

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – CAMPUS ARARANGUÁ

THAYANE LODETE BILÉSIMO

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
DE ENERGIA**

ARARANGUÁ, 2015

THAYANE LODETE BILÉSIMO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE ENERGIA

Trabalho de conclusão de curso na modalidade de artigo científico para a aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II do curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal de Santa Catarina-Campus Araranguá

Aprovado em: 30/11/2015

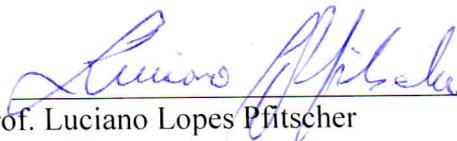
Banca examinadora:



Prof. César Cataldo Scharlau (Orientador)



Prof. Giuliano Arns Rampinelli



Prof. Luciano Lopes Pfitscher

ANÁLISE E EFICIENTIZAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA EM UM CAMPUS UNIVERSITÁRIO

Thayane Lodete Bilésimo*

RESUMO

A proposta deste artigo consiste em analisar o consumo de energia das edificações que compõem o Campus Araranguá da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), no bairro Jardim das Avenidas, propondo algumas sugestões de eficiência energética do sistema de iluminação das salas de aula. A metodologia consiste no levantamento de dados de ocupação, potência instalada, relatórios de consumo de energia e medições de iluminância. Os programas eQUEST e DIALux foram usados na modelagem e simulação. Comparando os resultados das simulações com os dados de relatórios e medições, pode-se verificar que ambos se mostram semelhantes. Foram elaboradas também propostas de efficientização do sistema de iluminação das salas de aula. Realizando o cálculo do tempo de retorno do investimento, conclui-se que o investimento necessário para a efficientização desse sistema de iluminação é viável em termos econômicos, sendo de fundamental importância adotar alguma alternativa para melhorar a qualidade da iluminação dos prédios, principalmente das salas de aula.

Palavras-Chave: Consumo energético, Edificações, Eficiência energética, Simulação.

1 INTRODUÇÃO

As edificações – sejam elas residenciais, comerciais ou de serviços – são responsáveis por cerca de 45% do consumo faturado em todo o país, conforme informa o Anuário Estatístico de Energia Elétrica, publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2014). O setor público, por sua vez, representa uma parcela significativa dessa porcentagem. Em 2011, o

* Graduanda do Curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, Rodovia Governador Jorge Lacerda, 3201, Jardim das Avenidas, Araranguá, Santa Catarina, Brasil, CEP 88900-000. E-mail: thay_bilesimo@hotmail.com

consumo de energia elétrica das edificações do setor público correspondia a cerca de 8% do total consumido no país (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013).

Dentro do escopo dos prédios públicos encontram-se os que possuem fins educacionais, como as universidades, que em sua maioria possuem edificações com elevado consumo de energia. Este consumo muitas vezes ocorre de maneira não eficiente, de forma que se faz necessário realizar estudos que apresentem soluções para o problema, oferecendo sugestões para que a edificação se torne o mais sustentável possível (DE SANTOLI *et al.*, 2014).

Carlo (2008) destaca, entre os conceitos de edificação sustentável, a racionalização do uso da energia elétrica por meio da eficiência energética. Ainda segundo o mesmo autor, a eficiência energética é adotada em edificações com o objetivo de racionalizar o consumo, evitando o desperdício sem comprometer os serviços necessários à segurança, saúde, conforto e produtividade dos seus usuários.

Segundo o Plano Nacional de Eficiência Energética, o país atualmente conta com diversos instrumentos legais – entre eles leis, decretos, portarias, resoluções e instruções normativas – que visam o combate ao desperdício e o uso eficiente de energia elétrica (Ministério de Minas e Energia, 2015). O PROCEL Edifica é um dos programas que, atuando juntamente com o Ministério de Minas e Energia (MME), universidades e outros parceiros, incentiva a conservação e o uso eficiente dos recursos naturais em edificações. Estima-se que o potencial de redução deste consumo seja de até 50% para edificações novas e 30% para aquelas que realizarem reformas que contemplem medidas de eficiência energética (PROCEL, 2015).

