Não				Desligamento automático	Não			
Dados de Projeto	N (Número de lâmpadas)	1.620	[un]		Dados de Projeto	N (Número de lâmpadas)	1.620	[un]		
	K (Índice do ambiente)	3,70	[ad]			K (Índice do ambiente)	3,10	[ad]		
	Ep (Iluminância do projeto)	750	[lux]			Ep (Iluminância do projeto)	750	[lux]		
	Fu (Fator de utilização)	0,72	[ad]			Fu (Fator de utilização)	0,72	[ad]		
	Fd (Fator de depreciação)	0,80	[ad]			Fd (Fator de depreciação)	0,85	[ad]		
Resultados	Ei (iluminância inicial)	839	[lux]		Resultados	Ei (iluminância inicial)	882	[lux]		
	Ef (iluminância final)	671	[lux]			Ef (iluminância final)	750	[lux]		
	DPIRL (Densidade de potência de iluminação)	1,71	[W/m²/100 lux]			DPIRL (Densidade de potência de iluminação)	1,75	[W/m²/100 lux]		
	Etiqueta (pré-requisitos)	D				Etiqueta (pré-requisitos)	B			
Eficiência	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
Lim. max.	1,74	2,19	2,37	3,05	-	1,74	2,19	2,37	3,05	-
Etiqueta Parcial Iluminação					Etiqueta Parcial Iluminação					
D					B					

Figura 3. Síntese dos resultados para etiquetagem do sistema de iluminação real e proposto.

3.3 Etiquetagem do Sistema de Condicionamento de Ar

O sistema de condicionamento de ar do Centro Administrativo cumpre com uma das principais recomendações do Inmetro (2009) que refere-se a utilização de sistema de ar central. Entretanto, não cumpre alguns pré-requisitos imprescindíveis para nível A. Ou seja, o sistema não apresenta soluções de controle de temperatura por zona ou automação, bem como não permite o controle e dimensionamento do sistema de ventilação. Acrescenta-se a isso ainda que não são utilizados dispositivos para recuperação de calor do sistema. Assim, apesar do sistema de condicionamento de ar apresentar COP compatível com nível A, ou seja, superior a 3,1 o não atendimento a tais pré-requisitos impõe ao sistema uma etiqueta de eficiência nível B. Na Fig.(4) apresenta-se uma síntese dos resultados para etiquetagem do sistema de condicionamento de ar.

- SISTEMA DE AR CONDICIONADO REAL -					
Pré-requisitos	COP mínimo do resfriador	3,10	[ad]		
	Desempenho Torres de Resfriamento	≥ 1,7	[l/s kW]		
	COP condensador	≥ 69	[ad]		
	Cálculo carga térmica ?	Sim			
	Controle de Temperatura por Zona ?	Sim			
	Automação ?	Não			
	Isolamento de zonas ?	Não			
	Controle e dimens. do sistema ventilação ?	Não			
	Recuperador de calor ?	Não			
	Controle e dimens. do sistema hidráulico ?	Sim			
	Equipamentos de rejeição de calor ?	Sim			
Dados de Projeto	COP do resfriador	3,40	[ad]		
	Desempenho Torres de Resfriamento		[l/s kW]		
	COP do condensador		[ad]		
Resultados	COP do resfriador	A			
	Desempenho Torres de Resfriamento	A			
	COP do condensador	A			
	Etiqueta (pré-requisitos)	B			
Eficiência	A	B	C	D	E
Etiqueta Parcial Ar-Condicionado					
B					

Figura 4. Síntese dos resultados para etiquetagem do sistema de condicionamento de ar.

3.4 Etiquetagem completa do edifício

Pelo método prescritivo, a composição das etiquetas parciais da envoltória nível E, do sistema de iluminação nível D e do sistema de condicionamento de ar nível B, permitem a quantificação da pontuação final em 2 equivalente a etiqueta completa do edifício em nível C. As alterações propostas na envoltória e nos sistema de iluminação permitem sua reclassificação em nível C e B, respectivamente. Temos assim a possibilidade de melhoria do nível de eficiência energética do edifício completo, atingindo uma pontuação final igual a 4, equivalente a nível B.

A avaliação da edificação completa pelo método prescritivo permite a determinação de estratégias para incremento do nível de eficiência energética sem, no entanto, permitir uma análise de viabilidade econômica da implantação das soluções propostas. Nesse caso, os resultados obtidos pelo método de simulação computacional apresentam-se como uma alternativa para verificação do tempo de retorno de investimentos, além permitir a confirmação dos resultados obtidos pelo método prescritivo.

O modelo do Centro Administrativo no software DesignBuilder apresenta dez zonas térmicas, distribuídas em dois pavimentos, conforme apresentado na Figura 5. Todas as zonas apresentam sistema de ar condicionado com volume constante (CAV), exceto a zona 7, que apresenta sistema de ar condicionado com volume variável (VAV) e a zona 9, que se utiliza de sistemas passivos de condicionamento de ar. Além das diferenças em termos de sistemas de condicionamento de ar, cada zona térmica também apresenta um perfil diferenciado em termos de ocupação e de iluminação.

