XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

AUDITORIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÃO PÚBLICA VISANDO O SELO PROCEL DE ECONOMIA DE ENERGIA EM EDIFICAÇÕES

Jakeline O. Tomazi (1); Letícia J. Rodrigues (2); Paulo S. Schneider (3);
(1) Engenheira de Energia, graduada na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, jakelinetomazi@gmail.com
(2) Doutora, Professora do Departamento de Engenharia Mecânica, leticia.jenisch@gmail.com, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Mecânica, Porto Alegre–RS, 90050-170, Tel.: (51) 3308 3929
(3) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Mecânica, pss@mecanica.ufrgs.br, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Mecânica, Porto Alegre–RS, 90050-170, Tel.: (51) 3308 3929

RESUMO
O presente artigo realiza uma auditoria energética de uma edificação pública visando o Selo Procel Edificações que é obtido após alcançar a classificação A na avaliação completa da edificação compreendendo a envoltória, iluminação e condicionamento de ar na Etiqueta PBE Edifica. A etiqueta evidencia o desempenho energético da edificação, classificada em categorias mais eficientes (A) até menos eficientes (E). Este trabalho verifica a situação energética do prédio da Faculdade de Farmácia da UFRGS localizado em Porto Alegre. São realizadas análises aplicando os métodos de simulação e prescrição seguindo o RTQ-C (Requisitos Técnicos da Qualidade para o nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicos). Na análise por simulação é utilizado o programa *EnergyPlus* que obtém o consumo energético final anual da edificação. Pelos dois métodos de análise, prescritivo e simulação, a edificação apresenta a classificação C na etiqueta PBE. Para obter classificação máxima são avaliadas alterações na iluminação para lâmpada de LED, utilização de película nos vidros, pintura das paredes para cores mais claras e modernização do sistema de condicionamento de ar. A opção que obtém o resultado mais expressivo na economia de energia é a troca da iluminação por LED, pintura nas paredes e aplicação de película nos vidros, obtendo 20% de redução do consumo anual. A melhor análise econômica é a instalação de película seletiva nos vidros, com VPL positivo de R$ 720.973,87, TIR em 25% e tempo de retorno de investimento de 4 anos e 8 meses.
Palavras-chave: Auditoria Energética, Etiquetagem em Edificações, Simulação Energética.

ABSTRACT
This present article brings an approach about the energy auditing in public buildings through software simulations in order to obtain the Procel Buildings Label. This certification can only be obtained achieving an A classification after complete evaluation (envelope, lighting and air conditioning) of the PBE Edifica Label for constructed buildings. This label demonstrates the energy performance of the building and ranks it into more efficient (A) to less efficient (E) categories. This work verifies the energy situation of an edification inside the UFRGS health campus, the Pharmacy Faculty building, located in Porto Alegre. The methodologies applied, following the RTQ-C, are the prescriptive and by simulation. In the simulation analysis is used the EnergyPlus software that achieve the annual final consumption of the building. The edification presents the C classification on the PBE label using both methods. Alterations are done in the lighting using LED lamps, use of glass film, pant the wall with lighter paint and the air conditioning system modernization. The option that obtains the more expressive result in the energy saving is the change for LED lamps, pant the wall with lighter paint and using of glass film. This result is 20% of annual consumption reduction. The best economic analysis is the installation of of glass film, with NPV of R$ 720.973,87, IRR in 25%, and investment return in 4 years and 8 months.
Keywords: Energy Audit, Labelling in Buildings, Energy Simulation.

1. INTRODUÇÃO

A expressão "redução de energia" nem sempre foi vista com bons olhos por parte da população. Entre 1973 e 1978, nos EUA, pela crise do petróleo, esse termo surgiu com a ideia de reduzir o uso de equipamentos elétricos, iluminação e alteração de hábitos que traziam consigo uma redução no conforto do usuário. No entanto, atualmente esse conceito ganhou outra perspectiva: a eficiência energética. Assim, o usuário não necessita obrigatoriamente abrir mão de suas atividades para economizar energia, mas aumentar o rendimento do sistema como um todo (OLIVEIRA; ALBERTIN, 2007). De acordo com Lachi et al. (2015), a ideia de eficiência energética deve estar atrelada ao uso eficiente e o combate ao desperdício de energia elétrica, reduzindo perdas em cascatas e custos finais.

Segundo o último relatório do monitoramento do sistema de energia elétrica divulgado pelo Ministério de Minas e Energia, o setor público consome anualmente 8,3% da energia elétrica produzida no Brasil (MME,18). Percebe-se um alto consumo de energia elétrica nas edificações públicas, recebendo destaque como maiores consumidoras as unidades voltadas ao ensino (ROCHA, 2012). Esse fator é explicado, principalmente, pela falta de práticas voltada ao combate e ao desperdício de recursos públicos. Além disso, foram mencionados a falta de atuação sistemática e articulada dos gestores municipais, e o baixo financiamento direcionado a inovação e alterações de recursos tecnológicos.

