



COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS PRESCRITIVO E DE SIMULAÇÃO DO RTQ-C A PARTIR DE DADOS REAIS DE CONSUMO E OCUPAÇÃO

Ana Carolina de Oliveira Veloso (1); Roberta Vieira Gonçalves de Souza (2); Ricardo Nicolau Nassar Koury (3)

(1) Arquiteta, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, acoveloso@gmail.com

(2) Dra, Professora do Departamento de Tecnologia da Escola de Arquitetura, robertavgs2@gmail.com

(3) PhD, Professor do Departamento da Engenharia Mecânica, koury@demec.ufmg.br

Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, Tel.: (31) 3409-8825

RESUMO

O RTQ-C, Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais de Serviços e Públicos, foi lançado em 2009 no Brasil. No entanto, quatro anos após a sua implementação, há ainda poucos dados que permitam uma avaliação dos métodos da etiqueta PBE Edifica (Programa Brasileiro de Etiquetagem) frente ao consumo real de edifícios etiquetados. O objetivo desse artigo é analisar variações que podem ocorrer na classificação da etiqueta PBE Edifica aplicando-se diferentes métodos – simulação e prescritivo. Para tal foi usado um edifício real, que recebeu em 2011 a etiqueta PBE Edifica para edifícios Comerciais de Serviços e Públicos pelo método prescritivo da versão 2009 do RTQ-C. Para cumprir estes objetivos, esse artigo dividido em 2 etapas, traz na primeira uma avaliação das diferenças na classificação do edifício pelo método de simulação computacional proposto pelo RTQ-C em função da variação de padrões de uso. Para tal, comparam-se as classificações obtidas por 3 padrões de uso: (a) definido em projeto pelo projetista do sistema de condicionamento de ar; (b) *schedule* pré-definido pelo programa de simulação para a tipologia em análise; (c) *schedule* desenvolvido a partir dos horários de trabalho dos servidores do edifício. Na segunda etapa, aplicou-se o método prescritivo revisado para a versão de 2010 do Regulamento e discutiu-se a influência dos pré-requisitos estabelecidos no método no consumo de energia. As diferenças apresentadas no consumo de energia simulado em função dos variados padrões de ocupação estabelecidos foram significativas na classificação final pelo RTQ-C, principalmente na comparação com dados reais. Notou-se ainda que a variação de dados relativos aos pré-requisitos de envoltória apresentou influência mínima no consumo final da edificação não alterando, pelo método de simulação, a classificação do edifício ao contrário do que estabelece o método prescritivo.

Palavras-chave: simulação computacional, consumo de energia, RTQ-C.

ABSTRACT

The RTQ-C, Technical Regulation of Energy Efficiency of Commercial, Service and Public Buildings was released in Brazil in 2009. However, four years after its implementation, there is few data to allow the evaluation of the prescriptive and simulation methods of the Regulation relating the building classification and its energy consumption. Thus, this paper aims to analyse classification differences that may occur in the application of the simulation and of the prescriptive methods proposed by the Regulation. For this a real building was used, which in 2011 received the PBE building label to Commercial, Public and Services buildings by the 2009 version of RTQ-C's prescriptive method. The paper is therefore divided into two parts, and discusses at first, differences obtained in the building classification by computer simulation, proposed by RTQ-C, as a function of the schedules assumed. For this purpose, the classifications achieved by three different schedules were compared: (a) a schedule defined in the design stage by the air conditioning system designer; (b) a schedule pre-defined by the simulation program for the building typology; (c) a schedule developed from the building occupancy data. In the second part, the influence of the envelope pre-requirements on the energy consumption was considered. The distinctions presented on the energy consumption as a function of varying schedules were significant in the final classification by RTQ-C, while

when varying the prerequisites values, minimal differences in the building electric energy consumption were obtained.

Keywords: computer simulation, energy consumption, RTQ-C.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Geller (2003) um futuro sustentável no que se refere ao uso de energia é possível por meio de processos mais eficientes de uso. De acordo com o autor, com a melhoria da eficiência, haveria uma redução no incremento do consumo de energético e, conseqüentemente, poderia se obter uma diminuição da demanda de investimentos em novas fontes de geração, além de expressiva melhora nos serviços de abastecimento para as famílias e para as nações mais carentes.

No que se referem ao uso mais eficiente da energia, as edificações podem dar uma importante contribuição, uma vez que respondem por uma parcela significativa do consumo de energia elétrica e da produção de resíduos de construção, além de serem grandes consumidoras de matéria prima. De acordo com o Balanço Energético Nacional - BEN (BEN, 2013) a demanda energética no país demonstra uma considerável concentração no consumo ligado ao parque edificado principalmente nos setores comerciais, residenciais e públicos, que agrupados representam 46,70% do consumo do total.

A partir disso, uma nova demanda por imóveis eficientes vêm modificando as práticas da construção civil, já que estes edifícios vêm ganhando conceituação no mercado, contribuindo para com a elaboração de edificações mais eficientes energeticamente. Melo (2012) ressalta a importância da integração dos projetos arquitetônicos com os projetos de sistema de condicionamento de ar, iluminação e equipamentos para elevar o desempenho energético destas edificações de forma sustentável.

O consumo energético é função de variáveis que utilizam diretamente a energia como os sistemas de iluminação artificial, de equipamentos e de condicionamento de ar, e também de outros elementos que interferem nestes sistemas, como partes da envoltória da edificação, bem como a forma de uso dos equipamentos consumidores de energia (CARLO, 2008). Assim, em julho de 2009 foi lançado no Brasil, o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos - RTQ-C. O mesmo foi revisto em 17 de setembro de 2010 (Portaria nº 372 do INMETRO) e em 2012 recebeu uma portaria complementar (portaria 17 de 16 de janeiro de 2012). Esse Regulamento tem como objetivo “criar condições para a etiquetagem do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos” (BRASIL, 2010).