Como suporte aos programas existentes e instrumentos legais, podem ser usadas ferramentas de simulação para a avaliação de medidas de eficiência energética em edificações antigas e em projetos de novas edificações de alta eficiência. Entre as ferramentas computacionais disponíveis no mercado, pode-se citar o ENERGYPLUS, o TRNSYS, o FLUENT e o DOE-2 (MENDES *et al.*, 2005).

Além dos *softwares* já citados, há também o eQUEST – Quick Energy Simulation Tool – dos mesmos desenvolvedores do DOE-2, que consiste em uma opção gratuita e de utilização relativamente simples. Este *software* realiza o cálculo do consumo de energia de uma edificação com base em suas características físicas, ocupacionais e de localização, fornecendo resultados gráficos com rapidez e alto grau de precisão (HIRSCH, 2015).

Para análises luminotécnicas, um dos *softwares* mais conhecidos é o DIALux, que oferece recursos inovadores e possibilita a aplicação de vários modelos de luminárias em um mesmo ambiente (LUMICENTER, 2015).

Neste contexto, o presente trabalho visa analisar o consumo de energia das edificações que compõem a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – Campus Araranguá, no bairro Jardim das Avenidas, bem como a iluminação das salas de aula. Também serão propostas e analisadas medidas de efficientização do sistema de iluminação das salas de aula. Os programas eQUEST e DIALux serão utilizados na modelagem e simulação. A validação dos dados de simulação será feita comparando os resultados obtidos com os valores de consumo de energia medidos do ano de 2014 e com medições feitas por meio de um luxímetro.

O trabalho está estruturado da seguinte maneira: a Seção 2 descreve uma revisão bibliográfica contemplando itens importantes para a compreensão deste trabalho. Logo após, na Seção 3, será apresentada a metodologia utilizada. Na Seção 4 serão relatados os resultados e na Seção 5, as considerações finais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção são revisados os temas relevantes para a compreensão do assunto abordado no trabalho, como eficiência energética, iluminação eficiente e instrumentos legais.

2.1 Eficiência energética em edificações

O conceito de eficiência energética em edificações é descrito por Lamberts; Dutra; Pereira (2013) como a capacidade de uma edificação de possibilitar aos usuários conforto térmico, visual e acústico com baixo consumo de energia. Isto significa que uma edificação é mais eficiente que outra quando proporciona as mesmas condições ambientais apresentando menor consumo de energia.

O Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) publicou, em 2015, o Guia para Eficiência Energética nas Edificações Públicas. Este Guia aborda desde as modalidades tarifárias de energia elétrica até sistemas de climatização, iluminação e aspectos construtivos das edificações para que as mesmas possam ser consideradas eficientes energeticamente.

Muitos estudos sobre eficiência energética em edificações tem sido realizados. Alguns deles serão citados na sequência.

Nunes (2010) analisou o mercado potencial de eficiência energética em prédios públicos por meio da avaliação dos sistemas de iluminação e climatização, bem como do contrato de fornecimento de energia elétrica de um prédio público federal em Porto Alegre/RS.

Pérez-Lombard; Ortiz; Pont (2008) fazem uma análise do consumo de energia em edificações, principalmente no que diz respeito aos sistemas de climatização. Além disso, fornecem comparações entre as edificações não-domésticas de diferentes países, fazendo uma análise mais aprofundada sobre prédios comerciais.

Xing; Ren; Ling (2015) e também Ke; Yeh; Jian (2013) realizam a análise do consumo de energia de edificações fazendo uso do *software* eQUEST, que pode ser considerado, segundo Campos; Barbieri; Martins Neto (2006), um programa de simulação energética completo e moderno, que permite análises detalhadas de projetos de edificações por meio de modelos de simulação energética consagrados.

Além dos trabalhos já citados, outras referências sobre eficiência energética em edificações podem ser encontradas em Lamberts; Dutra; Pereira (2013), Viana *et al.* (2012) e Jannuzzi (2000).