O sancionamento da Lei nacional nº 10.295/2001, chamada de Lei da Eficiência Energética, que promulga a conservação de energia como responsabilidade da Política Energética Nacional estimulou os estudos voltados a essa temática. No ano de 2010, o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), outorgado pelo Inmetro, instaurou a etiquetagem em edificações comerciais de forma voluntária, com adendo de tornar-se compulsória para todas as edificações públicas até 2020, além de 2025 para edificações comerciais e 2030 para as residenciais.

O processo de auditoria energética caracteriza a classe de uma edificação já construída, e consiste em identificar as principais fontes de consumo energético considerando a atividade dos usuários na edificação e os sistemas de energia que estão sendo utilizados (TESTI et al., 2013). Benavides (2014), comparou os usos finais das edificações de ensino em diferentes países. Dentre eles estão, os EUA, Reino Unido, Arábia Saudita, Grécia e Brasil com algumas instituições da Universidade de São Paulo como modelo. O autor concluiu que as edificações apresentam desempenho energético e uso final de energia completamente distintos para os diferentes climas, culturas e metodologias construtivas. As instituições de ensino brasileira dividem seus gastos energéticos em aproximadamente 30% para condicionamento de ar, 40% em iluminação e 30% em equipamentos elétricos. Sendo assim, existindo uma possibilidade de melhorar o desempenho das edificações, focar em pontos estratégicos que resultarão em mudanças mais significativas ao final de um estudo ou diagnóstico energético.

Assim, o processo de auditoria ou diagnóstico energético refere-se à análise técnica, sistemática e holística de um edifício a fim de identificar medidas para melhorar o seu desempenho energético mantendo ou melhorando os níveis de conforto térmico (CBCS; MITSIDI; PROCEL ELETROBRAS, 2016). Softwares de simulação são uma ferramenta auxiliar nos casos em que se deseja conhecer o desempenho energético atual da edificação, bem como prever quantitativamente a influência das alterações consideradas a fim de garantir a redução de consumo energético.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é realizar uma auditoria energética em uma edificação pública localizada em Porto Alegre com o intuito de avaliar pelo método prescritivo e de simulação do RTQ-C o nível de Etiqueta PBE Edifica que a construção se encontra, e, ao final, propor melhorias para torna-la mais eficiente.

3. MÉTODO

Este trabalho segue uma linha de pesquisa em que o processo se baseia conforme a Figura 1.

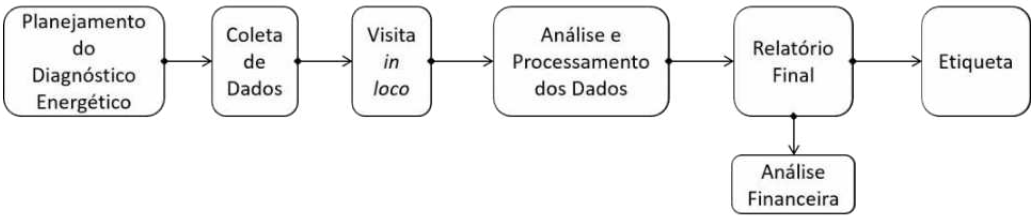

Figura 1 – Fluxograma do processo de diagnóstico energético

A metodologia adotada neste trabalho é baseada no fluxograma e está descrita abaixo.

1. Planejamento do Diagnóstico Energético: Esta etapa abrange a delimitação do problema a ser analisado, que neste caso é uma edificação pública e de ensino superior.
2. Coleta de Dados: A coleta das informações sobre a edificação é feita através da análise das faturas de energia elétrica e pelo levantamento do perfil de uso da edificação entre laboratórios e salas de aula.
3. Visita *in loco*: São realizadas visitas ao prédio estudado com o intuito de averiguar se as informações previamente levantadas estavam coerentes e examina-se os equipamentos de condicionamento de ar, iluminação, elevadores, entre outros sistemas.
4. Análise e Processamento de Dados: Essa etapa realiza um diagnóstico energético da edificação real através dos métodos do RTQ-C, prescritivo e de simulação. O programa escolhido para nortear a metodologia baseada em simulação foi o *EnergyPlus* versão 8.9. Após isso é possível reconhecer os principais usos finais da edificação, direcionando ações corretas e significativas para garantir a eficiência energética.
5. Relatório Final: São propostas medidas de eficiência para garantir à edificação a etiqueta PBE nível A. As modificações sugeridas são inseridas no programa de simulação gerando um novo relatório, até se chegar a um resultado satisfatório. Além disso, no estudo é realizado uma análise financeira para elencar as medidas que possuem indicadores financeiros positivos.
6. ENCE: Ao final do estudo é possível apurar o desempenho energético da edificação e quais as modificações torná-la-iam elegível ao Selo Procel de Edificações.

3.1. Caso base

O modelo de estudo foi o prédio da Faculdade de Farmácia da UFRGS. O prédio está localizado no campus Saúde na cidade de Porto Alegre, situado na zona bioclimática 3 de acordo com a NBR 15.220-3. O prédio da Faculdade de Farmácia, apresentado na Figura 2, foi construído no ano de 1952 e representa uma arquitetura de característica modernista.



