

Auditoria energética visando o selo Procel de Economia de energia para uma Edificação Pública de Ensino**Energy audit aiming at the Procel seal of energy savings for a Public Education Building**

DOI:10.34117/bjdv6n12-453

Recebimento dos originais: 27/11/2020

Aceitação para publicação: 18/12/2020

Jakeline Osowski Tomazi

Engenheira de Energia

Analista de Eficiência Energética na Nexway Eficiência, Nexway Eficiência

Endereço: R. Min. Jesuíno Cardoso, 633 - 6o andar - Vila Nova Conceição, São Paulo-SP

E-mail: jakelinetomazi@gmail.com

Letícia Jenisch Rodrigues

Doutora, Professora do Departamento de Engenharia Mecânica

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Mecânica

Endereço: Rua Sarmento Leite, 425, sala 203, Porto Alegre-RS

E-mail: leticia.jenisch@gmail.com

Paulo Smith Schneider

Doutor, Professor do Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Mecânica

Endereço: Rua Sarmento Leite, 425, sala 206 Porto Alegre-RS

E-mail: pss@mecanica.ufrgs.br

RESUMO

O presente artigo apresenta o desenvolvimento de uma auditoria energética em uma edificação pública com vistas à obtenção do Selo Procel Edificações. A etiqueta PBE Edifica identifica o desempenho energético da edificação através da classificação em categorias mais eficientes (A) até menos eficientes (E). O selo é obtido ao se alcançar a classificação A na avaliação completa da edificação, o que compreende a envoltória, a iluminação e o condicionamento de ar. O prédio público selecionado para a auditoria é a Faculdade de Farmácia da UFRGS, localizado em Porto Alegre/RS. As análises são feitas a partir da utilização dos métodos de simulação e prescrição, seguindo as diretrizes normativas do RTQ-C (Requisitos Técnicos da Qualidade para o nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicos). O software EnergyPlus® é usado para a simulação do comportamento transiente anual da edificação e da estimativa do seu consumo energético final. A avaliação da edificação em seu estado atual classifica-a como C na etiqueta PBE Edifica e, portanto, não apta ao Selo Procel Edificações. A redução do consumo da edificação em até 20% em relação ao estado atual é atingida com a utilização de lâmpadas de LED, colocação de película nos vidros, pintura das paredes com cores claras e modernização do sistema de condicionamento de ar. A instalação da película seletiva se mostrou como a de melhor retorno financeiro, com VPL positivo de cerca de 720 mil reais, TIR em 25%, e tempo de retorno de investimento de 4 anos e 8 meses.

Palavras-chave: Auditoria Energética, Etiquetagem em Edificações Públicas, Simulação Energética com EnergyPlus®.

ABSTRACT

This paper presents the development of an energy audit in a public building in order to obtaining the Procel Edificacions Seal. The PBE Edifica label identifies the building's energy performance by classifying it in more efficient level (A) to less efficient (E). The seal is obtained for classification A in the complete evaluation of the building, which includes the envelope, lighting and air conditioning. The public building selected for the audit is the UFRGS Faculty of Pharmacy, located in Porto Alegre / RS. Analyses are made by simulation and prescription methods, following the RTQ-C (Technical Quality Requirements for the Energy Efficiency level of Commercial, Service and Public Buildings) normative guidelines. The EnergyPlus® software is used to simulate the building annual transient behaviour and to estimate its final energy consumption. The evaluation of the building in its current state classifies it as C on the PBE Edifica label and, therefore, not suitable for the Procel Edificacions Seal. The reduction in building consumption by up to 20% compared to the current state is achieved with the use of LED lamps, placement of film on the glass, painting the walls in light colours and retrofitting the air conditioning system. The installation of the selective film proved to be the one with the best financial return, with a positive NPV of approximately 720 thousand reais, an IRR of 25%, and a payback time of 4 years and 8 months.

Keywords: Energy Auditing, Labeling in Public Buildings, Energy Simulation with EnergyPlus®.