A etiqueta de eficiência energética pode ser fornecida para o edifício completo ou parte dele¹ e pode ser obtida pelo método prescritivo ou pelo método de simulação. O primeiro utiliza pré-requisitos e equações preditivas que irão resultar em parâmetros que devem alcançar valores determinados para cada nível da classificação. Já o segundo utiliza um programa computacional de simulação termo-energética, que, necessariamente, modele as variações horárias de todas as cargas térmicas da edificação subdivididas em multizonas, considerando os efeitos de inércia térmica e, além disso, que tenha capacidade de estimar as estratégias bioclimáticas adotadas no projeto.

Segundo Carlo e Lamberts (2010), o método de simulação é aquele mais completo para qualquer análise do desempenho termo-energético do edifício, proporcionando flexibilidade nas opções que visam à racionalização do consumo de energia, o que inclui o processo de projeto. Mendes *et al.* (2005) afirmam que com os programas de simulação, pode-se avaliar o desempenho térmico e energético de edificações para diferentes alternativas de projeto, sejam elas opções do desenho arquitetônico, componentes construtivos, sistemas de iluminação ou de condicionamento de ar. Assim, com a simulação computacional, pode-se estimar o consumo de energia, o seu custo e o impacto ambiental provocado pelas diversas alternativas de projeto antes de sua execução.

Complementarmente, Wang *et al.* (2012) e Fumo *et al.* (2009) afirmam que a previsão de consumo de energia do edifício é uma tarefa complicada, pois se necessita do levantamento das características da construção, como os componentes da envoltória, dos seus sistemas de iluminação, e de HVAC² e os horários de uso da edificação. Ademais, afirmam que o comportamento dinâmico das condições do clima, da implantação do edifício e o impacto das características construtivas, requerem a utilização da simulação computacional para facilitar a concepção e operação e assim, proporcionar um melhor desempenho do edifício. Os autores ressaltam também que os desvios entre o consumo energético edifício previsto e aquele

¹ Pode-se considerar somente a envoltória ou esta conjugada com os sistemas de iluminação e/ou condicionamento de ar.

² Sigla internacional referente à *Heating, ventilation, and air conditioning* (aquecimento, ventilação e ar condicionado).

real, podem ser atribuídos a quatro incertezas: a precisão da construção do modelo da simulação; a exatidão dos parâmetros de entrada que descrevem os componentes da construção e os sistemas; as condições reais do clima; e o uso e operação real da edificação. Uma estimativa do grau de incerteza de cada fator é importante para melhorar o desempenho dos modelos de simulação e ajudar o simulador e o cliente a terem uma melhor estimativa do consumo da edificação.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo consiste na análise das diferenças de classificação segundo o método de simulação proposto no RTQ-C, de um edifício existente e já etiquetado em 2011 pelo PBE Edifica, em função da variação de padrões de uso e ocupação. Também se discute a influência dos pré-requisitos da envoltória na análise do consumo de energia da edificação, obtido por meio de simulação computacional.

3. MÉTODO

Este trabalho avalia a influência dos parâmetros de uso e ocupação e dos pré-requisitos no consumo de energia de um edifício comercial. Essa análise será realizada em três fases: avaliação da influência dos parâmetros de uso e ocupação do edifício no consumo de energia e a sua classificação pelo método de simulação da etiqueta do PBE Edifica; comparação da classificação final da edificação do método prescritivo e de simulação; análise e discussão dos limites da transmitância e absorvância da cobertura e paredes no consumo de energia da edificação. Esta metodologia será detalhada a seguir.

3.1. Definição do edifício base

O edifício escolhido para a análise foi um *call center* localizado na cidade de Belo Horizonte com área de 5.976 m², 02 andares de pavimentos corridos e um estacionamento na cobertura. Em 2011, a edificação recebeu a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia - ENCE na fase de projeto de acordo com o Regulamento publicado em 2009. Foram avaliados o desempenho da envoltória, do sistema de iluminação artificial e do condicionamento de ar, tendo o edifício também recebido bonificação por economia de água. A classificação, obtida pelo método prescritivo, atingiu o nível A³, com pontuação final de 5,60 pontos (envoltória – A; iluminação- B; condicionamento de ar – A e 1 ponto de bonificação por economia de água). A imagem da edificação e a etiqueta recebida são apresentadas nas Figuras 1 e 2 abaixo.



Figura 1 - Imagem do edifício construído

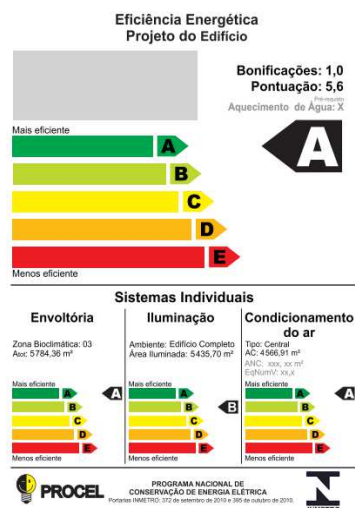


Figura 2 - ENCE de Projeto do Edifício

3.2. Levantamento das características da edificação

O edifício base é composto por 02 andares de pavimentos subdivididos com divisórias de piso ao teto. No primeiro andar têm-se recepção, banheiros, salas de reunião, salas de treinamento, salas de multiuso, manutenção, sala de atendimento e casa de máquinas. Já no segundo andar têm-se salas de atendimento, escritórios, banheiros, casa de máquinas e depósitos. A edificação foi simulada no programa *Energy Plus*, versão 7.2 e esta foi dividida em 16 zonas térmicas, sendo onze zonas no primeiro pavimento e cinco zonas

³ Essa classificação varia de A (mais eficiente) a E (menos eficiente), sendo que para a edificação receber o nível A ela deverá obter uma nota acima de 4,50 pontos.

no segundo. Foi utilizado nas simulações o arquivo climático TRY (*Typical Reference Year*) da cidade de Belo Horizonte, desenvolvido por Pereira (2004), o qual se baseia nos dados da estação meteorológica convencional do INMET/5° DISMEA.

