

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ENGENHARIA DE ENERGIA

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

por

**Jakeline Osowski Tomazi**

Monografia apresentada à Comissão de Graduação do Curso de Engenharia de Energia da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Bacharel em Engenharia de Energia.

Porto Alegre, dezembro de 2018.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
ENGENHARIA DE ENERGIA

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

por

Jakeline Osowski Tomazi

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS  
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
**BACHAREL EM ENGENHARIA DE ENERGIA.**  
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA

Prof. Roberto Chouhy Leborgne  
Coordenador do Curso de Engenharia de Energia

Orientador: Prof. Dr. Paulo Smith Schneider

Coorientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Letícia Jenisch Rodrigues

Banca examinadora:

Prof. Dr. Flávio Antônio Becon Lemos – DELAE / UFRGS

Eng. Alysson Dias Borges – ENGIE

Prof. Dr. Paulo Otto Beyer – ASBRAV

Porto Alegre, 12 de dezembro de 2018.

## AGRADECIMENTOS

À minha família que me deu suporte em diversos momentos fazendo essa caminhada um pouco menos turbulenta. *Elmo Tomazi, Tânia Regina Osowski Tomazi, Kamila Osowski Tomazi, Rodrigo Osowski Tomazi e Alexandre Osowski Tomazi*, vocês são a minha base e possuem toda minha admiração.

Aos meus orientadores, *Paulo Smith Schneider e Leticia Jenisch Rodrigues*, que dispensaram parte do seu tempo e compartilharam seu conhecimento.

À oportunidade de estudar numa universidade pública e de qualidade com a presença de excelentes profissionais no corpo docente, servidores e funcionários.

A todas as pessoas ao meu redor que me apoiaram, incentivaram e foram compreensivas nesse momento tão importante.

**TOMAZI, J. O. AUDITORIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÃO PÚBLICA VISANDO O SELO PROCEL DE ECONOMIA DE ENERGIA EM EDIFICAÇÕES.** 2018. 28 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia de Energia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

## **RESUMO**

Este trabalho apresenta uma auditoria energética de uma edificação pública visando o Selo Procel Edificações. Esse selo só pode ser obtido após alcançar a classificação A na avaliação completa que compreende a envoltória, iluminação e condicionamento de ar da edificação na Etiqueta PBE Edifica. A etiqueta evidencia o desempenho energético da edificação, classificada em categorias entre as faixas 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. As metodologias aplicadas são 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). A simulação combina o uso dos programas, DIALux e *EnergyPlus*, além do cálculo para instalação de sistema solar fotovoltaico. O DIALux realiza a simulação na parte luminotécnica dos ambientes, verificando o nível de iluminância da edificação proposta, comparando o nível de iluminância obtido na simulação com a NBR ISO 8995-1. A iluminância média dos ambientes varia de 131 lux a 882 lux, possuindo ambientes fora dos limites apresentados em norma, tanto por excesso quanto por falta de iluminação. A análise de carga térmica é feita pelo *EnergyPlus*, obtendo o consumo final anual da edificação. O modelo simulado é validado pelo consumo anual obtido através das faturas de energia tendo apresentado uma diferença de aproximadamente 5%. Pelos dois métodos de análise, prescritivo e simulação, a edificação apresenta a classificação C na etiqueta PBE. A análise de geração de energia solar fotovoltaica torna-se mais representativa ao sistema a medida que ações de eficiência energética são feitas, podendo chegar a 12% de economia de energia anual. Para obter classificação máxima na Etiqueta são feitas 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, de tal forma que apresenta VPL positivo de R\$ 720.973,87, TIR em 25% e tempo de retorno de investimento de 4 anos e 8 meses. O resultado técnico-econômico auxilia a busca de possíveis investimentos externos à universidade para implementar as modificações sugeridas no prédio.

**PALAVRAS-CHAVE:** Auditoria Energética, Etiquetagem em Edificações, Simulação Energética, Edificações Públicas, Selo Procel, Procel Edifica.

**TOMAZI, J. O. ENERGY AUDIT OF A PUBLIC BUILDING AIMING THE PROCEL LABEL OF ENERGY SAVING IN BUILDING.** 2018. 28 pages. Dissertation (Completion work of the Energy Engineering Course) Scholl of Engineering Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

## **ABSTRACT**

This work presents 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. The simulation combines two software, the EnergyPlus and the Dialux, as well as the solar system sizing. The Dialux simulates the ambience lighting verifying the building's illuminance levels proposed by the NBR ISO 8995-1. The average ambience's illuminance differ from 131 lux and 882 lux, existing out of norm ambiances due to lack or excess of lighting. The EnergyPlus analysis the thermal load achieving the annual final consumption of the building. The simulated model is validated by the annual consumption obtained through the energy invoice presenting approximately 5% of difference between these two. The edification presents the C classification on the PBE label using both methods. The solar energy generation increases its percentage of energy consumption suppling as the efficiency actions are taken, achieving 12% of annual energy consumption. In order to have the highest classification 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, obtaining positive NPV of R\$ 720.973,87, IRR in 25%, and investment return in 4 years and 8 months. Therefore, the results of simulations with the classification acquired in the label PBE Edifica turns the university able to obtain funds to implement the modifications suggested in the building.

**KEYWORDS:** Energy Audit, Labelling in Buildings, Energy Simulation, Public Buildings, Procel Label, Building Procel.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	1
2	ETIQUETAGEM EM EDIFICAÇÕES .....	2
2.1	Etiqueta PBE Edifica .....	2
2.1.1	Envoltória .....	5
2.1.2	Iluminação .....	5
2.1.3	Condicionamento de Ar .....	6
2.1.4	Bonificações.....	7
3	METODOLOGIA E MODELAGEM.....	7
3.1	Prédio Alvo.....	8
3.2	Aplicação do RTQ-C .....	9
3.3	Andar Padrão.....	9
4	RESULTADOS .....	9
4.1	Análise Luminotécnica.....	9
4.2	Geração Solar Fotovoltaica .....	12
4.3	Método Prescritivo .....	13
4.3.1	Cálculo Equivalente Numérico Envoltória .....	13
4.3.2	Cálculo Equivalente Numérico Iluminação.....	14
4.3.3	Cálculo Equivalente Numérico Condicionamento de Ar .....	15
4.3.4	Resultado Final pelo Método Prescritivo .....	15
4.4	Método de Simulação .....	15
4.4.1	Modificações Propostas .....	17
5	ANÁLISE FINANCEIRA.....	19
6	CONCLUSÃO .....	20

## **SIGLAS E ABREVIações**

ABNT	<i>Associação Brasileira de Normas Técnicas</i>
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
BRE	<i>Building Research Assessment</i>
BREEAM	<i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method</i>
CASBEE	<i>Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency</i>
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
HQE	<i>Haute Qualité Environnementale</i>
HVAC	<i>Heating, Ventilation and Air Conditioning</i>
IGP-M	Índice Geral de Preços do Mercado
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
ISO	Organização Internacional de Normas
LABEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
OIA	Organismo de Inspeção Acreditado
PBE	Programa Brasileiro de Eficiência Energética
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RAC-C	Requisitos de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
RTQ-C	Requisitos Técnicos da Qualidade para o nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicos
RTQ-R	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
SWERA	<i>Solar and Wind Energy Resource Assessment</i>
TIR	Taxa Interna de Rentabilidade
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
VPL	Valor Presente Líquido

## **SIGLAS PRESENTES NO RTQ-C**

$\alpha$	Absortância de superfícies
AC	Área condicionada [m <sup>2</sup> ]
AHS	Ângulo Horizontal de Sombreamento
ANC	Área não condicionada [m <sup>2</sup> ]
APT	Área de permanência transitória [m <sup>2</sup> ]

AU	Área útil [m <sup>2</sup> ]
AVS	Ângulo Vertical de Sombreamento
b	Bonificação
COP	<i>Coefficient of Performance</i>
DPI	Densidade de potência de iluminação
DPIL	Densidade de potência instalada limite
$\overline{E_m}$	Iluminância média [lux]
FA	Fator de Altura
FF	Fator de Forma
FS	Fator Solar
ICenv	Indicador de consumo da envoltória
PAF <sub>T</sub>	Percentual de Abertura na Fachada total
PT	Pontuação Total
Ra	Índice de reprodução de cor mínimo
U	Transmitância térmica [W/m <sup>2</sup> K]
UGR <sub>L</sub>	Índice limite de ofuscamento unificado

## 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.

A temática sobre eficiência energética surgiu com a necessidade de reduzir o impacto ambiental e o consumo energético, uma vez que as tarifas de energia elétrica tendem a aumentar gradativamente. Com isso, alguns estudos estão sendo desenvolvidos nos setores públicos ou privados com o objetivo de tornar as construções mais eficientes energeticamente. Essas medidas adotadas no processo anterior à construção tornam o tempo de retorno do investimento menor e viabilizam mais rapidamente o sistema, chegando a 50% de economia (PROCEL INFO, 2006). No caso de edificações que já estão construídas, a abordagem apresenta limitações, uma vez que não é possível realizar um estudo completo de todas as possibilidades que tornariam a construção mais eficiente, como por exemplo, alterar a orientação ou materiais construtivos. Nessas circunstâncias, as alternativas de modernização focam principalmente em melhorar os sistemas existentes, possuindo grande capacidade de reduzir os seus gastos energéticos.