1 INTRODUÇÃO

A expressão “redução de energia” nem sempre foi vista com bons olhos por parte da população. Entre 1973 e 1978, nos EUA, devido à crise do petróleo, esse termo surgiu como uma ideia associada à redução do uso de equipamentos elétricos, iluminação e, conseqüentemente, à alteração de hábitos que traziam consigo íntima relação com o conforto do usuário. Atualmente, esse conceito ganhou outra perspectiva, associando-se à definição de eficiência energética, ao uso racional dos recursos naturais e à preservação do planeta. O usuário já não necessita, obrigatoriamente, abrir mão de suas atividades e hábitos para economizar energia, buscando 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 associada ao uso eficiente e ao 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, 2018). De acordo com ROCHA, 2012, é perceptível o alto consumo de energia elétrica nas edificações públicas, destacando-se como maiores consumidoras aquelas cuja finalidade é o ensino. Ainda segundo o autor, esse fator é explicado, em parte, pela ausência de práticas voltadas à prevenção do desperdício de recursos públicos. Não obstante, o mesmo menciona a falta de atuação

sistemática e articulada dos gestores municipais, e o baixo financiamento direcionado à inovação e às alterações de recursos tecnológicos.

O sancionamento da Lei Federal nº 10.295/2001 - também 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 intento de torná-la compulsória para todas as edificações públicas até 2020. No caso de edificações comerciais e residenciais, os respectivos prazos são 2025 e 2030.

O processo de auditoria energética caracteriza a classe de uma edificação já construída, consistindo na identificação das 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). Mais especificamente, esse processo de auditoria, ou diagnóstico energético, refere-se à análise técnica, sistemática e holística da edificação a fim de identificar medidas para melhorar o seu desempenho energético, mantendo ou melhorando os níveis de conforto térmico (CBCS; MITSIDI; PROCEL ELETROBRAS, 2016). Nesse processo, os softwares de simulação são utilizados como ferramentas auxiliares nos casos em que se deseja conhecer o desempenho energético atual da edificação, bem como prever quantitativamente a influência das alterações consideradas, com vistas a garantir a redução de consumo energético.

Neste contexto, 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. Nesse último, figuram algumas instituições da Universidade de São Paulo (USP) 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 brasileiras dividem seus gastos energéticos, aproximadamente, da seguinte maneira: 30% para o condicionamento de ar, 40% para a iluminação e 30% para equipamentos elétricos. Sendo assim, segundo autor, existe a possibilidade de melhorar o desempenho das edificações, focando em pontos estratégicos que resultarão em mudanças mais significativas ao final de um estudo ou diagnóstico energético.

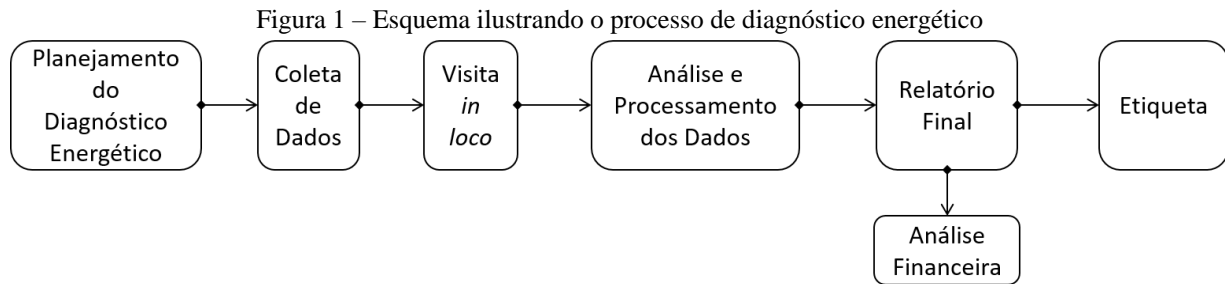
2 OBJETIVOS

O objetivo deste artigo é realizar uma auditoria energética em uma edificação pública localizada em Porto Alegre/RS com vistas a avaliar o nível de Etiqueta PBE Edifica que a construção se encontra

pelos métodos prescritivo e de simulação do RTQ-C, seguido de propostas de melhorias para torná-la mais eficiente através da diminuição do consumo final anual.