As aberturas da edificação estão posicionadas nas fachadas norte e sul e possuem uma área total de 165 m². O vidro utilizado nessas aberturas foi o *Cool Lite 114 AI 4mm* e suas características são apresentadas na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1 – Características do vidro

Transmissão de luz	11%	Trans. energética/ Calor	8%	Absorção	73%
Reflexão de luz Externa	22%	Refl. energética externa	19%	Fator Solar	18%
Reflexão de luz interna	36%	Refl. energética interna	26%	Ganho de Calor (W/m ²)	164
Transmitância térmica (W/m ² K)	2,89	Coeficiente de sombreamento	0,210		

As paredes e as coberturas foram definidas de acordo com as existentes no local. As propriedades térmicas dos materiais utilizados, tais como condutividade térmica, densidade, calor específico e resistência térmica, foram obtidas da norma NBR 15.220 partes 2 e 3 (ABNT, 2005a; 2005b). Já para a obtenção das absorptâncias das paredes e coberturas, foram feitas medições com o espectrofotômetro ALTA - *Refletance Spectrometer* dos materiais utilizados. Destaca-se que os valores médios das transmitâncias e das absorptâncias das paredes e das coberturas atenderam aos pré-requisitos estabelecidos pelo RTQ-C para a envoltória para classificação nível A. A Tabela 2 apresenta os dados de entrada usados para a composição das paredes e coberturas e a média das absorptâncias utilizadas.

Tabela 2 – Características dos materiais utilizados na simulação computacional

	Descrição	Área (m ²)	U (W/m ² K)	α médio
Cobertura	Piso de concreto + Manta Geotextil + Manta Asfáltica + Laje de concreto alveolar + câmara de ar + forro de gesso – espessura total: 22 cm	2935,40	0,85	0,20
Paredes	Reboco + alvenaria de bloco cerâmico + reboco = espessura total: 22cm	4813,32	2,54	0,28

A carga térmica interna da edificação tem um peso importante no consumo de energia, uma vez que a edificação é um *call center* em que trabalham 1.430 pessoas em diversos turnos. O horário de funcionamento da edificação é de 24 horas por dia, 7 dias por semana. O sistema de iluminação é composto por luminárias com lâmpadas de 14W, 20W, 28W e 36W, com uma potência total instalada de 63.300W. Os equipamentos elétricos existentes no local se caracterizam por computadores, equipamentos audiovisuais e elevador, com potência total instalada de 136.042 W.

O sistema de condicionamento de ar instalado no local é do tipo central, com *chiller* composto por compressores do tipo *Scroll* e condensação a ar incorporado. A capacidade do *chiller* é de 82,1 TR⁴, com COP⁵ de 2,82 e o IPLV⁶ de 3,99. A temperatura do *setpoint* de resfriamento é de 24 °C e do aquecimento é de 18 °C.

O *schedule* do ar condicionado estabelece o funcionamento do mesmo 24 horas por dia e o acionamento do condicionamento de ar se dá de acordo com as temperaturas de *set point* estabelecidas pelos projetistas e também com o uso das salas (padrões fornecidos na Figura 3) uma vez que o edifício funciona continuamente.

Com relação ao padrão de uso da edificação, para iluminação, equipamentos e pessoas, foram feitas 3 simulações:

- Primeira – dados do projetista: utilizou-se padrão determinado pelo projetista do sistema de condicionamento de ar para o uso da edificação – dados do projetista (Figura 3-a);
- Segunda – dados do programa de simulação: utilizou-se o *schedule* pré-definido pelo programa de simulação para a tipologia em análise (Figura 3-b);
- Terceira – dados levantados: utilizou-se o *schedule* desenvolvido a partir dos dados de trabalho dos funcionários, estimando-se em função da atividade do funcionário as horas de acionamento do sistema de iluminação e o uso dos equipamentos (Figura 3-c). Os dados de ocupação foram,

⁴ Unidade de medida referente ao Medidor de Refrigeração de tonelagem - *Tonnage Refrigeration Meter*.

⁵ Unidade de medida referente ao Coeficiente de Performance.

⁶ Unidade de medida referente ao Valor de carga parcial integrada - *Integrated Part Load Value*.

portanto, fornecidos pelos administradores do edifício e os de iluminação e uso dos equipamentos estimados em relação à ocupação do edifício.