Segundo o último relatório do monitoramento do sistema de energia elétrico divulgado pelo Ministério de Minas e Energia, o setor público consome anualmente 8,3% da energia elétrica produzida no Brasil (MME,18). Essa parcela diminuiu em 0,6% em relação ao ano anterior em consequência da forte ação em programas de eficiência energética que vêm ganhando destaque no cenário nacional (EDIFICA, 2010). O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) pode ser considerado o marco inicial do desenvolvimento e pesquisas na busca da redução da energia elétrica. Após esse, outros programas entraram em vigor com o mesmo intuito (CPEE, 2015). A busca pela eficiência energética tomou força com o sancionamento da Lei nº 10.295/2001, chamada de “Lei da Eficiência Energética”, que promulga a conservação de energia como responsabilidade da Política Energética Nacional. Diante disso, em 2003 iniciou o Procel Edifica que dirigiu a atenção de eficiência energética também para as edificações. Assim, 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. A Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) do PBE avalia o desempenho energético da edificação, sendo um retrato do potencial de economia de energia da construção e controle do uso de energia nacional (PROCEL INFO, 2006).

No contexto nacional 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. Com a intenção de entender esse fato, esse autor buscou identificar, compreender e apresentar as principais razões que conduzem ao consumo excessivo de energia em edificações públicas. Como resposta ao estudo, foram mencionados a falta de atuação sistemática e articulada dos gestores municipais, e o baixo financiamento direcionado a inovação e alterações de recursos tecnológicos.

A 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). 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). Segundo a etiqueta PBE Edifica, os edifícios comerciais, de serviços e públicos são avaliados em três sistemas: envoltória, iluminação e condicionamento de ar. 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 garantir a redução de consumo energético.

Dessa forma, este trabalho apresenta uma auditoria energética no prédio da Faculdade de Farmácia pertencente a UFRGS iniciando o processo de levantamento de dados de desempenho energético dentro o parque de edificações da universidade. Foi realizada uma análise de melhoria energética visando a classificação A na Etiqueta PBE Edifica que pode pleitear pelo selo Procel Edifica ou Edificações caso alcance a categoria máxima nos três sistemas avaliados. Este selo é uma alternativa para se comprovar um pré-requisito de desempenho energético no processo de obtenção da certificação internacional de construções sustentáveis *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED). Como apoio a esse estudo foram utilizados softwares de simulação que indicarão os resultados das modificações propostas. O programa *EnergyPlus* foi utilizado para análise de carga térmica e o DIALux indicou o comportamento luminotécnico. Foi verificado também a viabilidade de instalação de um sistema solar fotovoltaico visando uma bonificação na classificação na etiquetagem a partir de métricas locais de irradiação. As melhores oportunidades de eficiência energética foram avaliadas técnica e financeiramente validando os resultados como método de tomada de decisão.

## 2 ETIQUETAGEM EM EDIFICAÇÕES

Diversos países a partir dos anos 1990 começaram a desenvolver requisitos de certificação na área de edificações com o objetivo de construir prédios de forma ambientalmente responsáveis e de alto desempenho (VALENTE, 2009). O sistema *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM) foi o pioneiro na área de certificações em construções com origem britânica e desenvolvido pelo *Building Research Assessment* (BRE) no ano de 1990. De caráter prescritivo, atualmente ele é muito utilizado no Reino Unido, Alemanha, Holanda, Suécia, Espanha, entre outros países e está baseado no benchmarking das edificações. Depois deste, em 1998, foi criado nos Estados Unidos o certificado de maior escala e divulgação entre todos os selos até o momento. A certificação *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) está presente nos mais diversos países e é a certificação internacional mais aplicada no Brasil. O LEED é guiado pelas normas da ASHRAE, mesclando aspectos prescritivos e de desempenho, e tem como princípio o sistema de pontuação baseado em sete parâmetros, como por exemplo eficiência de água (WE) e qualidade ambiental interna (EQ).

As certificações começaram na Europa e foram difundidas para diversos países onde novos modelos e incentivos foram criados. Fora as duas certificações citadas anteriormente, outros renomados selos de edificações são o *Haute Qualité Environnementale* (HQE) criado no ano de 2002 na França, o *Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency* (CASBEE) de origem japonesa e o *Green Star* da Austrália (HERZER, LETÍCIA ARAUJO; FERREIRA, 2016).

As etiquetas de certificações ambientais mais implantadas no Brasil são a LEED (USA) e HQE (FRA), ambas internacionais (VALENTE, 2009). Existe também no Brasil a Etiqueta PBE de Edificações na área energética em construções lançada em 2010, em que o Procel iniciou seus esforços desde 2003.

### 2.1 Etiqueta PBE Edifica

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. Para a sua aplicação foram elaborados dois regulamentos que se diferenciam pelo tipo de edificação analisada. Os regulamentos criados foram Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Além desses documentos, foi elaborado um mecanismo de avaliação de conformidade para as edificações conhecido como Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações (RAC) e desenvolveram documentos adicionais como manuais de aplicação do RTQ-C, RTQ-R e RAC que esclarecem esses requisitos de maneira bastante ilustrada com exemplos teóricos e de cálculos (EDIFICA, 2010).

De forma geral, os RTQ-C e RTQ-R definem as exigências necessárias para a classificação do nível de eficiência das construções. Já o RAC apresenta os procedimentos para a obtenção da ENCE do Inmetro, sendo composto por documentos de submissão para avaliação, direito e deveres dos envolvidos, o modelo das ENCEs, modelos de formulários, dentre outros. Sendo assim, a ENCE para uma edificação é obtida

através da avaliação dos requisitos presentes no RTQ, Comercial ou Residencial, e segundo as normativas do RAC fiscalizado por um Organismo de Inspeção Acreditado (OIA) autorizado.

A ENCE pode ser obtida a partir do método prescritivo ou de simulação. O método prescritivo é um método simplificado que avalia as edificações através de equações e tabelas (ELETROBRÁS; CB3E; INMETRO, 2016), ou seja, ao avaliar a envoltória da edificação existe uma equação para cada zona bioclimática e área de projeção da construção. Essa equação corresponde ao índice de consumo da envoltória e resulta em um equivalente numérico. Ao avaliar os outros dois sistemas, de iluminação e condicionamento de ar, existem planilhas com intervalos para cada nível da classificação. Dessa forma se faz uma comparação a esse nível gerando mais dois equivalentes numéricos. Estes valores são colocados na equação da pontuação final para encontrar o desempenho energético final da edificação.

Por outro lado, o método de simulação é feito usando parte do método prescritivo e simulação do desempenho termo-energético de ambientes condicionados e não condicionados. O método de simulação possibilita um grau de liberdade maior para o auditor energético ao analisar novas soluções que porventura não possam ser abrangidas no método prescritivo. De modo geral, a simulação consiste em analisar o consumo anual de energia elétrica de dois grandes modelos, um modelo proposto (real) e quatro modelos referência baseado nos níveis energéticos da etiqueta (A, B, C e D). A simulação deve ser realizada em programa estabelecido pelo RTQ-C e que respeite a fonte dos arquivos climáticos. Ao final, deve ser comprovado que o modelo proposto apresenta um consumo de energia menor ou igual a o consumo do edifício referência.

Após realizar a análise prescritiva ou de simulação é obtida a ENCE geral, caso sejam estudados os três parâmetros da construção, ou a ENCE parcial, ao analisar apenas a envoltória; a envoltória e iluminação; ou a envoltória e condicionamento de ar. A Figura 1 apresenta a ENCE geral.

Figura 1 Modelo da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para edificações construídas



Fonte: Fundação CERTI

A ENCE destinada às edificações é similar às etiquetas encontradas em equipamentos elétricos e apresentam as principais informações referentes ao nível energético da edificação. A Figura 1 é um exemplo de uma etiqueta para edificações construídas do tipo Comercial, de Serviços e Públicas. Para o caso apresentado, a edificação possui a classificação máxima geral e também a nível A na envoltória, iluminação e condicionamento de ar. A etiqueta também fornece informações a respeito dos pré-requisitos gerais e bonificações. Os pré-requisitos gerais são os circuitos elétricos separados por uso final com algumas exceções, por exemplo, construções anteriores a 2009, e aquecimento de água para edificações em que a parcela de água quente represente um percentual maior do que 10% do consumo de energia elétrica. Já para as bonificações, caracterizadas por iniciativas que aumentem a eficiência energética da edificação, podem ser citados sistemas e equipamentos que racionalizem o uso de água, fontes de energias renováveis como painéis solares fotovoltaicos e sistemas de cogeração.

Os sistemas parciais da ENCE possuem pesos distintos na equação geral final (Equação 1), sendo envoltória e iluminação correspondentes por 30% cada e condicionamento de ar por 40%. Para alcançar a classificação máxima na etiqueta geral é necessário possuir classificação A nos três parâmetros, além de respeitar os pré-requisitos gerais. Caso algum requisito dos sistemas analisado não obtenha classificação máxima, a etiqueta geral não atinge uma classificação superior ao nível B. A pontuação total (PT) pelo método prescritivo é calculada a partir da equação a seguir sendo uma média ponderada pelos três sistemas analisados. A primeira e segunda parte da equação possuem peso 3 que são referentes a envoltória e iluminação, e a última parcela referente ao sistema de condicionamento de ar possui peso 4.

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

Fonte: Manual para aplicação do RTQ-C <[www.pbeedifica.com.br](http://www.pbeedifica.com.br)>

onde:

AC – Área útil dos ambientes condicionados;

AU – Área útil

APT – Área útil dos ambientes de permanência transitória, desde que não condicionados;

ANC – 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;

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

O número de pontos adquirido na equação 1 corresponde à classificação geral da edificação de acordo com os limites da Tabela 1.

Tabela 1 Classificação geral associado ao resultado da equação de pontuação total

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

A pontuação total pode ser acrescida em até um ponto pela aplicação de bonificação à edificação.