2.1.1 Iluminação eficiente e edificações

A iluminação é responsável por cerca de 23% do consumo de energia elétrica em residências, 44% nos setores comercial e de serviços públicos e 1% no setor industrial (SANTOS, 2007). Viana *et al.* (2012) destacam que a iluminação ineficiente é uma característica comum no Brasil e que uma combinação de lâmpadas, reatores e refletores eficientes, quando associados a uma utilização consciente, podem ajudar a reduzir o consumo de energia elétrica.

As lâmpadas incandescentes são muito utilizadas na iluminação residencial de pequenas áreas, pois possuem baixo custo. Entretanto, sua eficiência luminosa é baixa, girando em torno de 17 lm/W, uma vez que grande parte da energia consumida é transformada em calor (VIANA *et al.*, 2012). Em 2012 iniciou-se a retirada das lâmpadas incandescentes ineficientes do mercado e até 2016 devem ser retiradas as que não tiverem eficiência mínima exigida pela Portaria 1007, de 31 de dezembro de 2010, do MME.

Existem também as lâmpadas fluorescentes, em que a descarga elétrica em seu interior faz com que grande parte da radiação emitida seja ultravioleta, que é invisível ao olho humano. Sua eficiência luminosa fica entre 55 e 75 lm/W para as lâmpadas T12 e T10, enquanto a eficiência de lâmpadas fluorescentes T5 e T8 (menor diâmetro) está na faixa de 70 a 125 lm/W (CEPEL, 2015).

Como alternativa às lâmpadas fluorescentes tubulares encontra-se a lâmpada com diodo emissor de luz (em inglês *Light Emitting Diode* – LED), cuja eficiência luminosa varia entre 45

e 75 lm/W (CEPEL, 2015). Apesar do alto custo, uma das grandes vantagens associada ao uso da lâmpada LED é o baixo consumo de energia. Além disso, sua vida útil de até 50.000 horas é muito superior a de uma lâmpada incandescente (1.000 h) ou mesmo de uma lâmpada fluorescente tubular (7.500 a 20.000 h) (VIANA *et al.*, 2012).

Alguns programas computacionais permitem simular as condições de iluminação de um ambiente e auxiliar o projetista durante um projeto arquitetônico, entre eles o Ecotect Analysis 2011, o TropLux, o ReLux e o DIALux. Este último pode modelar o ambiente luminoso a ser analisado, oferecendo visualização fotorrealística das simulações. Além disso, permite calcular iluminação interior e exterior, artificial ou natural, incluindo cálculo de iluminação pública e de emergência (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013). Petry *et al.* (2015) e também Raminhos; Valdez; Ferreira (2013) utilizaram o DIALux em seus trabalhos.

2.2 Programas de eficiência energética e instrumentos legais

De acordo com o Plano Nacional de Eficiência Energética – publicado pelo MME – há pelo menos duas décadas existem no Brasil programas de eficiência energética conhecidos internacionalmente: o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), o Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e Gás Natural (CONPET) e o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE).

O PROCEL consiste em um programa de governo, coordenado pelo MME e executado pela Eletrobras. Suas ações contribuem para melhorar a eficiência de bens e serviços, desenvolver hábitos de consumo eficiente de energia e mitigar os impactos ambientais poupando os investimentos no setor elétrico (PROCEL, 2015).

O CONPET é um programa do Governo Federal, vinculado ao MME, que propõe evitar o desperdício no uso dos recursos naturais não renováveis no Brasil, principalmente os derivados de petróleo e gás natural. Visa ainda a conscientização sobre a importância do uso racional de energia para o desenvolvimento sustentável (CONPET, 2015).

O PBE, por sua vez, é coordenado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) e fornece informações sobre o desempenho dos produtos como eficiência energética, ruídos e outros fatores que possam influenciar na decisão do consumidor sobre qual produto escolher. Este programa tem como consequência o estímulo à fabricação de produtos mais eficientes e econômicos, uma vez que serão os preferidos dos consumidores (INMETRO, 2015).

Além dos programas já citados, existem leis voltadas para a eficiência energética. A Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e estabelece níveis mínimos de eficiência energética de produtos fabricados ou comercializados no país. Esta Lei ficou conhecida como “Lei de Eficiência Energética” (CEPEL, 2015).