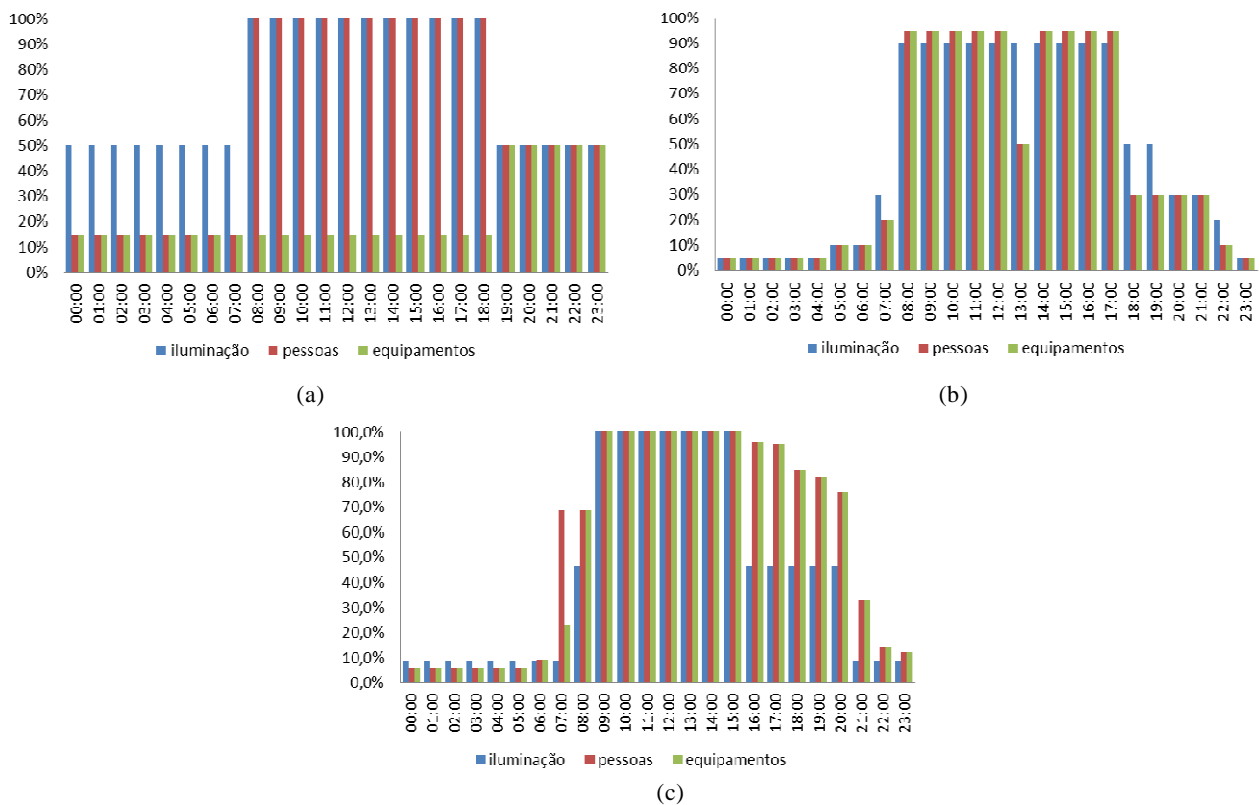


Figura 3 – Padrão de ocupação da edificação (a) *schedule* fornecido pelo projetista; (b) *schedule* fornecido pelo Energy Plus; (c) *schedule* desenvolvido a partir de dados de ocupação fornecidos pela empresa e com estimativa do uso de equipamentos e iluminação a partir da ocupação.

3.3. Classificação PBE Edifica pelo método de simulação

De acordo com o RTQ-C, no método de simulação, deve-se utilizar um programa de simulação termo-energética que modele as variações horárias de todas as cargas térmicas da edificação subdivididas em multizonas, considerando os efeitos de inércia térmica e também que tenha capacidade de simular as estratégias bioclimáticas adotadas no projeto. Os relatórios de uso da energia são utilizados para a análise e para o estabelecimento do nível classificação alcançado.

A avaliação é feita comparando-se o edifício real, de acordo com o projeto proposto, com outro de referência, definido a partir dos pré-requisitos e classificação de sistemas do método prescritivo. Este modelo de referência deve possuir as mesmas características daquele real como: forma do edifício, número de zonas térmicas, padrões de uso e de ocupação e cargas internas de equipamentos. Os parâmetros que são alterados para estabelecer os limites são: percentual de abertura na fachada total (PAFt), pré-requisitos de transmitância térmica das paredes e coberturas (U_{cob} e U_{par}) e absorvâncias de paredes e coberturas (α_{par} , α_{cob}). Assim, de acordo com os Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações, portaria do Inmetro 50 de 2013 (BRASIL, 2013), determina-se que consumo anual de energia do edifício de referência deve ser comparado com o edifício real e este deve estar de acordo com o nível de eficiência energética que se pretende alcançar. O consumo de energia do edifício proposto deve ser igual ou menor ao consumo daquele de referência para determinado nível de classificação.

Os parâmetros utilizados nos modelos simulados estão em conformidade com as especificações do RTQ-C (BRASIL, 2010). Portanto, tem-se os pré-requisitos da envoltória (U_{cob} , U_{par} , α_{par} , α_{cob}) e seus limites para cada nível; as densidades de potência instalada do sistema de iluminação de acordo com a atividade principal da edificação, no caso atividade de escritório; e as eficiências do sistema de condicionamento de ar conforme o tipo de sistema existente. Os itens ocupação, equipamentos, são iguais tanto no edifício real quanto nos modelos de referência. Esses valores estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Características dos modelos simulados – Edifício Real e Edifício com limites para A, B, C e D