### 2.1.1 Envoltória

A envoltória, segundo o RTQ-C, é definida como planos que separam o ambiente interno do externo e acima do nível do solo, como paredes e cobertura, ou seja, podem ser comparadas à pele da edificação. A análise da envoltória possui contribuição de 30% na etiqueta geral. Algumas características são avaliadas a fim de diagnosticar o nível energético da edificação para este item. Os principais critérios analisado são transmitância térmica ( $U$ ), cores e absorvância de superfícies ( $\alpha$ ) e iluminação zenital. Assim, deve ser observado as orientações das fachadas e materiais construtivos utilizados na edificação. Outras informações verificadas são o percentual de abertura das fachadas, ângulos de sombreamento e ventilação natural, além de características que estão atreladas a zona bioclimática onde a edificação está situada. Os pré-requisitos específicos do sistema de envoltória são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 Resumo dos pré-requisitos específicos do sistema de envoltória

Nível de Eficiência	Umáx. cobertura		Umáx. parede	$\alpha$ par	$\alpha$ cob	Iluminação Zenital
A	AC: 1 W/m <sup>2</sup> K	ANC: 2 W/m <sup>2</sup> K	3,7 W/m <sup>2</sup> K	$\alpha$ par < 0,5	$\alpha$ cob < 0,5	Se houver abertura zenital, Tabela 3.1 do RTQ-C.
B	AC: 1,5 W/m <sup>2</sup> K	ANC: 2 W/m <sup>2</sup> K	3,7 W/m <sup>2</sup> K	-	-	Se houver abertura zenital, Tabela 3.1 do RTQ-C.
C	2 W/m <sup>2</sup> K		3,7 W/m <sup>2</sup> K	-	-	-

Dessa forma, juntamente com os pré-requisitos específicos da Tabela 2, o resultado do equivalente numérico referente a envoltória (EqNumEnv) é calculado a partir da escolha de uma equação presente no RTQ-C designada diretamente para a zona bioclimática e área de projeção da edificação. A equação para o caso estudado será apresentada no capítulo 7.1. O valor para este sistema é colocado na equação de pontuação total, apresentada na Figura 2, na variável de EqNumEnv.

### 2.1.2 Iluminação

A iluminação artificial é o complemento da iluminação natural nos ambientes e faz-se necessária em pontos mais afastados da fachada para que seus usuários desfrutem do local com conforto. Até então as questões associadas à iluminação de ambientes de trabalho dirigiam-se à NBR 5413, do ano de 1992, mas foi substituída pela NBR ISO 8995-1, criada em 2013, na qual este trabalho foi baseado. As normas de iluminação apresentam limites de iluminância para certos tipos de ambientes, garantindo a iluminação adequada que acarreta em um melhor desempenho dos usuários em suas atividades, comodidade e condições de salubridade. A NBR ISO 8995-1 indica níveis mínimos de iluminância para diferentes ambientes de acordo com a atividade exercida, como por exemplo hospitais, sala de cinemas, laboratórios.

A iluminação artificial influencia a edificação no bem-estar dos usuários, no consumo de energia elétrica e na dissipação de calor para o ambiente. Um bom dimensionamento de iluminação evita desperdícios de consumo elétrico e geração de carga térmica excessiva. A carga térmica excessiva dissipada ao ambiente de trabalho também acarreta o aumento de consumo com sistema de condicionamento de ar.

O sistema de iluminação corresponde a 30% da etiqueta geral PBE e possui três pré-requisitos específicos que são: divisão dos circuitos, contribuição da luz natural e desligamento automático do sistema de iluminação. Por divisão dos circuitos entende-se que cada ambiente fechado por paredes ou divisórias até o teto deve possuir pelo menos um dispositivo de controle manual para o acionamento de iluminação interna. O desligamento automático do sistema de iluminação é obrigatório apenas para ambientes maiores que 250m<sup>2</sup>. A Tabela 3 apresenta os itens obrigatórios de iluminação para cada nível de eficiência.

Tabela 3 Relação entre pré-requisitos específicos e o nível de eficiência

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

Além dos pré-requisitos específicos, o RTQ-C classifica níveis de densidade de potência instalada limite (DPIL) para cada classificação de A à D citando diferentes tipos de ambientes. Caso a densidade fique acima do limite máximo da classificação D, torna-se classe E. A densidade de potência instalada (DPI) na edificação resulta em algum dos níveis do DPIL, gerando o equivalente numérico da iluminação.

### 2.1.3 Condicionamento de Ar

A eficiência de um sistema de ar condicionado é dada pelo *Coefficient of Performance* (COP), que é razão entre a capacidade de condicionamento do ambiente interno em relação à potência demandada do aparelho. (BERLEZE, 2013). Este é um indicador largamente adotado e foi utilizado no trabalho para definir o sistema de condicionamento de ar atual e previsto.

O cálculo de carga térmica de um ambiente, leva em conta a quantidade de calor absorvido provenientes de fontes internas (equipamentos elétricos, pessoas e iluminação) e externas (radiação solar, condução de calor, infiltrações de ar e ventilação), e fornece informações para dimensionar um sistema de condicionamento de ar. Este cálculo pode ser feito de forma analítica. Esse cálculo neste trabalho foi feito com auxílio do programa de simulação termo-energética *EnergyPlus*.

O nível de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar no RTQ-C leva em conta a capacidade dos equipamentos de refrigeração, além de parâmetros como o isolamento de dutos. Em se tratando da utilização de equipamentos tipo *split* com o Selo do INMETRO, o equivalente numérico do condicionamento de ar (EqNumCA) é a própria classificação do equipamento. Os intervalos mostrados na Tabela 4 relacionam o COP de aparelhos do tipo split por níveis de eficiência.

Tabela 4 Limites de eficiência, definidos pelo INMETRO, de condicionadores de ar do tipo split, para cada nível de eficiência

Classes	COP mínimo	COP máximo
A	3,20	
B	3,00	3,20
C	2,80	3,00
D	2,60	2,80
E	2,39	2,60

Quanto maior o COP do equipamento, mais eficiente ele se torna. Isso resulta diretamente no consumo de energia elétrica da edificação.

### 2.1.4 Bonificações

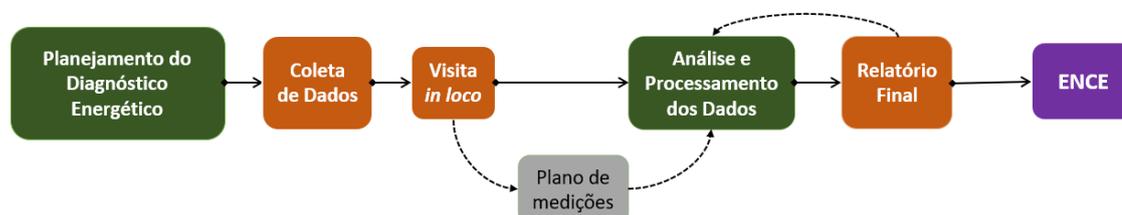
É possível buscar por soluções complementares que, de forma comprovada, aumentem a eficiência energética da edificação para elevar o nível alcançado pela pontuação geral. As medidas de bonificações incentivam o emprego de inovações tecnológicas e reduzem o consumo de energia elétrica. A pontuação adquirida pelas bonificações pode variar em até um ponto a pontuação final. Algumas medidas aptas a serem implantadas são: sistemas que racionalizem o uso de água, tais como torneiras com arejadores e/ou temporizadores, aproveitamento de água pluvial e sanitários com sensores. Ao adotar soluções de racionalização de água, por exemplo, deve-se chegar a uma redução de no mínimo 40% no consumo anual de água para atingir bonificação máxima, caso contrário é calculado proporcionalmente.

Além dessas ações, podem ser utilizadas tecnologias com sistemas ou fonte renováveis de energia, como energia eólica e energia solar fotovoltaica. Essas tecnologias devem assegurar uma redução de no mínimo 10% do consumo anual de energia elétrica para obter a bonificação máxima na Etiqueta. Além disso, existe a possibilidade de instalar sistemas de cogeração e inovações técnicas ou sistemas que aumentem a eficiência energética da edificação resultando em, no mínimo, 30% de redução do consumo anual de energia.

## 3 METODOLOGIA E MODELAGEM

O processo de diagnóstico energético de uma edificação é dividido em diversas etapas, as quais vão desde o estudo do prédio a ser analisado até os resultados das medidas aplicadas. Para servir de base do diagnóstico energético, este trabalho levou em conta o RTQ-C, bem como seu manual de aplicação. A Figura 3 apresenta o fluxograma que resume as etapas utilizadas para realizar o diagnóstico energético.

Figura 2 Fluxograma do processo de diagnóstico energético



Fonte: Elaborado pela autora baseado em CBCS; MITSIDI; PROCEL ELETROBRAS, 2016.

O processo de diagnóstico energético adotado neste trabalho levou em conta ao menos sete etapas. A primeira metade das etapas foi necessária para planejar e agrupar o maior número de informações possíveis da edificação. Esse processo foi fundamental para formar uma base sólida nas tomadas de decisões e elencar as possíveis alterações da edificação. Após efetuar o levantamento de dados, o RTQ-C permitiu realizar o processamento das informações pelo método prescritivo (equacionamentos) ou por método de simulação, no entanto cabe ressaltar que a simulação não excluiu em sua totalidade o cálculo com o método prescritivo.

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

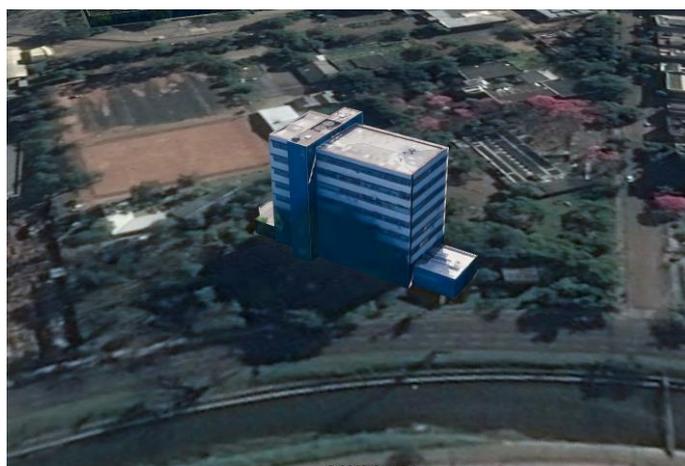
1. Planejamento do Diagnóstico Energético: Esta etapa abrange a delimitação do problema a ser abordado que neste caso foi o prédio da Faculdade de Farmácia visando o Selo Procel Edificações. Além disso, uma breve contextualização do prédio será mencionada no item 3.1.
2. Coleta de Dados: A coleta das informações sobre a edificação foi feita através de faturas de energia elétrica e levantamento do perfil de uso da edificação (Laboratório e salas de aula).