3 MÉTODO

A metodologia utilizada neste trabalho pode ser esquematizada através da ilustração do processo de diagnóstico energético, Figura 1. É possível observar que todas as metas são sequenciais, ou seja, há dependência entre a etapa anterior e a subsequente.



Abaixo, descreve-se sucintamente cada uma das etapas do processo:

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 (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 são coerentes, e examinam-se os equipamentos de condicionamento de ar, iluminação, elevadores, etc.;
4. Análise e Processamento de Dados: essa etapa realiza um diagnóstico energético da edificação através dos métodos do RTQ-C, prescritivo e de simulação. O programa escolhido para a simulação foi o EnergyPlus[®], versão 8.9. Após, é possível identificar os principais usos e demandas finais da edificação, direcionando ações corretivas 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. O procedimento é repetido até se chegar a um resultado satisfatório.

5.1. Análise Financeira: para avaliar e elencar as medidas que possuem indicadores financeiros positivos.

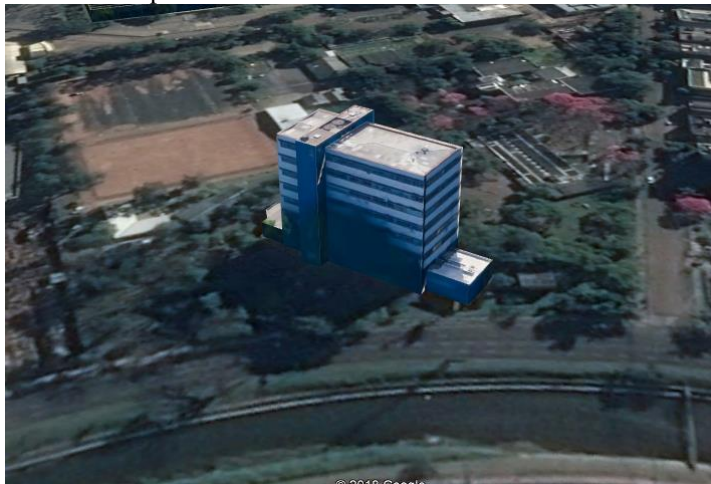
6. Etiqueta: Ao final do estudo é possível apurar o desempenho energético da edificação e quais as modificações que a tornariam elegível ao Selo Procel de Edificações (ENCE).

3.1 CASO DE ESTUDO

O prédio da Faculdade de Farmácia da UFRGS está localizado no Campus Saúde na cidade de Porto Alegre/RS, situado na zona bioclimática 3, de acordo com a NBR 15.220-3. O prédio, apresentado na Figura 2, foi construído no ano de 1952 e apresenta arquitetura modernista.

Essa edificação possui medição de energia elétrica separada das demais unidades (construções) do Campus Saúde da UFRGS. Esse foi um dos principais motivos para a sua escolha como objeto de estudo. Com as faturas de energia elétrica, verificou-se que a Faculdade de Farmácia está no grupo A4 Horo Sazonal Verde, e que seu consumo de energia anual fica em torno de 633 MWh.

Figura 2 – Vista aérea do prédio da Faculdade de Farmácia obtida através do Google Maps.



3.1.1 Pavimento Tipo

Um “pavimento tipo” (Figura 3) foi identificado para representar os sete andares que abrigam ambientes que guardam semelhanças construtivas, e que abrigam laboratórios e salas de aula. Também foram definidos valores médios para a ocupação, os equipamentos instalados, e para a iluminação. Dessa forma, simplificou-se a inserção dessas informações nos dois métodos de análise. Como hipótese simplificadora, assumiu-se que o pavimento tipo encontra-se numa posição intermediária entre o andar térreo e o último pavimento, resultando em uma condição de contorno adiabática para o teto e o piso.

Figura 3 – Divisões das zonas térmicas do pavimento tipo.