Parâmetro	Edifício Real	Nível A	Nível B	Nível C	Nível D
PAFt	0,06	0,18	0,31	0,44	0,57
U_{par} (W/m ² k)	2,54	3,70	3,70	3,70	3,70
U_{cob} (W/m ² k)	0,80	1,00	1,50	2,00	2,00
α_{par}	0,20	0,5	0,5	0,5	0,5
α_{cob}	0,28	0,5	0,5	0,5	0,5
Equipamentos (W/m ²)	22,76	22,76	22,76	22,76	22,76
Ocupação (pessoas/m ²)	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
Iluminação – Escritório (W/m ²)	10,77	9,7	11,2	12,6	14,1
Eficiência mínima do sistema de condicionamento de ar (COP,W/W)	2,82	2,802	2,802	2,80	2,70
Temp. set point (°C)	18 e 24	18 e 24	18 e 24	18 e 24	18 e 24

Simularam-se os modelos de referência para todos os níveis de classificação de modo a possibilitar a avaliação da diferença do consumo de um nível para outro. Ademais, para comparação e validação dos dados da simulação foram utilizadas as informações de consumo de energia elétrica do edifício real fornecidos pelos administradores do edifício dos meses de dezembro de 2011 a novembro de 2012.

3.4. Avaliação dos pré-requisitos da envoltória

A avaliação das características da envoltória é, em geral, comum em todas as análises acerca da eficiência energética de edificações, uma vez que estas propriedades podem aumentar ou reduzir os ganhos de calor (CARLO, 2008). No método prescritivo, o item envoltória é avaliado pelos pré-requisitos e pelo Indicador de Consumo.

Nesse trabalho são analisadas a influência dos pré-requisitos de envoltória no consumo de energia elétrica da edificação. Tais parâmetros serão investigados por meio de simulação computacional considerando-se somente os limites de transmitância térmica das paredes e coberturas (U_{cob} e U_{par}) e das absorvâncias de paredes e coberturas (α_{par} , α_{cob}).

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1. Consumo da edificação

Nos testes iniciais, fez-se a comparação do consumo anual de energia da edificação, realizada por meio de simulação computacional, com o consumo real da edificação. Os dados de consumo real do edifício foram fornecidos pelos administradores do edifício e são referentes aos meses entre dezembro de 2011 e novembro de 2012, e são apresentados na Figura 4.

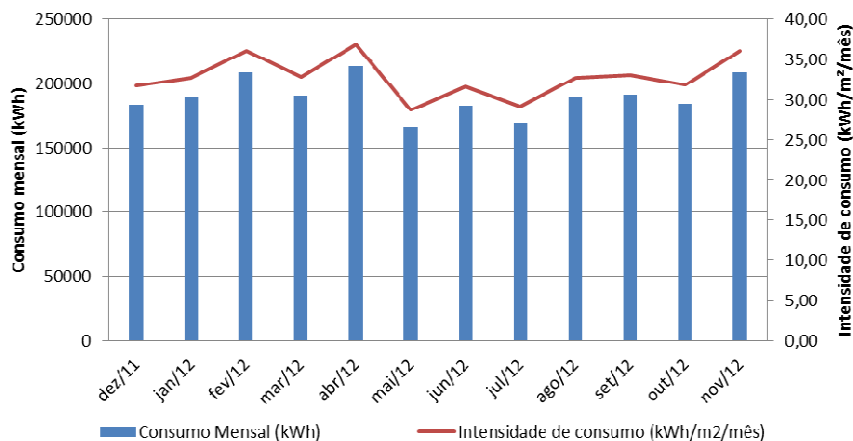


Figura 4 - Consumo de energia medido do edifício

Através da simulação computacional usando a rotina de ocupação levantada, que é considerada a mais próxima ao comportamento real do edifício, verificou-se que aproximadamente 9% do consumo total da edificação é relativo à iluminação, 9% é referente às bombas, 26% são relativos aos equipamentos e 56% é referente ao sistema de condicionamento de ar, como pode ser visto na Figura 5. Verifica-se que o edifício analisado consome, em média, 9% a mais para condicionamento de ar e 13% a menos iluminação artificial do que o consumo típico estabelecido para um edifício comercial padrão apresentado pelo Procel (2007).

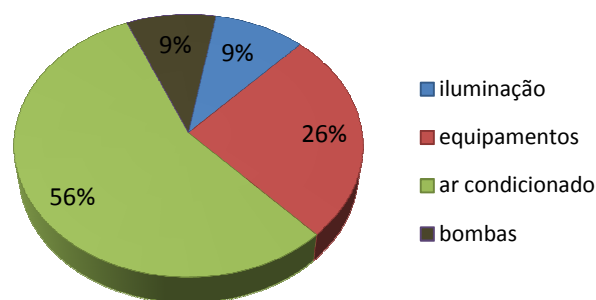
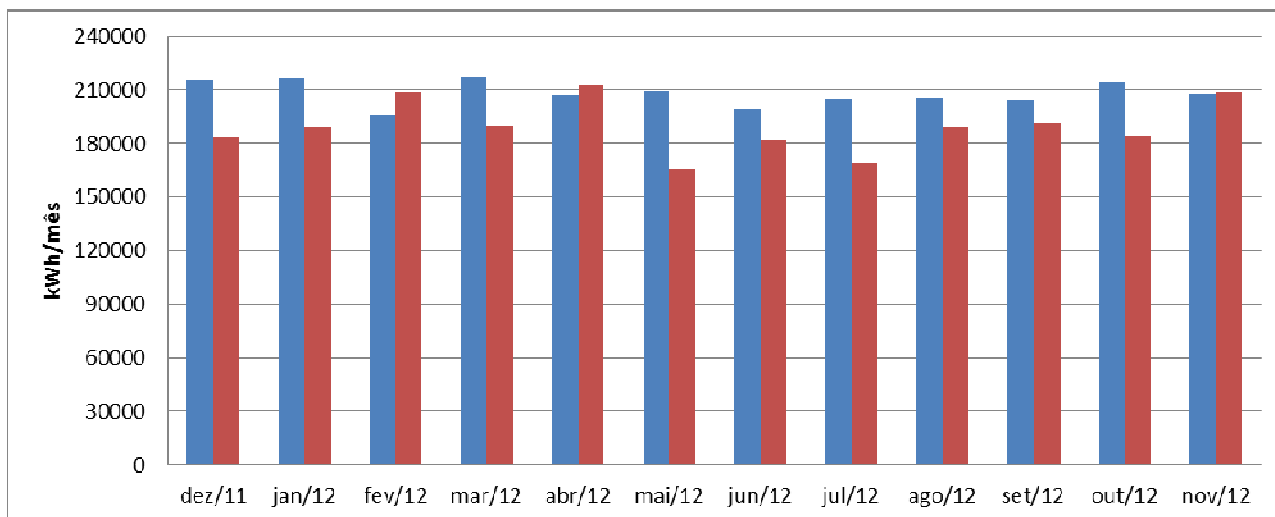