3. Plano de Medições: Nesta etapa seriam definidos os sistemas necessários de medição caso fosse de interesse saber a participação no consumo energético de um determinado sistema, aparelho ou andar. Essa medição possibilitaria verificar a divisão dos usos finais da edificação e traçar planos de ações sem que fosse necessário uso de programas de simulação. Não foram feitas medições específicas na edificação porque não haveria tempo hábil de coleta de informações.
4. Visita *in loco*: Foram realizadas visitas ao prédio da Faculdade de Farmácia com o intuito de averiguar se as informações previamente levantadas estavam coerentes e foram avaliados os equipamentos de condicionamento de ar, iluminação, elevadores, bombas de água, entre outros sistemas.
5. Análise e Processamento de Dados: Nesse momento foi iniciado o processamento de todas as informações recolhidas visando encontrar o desempenho energético da edificação. Ao fim do processo foi possível reconhecer os principais usos finais da edificação, direcionando ações corretas e impactantes para garantir a eficiência energética. Nessa mesma etapa foi realizado um diagnóstico energético da edificação real através do método prescritivo e de simulação.
6. Relatório Final: Após encontrar o nível energético atual através dos métodos de prescrição e simulação, foram propostas medidas que fariam com que a edificação alcançasse a etiqueta PBE nível A. As propostas foram inseridas no programa de simulação gerando um novo relatório, até o mesmo apresentar um resultado satisfatório.
7. ENCE: Ao final do estudo foi possível apurar o desempenho energético da edificação e quais as modificações torná-la-iam elegível ao Selo Procel de Edificações.

### 3.1 Prédio Alvo

A edificação de estudo foi o prédio da Faculdade de Farmácia da UFRGS, sede do primeiro curso universitário de Porto Alegre. 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. A edificação está situada em uma das principais avenidas da cidade – Avenida Ipiranga - e possui uma área bem arborizada em sua volta. O prédio da Faculdade de Farmácia apresentado na Figura 4 foi construído no ano de 1952 e representa uma arquitetura de característica modernista.

Figura 3 Localização do prédio da Faculdade de Farmácia



A edificação possui sete andares e os usos na edificação abrangem setores administrativos, funcionamento de laboratórios, salas de aula e biblioteca. Em todos os andares, exceto no primeiro, há salas com laboratórios. Alguns andares podem ser classificados como os que mais consomem energia por conta da sua atividade nos laboratórios, já que nas salas de aula os consumos são semelhantes. Esse prédio foi escolhido também por apresentar medição de energia elétrica separada das demais construções do campus

da UFRGS. Algumas faturas de energia elétrica foram obtidas e constatou-se que a Faculdade de Farmácia está no grupo A4 Horo Sazonal Verde e consome em torno de 632,39 MWh/ano de energia.

### 3.2 Aplicação do RTQ-C

Os pré-requisitos gerais, segundo o RTQ-C, foram o ponto inicial para a avaliação da etiquetagem da construção estudada. Caso não fossem cumpridas estas exigências, o edifício ficaria limitado e não poderia obter a classificação máxima, mesmo que em todos os sistemas parciais fosse atingido, por exemplo, A. O RTQ-C apresentava os seguintes pré-requisitos gerais:

- Circuitos Elétricos: Possuir circuito elétrico separado por uso final: iluminação, sistema de condicionamento de ar e outros; ou possuir equipamento que permita a medição por uso final. No entanto, conforme descrito no Regulamento, edificações cuja data de construção antecede junho de 2009 possuem exceção a esta exigência.
- Aquecimento de água: Edificações que apresentem uma parcela de consumo de água quente maior ou igual a 10% do consumo de energia total, devem apresentar uma estimativa de demanda de água quente. O suprimento deste consumo para o nível A deve vir de sistema de aquecimento solar, aquecedor a gás do tipo instantâneo, por bombas de calor ou caldeiras a gás. Como o prédio da Faculdade de Farmácia não possui uma parcela significativa de consumo de água quente, pode-se desprezar esta condição.

A edificação abordada não possui problema com os pré-requisitos gerais do Regulamento, pois além de ser uma construção anterior ao ano de 2009, também não possui demanda significativa de água quente. Dessa forma, foi dada atenção aos pré-requisitos específicos de cada sistema analisado: envoltória, iluminação e condicionamento de ar, além da avaliação do sistema fotovoltaico. Estas avaliações parciais são bem descritas no RTQ-C e contam com uma metodologia bem estruturada quanto a análise de desempenho energético de uma edificação pelo método prescritivo.

Este trabalho foi dividido em quatro etapas: análise de iluminação pelo software DIALux, instalação de painel solar na cobertura buscando bonificação na etiqueta, análise pelo método prescritivo e análise por simulação com o software EnergyPlus. Os resultados encontrados de iluminação no DIALux foram inseridos nas duas formas de análise da etiqueta, prescritivo e simulação.

### 3.3 Andar Padrão

Diante do fato de que este prédio possui atividades semelhantes ao longo dos seus sete andares, basicamente laboratórios e salas de aula, foi estipulado um andar padrão que, de maneira geral, representa a edificação. A partir de visitas realizadas no local de estudo, foi montado uma média de ocupação, instalação de equipamentos, iluminação que facilitaria a inserção das informações nos programas de simulação utilizados. As cargas horárias definidas no programa EnergyPlus estão expostas no apêndice do trabalho.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Análise Luminotécnica

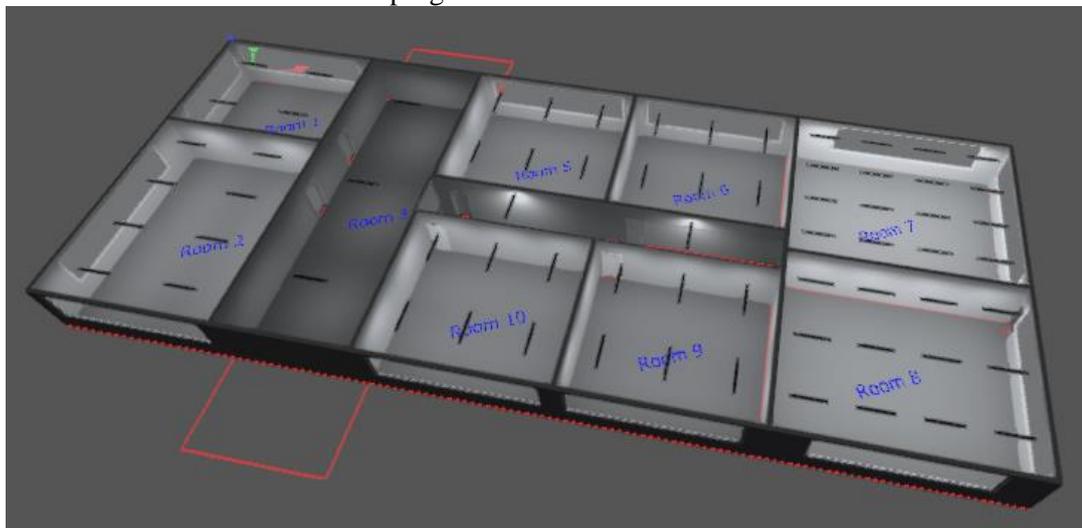
A análise luminotécnica foi baseada na NR ISO 8995-1, a qual define valores mínimos de iluminância de certos ambientes levando em conta fatores como: requisitos para a tarefa visual; segurança; aspectos fisiológicos de conforto e bem-estar; economia e experiência prática. A Tabela 5 especifica os valores pertinentes ao prédio da Faculdade de Farmácia.

Tabela 5 Especificação NR ISO 8995-1 de iluminância de ambientes

Tipo do ambiente, tarefa ou atividade	$\overline{E_m}$ [lux]	UGRI	Ra	Observações
Áreas de circulação e corredores	100	28	40	Nas entradas e saídas, estabelecer uma zona de transição, a fim de evitar mudanças bruscas.
Salas de aula, salas de aulas particulares	300	19	80	Recomenda-se que a iluminação seja controlável.
Laboratórios	500	19	80	

O andar padrão utilizado na parte de iluminação é mostrado na Figura 5.

Figura 4 Andar modelo do prédio da Faculdade de Farmácia utilizado na análise luminotécnica do programa DIALux



Esta análise permitiu verificar como estava o desempenho luminotécnico segundo a Norma ISO 8995-1, além de prever modificações que tornariam esse sistema mais eficiente. Foram adotados dois tipos de lâmpadas, a tubular fluorescente e a tubular *Light Emitting Diode* (LED), para simular os impactos na iluminância e potência dos ambientes internos. A lâmpada do tipo fluorescente é o modelo utilizado atualmente nas dependências do edifício e a modificação por uma lâmpada do tipo LED contempla a alta eficiência, maior durabilidade, tempo de vida útil e outros fatores que caracterizam essa tecnologia como alternativa na busca de eficiência energética.

Os modelos de luminárias utilizadas no estudo são mostrados na

Figura 5. O modelo a esquerda condiz com a opção fluorescente e a direita representa o modelo utilizado na simulação com LED.