3.1.2 Elementos construtivos, ocupacional e de carga térmica

Os componentes construtivos do pavimento tipo foram estimados com base nos materiais utilizados à época de sua construção, Tabela 1. O tijolo maciço simples foi utilizado para as paredes internas do andar, o concreto pesado como laje, o parquet no piso, e o tijolo macio duplo na parede que faz divisa com o meio externo. As propriedades dos elementos apresentados nas tabelas abaixo, Tabelas 1, 2 e 3, foram retiradas da biblioteca de materiais do programa EnergyPlus®. São elas: condutividade térmica, λ , massa específica, ρ , calor específico, C_p , a emissividade da cobertura mais exterior da parede externa, ϵ , e as absorvidades à radiação solar e à radiação visível, α_{solar} e $\alpha_{visivel}$, respectivamente.

Tabela 1 – Propriedade dos elementos construtivos utilizados no edifício.

Material	Espessura [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	C_p [J/kgK]	ϵ	α_{solar}	$\alpha_{visivel}$
Tijolo Maciço Duplo	0,3080	0,78	1760	790	0,9	0,7	0,7
Tijolo Maciço Simples	0,1020	0,78	1760	790	0,9	0,7	0,7
Concreto Pesado	0,1500	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 são apresentadas na Tabela 2. Todas as propriedades radiantes dizem respeito à componente perpendicular da radiação não polarizada, \perp .

Tabela 2 – Propriedades termofísicas do vidro simples.

Propriedades Termofísicas	Vidro 3mm
espessura e [m]	0,003
transmissividade solar $\tau_{solar, \perp}$	0,87
refletividade à radiação solar difusa $\rho_{solar f, \perp}$	0,075
refletividade à radiação solar direta $\rho_{solar b, \perp}$	0,075
transmissividade à radiação visível $\tau_{visível, \perp}$	0,898
refletividade à radiação visível difusa $\rho_{visível f, \perp}$	0,081
refletividade à radiação visível direta $\rho_{visível b, \perp}$	0,081
condutividade térmica k [W/mK]	0,9

A Tabela 3 apresenta as características da película espectro seletiva.

Tabela 3 – Propriedades termofísicas da película.

Propriedades Termofísicas	Película 3M
transmitância térmica da película U [W/m ² K]	0,99
coeficiente solar de ganho de calor SHGC	0,64
transmissividade à radiação visível $\tau_{visível_pel}$	0,88

O coeficiente solar de ganho de calor SHGC (*Solar Heat Gain Coefficient*) leva em consideração as componentes direta e difusa da radiação oriunda do Sol e do céu (ou refletida a partir do solo e outras superfícies da vizinhança). A carga térmica de ocupação foi estabelecida com base na taxa de calor liberado por pessoa de 130 W conforme a Tabela C.1 do Anexo C da ABNT NBR 16401/2008. A taxa de ocupação considerada foi de 0,25 pessoas/m². O perfil horário de ocupação interna é apresentado na Tabela 4. 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 demais ambientes. O perfil horário do uso dos equipamentos é apresentado na Tabela 5. A carga térmica de iluminação foi considerada conforme o cronograma da Tabela 6.

Tabela 4 – Perfil (carga) horário de ocupação interna em função do tipo de zona térmica e do dia da semana.

Período	Salas		Corredor	
	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%

Tabela 5 – Perfil (carga) horário de funcionamento dos equipamentos em função do tipo de zona térmica e do dia da semana.

Período	Salas		Corredor
	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%

Tabela 6 – Perfil (carga) horário de iluminação em função do tipo de zona térmica e do dia da semana.

Período	Salas		Laboratórios		Corredor	
	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%

Por fim, as configurações do sistema de condicionamento de ar foram consideradas com termostato de 20°C a 24°C e com renovação de ar de 0,0075 m³/s. A Tabela 7 apresenta a carga horária de funcionamento desse sistema.

Tabela 7 – Perfil (carga) horário de funcionamento do sistema de climatização em função do tipo de zona térmica e do dia da semana.