Figura 5 - Consumo desagregado da edificação

Além disso, comparou-se também o consumo de energia apresentado pela simulação obtida com dados fornecidos de ocupação com o consumo apresentado pelas contas de energia elétrica da edificação. As diferenças variaram de -6,60% em fevereiro a mais 20,67% em maio, como pode ser verificado na Figura 6. A variação anual média entre o consumo simulado e o consumo real apresentou uma superestimação de 8,91% do valor simulado em relação ao medido. Essa diferença pode ter sido causada pelas diferenças na rotina assumida, do uso do sistema de iluminação, do sistema de condicionamento de ar de alguns ambientes do edifício e mesmo de diferenças climáticas entre o ano TRY e o real.



	dez/11	jan/12	fev/12	mar/12	abr/12	mai/12	jun/12	jul/12	ago/12	set/12	out/12	nov/12
levantado	215732	216663	195682	217015	207329	209124	199475	205293	206030	204389	214479	207783
real	183400	189700	208600	190400	213500	165900	182700	168700	189700	191100	184100	208600
diferença %	14,99%	12,44%	-6,60%	12,26%	-2,98%	20,67%	8,41%	17,82%	7,93%	6,50%	14,16%	-0,39%
KWh/m²/mês levantado	36,10	36,26	32,74	36,31	34,69	34,99	33,38	34,35	34,48	34,20	35,89	34,77
KWh/m²/mês real	30,69	31,74	34,91	31,86	35,73	27,76	30,57	28,23	31,74	31,98	30,81	34,91

Figura 6 - Consumo mensal da edificação simulada e real

Ao analisarem-se as rotinas de uso do edifício apresentadas na Figura 3, pode-se verificar também que os dados de uso utilizados pelo projetista do sistema de condicionamento de ar (a) e os dados do *schedule* apresentados pelo programa de simulação (b) tendem a sobrestimar em cerca de 67% o tempo de uso dos equipamentos, do sistema de iluminação e do sistema de condicionamento de ar das 19:00 às 6:00 da manhã em relação aos dados levantados do edifício (c).

4.2. Avaliação do consumo em relação ao padrão de uso

Em 2011 a edificação foi submetida ao OI3E (Organismo de Inspeção de Eficiência Energética em Edifícios da Fundação CERTI) para emissão da etiqueta de projeto de acordo com o método prescritivo. O edifício

atingiu a classificação geral “A”. Para esse trabalho, atualizou-se a etiqueta para o regulamento de 2010 e avaliou-se também o edifício pelo método de simulação, considerando todos os limites estabelecidos pelo RTQ-C, conforme apresentado na Tabela 3. Os dados de rotina da edificação utilizados para essa classificação foram os levantados para a edificação. A classificação atingida foi a de nível A, como pode ser verificado na Figura 7 abaixo.

O que também pode ser verificado nessa simulação é a diferença de consumo entre os diversos níveis em relação ao máximo (“A”), considerado o mais eficiente. Os resultados demonstraram pequenas diferenças e estas variaram de 1,55% de B para A, de 4,00% de C para A e de 12,16% de D para A. A diferença de consumo entre o edifício real e consumo simulado com dados levantados foi de 8,91%, como demonstrado anteriormente na Figura 6.

Caso a rotina utilizada na simulação fosse a prevista pelos projetistas, conforme apresentado na Figura 3, a classificação da edificação passaria a ser B (Figura 8) e haveria um consumo 19,45% superior ao real. Neste caso também, a diferença entre o nível A e os demais níveis variam de 2,31% a 10,91%, com uma variação maior de B para A e menor de D para A em relação à simulação anterior.

Quando essa rotina é substituída pela rotina de um edifício de escritórios padrão existente como exemplo no programa *Energy Plus*, o consumo de energia da edificação diminui em relação à simulação anterior, mas ainda se conserva a classificação no RTQ-C como nível B, como pode ser verificado na Figura 9. O consumo da edificação tem seu valor superestimado em 10,29% em relação ao edifício real. Já a diferença entre os níveis nesse caso, foi menor que no caso anterior em que a rotina havia sido estabelecida pelos projetistas, mas ainda se conserva com pequenas diferenças de consumo entre um nível e outro.