Figura 2 – Localização do prédio da Faculdade de Farmácia

Essa edificação apresenta medição de energia elétrica separada das demais construções do campus da UFRGS. Dessa forma, algumas faturas de energia elétrica foram obtidas e verificou-se que a Faculdade de Farmácia está no grupo A4 Horo Sazonal Verde e o seu consumo de energia fica em torno de 632,39 MWh/ano.

3.1.1. Pavimento Tipo

Pelo prédio possuir ambientes semelhantes ao longo dos seus sete andares, basicamente laboratórios e salas de aula, foi estipulado um pavimento tipo que representa a edificação (Figura 3). Foi montado uma média de ocupação, instalação de equipamentos, iluminação que facilitaria a inserção das informações nos programas de simulação utilizados. As características do pavimento tipo foram inseridas na simulação computacional e nos cálculos do método prescritivo respeitando a volumetria de um andar, orientação solar, bem como os materiais, componentes e aberturas. Como hipótese, o pavimento tipo na simulação possui o telhado e o piso adiabáticos.

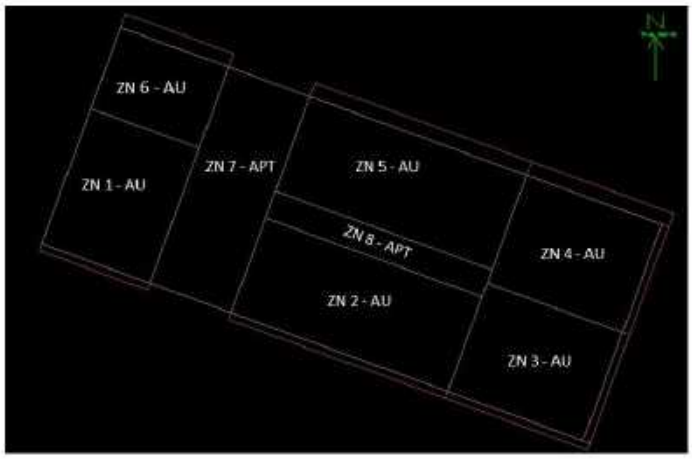

Figura 3 – Divisões das zonas térmicas do pavimento tipo

3.1.2. Elementos construtivos, ocupacional e de carga térmica

Os componentes construtivos que envelopam o pavimento tipo foram estimados pelos materiais utilizados na época da sua construção (Tabela 1). O tijolo maciço simples foi utilizado para as paredes internas do andar, concreto pesado como laje, parquet no solo e tijolo macio duplo na parede com o meio externo. As propriedades dos elementos apresentados nas tabelas abaixo foram retiradas da biblioteca de materiais do programa *EnergyPlus*.

Tabela 1 – Propriedade dos elementos construtivos utilizados no edifício

Material	**Espessura [m]**	**λ [W/m.K]**	**ρ [kg/m³]**	**Cp [J/kg.K]**	**Ɛ**	**α_{solar}**	**$\alpha_{visível}$**
Tijolo Maciço Duplo	0,308	0,78	1760	790	0,9	0,7	0,7
Tijolo Maciço Simples	0,102	0,78	1760	790	0,9	0,7	0,7
Concreto Pesado	0,15	1,95	2240	900	0,9	0,7	0,7
Reboco	0,0254	0,72	1856	840	0,9	0,7	0,7
Parquet	0,0127	0,15	608	1630	0,9	0,8	0,8

As características do vidro utilizado e a película espectro seletiva, tomada como medida de eficiência energética, estão nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

Tabela 2 – Propriedades termofísicas do vidro simples

Propriedades Termofísicas	**Vidro 3mm**
e [m]	0,003
$\tau_{solar, \perp}$	0,87
$\rho_{solar\ f, \perp}$	0,075
$\rho_{solar\ b, \perp}$	0,075
$\tau_{visível, \perp}$	0,898
$\rho_{visível\ f, \perp}$	0,081
$\rho_{visível\ b, \perp}$	0,081
k [W/mK]	0,9

Tabela 3 – Propriedades termofísicas da película

Propriedades Termofísicas	**Película 3M**
U [W/m²K]	0,99
SHGC	0,64
$\tau_{visível}$	0,88

A carga térmica de ocupação foi baseada na taxa de calor liberado por pessoa de 130 W conforme a Tabela C. 1 do Anexo C da ABNT NBR 16401/2008 e a taxa de ocupação considerada foi de 0,25 pessoas/m².

Tabela 4 – Carga horária da ocupação interna

Ambiente	**Salas**		**Corredor**	
Período	Dias de Semana	Finais de Semana	Dias de Semana	Finais de Semana
00:00 as 07:00	0%	0%	0%	0%
07:00 as 08:00	20%	0%	50%	0%
08:00 as 09:00	50%	0%	50%	0%
09:00 as 12:00	100%	0%	15%	0%
12:00 as 14:00	30%	0%	60%	0%
14:00 as 17:00	100%	0%	15%	0%
17:00 as 18:00	100%	0%	50%	0%
18:00 as 19:00	50%	0%	50%	0%
19:00 as 20:00	50%	0%	15%	0%
20:00 as 22:00	15%	0%	15%	0%
22:00 as 24:00	0%	0%	0%	0%

As densidades típicas de carga de equipamentos (Tabela C.6 do anexo C da ABNT 16401/2008) foram consideradas como média/alta (16,2 W/m²) para os laboratórios e média (10,7 W/m²) para os ambientes restantes.