Figura 5 Tipos de lâmpadas e luminárias inseridos no programa DIALux

Philips Lighting TTX150 491 2xTL5-35W HFP\_865 2xTL5-35W/865 Philips Lighting BCS640 W21L125 1xLED48/840 LIN-PC 1xLED48/840/-



Os planos de trabalho considerados na simulação foram 0,8 m acima do solo para as salas de aula e laboratórios e no nível do piso (0 m) para os corredores, já que a Norma ISO 8995-1 apresenta os seus valores de referência na superfície do plano de trabalho.

Os resultados encontrados são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 Comparação dos resultados encontrados pelo software DIALux

AMBIENTES NO DIALux	NORMA ISO 8995-1	ILUMINAÇÃO ATUAL		ILUMINAÇÃO LED	
	<i>Em</i> [lx]	<i>Em</i> [lx]	Potência [W]	<i>Em</i> [lx]	Potência [W]
ZN1 – Sala de Aula	300	423	616	343	312
ZN2 – Sala Lab. Sul 1	500	480	462	525	312
ZN3 – Sala Lab. Sul 2	500	479	462	525	312
ZN4 – Lab. Fundos Sul	500	671	924	547	468
ZN5 – Lab. Fundos Norte	500	882	1232	547	468
ZN6 – Sala Lab. Norte 1	500	479	462	524	312
ZN7 – Sala Lab. Norte 2	500	478	462	524	312
ZN8 – Sala Professores	300	333	308	407	234
ZN9 – Corredor Elevador	100	131	231	110	117
ZN10 – Corredor Lab.	100	145	154	127	78

Três cenários de iluminância foram considerados: a iluminação de acordo com a NORMA ISO 8995-1, o cenário atual e o cenário com iluminação LED. Comparando o cenário atual com o prescrito pela Norma ISO 8995-1, percebe-se que alguns ambientes estão com iluminação excessiva e, ao mesmo tempo, algumas estão com níveis abaixo do exigido. As zonas 2, 3, 6 e 7 não estão dentro do mínimo exigido por lei para estes ambientes, no entanto estão muito próximo de regularizar-se. Já o ambiente 5, principalmente, apresenta uma iluminação excessiva, acarretando numa maior carga térmica para a sala e gastos no consumo de eletricidade. Embora esse resultado seja significativamente alto, deve-se atentar se o laboratório apresenta alguma característica específica de uso que necessita de uma iluminação mais intensa. Neste trabalho foi considerado um laboratório de uso geral, devendo seguir a exigência padrão da Norma ISO 8995-1.

A partir do resultado da simulação, foi reanalisado o caso para as lâmpadas e luminárias de modelo LED seguindo as premissas da ISO 8995-1. O resultado está nas duas últimas colunas da Tabela 6. Foi almejado que todos os ambientes respeitassem e se aproximassem do mínimo de iluminância, obtendo um ambiente agradável, sem carga térmica e consumo de energia em excesso. É possível comparar esta proposição com o cenário atual e percebe-se a redução da potência instalada em todos os ambientes internos. A lâmpada de LED além de ser uma tecnologia que dissipa menos calor, reduzindo a carga térmica das zonas, consome significativamente menos energia.

## 4.2 Geração Solar Fotovoltaica

Estudou-se a instalação de painéis solares fotovoltaicos visando a bonificação na etiqueta geral do PBE Edifica. A opção de geração distribuída foi escolhida sabendo que, dentre as possíveis fontes de geração de energia citadas no RTQ-C, esta era a mais cabível para este caso. Outra opção disponível pelo Regulamento era a instalação de sistema solar térmico, porém como o prédio não dispense um valor considerável em aquecimento de água, excluiu-se a hipótese. Também seria possível instalar sistemas e equipamentos que racionalizem o uso de água, mas não foi considerado no escopo do trabalho.

Delimitou-se a instalação de painéis solares fotovoltaicos em todas as áreas numeradas do telhado, conforme a Figura 6. Uma das águas do telhado não foi utilizada, porque em grande parte do dia fica sombreada pela estrutura das casas de máquinas da edificação.

Figura 6 Áreas disponíveis para instalação do sistema solar fotovoltaico



Foram realizadas as medidas de cada água do telhado da Figura 7 pelo programa Google Earth. Calculou-se quantos módulos seriam possíveis instalar na cobertura e após isso foi escolhido um modelo de módulo fotovoltaico a fim de se obter suas dimensões. A Tabela 7 apresenta o resultado das áreas da cobertura com os dados de potência dos módulos.

Tabela 7 Quantidade de módulos instalados e potência por área

	Área [m <sup>2</sup> ]	Módulos/Área	Potência por módulo [Wp]	Potência [kWp]
Área 1	34,8	14	330	4,62
Área 2	34,8	14	330	4,62
Área 3	142,4	49	330	16,17
Área 4	34,8	14	330	4,62
Área 5	34,8	14	330	4,62
Área 6	142,4	49	330	16,17
Área 7	52,5	16	330	5,28

Essas informações foram inseridas na planilha de cálculo da empresa na qual a autora deste estudo trabalha. A planilha de cálculo considera o arquivo climático SWERA que leva em conta condições meteorológicas na qual a edificação está situada. Além disso, foram adotados *yields* de referência para cada orientação de telhado. O *yield* possui a unidade de kWh/kWp representando a energia total anual instalada por kWp e depende da irradiação total anual no coletor, performance dos módulos e perdas no sistema.

Multiplicando-se o *yield* pela potência dos painéis em kWp, é obtido a geração em kWh/ano de cada área e o total produzido para a edificação (Tabela 8).

Tabela 8 Resultado da geração de energia solar fotovoltaica na cobertura da edificação

	<i>yield</i> [kWh/kWp/ano]	Geração (kWh/ano)
Área 1	1211	5.594,82
Área 2	1211	5.594,82
Área 3	1211	19.581,87
Área 4	953	4.402,86
Área 5	953	4.402,86
Área 6	953	15.410,01
Área 7	1096	5.786,88
	TOTAL	60.774,12

Sabendo que o consumo anual atual é de 635.385 kWh/ano, esse resultado implica na redução de 9,6% do consumo de energia elétrica anual do modelo proposto. No entanto, para receber a classificação máxima (1 ponto final) no quesito de bonificação essa redução deveria ser de no mínimo 10%. De qualquer forma, esse resultado é significativo e foi relevante após avaliar soluções adotadas de eficiência energética.

### 4.3 Método Prescritivo

O método prescritivo é baseado na análise dos sistemas de envoltória, iluminação e condicionamento de ar. Esse método caracteriza-se pela análise de simulações de um número limitado de casos através de regressão, sendo uma forma mais simplificada e engessada de avaliar a edificação. Cada sistema analisado gera um equivalente numérico que será inserido na equação geral apresentada na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** A seguir serão descritos mais detalhadamente de como foram calculados os equivalentes numéricos de cada sistema e o resultado final.

#### 4.3.1 Cálculo Equivalente Numérico Envoltória

A verificação do equivalente numérico da envoltória inicia pelos pré-requisitos específicos deste sistema, os quais foram apresentados na Tabela 2. De acordo com os materiais de construção definidos para as paredes e coberturas, obteve-se o valor de transmitância térmica de 1,82 W/m<sup>2</sup>K e 2,15 W/m<sup>2</sup>K da cobertura e paredes, respectivamente. Como a absorvância da envoltória depende diretamente da cor, foi pressuposto uma cor relativamente escura para a parede por conta do efeito do tempo, desgaste e sujeira. Já para a cobertura foi suposta uma cor clara, pois as telhas estão limpas e em boas condições. Pela análise dos pré-requisitos chegou-se na classificação C, conforme exposto na Tabela 9.

Tabela 9 Resultado dos pré-requisitos específicos da envoltória

	Prédio Proposto	Resultado
Ucobmax (W/m <sup>2</sup> K)	C	C
Uparmax (W/m <sup>2</sup> K)	A	
$\alpha$ parmax	B	
$\alpha$ cobmax	A	

Após este procedimento foi calculado o índice de consumo da envoltória (ICenv) através da Equação 2 que corresponde à zona bioclimática de Porto Alegre (ZB 3) e para uma edificação de área projetada maior do que 500m<sup>2</sup>.

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

Além da IC<sub>env</sub> do modelo proposto, são calculados os índices para uma classificação A e D. Assim obtém-se uma escala numérica dividida em intervalos que caracterizam índices de A à E. Foi feita uma comparação do índice calculado para a envoltória real na escala numérica obtida encontrando a classificação para este parâmetro.

Os valores utilizados para a equação dos índices de referência estão descritos no RTQ-C e para o modelo real são utilizados os seus valores na prática. A Tabela 10 apresenta as variáveis utilizadas na Equação 2.

Tabela 10 Variáveis utilizadas no cálculo do índice de consumo da envoltória

	FF	FA	FS	PAF <sub>t</sub>	AHS	AVS
IC <sub>env</sub>	0,223	0,143	0,87	0,438	0	20,562
IC <sub>env</sub> A	0,223	0,143	0,87	0,05	0	0
IC <sub>env</sub> D	0,223	0,143	0,61	0,6	0	0

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.

#### 4.3.2 Cálculo Equivalente Numérico Iluminação

A análise dos pré-requisitos específicos de iluminação possui o mesmo procedimento adotado para o caso da envoltória. Conforme mostrado na Tabela 3, as três exigências específicas necessárias são divisão de circuitos, contribuição da luz natural e desligamento automático, sendo este último obrigatório apenas para ambientes maiores que 250m<sup>2</sup>. A Tabela 11 apresenta o resultado dos pré-requisitos encontrados.