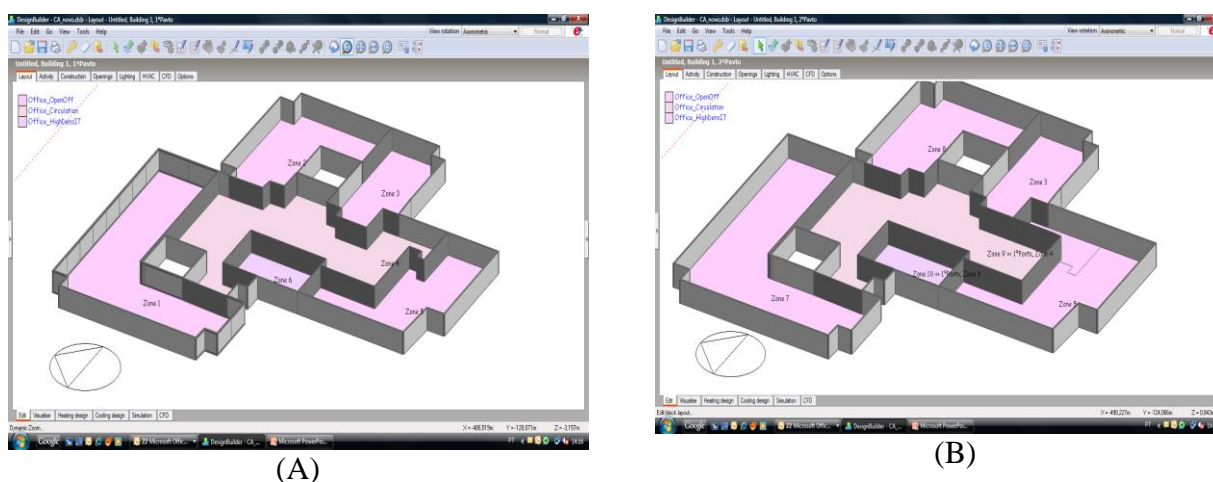


Figura 5. Modelo do Centro Administrativo no software DesignBuilder
(A) Primeiro Térreo. (B) Pavimento Superior.

A comparação do consumo de energia do edifício real com os resultados obtidos pelo método de simulação utilizando o software DesignBuilder é apresentado na Fig.(6). A diferença entre consumo anual da edificação real e do modelo computacional é inferior de 5%, concluindo-se a etapa de validação do modelo computacional.

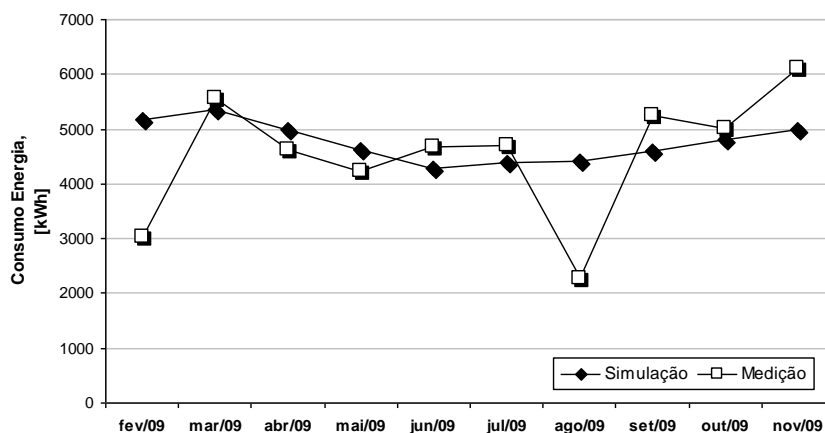


Figura 6. Validação do modelo computacional do Centro Administrativo no software DesignBuilder

Na Figura 7 apresenta-se a comparação do consumo de energia do edifício real com edifícios de referência para cada um dos níveis de eficiência energética. Assim, permite a classificação do edifício completo em nível C, resultado similar àquele obtido pelo método prescritivo. O incremento da eficiência energética da envoltória através da utilização de dispositivos de sombreamento permite a redução do consumo de energia anual em 18%, com uma estimativa de tempo de retorno do investimento (*simple pay-back*) de 13 anos. Assim, a envoltória teria etiqueta nível C, enquanto o edifício completo atingiria níveis de eficiência compatíveis com nível B.