Tabela 5 – Carga horária do funcionamento dos equipamentos

Ambiente	**Salas**		**Corredor**
Período	Dias de Semana	Finais de Semana	Todos os dias
00:00 as 08:00	20%	20%	100%
08:00 as 09:00	50%	20%	100%
09:00 as 10:00	60%	20%	100%
10:00 as 12:00	70%	20%	100%
12:00 as 14:00	50%	20%	100%
14:00 as 17:00	70%	20%	100%
17:00 as 18:00	60%	20%	100%
18:00 as 19:00	50%	20%	100%
19:00 as 24:00	20%	20%	100%

A carga térmica de iluminação foi considerada conforme o cronograma abaixo.

Tabela 6 – Carga horária de iluminação

Ambiente	**Salas**		**Laboratórios**		**Corredor**	
Período	Dias de Semana	Finais de semana	Dias de Semana	Finais de semana	Dias de Semana	Finais de semana
00:00 as 07:00	0%	0%	0%	0%	10%	10%
07:00 as 12:00	100%	0%	100%	0%	100%	10%
12:00 as 14:00	0%	0%	50%	0%	100%	10%
14:00 as 22:00	100%	0%	100%	0%	100%	10%
22:00 as 24:00	0%	0%	0%	0%	10%	10%

As configurações do sistema de condicionamento de ar foram consideradas com termostato de 20ºC a 24ºC e renovação de ar de 0,0075 m³/s.

Tabela 7 – Carga horária de funcionamento do sistema de climatização

Ambiente	**Salas**		**Laboratórios**	
Período	Dias de Semana	Finais de semana	Dias de Semana	Finais de semana
00:00 as 08:00	0%	0%	10%	10%
08:00 as 12:00	100%	0%	100%	10%
12:00 as 14:00	0%	0%	100%	10%
14:00 as 18:00	100%	0%	100%	10%
18:00 as 24:00	0%	0%	10%	10%

3.2. Método Prescritivo

O método prescritivo é baseado na análise dos sistemas de envoltória, iluminação e condicionamento de ar. Este método caracteriza-se pela análise de simulações de um número limitado de casos através de regressão, sendo uma forma mais simplificada de avaliar a edificação. Cada sistema analisado gera um equivalente numérico que será inserido na equação geral apresentada na Equação 1.

$$PT = 0{,}30\left\{\left(EqNumEnv * \frac{AC}{AU}\right) + \left(\frac{APT}{AU} * 5 + \frac{ANC}{AU} * EqNumV\right)\right\} + 0{,}30(EqNumDPI) + 0{,}40\left\{\left(EqNumCA * \frac{AC}{AU}\right) + \left(\frac{APT}{AU} * 5 + \frac{ANC}{AU} * EqNumV\right)\right\} + b_0^1 \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

PT é a pontuação final;

EqNumEnv é o equivalente numérico da envoltória;

AC é Área útil dos ambientes condicionados [m²];

AU é Área útil [m²];

APT é Área útil dos ambientes de permanência transitória, desde que não condicionados [m²];

ANC é Área útil dos ambientes não condicionados de permanência prolongada, com comprovação de % de horas ocupadas de conforto por ventilação natural (POC) através do método de simulação [m²];
EqNumV é o equivalente numérico de ventilação;
EqNumDPI é o equivalente numérico de iluminação;
EqNumCA é o equivalente numérico de condicionamento de ar;

b é pontuação obtida pelas bonificações, que varia de 0 a 1.

A pontuação total vai de 0 a 5, sendo dividida em intervalos que definem a sua classificação final de A (mais eficiente) a E (menos eficiente).

3.2.1 Cálculo Equivalente Numérico Envoltória

A envoltória possui contribuição de 30% na etiqueta geral. Os principais critérios analisados são transmitância térmica (U), cores e absortância de superfícies (α) e iluminação zenital.

De acordo com os materiais de construção definidos para as paredes e coberturas, obteve-se o valor de transmitância térmica de 1,82 W/m²K e 2,15 W/m²K da cobertura e paredes, respectivamente. Como a absortância da envoltória depende diretamente da cor, foi pressuposto uma coloração relativamente escura para a parede por conta do efeito do tempo, desgaste e sujeira, tomando o valor de 0,7.