Tabela 11 Resultado dos pré-requisitos específicos da iluminação

	Prédio Proposto	Resultado
Divisão de Circuitos	A	
Contribuição Luz Natural	C	C
*Desligamento Automático	A	

O cálculo do desempenho luminotécnico se dá pela densidade de potência limite (DPIL) que define os limites de potência de iluminação interna para os ambientes do edifício. Essa avaliação foi feita pelo método da área do edifício que, segundo o RTQ-C, avalia de forma conjunta todos os ambientes da edificação e atribui um único valor limite para a avaliação do sistema de iluminação.

De acordo com a Tabela 4.1 do RTQ-C, cada nível possui uma densidade de potência limite. O resumo dos parâmetros para os dois ambientes estudados é apresentado na Tabela 12.

Tabela 12 Limites de densidade de potência instalados segundo o RTQ-C

	A	B	C	D
Função da Edificação	DPIL (W/m <sup>2</sup> )			
Sala	10,7	12,3	13,9	15,5
Laboratório	9,4	10,8	12,2	13,6

As áreas dos ambientes de salas de aula são 256 m<sup>2</sup> e de laboratório são 424 m<sup>2</sup>. Determinou-se o limite de iluminação no prédio de A à D para esses dois ambientes e a soma deles representou o limite de potência instalada no andar padrão por níveis. A Tabela 13 apresenta a potência limite instalada por andar.

Tabela 13 Potência limite instalada para cada nível por andar

Função da Edificação	Área (m <sup>2</sup> )	A	B	C	D
		Pot. Limite (W)	Pot. Limite (W)	Pot. Limite (W)	Pot. Limite (W)
Sala	256	2.739,2	3.148,8	3.558,4	3.968,0
Laboratório	424	3.985,6	4.579,2	5.172,8	5.766,4
Total de potência por andar (RTQ-C)		6.724,8	7.728,0	8.731,2	9.734,4

A potência total instalada no andar padrão atualmente é 5313 W. Comparando esses valores com os intervalos de densidade de potência, chegou-se a classificação A. Entretanto, como a edificação não atende todos os pré-requisitos específicos, sua classificação final no sistema de iluminação foi C, com equivalente numérico 3.

#### 4.3.3 Cálculo Equivalente Numérico Condicionamento de Ar

A edificação possui diversos modelos de ar condicionados, alguns do tipo janela, em uso e inativos, outros do tipo split, com aparelhos antigos sem indicação de eficiência e, também, novos com classificação A pelo selo do Inmetro. Perante a dificuldade de levantar todos os aparelhos de ar condicionados do prédio e verificar a classificação de cada um, foi adotado de maneira geral que o sistema de condicionamento de ar possui equipamentos do tipo split de nível C do Inmetro (Tabela 4).

#### 4.3.4 Resultado Final 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. Estas variáveis foram inseridas na equação de pontuação final, apresentada na equação 1, chegando ao equivalente numérico final e a classificação da edificação. A Tabela 14 resume os valores utilizados na Equação 1.

Tabela 14 Variáveis da equação de pontuação total

EqNumEnv	EqNumDPI	EqNumCA	EqNumV	AC [m <sup>2</sup> ]	ANC [m <sup>2</sup> ]	AU [m <sup>2</sup> ]	APT [m <sup>2</sup> ]	<i>b</i>
3	3	3	0	3584	0	4480	896	0

A pontuação final obtida foi 3,28. Analisando sua correspondência na classificação geral indicada na Tabela 1, tem-se como resultado o nível C do prédio da Faculdade de Farmácia.

#### 4.4 Método de Simulação

O processo de certificação pelo método de simulação não descarta o método prescritivo. Ele é utilizado para comprovar que, em casos específicos, a utilização de parâmetros diferentes que os determinados pelo RTQ-C geram maior economia de energia, garantindo conforto do ambiente. (Manual do RTQ-C, 2016, pg 180).

O método de simulação permite maior flexibilidade nas técnicas aplicadas de eficiência energética e estimam o consumo energético, diferentemente do modo prescritivo. Esse método 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.

Dessa forma, foi escolhido o programa computacional *EnergyPlus* para ser utilizado nas simulações. Além do programa, o regulamento impõe algumas características do arquivo climático inserido como dado de entrada. Para essa simulação foi utilizado o arquivo climático disponível na página do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mais informações a respeito do *EnergyPlus* e do arquivo climático podem ser encontradas no anexo do trabalho.

A metodologia de certificação pelo método de simulação parte do princípio de modelar a edificação proposta (real) e mais quatro modelos referências para o nível pretendido (A, B, C e D). Algumas características são mantidas constantes entre os modelos, como geometria, orientação, materiais construtivos, carga térmica de equipamentos e perfil de uso. Outras características são calculadas por equações do método prescritivo e mudam para cada nível de referência, como a porcentagem de abertura na fachada (PAF<sub>T</sub>), densidade de potência de iluminação e absorvância solar. A Tabela 15 apresenta a síntese das informações fornecidas pelo RTQ-C.

Tabela 15 Síntese das características do Modelo Real e do Modelo de Referência

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
Envolória PAZ PAF <sub>T</sub> 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

Fonte: Manual do RTQ-C <[www.pbefedifica.com.br](http://www.pbefedifica.com.br)>

Os equipamentos de condicionamento de ar foram classificados como etiqueta C, com COP 2,8, da mesma forma que foram considerados no método prescritivo. Para os modelos de referência dos níveis de A a D foram considerados os limites mínimos de COP do intervalo. Esses valores foram retirados da Tabela 4. Os perfis de ocupação, materiais construtivos, equipamentos e outros dados de entrada inseridos no programa podem ser observados em detalhes no Apêndice A e Anexo B do trabalho.

A pontuação total foi obtida comparando o consumo do modelo proposto frente aos modelos de referência. Os resultados por andar obtidos são mostrados na Tabela 16.

Tabela 16 Consumo anual por andar dos Modelos de Referência

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

O consumo simulado da edificação no andar padrão real foi de 94.499,82 kWh/ano, ou seja, 661.498,74 kWh/ano para o prédio total. Já pela fatura de energia é consumido em torno de 632.385 kWh/ano. Como a diferença entre o modelo real e o simulado ficou em torno de 5%, tem-se um modelo próximo da realidade, sendo válido para prosseguir as simulações.

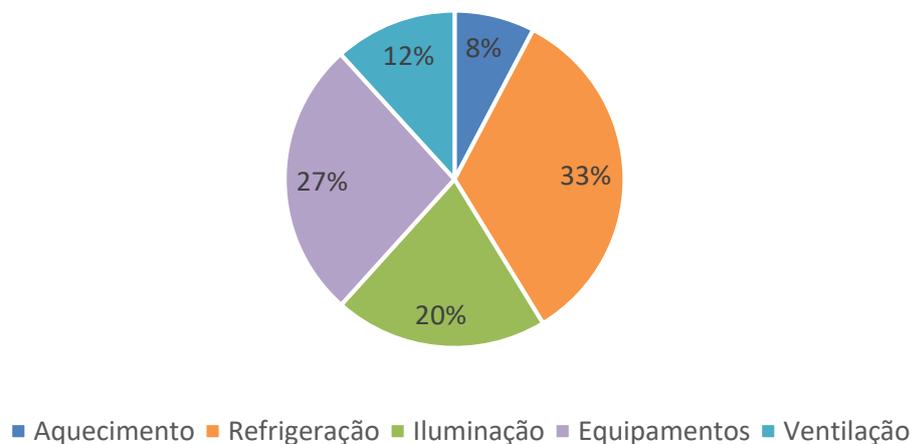
O resultado encontrado comparado com o tabelado acima classifica a edificação no nível C (equivalente numérico 3). Prevendo apenas uma bonificação na edificação sem realizar nenhuma modificação, os painéis solares permitiriam uma redução de consumo de 9% anualmente, alcançando um

equivalente numérico de 3,9. Essa solução permitiria trocar a certificação C para B. No entanto, como é almejado o Selo Procel de Edificações, a classificação na Etiqueta PBE deve ser máxima. Com isso foram feitas algumas propostas de modificações para aumentar o nível da etiqueta para a classificação A.

#### 4.4.1 Modificações Propostas

Foi verificado como se comportam os gastos energéticos do objeto de estudo com o intuito de direcionar medidas de eficiência energética na edificação. A Figura 8 apresenta a divisão dos usos finais da Faculdade de Farmácia atualmente.

Figura 7 Divisão dos usos finais da edificação atual



Os três principais consumos na edificação são: ar condicionado, equipamentos e iluminação. Os equipamentos poderiam ser modificados para tecnologias mais eficientes fazendo com que o consumo do prédio reduza, porém, essa ação não conta para melhorar o desempenho energético da edificação na Etiqueta, pois todos os modelos de referência são simulados com a mesma carga em equipamentos. Por este motivo não foram abordadas soluções neste âmbito, mesmo que pelas auditorias energéticas realizadas seria de grande valia para a fatura de energia renovar alguns equipamentos “vilões” do consumo de energia elétrica.

Algumas simulações foram realizadas, sendo que as que demonstraram forte potencial de redução foram estudadas com mais detalhes. Os resultados encontrados pelas simulações foram descritos na Tabela 17.