Período	Salas		Laboratórios	
	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 da envoltória, iluminação e condicionamento de ar. Este método caracteriza-se pela análise de simulações de um número limitado de casos, através de regressão, sendo a metodologia mais simplificada de se avaliar a edificação. Cada

sistema analisado gera um equivalente numérico, que será inserido na Equação Geral, i.e., para calcular a pontuação final *PT*, como:

$$PT = 0,30 \left[\left(EqNumEnv \frac{AC}{AU} \right) + \left(5 \frac{APT}{AU} + EqNumV \frac{ANC}{AU} \right) \right] + 0,30(EqNumDPI) + 0,40 \left[\left(EqNumCA \frac{AC}{AU} \right) + \left(5 \frac{APT}{AU} + EqNumV \frac{ANC}{AU} \right) \right] + b \tag{Equação 1}$$

com *EqNumEnv* o equivalente numérico da envoltória, *AC* é a área útil dos ambientes condicionados, em m², *AU* é a área útil, em m², *APT* é a área útil dos ambientes de permanência transitória, desde que não condicionados, em m², *ANC* é a 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, em m², *EqNumV* é o equivalente numérico de ventilação, *EqNumDPI* é o equivalente numérico de iluminação, *EqNumCA* é o equivalente numérico de condicionamento de ar, e *b* é pontuação obtida pelas bonificações, que varia de 0 a 1. A pontuação total, *PT*, varia de 0 a 5, sendo dividida em intervalos que definem a sua classificação final, i.e., de A (mais eficiente) a E (menos eficiente).

3.2.1 Cálculo Equivalente Numérico Envoltória

A envoltória possui contribuição equivalente a 30% na etiqueta geral. Os principais critérios analisados são a transmitância térmica, *U*, as cores e a absorvância de superfícies, *α*, e a iluminação zenital. De acordo com os materiais de construção definidos para as paredes e cobertura, Tabela 1, obteve-se os valores apresentados na Tabela 8. Como a absorvância da envoltória depende diretamente da cor, foi assumida uma coloração relativamente escura para a parede, devido aos efeitos do tempo, desgaste e sujeira. Dessa forma, à mesma foi atribuído o valor de 0,7.

Tabela 8 – Transmitância térmica de paredes e coberturas.

Elemento construtivo	U [W/m ² K]
Paredes	1,82
Cobertura	2,15

O índice de consumo da envoltória, *IC_{env}*, corresponde à zona bioclimática de Porto Alegre/RS (ZB 3), para uma edificação de área projetada maior do que 500 m², sendo determinado a partir de

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

Equação 2

com *FA* o fator de altura, i.e., a área projetada da cobertura dividida pela área total, *FF* o fator de forma, i.e., a área da envoltória dividida pelo volume total, *PAF_T* o percentual de abertura na fachada total, *FS* o fator solar, *AVS* é o ângulo vertical de sombreamento, e *AHS* 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 9 apresenta as variáveis utilizadas na Equação 2 para os modelos de níveis A, D e da edificação.

Tabela 9 – Variáveis utilizadas no cálculo do índice de consumo da envoltória

	FF	FA	FS	PAF _t	AHS	AVS
IC _{env}	0,223	0,143	0,87	0,438	0	20,562
IC _{env} A	0,223	0,143	0,87	0,05	0	0
IC _{env} D	0,223	0,143	0,61	0,6	0	0

3.2.2 Cálculo Equivalente Numérico Iluminação

O sistema de iluminação corresponde ao equivalente 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 250 m².

Além dos pré-requisitos específicos, o RTQ-C classifica níveis de densidade de potência instalada limite (DPIL) para cada tipo de ambiente, ou equivalente numérico de iluminação, de A a D. Os parâmetros para os dois ambientes estudados no pavimento tipo são apresentados na Tabela 10. A área total de salas de aula é 256 m² e de laboratórios é 424 m².

Tabela 10 – Limites de densidade de potência instalados DPIL, segundo o RTQ-C

Ambiente	A	B	C	D
	DPIL [W/m ²]	DPIL [W/m ²]	DPIL [W/m ²]	DPIL [W/m ²]
Sala	10,7	12,3	13,9	15,5
Laboratório	9,4	10,8	12,2	13,6

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 das informações da totalidade dos aparelhos de ar condicionado da edificação. Assim, procedeu-se como nos quesitos anteriores, assumiu-se valores

médios para os dados desses equipamentos. Baseado na auditoria e em entrevistas com os usuários, define-se o sistema de condicionamento de ar como sendo do tipo *split*, de nível C do INMETRO, e com COP entre 2,8 e 3,0.