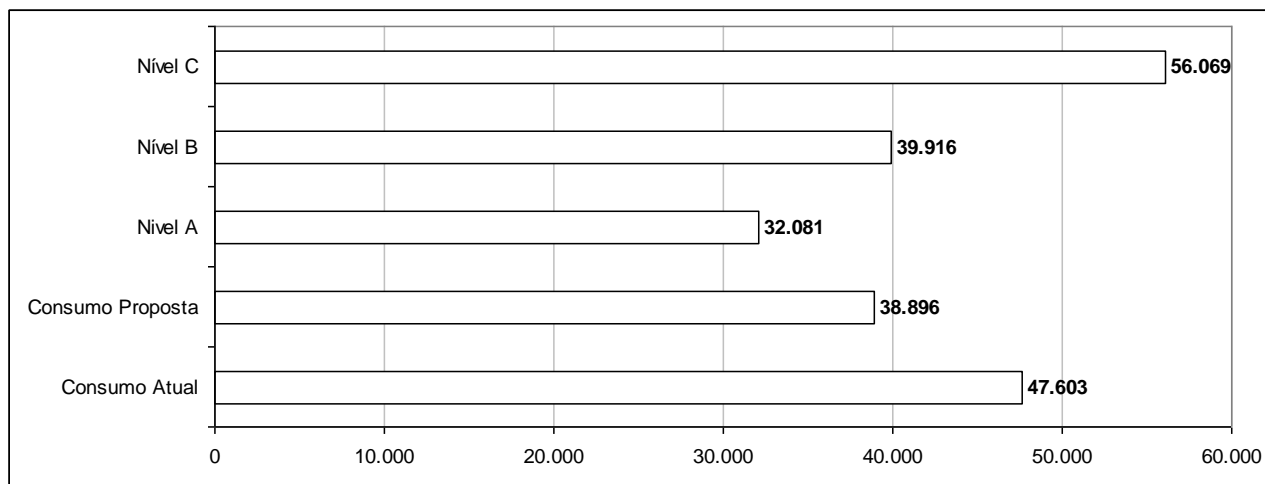


Figura 7. Consumo de energia anual para edificação atual (sem brise) e proposta de instalação de dispositivos de proteção solar às áreas envidraçadas comparados aos limites de consumo por nível de eficiência energética.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram apresentados os procedimentos de uma auditoria energética para fins de etiquetagem da eficiência energética de edificações comerciais. Para tanto, foi realizado o estudo de caso de um centro administrativo de uma empresa localizada em Belo Horizonte. A envoltória apresenta-se como um dos fatores determinantes no elevado consumo de energia dessa edificação. A utilização de elevados percentuais de abertura na fachada, sem a adoção de dispositivos para sombreamento, contribui para a obtenção de indicador de consumo elevado, equivalente a etiqueta nível E. No caso do sistema de iluminação, a inexistência de integração entre iluminação natural e artificial, associada à ausência de dispositivos para controle manual de acionamento de iluminação e sensores de desligamento automático limitam a etiqueta do sistema de iluminação a nível D. A avaliação da densidade de potência de iluminação permitiu a classificação da etiqueta do sistema de iluminação em nível D. Apesar do sistema de ar condicionado atender ao coeficiente de performance mínimo requerido para a categoria A, o sistema não atende a todos os pré-requisitos. Assim, temos a classificação da etiqueta do sistema de condicionamento de ar em nível B. A composição das etiquetas parciais de envoltória, iluminação e ar condicionado permite a classificação da ENCE do edifício completo em nível C. A alternativa de instalação de brises nas fachadas permite a redução do consumo de energia em cerca de 20%, bem como a reclassificação da etiqueta parcial da envoltória para nível C e a ENCE do edifício completo para nível B.

5. AGRADECIMENTOS

Às agências de fomento CAPES, CNPq e FAPEMIG e ao CEFET-MG pelo suporte financeiro.

6. REFERÊNCIAS

- ASHRAE, 2004. "Standard 55. Thermal environment conditions for human occupancy". American Society of Heating, Ventilating and Air-conditioning Engineers. ASHRAE, Atlanta.
- INMETRO, 2009. "Regulamento técnico da qualidade para eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos". Disponível em www.labeee.ufsc.br < Acesso em 15 de outubro de 2009 >
- Krarti, M. 2000, "Energy Audit of Building Systems: An Engineering Approach", M., CRC Press, Bota Raton, FL, 252p.
- Thuman, A. 1991, "Handbook of Energy Audits", Fairmont Pres, 3rd Edition.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

APPLICATION OF BRAZILIAN METHODOLOGY FOR EVALUATION OF BUILDING ENERGY EFFICIENCY IN ADMINISTRATIVE CENTER OF INDUSTRIAL AREA

Camila Soares Lana da Silva, camilaslana@hotmail.com¹

Marcela Álvares Maciel, marcela.alvares.maciel@hotmail.com¹

Frederico Romagnoli Silveira Lima, fredrsl@des.cefetmg.br¹

¹Federal Center of Technological Education of Minas Gerais Educação, CEFET-MG, Amazonas Avenue, nº7675. Nova Gameleira District. Belo Horizonte, MG.

Abstract: *This paper shows the results of energy audit in commercial building situated in Belo Horizonte. The methodology involves the application of the procedures of Quality Technical Regulation for Energy Efficiency in Commercial, Services and Public Buildings (RTQ-C). The energy audit contemplates envelope, illumination and air-conditioning systems. The most important results are the complete energy efficiency classification for the building, level C. For energy efficiency purposes, this paper also shows the results of energy consumption in envelope with brise soleil. In this case, there is a reduction of 20% in energy consumption and the energy classification for the building assumes level B.*

Keywords: *Audit Energy, Energy Efficiency, Green Building.*