A Lei 9.991, de 24 de julho de 2000, dispõe sobre a porcentagem da receita líquida que deve ser aplicada anualmente em pesquisa e desenvolvimento de medidas de eficiência energética por parte de empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica (VIANA *et al.*, 2012).

Outros instrumentos legais referentes à eficiência energética no Brasil podem ser encontrados no Plano Nacional de Eficiência Energética, publicado pelo MME, e também em Viana *et al.* (2012).

3 METODOLOGIA

Esta seção traz informações sobre os métodos utilizados para a realização deste trabalho. Primeiramente foram coletadas algumas informações acerca das edificações que seriam analisadas entre as quais: plantas arquitetônicas, dados de potência instalada, ocupação das edificações e relatórios de consumo de energia. Em seguida, foram realizadas simulações nos *softwares* eQUEST e DIALux, representando a condição atual das edificações. Por fim, algumas alternativas foram propostas a fim de otimizar o consumo de energia do sistema de iluminação das salas de aula. Os procedimentos metodológicos adotados neste trabalho são descritos mais detalhadamente nas subseções que seguem.

3.1 Análise das edificações

As edificações a serem avaliadas são ocupadas simultaneamente por alunos e profissionais da Universidade do Sul de Santa Catarina (Unisul) e da UFSC – Campus Araranguá, e localizam-se no bairro Jardim das Avenidas. O Campus é composto por três blocos com características distintas.

O Bloco A é composto por um prédio com três pavimentos, conforme visto na Figura 1. Os três pavimentos contam com salas de aula e banheiros, apenas com alguns diferenciais: no primeiro pavimento encontram-se laboratórios de informática, biblioteca, cantina e reprografia e, no segundo, um auditório. Desta forma, a energia consumida por esta edificação é empregada

basicamente para iluminação e acionamento de equipamentos como computadores, ventiladores, etc. É importante ressaltar que nas salas de aula, as lâmpadas utilizadas são dos tipos T10 e T8.

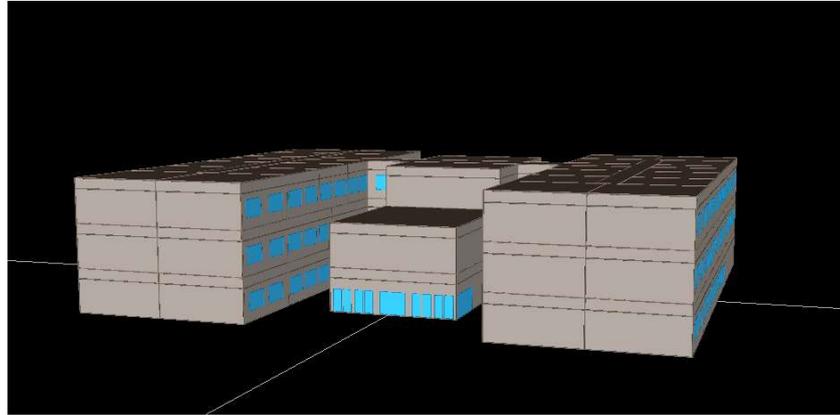


Figura 1 – Edificação pertencente ao Bloco A. Fonte: do autor.

O Bloco B possui apenas um prédio com dois pavimentos, cujo esquema pode ser visto na Figura 2. Neste prédio encontram-se as direções das instituições, coordenadorias, assistência social e outros órgãos administrativos. Sua carga é composta por iluminação, computadores e equipamentos de escritório, ventiladores e condicionadores de ar.

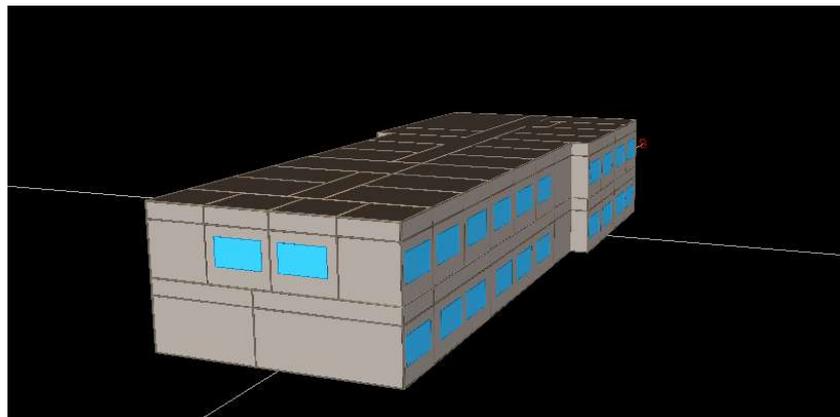


Figura 2 – Edificação pertencente ao Bloco B. Fonte: do autor.