3.3 MÉTODO DE SIMULAÇÃO

Nesse método, os softwares utilizados devem atender à algumas exigências bem específicas, como por exemplo, ser validado pela ASHRAE Standard 140, ser capaz de simular/modelar 8.760 horas, o equivalente a um ano, e permitir a simulação/modelagem de multizonas térmicas. O software selecionado para as simulações termoenergéticas deste trabalho, EnergyPlus®, atende as exigências acima. O arquivo climático utilizado é referente à cidade de Porto Alegre/RS com data base de 2016, disponível no site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, LABEEE¹, da Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, fazendo parte do projeto *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA).

Na simulação são modeladas a edificação em questão e mais quatro modelos de referência (ou cenários) para o nível pretendido (A, B, C e D). A Tabela 11 apresenta a síntese das informações fornecidas pelo RTQ-C. Os equipamentos de condicionamento de ar foram classificados como etiqueta C, com COP 2,8. 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.

Tabela 11 – Síntese das características da edificação, do modelo de referência e do modelo real.

Características 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 mínimo do nível desejado	igual ao edifício proposto
Envoltória		
PAZ	se existe no real, PAZ = 2%	
PAFT	calcular através do IC	
AVS e AHS	AVS = AHS = 0	igual ao edifício proposto
Tipo de vidro	vidro simples, 3mm	
FS	0,87	
U	máxima para a eficiência desejada	
α_{solar}	máxima para a eficiência desejada	
Sistema de iluminação	DPI máxima para eficiência desejada Tabela 4.1 ou 4.2 do RTQ-C	igual ao edifício proposto

Fonte: Manual do RTQ-C²

¹ <https://labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-try-swera-csv-bin>

² www.pbgedifica.com.br

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Os resultados obtidos estão separados em função da metodologia utilizada, prescritiva e simulação. No caso da simulação foram propostas melhorias para elevar a classificação da edificação.

4.1 RESULTADO PELO MÉTODO PRESCRITIVO

O cálculo de classificação para a ENCE geral utilizou os equivalentes numéricos dos sistemas de iluminação, condicionamento de ar e envoltória. Também fez uso de 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 da edificação obteve classificação nível B. No entanto, como a edificação não atende a todos os pré-requisitos específicos, o nível da envoltória final ficou em C, cujo equivalente numérico é 3. No caso da iluminação, a potência total instalada atualmente no pavimento tipo é de 5.313W. Comparando esse valor 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. **Erro! Fonte de referência não encontrada.**¹² apresenta os valores dos equivalentes numéricos utilizados na Equação 1 para encontrar a pontuação final, *PT*.

Tabela 12 – Equivalentes numéricos utilizados na Equação 1.

EqNumEnv	EqNumDPI	EqNumCA	EqNumV	AC [m ²]	ANC [m ²]	AU [m ²]	APT [m ²]	b
3	3	3	0	3584	0	4480	896	0

A pontuação final obtida foi $PT = 3,28$, ou seja, a edificação foi classificada no nível C da etiqueta PBE Edifica.

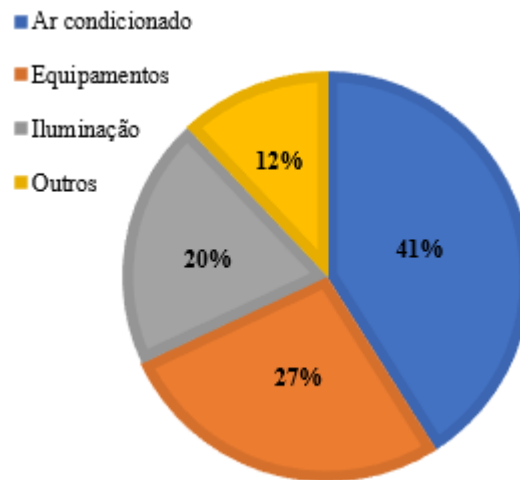
4.2 RESULTADO PELO MÉTODO DE SIMULAÇÃO

A simulação do pavimento tipo obteve como consumo de energia anual o valor de 94.499,82 kWh. Ou seja, 661.498,74 kWh/ano para o prédio total. Comparando esse valor com o consumo calculado das faturas de energia, 632.385 kWh/ano, observa-se um desvio em torno de 5%. Essa diferença garantiu que o comportamento do modelo simulado é próximo do comportamento médio real da edificação, podendo-se, então, 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 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**¹³. Comparando-se o resultado atual com os intervalos da Tabela 12, a edificação está