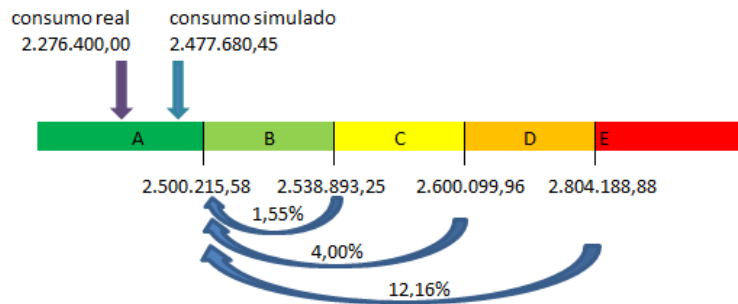


Figura 7 - Classificação da edificação de acordo com o RTQ-C – método de simulação com rotina de ocupação levantados no local

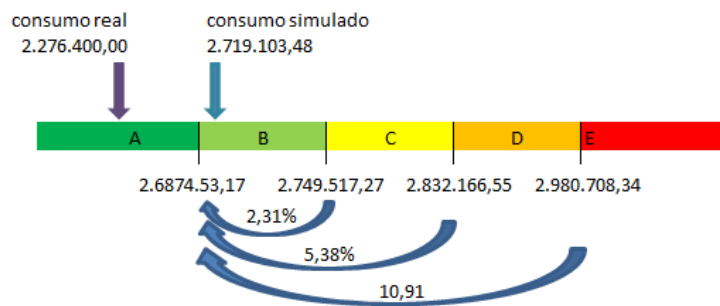


Figura 8 - Classificação da edificação de acordo com o RTQ-C – método de simulação com rotina estabelecida pelos projetistas

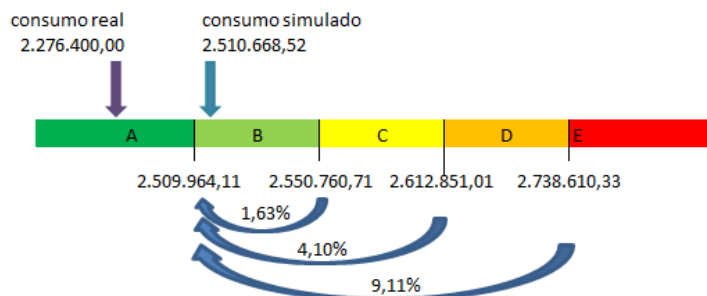


Figura 9 - Classificação da edificação de acordo com o RTQ-C – método de simulação com rotina padrão do Energy Plus

4.3. Análise dos pré-requisitos da cobertura da edificação

Pelo método prescritivo do RTQ-C, no item envoltória, o edifício será classificado em função do atendimento a pré-requisitos específicos e da classificação obtida pela aplicação do Indicador de Consumo. Com a finalidade de verificar o impacto dos pré-requisitos da envoltória no consumo de energia da edificação, utilizou-se da simulação computacional. Com isso, modificaram-se individualmente os parâmetros estabelecidos nos pré-requisitos de absorvância da cobertura e das paredes, transmitância da cobertura e das paredes e por último, alteraram-se todos os pré-requisitos de forma conjunta. Os resultados obtidos nas simulações estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Consumo de energia elétrica obtido a partir da simulação de dados de ocupação da edificação e pela alteração de parâmetros dos pré-requisitos da envoltória

	Edifício com dados levantados	Parâmetro alterado do edifício				
U_{cob} (W/m ² K)	U=0,80	x	x	U=2,40	x	U=2,40
α_{cob}	$\alpha=0,20$	$\alpha=0,80$	x	x	x	$\alpha=0,80$
U_{par} (W/m ² K)	U=2,54	x	x	x	U=3,72	U=3,72
α_{par}	$\alpha=0,28$	x	$\alpha=0,80$	x	x	$\alpha=0,80$
Class. método prescritivo envoltória	A	C	B	E	B	E
Class. método prescritivo sem bonificações	A	B	B	C	B	C
Consumo do edifício (kWh/ano)	2.477.680	2.524.973	2.531.729	2.472.539	2.498.886	2.509.666
Class. met. simulação sem bonificações	A	B	B	A	A	B

Verificou-se nesses testes que a diferença quando se altera a absorvância da cobertura para 0,80, o consumo aumentou 1,91% em relação à edificação real, mas quando modificou somente a absorvância da parede para 0,80, essa diferença de consumo foi maior, chegando a uma diferença de 2,18%. No caso da cobertura, a penalização do pré-requisito se mostrou mais pesada que o verificado na simulação, uma vez que com o não atendimento dos limites estabelecidos para transmitância da cobertura, no método prescritivo a edificação estabelece uma classificação máxima final nível C e na simulação o edifício manteve uma classificação nível A. Já com as alterações nos valores de absorvância, obteve-se a mesma classificação final no método prescritivo e no método de simulação.

Com relação às paredes, com a mudança dos limites de transmitância e absorvância, a classificação final da edificação também coincidiu, se conservando na classificação B.

Quando se alterou somente a transmitância da cobertura, o consumo da edificação diminuiu, atingindo um consumo 0,21% menor que o real. O contrário aconteceu quando somente a transmitância da parede foi alterada, chegando a um consumo 0,86% maior que o obtido com dados de ocupação reais. Quando se alteraram todos os itens, também houve um aumento do consumo de energia elétrica de 1,29%.

5. CONCLUSÕES

Nesse trabalho foram comparados os resultados do consumo de energia elétrica de um edifício de *call center*, a partir de dados de ocupação e de contas de energia elétrica fornecidos pelos administradores do mesmo, com o consumo estimado por meio da simulação computacional. Usando-se dados de horários de trabalho dos servidores da edificação para estimar-se as rotinas de uso, obteve-se uma diferença entre o consumo simulado e o consumo real do edifício de 8,91%. Essa variação provavelmente é causada por eventuais diferenças no comportamento dos usuários e por diferenças dos dados do arquivo climático em relação ao comportamento do clima no ano de levantamento de dados de consumo de energia elétrica.