O Bloco C, por sua vez, é composto por cinco prédios – mostrados na Figura 3 – nos quais podem ser encontrados laboratórios de química e anatomia, sala de microscopia, salas de aula, salas de professores, laboratórios de informática e de circuitos bem como uma cozinha. Assim, a energia consumida por essas edificações é utilizada na iluminação, alimentação de

equipamentos de laboratório, computadores e ventiladores, além de equipamentos de ar condicionado.

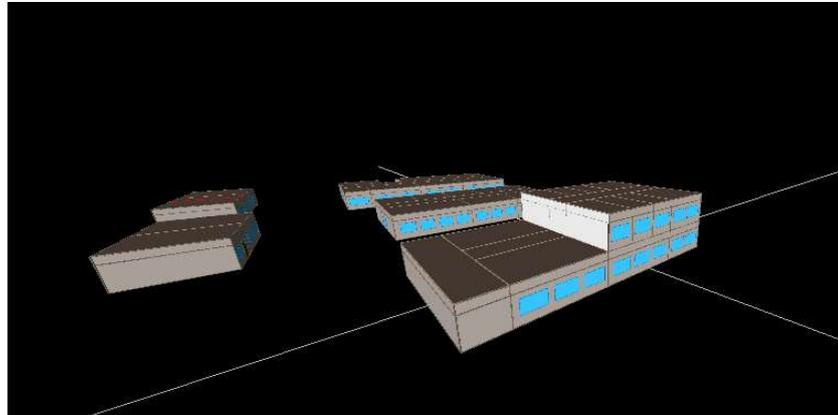


Figura 3 – Edificações pertencentes ao Bloco C. Fonte: do autor.

O levantamento de potência instalada indicou que a iluminação corresponde a 32% da carga instalada no Campus. Através de algumas vistorias nas edificações observou-se que, de forma geral, as lâmpadas permanecem acesas sempre que há alguém ocupando as salas, mesmo durante o dia, e que os ventiladores são ligados apenas no verão, permanecendo desligados durante os meses mais frios. A utilização constante da iluminação natural só é efetuada no Hall de entrada do Bloco A, uma vez que há uma quantidade considerável de aberturas de vidro.

3.2 Simulação da condição atual

A presente subseção descreve o processo de simulação da condição atual do consumo de energia das edificações. Esses dados serão utilizados com a finalidade de propor medidas de eficiência energética aplicáveis a este caso.

3.2.1 Consumo de energia no eQUEST

A modelagem das edificações foi feita, por bloco, por meio do programa eQUEST, utilizando o *Design Development Wizard (DD Wizard)*, que é a interface que permite incluir mais detalhes sobre o comportamento da edificação (HIRSCH, 2015).

Para informar ao *software* os dados de uso da edificação, o período de um ano foi dividido em três temporadas. A primeira delas referente aos meses mais quentes, que contempla

os meses de março, abril, outubro, novembro e dezembro. A segunda temporada corresponde aos meses mais frios: maio, junho, julho, agosto e setembro. Os demais meses, bem como o fim de julho e o início de agosto, foram classificados como período de férias. De forma geral, as edificações são utilizadas entre as 8h e as 22h, sendo que a ocupação mais intensa se dá no período noturno.

Com relação ao uso dos equipamentos, foram feitas as seguintes considerações: as lâmpadas são utilizadas do período matutino até o noturno, bem como os equipamentos da biblioteca, secretaria e administração; os computadores dos laboratórios de informática são utilizados somente a partir da tarde; ventiladores são utilizados apenas no verão, durante cerca de oito horas por dia.