Tabela 17 Síntese dos resultados encontrados com as modificações selecionadas por andar

Propostas	Consumo [kWh/ano]	$\Delta$ 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, modernização 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

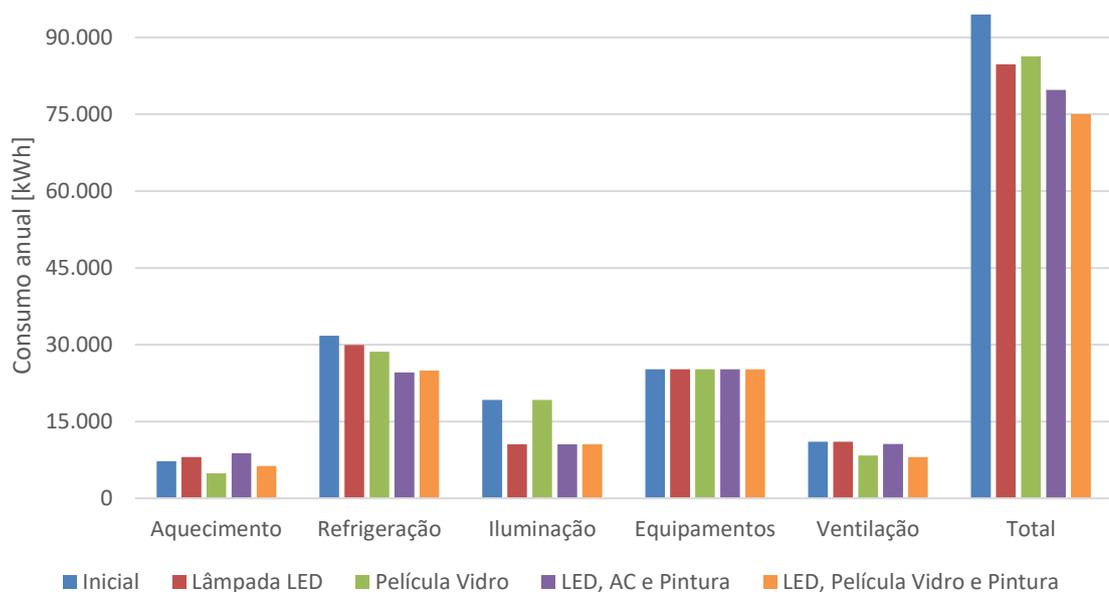
A tabela 17 apresenta as modificações individuais que reduziram o consumo, tornando a edificação de nível B. Essas modificações foram a troca das lâmpadas tubulares fluorescentes por lâmpadas tubulares

de LED e a aplicação de película espectro seletiva nos vidros. Essas medidas juntamente com a instalação de painéis solares fotovoltaicos, que propiciariam bonificação na pontuação final, tornariam a edificação uma ENCE classificação A. As especificações das lâmpadas de LED foram utilizadas conforme os resultados encontrados na seção 4.1 na análise luminotécnica. Já as características inseridas para a película de vidro estão disponíveis no Anexo B.

Além de modificações individuais, a Tabela 17 mostra medidas combinadas com mais de uma solução. Os dois resultados que obtiveram maior redução do consumo anual da edificação foram a substituição das lâmpadas por LED, renovação dos equipamentos de ar condicionado para equipamentos de selo A do INMETRO (COP mínimo 3,2) e reduzir a absorvidade das paredes externas pintando as paredes para uma cor mais clara; e a outra solução de forte impacto foi a aplicação de película seletiva nos vidros, substituição das lâmpadas por LED e a pintura das paredes externas e internas. As duas proposições tornariam a edificação classificada no nível A e a instalação dos painéis solares fotovoltaicos seria opcional. Para sintetizar os quatro resultados mais expressivos das simulações, segue a tabela abaixo. Relembrando que o consumo atual por andar encontrado na simulação foi de 94.499,82 kWh/ano com Etiqueta C.

Além de avaliar o consumo final da edificação foi interessante estudar como se comportaram os usos finais para cada solução. Dessa forma, a Figura 9 compara, para cada uso final, o comportamento da solução aplicada.

Figura 8 Divisão dos usos finais por categorias e soluções propostas para atingir classificação A



A Figura 9 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 barra 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 como o LED dissipa menos calor, no inverno se faz necessário 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, absorvidade menor com a pintura das paredes e modernização por equipamentos de ar condicionado mais eficientes.

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.

Conforme mencionado anteriormente, 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 os pontos de bonificação com a instalação dos painéis solares fotovoltaicos.

A participação do sistema solar fotovoltaico se torna mais representativa a medida que se reduz o consumo final. Para isso, a Tabela 18 mostra que a aplicação desse tipo de bonificação pode chegar até 12% de economia evitada anualmente. Dessa forma, mesmo não reduzindo 100% do uso de energia elétrica consumida, a solução de geração distribuída não deve ser ignorada.

Tabela 18 Representatividade do consumo final nas melhorias adotadas

Representatividade Solar nas Propostas	
Lâmpada LED	10,7%
Película de Vidro	10,5%
Lâmpada LED, Retrofit AC e Pintura	11,4%
Película de Vidro, Lâmpada LED e Pintura	12,1%

Os resultados presentes na Tabela 18 reforçam a análise inicial de eficiência energética e posterior geração de energia.

## 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, como custo de atratividade e a taxa mínima de atratividade sendo duas vezes o custo de atratividade, ou seja, 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. As principais asserções aplicadas à análise financeira estão resumidas na Tabela 19.

Tabela 19 Principais indicadores utilizados na análise financeira

Indicadores	Valor
IGP-M	10,04% a.a
Custo de Atratividade (CA)	6,66% a.a
TMA	13,32% a.a (2xCA)

Para os painéis solares fotovoltaicos foi considerado uma taxa de depreciação dos módulos fotovoltaicos de 0,7% a.a, capital de investimento próprio e tempo de vida útil do sistema de 25 anos. Após os 15 primeiros anos adicionou-se um custo pela troca dos inversores de 15% do valor presente do investimento. A Tabela 20 apresenta os resultados encontrados para as quatro soluções propostas e a implantação de geração solar fotovoltaica na cobertura da edificação.

Tabela 20 Síntese do estudo de viabilidade técnico econômico das soluções propostas

Solução	Investimento Inicial	Custo Anual Evitado	VPL	TIR	<i>Payback</i> 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
5. Geração Solar	R\$ 286.915,00	R\$ 52.933,78	R\$ 248.339,17	19,61%	6 anos e 10 meses

A maioria das soluções são viáveis do ponto de vista econômico, visto que quatro dentre cinco possuem VPL positivo. Embora a quarta solução represente a maior redução do consumo de energia conforme mostrado na Tabela 17, ela apresenta um resultado menos satisfatório na análise financeira. O investimento inicial se paga 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.

Contraditoriamente, 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.

A análise do sistema solar apresentou *payback* descontado próximo aos das outras soluções, ficando em 7 anos, aproximadamente. O custo inicial da instalação não foi o mais dispendioso comparado a outras tecnologias, no entanto, após 15 anos há um custo elevado por conta da troca dos equipamentos (inversores). Mesmo assim, resulta numa solução viável do ponto de vista econômico; é uma opção com tempo de vida útil longo (25 anos) e seu custo de manutenção é irrisório ao longo dos anos.

## 6 CONCLUSÃO

Este trabalho abordou a temática de desempenho energético de edificações no âmbito da etiqueta nacional desenvolvida pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), outorgado pelo Inmetro. A etiqueta avalia três parâmetros principais de uma edificação: iluminação, envoltória e condicionamento de ar, além

de avaliar aspectos gerais da edificação. Seguindo para a linha de análise, a etiqueta propõe a verificação da classificação de duas formas, uma pelo método prescritivo e outra pela simulação.

Com o propósito de realizar uma auditoria energética em uma edificação pública foi escolhido o prédio da Faculdade de Farmácia da UFRGS. Foi realizada uma análise de desempenho energético pelo método prescritivo e outra pelo método de simulação, buscando obter a classificação final da Etiqueta PBE. Os resultados pelos dois métodos foram semelhantes atingindo a classificação C na Etiqueta Geral.

A partir deste resultado foi possível verificar possíveis melhorias buscando a etiqueta com classificação máxima. Após verificar que os principais usos finais ficaram entre condicionamento de ar, equipamentos e iluminação foram traçadas estratégias para reduzir o consumo energético final. As melhorias que influenciaram significativamente alterando a classificação da edificação para A foram a troca da lâmpada fluorescente por tecnologia LED, aplicação de película espectro seletiva nos vidros, renovação do sistema de condicionamento, pintura das paredes e instalação de sistema solar fotovoltaico. Essas alterações individuais ou combinadas reduziram de 8% até 20%, aproximadamente, o consumo anual do prédio.

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. A edificação da Faculdade de Farmácia é o primeiro prédio da UFRGS a passar por esse tipo de análise. Após encontradas as medidas de eficiência energética, percebeu-se que todas são viáveis do ponto de vista econômico. Todas as soluções apresentam VPL positivo, TIR alta e tempos de retorno que variam em janelas de 1 a 7 anos.

Adicionalmente, em trabalhos futuros, poderia ser feita a análise da troca do sistema de condicionamento de ar pela tecnologia inverter, em razão de oferecer maior economia no consumo energético. Além disso, a etiqueta PBE não leva em conta a eficiência dos equipamentos instalados além do sistema AVAC, o que pode negligenciar grandes consumidores dentro da edificação. Esses equipamentos futuramente deveriam ser inseridos na classificação da edificação, incentivando o uso de tecnologias mais eficientes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERLEZE, Angélica. **Avaliação do nível de eficiência energética da Envoltória De Edifícios Públicos Educacionais Da Ufsm Com Base No Rtq-C**. 2013. Dissertação - (Mestrado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, 2013.

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

CPEE. **Guia para eficiência energética nas edificações públicas**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Centro de Pesquisa de Energia Elétrica, 2015.

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.

HERZER, L.; FERREIRA, R.. Construções Sustentáveis No Brasil : Um Panorama Referente Às Certificações Ambientais Para Edificações Leed E Aqua-Hqe. **Caderno Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 8, n.5, p. 34-54, Jan. 2016.

LACHI, Danielle et al. Sustentabilidade em prédios públicos : estudo de caso em uma Universidade Federal. In: 2015, Dourados. **Anais...** Dourados: Profiap, 2015. Disponível em: <<http://www.profiap.org.br/profiap/eventos/2016/i-congresso-nacional-de-mestrados-profissionais-em-administracao-publica/anais-do-congresso/41484.pdf>>. Acesso em: 26 de maio de 2018.