classificada no nível C (equivalente numérico 3). Este resultado corrobora a classificação obtida através do método prescritivo.

Figura 4 – Participação dos usos finais no consumo total.



As modificações individuais propostas foram: (1) troca das lâmpadas tubulares fluorescentes por lâmpadas tubulares de LED, adequando a iluminância dos ambientes às premissas mínimas da NBR ISO 8995-1, e (2) a aplicação de película espectro seletiva nos vidros - que reduziram o consumo, tornando a edificação nível B. Além dessas modificações individuais, a Tabela 14 mostra medidas combinadas. Nesse sentido, os dois resultados que obtiveram maior redução do consumo anual da edificação foram (1) a troca das lâmpadas, renovação dos equipamentos de ar condicionado para equipamentos de selo A do INMETRO (COP mínimo 3,2) e a redução da absorvidade das paredes externas pintando as mesmas com cor clara, absorvidade de 0,3; e (2) a aplicação de película seletiva nos vidros, trocas das lâmpadas e a pintura das paredes externas e internas. As simulações testadas e seus respectivos resultados são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Síntese dos resultados encontrados com as modificações selecionadas por andar

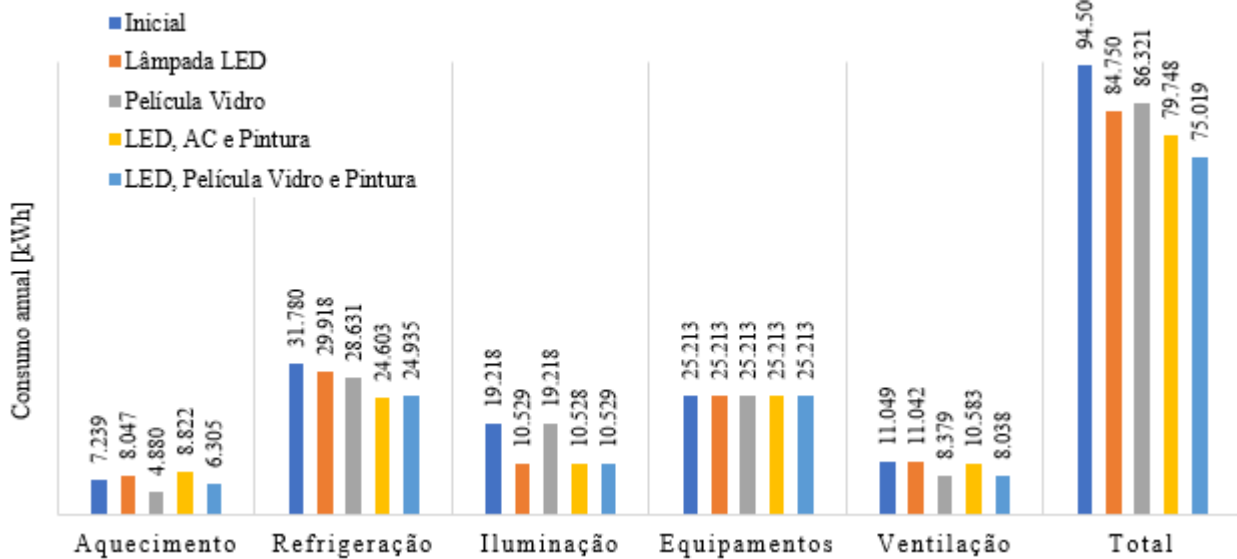
Propostas	Consumo [kWh/ano]	Δ Consumo [kWh/ano]	Redução	Etiqueta alcançada
Lâmpada LED	84.749,6	- 9.750,2	10,3%	B
Película de Vidro	86.321,5	- 8.178,4	8,7%	B
Lâmpada LED, retrofit AC e pintura parede	79.748,5	- 14.751,4	15,6%	A
Película de vidro, lâmpada LED e pintura parede	75.019,4	- 19.480,4	20,6%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