Já quando se avaliou a classificação da edificação pelo método de simulação do RTQ-C, a edificação obteve a mesma classificação final que a obtida pelo método prescritivo usando-se a versão 2010 do Regulamento. Obteve-se nível “A” na etiqueta global, o que indica uma boa correlação entre os dois métodos neste caso. A partir dessa primeira análise, foram feitas alterações nas rotinas de uso da edificação a partir do *schedule* fornecido pelo projetista do sistema de condicionamento de ar e do *schedule* fornecido pelo programa de simulação para a tipologia em estudo. Estas rotinas fizeram com que o consumo aumentasse em 19,45% no caso da rotina fornecida pelo projetista do sistema de condicionamento de ar e 10,29% com a rotina fornecida pelo programa de simulação para a tipologia. Estas diferenças de consumo levaram a edificação a obter uma classificação geral nível “B”, o que demonstra claramente a importância das rotinas assumidas pelo simulador na obtenção da classificação da edificação.

Em relação aos *steps* entre os níveis para a classificação junto ao RTQ-C, usando-se os modelos de referência nos três casos estudados, os valores de consumo obtidos ficaram bastante próximos uns aos outros. Acredita-se que estes valores apresentaram diferenças mínimas entre um nível e outro em função da grande carga interna de equipamentos instalados na edificação, uma vez que nessa edificação existem 9 m²/pessoa e o padrão para escritórios é de 5,4 m²/pessoa nas áreas de uso frequente. No entanto, indica-se aqui a verificação em simulações posteriores da adequação dos *steps* encontrados para edifícios de alta densidade de carga interna.

A partir deste estudo pode-se concluir que o papel do profissional que irá simular a edificação é de extrema importância, pois com a escolha de uma rotina de uso mais próxima à da edificação real, ele poderá antever um consumo bastante mais próximo à realidade futura da edificação.

Recomenda-se aqui que, para evitar discrepâncias entre simulações submetidas aos Organismos de Inspeção, algumas rotinas padrão sejam fornecidas pelo RTQ-C para serem usadas quando a edificação não tenha rotinas de uso estabelecidas pelo cliente.

Na avaliação dos pré-requisitos da envoltória, as diferenças de consumo de energia da edificação quando se alteraram os limites foram mínimas usando-se a rotina de uso obtida a partir de dados de horários de trabalho dos servidores da edificação. Ressalta-se ainda que quando se aumentou o valor da transmitância da cobertura, verificou-se diminuição do consumo da edificação. Acredita-se que isso ocorreu porque a edificação consegue perder mais calor durante a noite, fazendo com que o consumo anual diminua. Verifica-se, portanto, que a adequação dos pré-requisitos de envoltória pode, por vezes, ser fortemente dependente do uso do edifício.

As análises realizadas indicam que, no caso da edificação avaliada, o peso dos pré-requisitos na classificação da envoltória pode estar superestimado no método prescritivo. Sugere-se, portanto, que sejam desenvolvidos mais estudos para que o peso dos pré-requisitos de envoltória do RTQ-C seja reanalisado e que seja buscada uma metodologia semelhante à estabelecida no RTQ-R (Regulamento Técnico da Qualidade para o nível de Eficiência dos Edifícios Residenciais), em que se conjugam absorvâncias e transmitâncias para a definição dos limites dos níveis de classificação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005a.
- _____. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005b.
- BEN - **Balanco Energético Nacional de 2012**. Disponível em: < https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2012.pdf > acesso em: 13/04/2013.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Portaria nº 372, de 17 de setembro de 2010. **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C)**. Brasília, DF, 2010.
- _____. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Portaria no 50, de 1 de fevereiro de 2013. **Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações**. Brasília, DF, 2013.
- CARLO, J. C. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envoltório de Edificações Não-Residenciais**. 2008. 196 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
- CARLO, J.C., LAMBERTS, R. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 2: método de simulação. **Ambiente Construído**. Porto Alegre. V.10, n.2. p 27-40, 2010.
- FUMO, N., MAGO, P. LUCK, R. Methodology to estimate building energy consumption using EnergyPlus Benchmark Models. **Energy and Buildings**. V42, p2331-2337, 2010.
- GELLER, Haward S. **Revolução energética: política para um futuro sustentável**; tradução Maria Vidal Barbosa; revisão técnica Marcio Edgar Schuler. - Rio de Janeiro: Relume Dumará: USAid, 2003. ISBN 85-7316-336-4
- MELO, A.P. **Desenvolvimento de um método para estimar o consumo de energia de edificações comerciais através da aplicação de redes neurais**. 2012. 189f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.
- MENDES, N.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R.; NETO, J. A. B. Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. **Ambiente Construído**. Porto Alegre. V.5,n.4. p 47-68, 2005.
- PEREIRA, Iraci Miranda. **Novas Metodologias para Simulação Energética de Edificações: Estudo de Caso**. Dissertação (Mestrado em Ciências e Técnicas Nucleares do Departamento de Engenharia Nuclear) Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2004.
- PROCEL. 1. **Avaliação do mercado de eficiência energética do Brasil**. Sumário Executivo – Ano Base 2005. 2007.
- WANG, L., MATHEW, P., PANG, X. Uncertainties in energy consumption introduced by building operations and weather for a medium-size office building. **Energy and Building**. V.53 p.152-158, 2012.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos administradores do edifício pelo fornecimento de dados de consumo de energia elétrica e ocupação e à Fapemig pelo apoio financeiro.