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. In: 2007, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Enegep, 2007. Disponível em: <[http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/efici%EAnciaenerg%E9tica/Artigos/estudo\\_de\\_caso\\_eficiencia\\_energetica\\_no\\_predio\\_da\\_etufor.pdf](http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/efici%EAnciaenerg%E9tica/Artigos/estudo_de_caso_eficiencia_energetica_no_predio_da_etufor.pdf)>. Acesso em: 15 de maio de 2018.

**Procel Info.** 2006. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B8E03DCDE-FAE6-470C-90CB-922E4DD0542C%7D>>. Acesso em: 20 de maio de 2018.

ROCHA, Afrânio. **Eficientização energética em prédios públicos: um desafio aos gestores municipais frente aos requisitos de governança e sustentabilidade**. 2012. Dissertação - (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 European standards. **IBPSA Conference Proceedings**, p. 225–232, 2013.

VALENTE, J. P. **Certificações na construção civil: comparativo entre Leed e HQE**.

2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.

## APÊNDICE A – CARGAS HORÁRIAS DE OCUPAÇÃO, ILUMINAÇÃO E SISTEMA DE CONDICIONAMENTO

As cargas térmicas foram definidas em alguns períodos do dia. Abaixo seguem os cronogramas montados para o trabalho. Além disso, foi definido uma taxa de calor liberado por pessoa de 130W, conforme a Tabela C. 1 do Anexo C da ABNT NBR 16401/2008.

Tabela A. 1 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%

Para os equipamentos foram levadas em consideração as densidades típicas de carga de equipamentos presente na Tabela C.6 do anexo C da ABNT 16401/2008. Dessa forma, para os laboratórios a densidade de equipamentos é média/alta (16,2 W/m<sup>2</sup>) e para os ambientes restantes a carga é média (10,7 W/m<sup>2</sup>). Abaixo segue cronograma utilizado no programa de simulação.

Tabela A. 2 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%

Tabela A. 3 Carga horária de iluminação

Ambiente	Salas		Laboratórios		Corredor	
	Período	Dias de Semana	Finais de semana	Dias de Semana	Finais de semana	Dias 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%

Tabela A. 4 Carga horária de funcionamento do sistema de climatização

Ambiente	Salas		Laboratórios	
	Período	Dias de Semana	Finais de semana	Dias 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%

## ANEXO A - ENERGYPLUS

O EnergyPlus foi desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE) e trata-se de um programa que analisa o comportamento térmico e o consumo energético de edificações. Para este trabalho foi utilizada a versão 8.9 do programa, que está em constante atualização.

O programa admite entradas relacionadas ao perfil de uso da edificação, localização, cargas térmicas internas, dados climáticos com os dias de projeto, sombreamento, características construtivas, entre outros. Após a simulação, é possível analisar diferentes informações referentes à análise termo-energética, como perfil de temperatura de zonas térmicas, consumo energético e participação dos usos finais da edificação.

### BALANÇO ENERGÉTICO DAS ZONAS TÉRMICAS

O EnergyPlus separa ambientes com características semelhantes em zonas térmicas, ou seja, uma zona térmica é um volume de ar a temperatura uniforme e cada zona tem um sistema independente de controle térmico. Essa divisão permite avaliar separadamente a influência das condições naturais e artificiais no ambiente, bem como avaliar seu consumo energético.

O balanço de energia dado pela equação abaixo permite realizar o balanço energético para cada componente da edificação (parede, piso, janelas e forro).

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{superficies}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zonas}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z) + \dot{m}_{inf} C_p (T_\infty - T_z) + \dot{Q}_{sys}$$

Onde,

$C_z \frac{dT_z}{dt}$ : taxa de acúmulo de energia no volume de ar da zona térmica [W];

$\sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i$ : soma das cargas internas convectivas [W];

$\sum_{i=1}^{N_{superficies}} h_i A_i (T_{si} - T_z)$ : transferência de calor por convecção das superfícies da zona térmica [W];

$\sum_{i=1}^{N_{zonas}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z)$ : soma das taxas de calor por troca de ar com outras zonas [W];

$\dot{m}_{inf} C_p (T_\infty - T_z)$ : transferência de calor devido à infiltração de ar externo na zona [W];

$\dot{Q}_{sys}$ : taxa de calor do sistema de climatização [W];

### BALANÇO ENERGÉTICO NAS SUPERFÍCIES

- Parede externa

O fluxo de energia nas paredes externas são consequência das três formas de transferência de calor, radiante, convectiva e condutiva. O balanço energético das paredes é dado pela equação a seguir.

$$q''_{asol} + q''_{lwr} + q''_{conv} - q''_{ko} = 0$$

Onde,

$q_{asol}''$ : fluxo de radiação solar difusa e direta absorvida (comprimento de onda curta) [W/m<sup>2</sup>];

$q_{lwr}''$ : fluxo de radiação de onda longa trocada entre a superfície e seu entorno [w/m<sup>2</sup>];

$q_{conv}''$ : fluxo convectivo trocado pela superfície com ar [W/m<sup>2</sup>];

$q_{ko}''$ : fluxo de calor condutivo do exterior através da parede [W/m<sup>2</sup>];

- Parede interna

Segundo o manual do EnergyPlus, o elemento fundamental do balanço de energia envolve a troca de energia na superfície interna das paredes externas. Este balanço normalmente leva em conta quatro componentes que apresentam consequências na transferência de calor. São eles: condução através do elemento do prédio, convecção para o ar, radiação de ondas curtas absorvidas e refletidas e trocas de radiação de ondas longas. A radiação de ondas curtas decorre da radiação solar que entra nas zonas térmicas pelas janelas e pela emissão de fontes internas como lâmpadas. Para as trocas de energia de radiação de ondas longas estão presentes a absorção e emitância de fontes de radiação de baixa temperatura, por exemplo equipamentos e pessoas. Dessa forma, o balanço energético pode ser observado na equação a seguir.

$$q_{lwx}'' + q_{sw}'' + q_{lws}'' + q_{ki}'' + q_{sol}'' + q_{conv}'' = 0$$

Onde,

$q_{lwx}''$ : fluxo de radiação de onda longa trocada entre as superfícies da zona [W/m<sup>2</sup>];

$q_{sw}''$ : fluxo de radiação de ondas curtas das luzes para a superfície [W/m<sup>2</sup>];

$q_{lws}''$ : radiação de ondas longas provenientes dos equipamentos da zona térmica [W/m<sup>2</sup>];

$q_{sol}''$ : fluxo de radiação solar transmitida e absorvida pelas superfícies [W/m<sup>2</sup>];

$q_{conv}''$ : fluxo de calor convectivo para o ar da zona térmica [W/m<sup>2</sup>];

## ARQUIVO CLIMÁTICO

O arquivo climático é desenvolvido com base em dados climáticos adquiridos em um período superior a dez anos e utiliza os doze meses (8760 horas) que melhor representem o clima local. O arquivo possui dados meteorológicos de temperatura, umidade, pressão, radiação solar, direção e velocidade do vento de cada localização geográfica na forma de ano climático TRY (Teste Reference Year).

## DIAS DE PROJETO

Para o dimensionamento do sistema de AVAC da edificação utilizam-se dias de projeto de verão e inverno definidos pela ASHRAE [2009]. Estes dias são assim utilizados pois caracterizam a ocorrência da maior demanda de potência do sistema para resfriar e aquecer as zonas térmicas. Neste trabalho foram escolhidos os dias 21 de janeiro e 21 de julho como dias de projeto, garantindo que em apenas 0,4% das horas totais do ano o sistema de condicionamento de ar não consiga manter a temperatura de projeto.

## ANEXO B – PROPRIEDADES DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

Conforme citado ao longo do trabalho, os materiais utilizados na simulação com o programa EnergyPlus estão tabelados abaixo e foram retirados da biblioteca do EnergyPlus.

Tabela B. 1 Propriedade dos elementos construtivos utilizados no edifício

Material	Espessura [m]	$k$ [W/m.K]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Cp [J/kg.K]	$\epsilon$	$\alpha_{\text{solar}}$	$\alpha_{\text{visível}}$
Tijolo Maciço Duplo	0,308	0,78	1760	790	0,9	0,7	0,7
Tijo 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

Onde,  $k$  é a condutividade térmica,  $\rho$  é a massa específica, Cp é o calor específico,  $\epsilon$  é a emissividade térmica e  $\alpha$  absorvância do material, solar e visível.

Além destes materiais foram inseridos os tipos de vidros. A primeira Tabela refere-se ao vidro simples de 3mm e a segunda representa a película espectro seletiva retirada de um representante desta tecnologia.

Tabela B. 2 Propriedades termofísicas do vidro simples

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

Tabela B. 3 Propriedades termofísicas da película

Propriedades Termofísicas	Película 3M
U [W/m <sup>2</sup> K]	0,99
SHGC	0,64
$\tau_{\text{visível}}$	0,88

As variáveis apresentadas nas Tabelas A.2 são, respectivamente,  $e$  espessura,  $\tau_{\text{solar}, \perp}$  é a transmitância solar para uma incidência normal de luz na superfície,  $\rho_{\text{solar f}, \perp}$  é a refletividade solar para uma incidência normal de luz na parte externa da superfície,  $\rho_{\text{solar b}, \perp}$  é a refletividade solar para uma incidência normal de luz na parte interna da superfície,  $\tau_{\text{visível}, \perp}$  é a transmitância visível para uma incidência normal de luz na superfície,  $\rho_{\text{visível f}, \perp}$  é a refletividade visível para uma incidência normal de luz na parte externa da superfície,  $\rho_{\text{visível b}, \perp}$  é a refletividade visível para uma incidência normal de luz na parte interna da superfície e  $k$  é a condutividade térmica. Já na Tabela A.3 tem-se fator de coeficiente global, coeficiente de ganho solar térmico e transmitância visível.