A Figura 5 apresenta o consumo anual dos cinco usos finais na edificação, bem como o valor total consumido. Para cada um são apresentados os valores da condição real da edificação (inicial) e das modificações propostas. Na mesma Figura 5 é possível observar que o uso final equipamentos foi mantido constante, conforme justificado anteriormente. Por outro lado, com relação ao aquecimento,

verifica-se que há variações para cada proposta - o consumo associado ao mesmo é maior nas propostas que fazem uso de lâmpadas LED. Esse comportamento pode ser explicado, uma vez que esta tecnologia dissipa menos calor, fazendo que no inverno seja necessária uma potência maior de aquecimento para se manter a temperatura de projeto.

No caso da aplicação de películas de vidro, o consumo de todos os sistemas que compõem o AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado) reduz. Isto porque a película diminui o ganho de calor por radiação, demandando menos do sistema de condicionamento de ar. Por outro lado, no inverno, a aplicação de película nos vidros pode demandar mais do sistema de aquecimento, devido à reflexão da radiação de determinados comprimentos de onda, e da consequente diminuição do ganho de calor.

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



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, diminuição do ganho de calor por radiação pelas películas seletivas, absorvidade 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 ao equivalente 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, também, adquirir pontos de bonificação.

5 ANÁLISE FINANCEIRA

O valor monetário envolvido das soluções propostas foi estimado com base em informações de custos de aquisição em catálogos comerciais, custo de manutenção e custo de instalação. O reajuste tarifário de energia elétrica foi calculado com base no IGP-M. Foram calculados os índices de *payback* descontado, VPL e TIR. Foi admitida uma vida útil 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 de 20% 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 feita a reposição das lâmpadas, com os valores ajustados. Além disso a taxa de manutenção e depreciação também foram consideradas 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. No 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 15 apresenta os resultados encontrados para as quatro soluções propostas.

Tabela 15 – Síntese do estudo de viabilidade técnico econômico das soluções propostas

Propostas	Investimento Inicial	Custo Anual Evitado	VPL	TIR	Payback Descontado
Lâmpada LED	R\$226.880,26	R\$56.829,97	R\$67.459,04	16%	7 anos e 2 meses
Película Vidro	R\$468.195,00	R\$99.580,15	R\$720.973,87	25%	4 anos e 8 meses
LED, modernização AC e Pintura	R\$435.323,32	R\$85.979,89	R\$1.113.694,91	12%	7 anos e 4 meses
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. A quarta solução representa a maior redução do consumo de energia, conforme mostrado na Tabela 14, mas com resultados de análise financeira menos satisfatórios. 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, a TIR e o payback descontado reduzissem consideravelmente.

6 CONCLUSÃO

Por meio deste estudo foi possível avaliar uma edificação pública de ensino nos quesitos da etiqueta PBE Edifica. O método prescritivo e de simulação permitiram identificar o nível de etiqueta atual e propor melhorias de eficiência energética para a edificação. Os dois métodos de análise produziram respostas com semelhantes níveis de eficiência, indicando a categoria C para a edificação estudada. No entanto, o método de simulação possibilitou identificar oportunidades de efficientização com maior detalhamento.

A redução do consumo da edificação em até 20% em relação ao estado atual foi atingida com a utilização de lâmpadas de LED, colocação de película nos vidros, pintura das paredes com cores claras e modernização do sistema de condicionamento de ar. Dentre as quatro soluções propostas, a película de vidro resultou nos melhores indicativos financeiros, com destaque para o *payback* inferior a cinco anos. A substituição das lâmpadas atuais por LEDs apresentou o menor valor de investimento, cerca de metade do valor das películas de vidro, e o segundo melhor indicativo financeiro.

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

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; Eletrobras; 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. Ministério 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. United States, 2018.