O índice de consumo da envoltória (ICenv), apresentado na Equação 2, corresponde à zona bioclimática de Porto Alegre (ZB 3) e para uma edificação de área projetada maior do que 500m².

$$IC_{env} = -14{,}14\,FA - 113{,}94\,FF + 50{,}82\,PAF_T + 4{,}86\,FS - 0{,}32\,AVS + 0{,}26\,AHS - \frac{35{,}75}{FF} - 0{,}54\,PAF_T\,AHS + 277{,}98$$

Equação 2

Onde:
ICenv é o indicador de consumo da envoltória;
FA é o fator de altura, ou seja, a área projetada da cobertura dividida pela área total;
FF é o fator de forma, ou seja, a área da envoltória dividida pelo volume total;
PAFt é o percentual de abertura na fachada total;
FS é o fator solar;
AVS é o ângulo vertical de sombreamento;
AHS é o ângulo horizontal de sombreamento.

Os valores utilizados para a equação dos índices de referência de A e D estão descritos no RTQ-C e para o modelo real são utilizados os valores encontrados na prática. A Tabela 8 apresenta as variáveis utilizadas na Equação 2 para os modelos de níveis A, D e da edificação.

Tabela 8 – Variáveis utilizadas no cálculo do índice de consumo da envoltória

	FF	**FA**	**FS**	**PAFt**	**AHS**	**AVS**
ICenv	0,223	0,143	0,87	0,438	0	20,562
ICenv A	0,223	0,143	0,87	0,05	0	0
ICenv D	0,223	0,143	0,61	0,6	0	0

3.2.2 Cálculo Equivalente Numérico Iluminação

O sistema de iluminação corresponde a 30% da etiqueta geral PBE e possui três pré-requisitos específicos que são divisão dos circuitos, exigidos para o nível A, B e C da etiqueta; contribuição da luz natural, necessário para o nível A e B; e desligamento automático do sistema de iluminação, obrigatório apenas para a classificação A e em ambientes maiores que 250m².

Além dos pré-requisitos específicos, o RTQ-C classifica para cada tipo de ambiente níveis de densidade de potência instalada limite (DPIL), ou equivalente numérico de iluminação, de A à D. Os parâmetros para os dois ambientes estudados no pavimento tipo são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Limites de densidade de potência instalados segundo o RTQ-C

	A	**B**	**C**	**D**
Uso	DPIL (W/m²)	DPIL (W/m²)	DPIL (W/m²)	DPIL (W/m²)
Sala	10,7	12,3	13,9	15,5
Laboratório	9,4	10,8	12,2	13,6

A área total de salas de aula é 256m² e de laboratório é 424m².

3.2.3 Cálculo Equivalente Numérico Condicionamento de Ar

A edificação possui modelos de ar condicionados do tipo janela e equipamentos do tipo split, desde aparelhos antigos sem indicação de eficiência até novos com classificação A pelo selo do INMETRO. Dessa forma, o presente estudo carece de todas as informações dos aparelhos de ar condicionado da edificação, tomando como base uma média dos equipamentos. Baseado em entrevistas com os usuários, o sistema de condicionamento de ar de uso é do tipo split de nível C do INMETRO com COP entre 2,8 e 3.

3.3. Método de Simulação

O método de simulação permite uma gama de programas de simulação termo-energética que devem atender algumas exigências, como ser validado pela ASHRAE Standard 140, modelar 8760 horas por ano e permitir a modelagem de multi-zonas térmicas. Este trabalho utiliza o programa computacional *EnergyPlus* para as simulações termo-energéticas. O arquivo climático utilizado é referente à cidade de Florianópolis com data base de 2016, disponível no site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina. Ele faz parte do projeto Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA).

O método de simulação modela a edificação proposta (real) e mais quatro modelos referências para o nível pretendido (A, B, C e D). A Figura 4 apresenta a síntese das informações fornecidas pelo RTQ-C.

Característica da edificação	Modelo de Referência	Modelo Real
Geometria – dimensões	Igual ao edifício proposto	Igual ao edifício proposto
Orientação	Igual ao edifício proposto	Igual ao edifício proposto
Carga interna (DCI)	Igual ao edifício proposto	Igual ao edifício proposto
Padrão de uso: Equipamentos e Pessoas	Igual ao edifício proposto	Igual ao edifício proposto
Sistema de condicionamento de ar	Igual ao edifício proposto com COP mín. do nível desejado	Igual ao edifício proposto
Envoltória PAZ PAF$_T$ AVS e AHS Tipo de vidro Fator solar Transmitância térmica Absortância Solar	 Se existe no real →PAZ= 2% Calcular através do IC AVS=AHS=0 Vidro simples, 3 mm FS=0,87 Máx. p/ eficiência desejada Máx. p/ eficiência desejada	Igual ao edifício proposto
Sistema de iluminação	DPI máx. p/ eficiência desejada – Tabela 4.1 ou 4.2 do RTQ-C	Igual ao edifício proposto

Figura 4 – Síntese das características do Modelo Real e do Modelo de Referência
Fonte: Manual do RTQ-C <www.pbeedifica.com.br>

Os equipamentos de condicionamento de ar foram classificados como etiqueta C, com COP 2,8 e para os modelos de referência dos níveis de A a D foram considerados os limites mínimos de COP do intervalo presente no RTQ-C, ou seja, COP de 3,2 para nível A, 3,0 para nível B, 2,8 para nível C e 2,6 para nível D.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Os resultados obtidos nesta pesquisa estão a seguir separados pelas metodologias prescritiva e de simulação. No caso da simulação foram propostas melhorias para elevar a classificação da edificação.