Após a inserção da rotina de ocupação anual, o programa solicita dados construtivos e de localização. A espessura das paredes foi adotada como 6 polegadas (correspondente a aproximadamente 15 cm), as aberturas de vidro consideradas na simulação foram de vidro simples e uma laje cobre o teto dos blocos. Os dados de localização podem ser fornecidos por meio de um arquivo climático da cidade em que a edificação está localizada ou de uma cidade próxima. Nesse trabalho foi utilizado o arquivo climático da cidade de Florianópolis.

Após a definição das características construtivas da edificação, o *software* solicita dados de ocupação, consumo de energia com iluminação e equipamentos conectados nas tomadas. Para obter os dados solicitados pelo programa, foi calculada a densidade de potência dividindo o valor da soma da potência instalada pela área do ambiente. Os dados, em watt/pé quadrado (W/Sqft), foram agrupados em tabelas para melhor organização. Nas tabelas, “IL” equivale a iluminação, e “EM” a equipamentos mistos (ventiladores, computadores, impressoras, etc).

A Tabela 1 contém os dados inseridos no programa para os três pavimentos do Bloco A.

Tabela 1– Densidade de potência do Bloco A, em W/Sqft

	Térreo		2º andar		3º andar	
	IL	EM	IL	EM	IL	EM
Ambiente	IL	EM	IL	EM	IL	EM
Sala de aula	0,75	0,75	0,75	0,73	0,75	1,15
Escritório	0,48	3,95	-	-	-	-
Lab. de informática	0,75	5,11	-	-	-	-
Biblioteca	0,46	0,29	-	-	-	-
Cantina	0,50	4,08	-	-	-	-
Corredor/Hall/Banheiro	0,63	0,05	0,41	0	0,41	0
Xerox	0,48	0,30	-	-	-	-
Auditório	-	-	0,73	0,50	-	-

Fonte: do autor

Na Tabela 2 encontram-se os valores inseridos no programa, referentes ao Bloco B.

Tabela 2 – Densidade de potência do Bloco B, em W/Sqft

	Térreo		2º andar	
	IL	EM	IL	EM
Ambiente	IL	EM	IL	EM
Escritório	1,52	3,13	1,18	2,57
Corredor	2,90	0	0,84	0

Fonte: do autor

A Tabela 3 mostra os valores inseridos no programa para os prédios do Bloco C que possuem salas de aula.

Tabela 3 – Densidade de potência dos prédios do Bloco C que possuem sala de aula, em W/Sqft

	C1 - Térreo		C1 - 2º andar		C2		C3	
	IL	EM	IL	EM	IL	EM	IL	EM
Ambiente								
Sala de aula	0,95	0,37	-	-	0,95	0,65	1,35	0,86
Lab. de informática	0,95	6,88	-	-	-	-	-	-
Sala de professores	-	-	0,80	1,88	0,74	1,10	-	-
Corredor/Banheiro	0,34	0	0,52	0,06	0,85	0	2,40	0

Fonte: do autor

A Tabela 4 contém valores inseridos no programa para os demais prédios do Bloco C.

Tabela 4 – Densidade de potência dos demais prédios do Bloco C, em W/Sqft

	C4		C5	
	IL	EM	IL	EM
Ambiente				
Sala de professores	1,27	1,24	-	-
Corredor/Banheiro	0,73	0,04	-	-
Cozinha	-	-	0,9	6,07

Fonte: do autor

O passo seguinte diz respeito aos sistemas de aquecimento, ventilação e ares condicionados. Nesta etapa define-se o tipo de equipamento de condicionamento de ar e as temperaturas em que tais aparelhos ligam e desligam. O equipamento selecionado foi o correspondente aos aparelhos de ar condicionado comuns, nomeado no programa como *DX Coils*. Foi estipulada uma temperatura de aproximadamente 27 °C para o acionamento do ar condicionado no verão, sendo o mesmo desligado quando a sala atinge uma temperatura por volta de 22 °C.

Por fim, o programa simula o comportamento das edificações no período de um ano – neste caso, 2014 – e fornece resultados gráficos e numéricos referentes ao consumo de energia elétrica.