4.1. Resultado pelo método prescritivo

O cálculo da classificação da ENCE geral utilizou os equivalentes numéricos dos sistemas de iluminação, condicionamento de ar e envoltória, e também informações de área útil, área de permanência prolongada condicionada e não condicionada, área de permanência transitória não condicionada e bonificações.

O índice de consumo da envoltória do edifício real ficou classificado no nível B, no entanto, como a edificação não atende a todos os pré-requisitos específicos, o nível da envoltória final ficou em C, que possui equivalente numérico 3. Para a iluminação, a potência total instalada no pavimento tipo atualmente é 5313W e comparando esses valores com os intervalos de densidade de potência, chegou-se a classificação A. Entretanto, por não atender a todos os pré-requisitos específicos, sua classificação no sistema de iluminação foi C, com equivalente numérico 3.

A Tabela 10 apresenta os valores utilizados na Equação 1 para encontrar a pontuação final.

Tabela 10 – Variáveis da equação de pontuação total

EqNumEnv	EqNumDPI	EqNumCA	EqNumV	AC [m²]	ANC [m²]	AU [m²]	APT [m²]	b
3	3	3	0	3584	0	4480	896	0

A pontuação final obtida foi 3,28, ou seja, é classificada como nível C na etiqueta PBE Edifica.

4.2. Resultado pelo método de simulação

A simulação do pavimento tipo obteve como consumo de energia o montante de 94.499,82 kWh/ano, ou seja, 661.498,74kWh/ano para o prédio total. Comparando esse valor com o consumo verificado na fatura de energia de 632.385 kWh/ano, obtém-se um modelo com uma margem de erro em torno de 5%. Essa pequena diferença garante que o modelo simulado é assertivo, podendo prosseguir com o método de avaliação da etiqueta.

Para se chegar no resultado da classificação da Etiqueta PBE pelo método de simulação foram estabelecidos intervalos de consumo para cada nível, conforme mostra a Tabela 11.

Tabela 11 – Consumo anual por andar dos Modelos de Referência

	Referência A	**Referência B**	**Referência C**	**Referência D**
Consumo [kWh/ano]	80.405,35	91.345,64	103.300,60	115.743,45

Comparado o resultado atual com os intervalos da tabela acima, a edificação está no nível C (equivalente numérico 3). Este resultado está em consoante com a classificação encontrada pelo método prescritivo.

4.2.1 Modificações propostas

Os três principais consumidores na edificação são: ar condicionado (41%), equipamentos (27%) e iluminação (20%). A troca por equipamentos mais eficientes não altera a classificação final da edificação, tendo em vista que todos os modelos de referência são simulados com a mesma carga em equipamentos. Motivo este que não foram abordadas soluções de eficiência de equipamentos.

As simulações testadas e seus resultados de economia são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Síntese dos resultados encontrados com as modificações selecionadas por andar

Propostas	**Consumo [kWh/ano]**	**Δ Consumo [kWh/ano]**	**Redução**	**Etiqueta alcançada**
1. Lâmpada LED	84.749,6	- 9.750,2	10,3%	B
2. Película de Vidro	86.321,5	- 8.178,4	8,7%	B
3. Lâmpada LED, retrofit AC e pintura parede	79.748,5	- 14.751,4	15,6%	A
4. Película de vidro, lâmpada LED e pintura parede	75.019,4	- 19.480,4	20,6%	A

A tabela apresenta as modificações individuais - troca das lâmpadas tubulares fluorescentes por lâmpadas tubulares de LED, adequando a iluminância dos ambientes às premissas mínimas da NBR ISO 8995-1, e a aplicação de película espectro seletiva nos vidros - que reduziram o consumo, tornando a edificação nível B. Além dessas modificações, a Tabela 12 mostra medidas de eficiência que combinam mais de uma ação. Os dois resultados que obtiveram maior redução do consumo anual da edificação foram a troca das lâmpadas, renovação dos equipamentos de ar condicionado para equipamentos de selo A do INMETRO (COP mínimo 3,2) e reduzir a absortividade das paredes externas pintando as paredes para uma cor mais clara, tomando absortividade como 0,3; e uma segunda solução de grande impacto foi a aplicação de película seletiva nos vidros, troca de lâmpada e a pintura das paredes externar e internas.

O consumo final da edificação possui comportamento distinto nos usos finais para cada solução. Dessa forma, a Figura 5 apresenta o impacto e desempenho da solução aplicada por tipo de uso final.

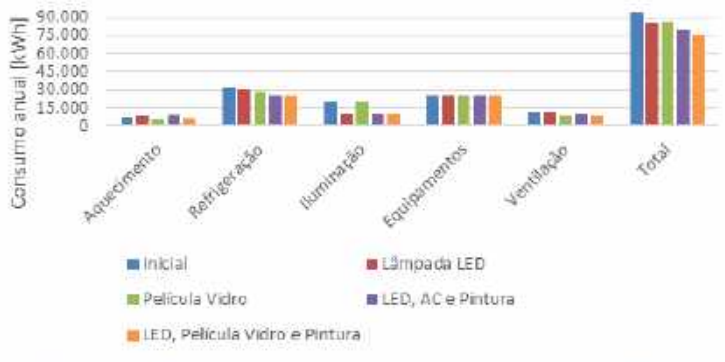

Figura 5 – Divisão dos usos finais por categorias e soluções propostas para atingir classificação A

A Figura 5 apresenta os cinco usos finais encontrados na edificação os quais são aquecimento, refrigeração, iluminação, equipamentos e ventilação. Cada barra equivale ao consumo do uso final pela

solução implantada e a direita é apresentado o consumo final por solução. Para cada uso final existe uma medição que corresponde ao consumo de acordo com a solução aplicada. Como pode ser visto, o uso final referente aos equipamentos segue constante do modelo inicial para as soluções aplicadas, pois foi mantido o mesmo em todas as simulações.

Seguindo a análise, o uso final correspondente ao aquecimento varia para cada proposta. O aquecimento consome mais com as propostas que fazem uso de lâmpada de LED, pois esta tecnologia dissipa menos calor, fazendo necessário no inverno uma potência maior para manter a temperatura de projeto. No caso de aplicação de película de vidro, todos os sistemas que compõem o AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado) reduzem, visto que a película reduz o ganho de calor por radiação necessitando menos do sistema de condicionamento de ar. A aplicação de película nos vidros pode prejudicar o sistema de aquecimento no inverno, por conta da reflexão de certos tipos de comprimentos de onda. Mesmo assim, no resultado da simulação, o uso final referente ao aquecimento no uso dessa tecnologia teve o consumo reduzido, devendo ser levado como um ponto a questionar da simulação.

O uso final de refrigeração teve o consumo reduzido em todas as situações. Isso pode ser explicado pela menor dissipação de calor pelas lâmpadas de LED, maior aprisionamento de ar frio pelas películas seletivas, absortividade menor com a pintura das paredes e modernização de equipamentos de ar condicionado.

Na iluminação foi marcante a diferença do consumo com a troca das lâmpadas fluorescentes por uma tecnologia LED. A redução deste uso final, que anteriormente representava 20% do uso final, passou a equivaler a 10%. Além de todos os benefícios atrelados a esta tecnologia, como por exemplo o tempo de vida útil.

As quatro soluções apresentadas possuem potencial para transformar a edificação na classificação máxima da Etiqueta do PBE Edifica, que pelo modelo real ficou classificada no nível C. Para os casos individuais, tecnologia LED e película de vidro, seria necessário adquirir pontos de bonificação.

5. ANÁLISE FINANCEIRA

Visando avaliar os projetos propostos em sua viabilidade econômica, buscou-se pelo valor monetário envolvido das soluções partindo do pressuposto de informações dos custos de aquisição em catálogos comerciais, custo de manutenção e custo de instalação. Além disso, o reajuste tarifário de energia elétrica foi calculado com base no IGP-M.

Ao final foram analisados os seguintes índices: *payback* descontado, VPL e TIR. O tempo de vida útil foi considerado de 20 anos para a película seletiva nos vidros, modernização dos ares-condicionados e pintura nas paredes, sendo adicionado um percentual de eventuais ajustes e manutenção de 1% a.a de manutenção e 20% de depreciação sobre equipamentos e outros para o período analisado. A lâmpada de LED foi considerada com um tempo de vida útil de 35.000 horas de funcionamento. Como a edificação utiliza, aproximadamente, 5760 horas de iluminação por ano, a cada 6 anos seria feito a reposição das lâmpadas com os valores ajustados. Além disso a taxa de manutenção e depreciação também foram considerados de 1% a.a e 20% para o período, respectivamente.

Os principais indicadores levados em conta foram o IGP-M, no valor de 10,04% a.a, para o reajuste tarifário, taxa SELIC no valor de 6,66% a.a, para o custo de atratividade e a taxa de atratividade de 13,32% a.a.. O cenário inicial o capital de investimento foi considerado como próprio, sem a necessidade de financiamento de terceiros. As receitas do fluxo de caixa ao longo dos anos são dadas pelo custo evitado de energia elétrica das soluções propostas contrapostas ao uso de energia elétrica da edificação atual. A Tabela 13 apresenta os resultados encontrados para as quatro soluções propostas.

Tabela 13 – Síntese do estudo de viabilidade técnico econômico das soluções propostas

Solução	Investimento Inicial	Custo Anual Evitado	VPL	TIR	*Payback* Descontado
1. Lâmpada LED	R$226.880,26	R$56.829,97	R$67.459,04	16%	7 anos e 2 meses
2. Película Vidro	R$468.195,00	R$99.580,15	R$720.973,87	25%	4 anos e 8 meses
3. LED, modernização AC e Pintura	R$435.323,32	R$85.979,89	R$1.113.694,91	12%	7 anos e 4 meses
4. LED, Película Vidro e Pintura	R$776.048,32	R$113.543,49	-R$86.553,31	6%	8 anos e 6 meses

A maioria das soluções são viáveis do ponto de vista econômico por apresentarem VPL positivo. Embora a quarta solução represente a maior redução do consumo de energia conforme mostrado na Tabela 12, ela apresenta um resultado menos satisfatório na análise financeira. O investimento inicial retorna em aproximadamente 9 anos e possui a TIR de 6%, a mais baixa dentre as soluções. Além de ter como resultado um VPL negativo em R$ -86.553,31.

A solução pela instalação de película de vidro, que obteve a menor redução de energia, apresentou o

melhor indicativo de investimento. Os indicadores dessa solução são bons por apresentar VPL positivo de R$ 720.973,87, TIR de 25%, a maior dentre as opções analisadas, e o menor tempo de retorno do investimento ficando em aproximadamente 4 anos e 8 meses.

A segunda melhor solução do estudo técnico-financeiro foi a substituição das lâmpadas fluorescentes pela tecnologia LED. Apesar de possuir o menor investimento inicial, seus indicadores econômicos apresentaram resultados menos favoráveis, principalmente, pelo tempo de vida útil da tecnologia. No cenário estudado foram realizadas três reposições de lâmpadas, fazendo com que o VPL, TIR e payback descontado reduzissem consideravelmente.

6. CONCLUSÕES

Por meio deste estudo foi possível avaliar uma edificação pública e de ensino nos quesitos da etiqueta PBE Edifica. O método prescritivo e de simulação permitiram analisar o nível de etiqueta atual e propor melhorias de eficiência energética para a edificação. Comparando as duas formas de análise, chegou-se ao mesmo nível de eficiência. Esse resultado indica que os dois métodos são compatíveis, no entanto pelo método de simulação há a possibilidade de analisar medidas de eficiência energética na edificação.

O método prescritivo é baseado na análise de simulações de um número limitado de casos através de regressão, sendo uma forma mais simplificada e engessada de avaliar a edificação. As características da edificação foram inseridas em uma equação destinada ao tamanho da edificação e a zona bioclimática a qual pertence. Esse método indicou o nível C da edificação, porém não permite um estudo quantitativo de medidas de eficiência energética na edificação.

O método de simulação permite uma análise mais ampla da edificação, desde um projeto antes da edificação ser construída até em casos onde se verifica formas de melhorar energeticamente uma edificação já estabelecida. Neste artigo a simulação termo energética englobou a edificação real e modelos de melhorias. A edificação real foi validada a partir da leitura no medidor de consumo de energia feito de forma individual neste estabelecimento. O resultado da edificação atual foi compatível com o método prescritivo (nível C) e, dentre as soluções propostas, a película de vidro resultou nos melhores indicativos financeiros.

De forma geral, a eficiência energética é um procedimento que está se tornando cada vez mais crucial na área de concepção de projetos, mas também nas edificações que já estão construídas, visto que pela Lei Nº 10.295/2001 a Etiqueta PBE se tornará obrigatória para prédios públicos em 2020, para edificações comerciais em 2025 e residenciais em 2030. Além disso, a etiqueta PBE Edifica possibilita o conhecimento do nível de eficiência energética das edificações incentivando políticas que promovam o desenvolvimento econômico nacional com controle do consumo de energia elétrica.

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.

_____. **NBR 16401-1**: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários Parte 1: Projetos das instalações. Rio de Janeiro, 2008.

BENAVIDES, José R. a. **Auditoria energética como ferramenta para o aproveitamento do potencial de conservação da energia: o caso das edificações do setor educacional.** 2014. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

CBCS; MITSIDI; PROCEL ELETROBRAS. **Guia Prático para Realização de Diagnósticos Energéticos em Edificações**. São Paulo, 2016.

EDIFICA, Procel; Eletrobas; Inmetro; CB3E; **Manual para o Entendimento da Etiquetagem de Edificações pelo Gestor Público**. Versão 1 ed., 2014.

ELETROBRÁS; CB3E; INMETRO. **Manual para Aplicação do RTQ-C**. 2016.

LACHI, Danielle et al. **Sustentabilidade em prédios públicos : estudo de caso em uma Universidade Federal**. 2015. Anais de Congresso. Profiap, 2015.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Boletim mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro** - Junho / 2018. Ministerio de Minas e Energia, p. 26, 2018.

OLIVEIRA, Fabielli; ALBERTIN, Marcos Ronaldo. **Estudo De Caso - Eficiência energética no prédio da Etufor**. 2007, Anais do XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP). Foz do Iguaçu, 2007.

ROCHA, Afrânio. **Eficientização energética em prédios públicos: um desafio aos gestores municipais frente aos requisitos de governança e sustentabilidade**. 2012. Dissertação de Mestrado em Gestão e Políticas Públicas. Programa de Pós-Graduação Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2012

TESTI, Daniele et al. **An open access tool for building energy audits harmonizing Eu opean standards**. IBPSA Conference Proceedings, p. 225–232, 2013.

U. S. DEPARTMENT OF ENERGY. **EnergyPlus™ Version 8.9.0 Documentation: Engineering Reference**. Estados Unidos, 2018.