3.2.2 Condição de iluminação no DIALUX

Levando em conta que a iluminação representa mais de 30% da potência instalada do Campus, optou-se por fazer a análise da iluminação das salas de aula tendo em vista de que há um número representativo delas no Bloco A. São 18 salas de aula com 58,37 m², 32 com 49,7 m² e 4 com 75,55 m², chamadas respectivamente de Tipo 1, 2 e 3. As salas estão ilustradas na Figura 4.

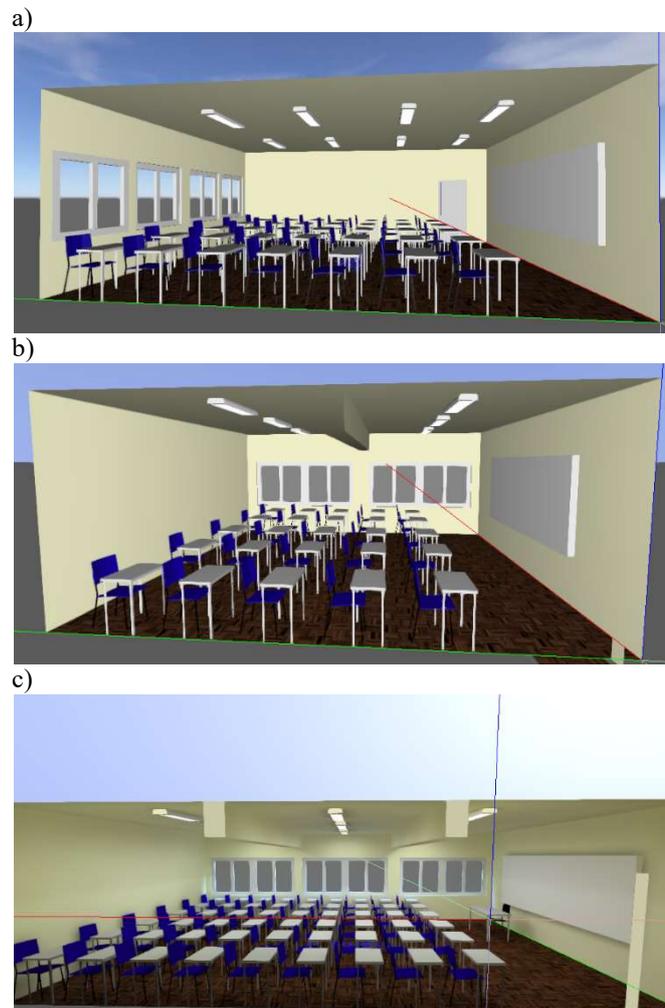


Figura 4 – Salas de aula (a) Tipo 1 (b) Tipo 2 (c) Tipo 3, simuladas no DIALux. Fonte: do autor

Para a montagem das salas, o programa solicita informações das dimensões da sala a ser analisada. Após a inserção das aberturas, pode-se adicionar as luminárias e os demais objetos, selecionados a partir de um catálogo *online*, e conferir-lhes cores conforme a condição real.

As luminárias utilizadas nas simulações foram selecionadas do catálogo da Lumicenter, de forma que o modelo selecionado se aproximasse do que é utilizado atualmente. A finalidade

de ocupação das salas foi definida como salas de aula, utilizadas também no período noturno. A iluminação de cada tipo de sala foi simulada durante o período noturno e os resultados obtidos foram comparados a dados de medições realizadas com um luxímetro.

3.3 Proposição de medidas de efficientização da iluminação

Após verificar a condição atual de iluminação das salas de aula no DIALux, foram propostas algumas medidas de efficientização da iluminação, a fim de otimizar o consumo de energia. Tais alternativas foram também simuladas, com o objetivo de verificar o impacto de cada uma delas na redução do consumo de energia.

A primeira alternativa sugerida foi adequar a quantidade de lâmpadas para que o conforto visual fosse satisfeito, nos casos em que a quantidade de iluminação não foi considerada suficiente de acordo com a Norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, de 2013. Em seguida, foram simulados mais dois cenários: um empregando luminárias com lâmpadas T5 e outro em que foram utilizadas lâmpadas LED, com o objetivo de verificar os benefícios associados à inserção de lâmpadas mais eficientes. A Tabela 5 contém as características das luminárias utilizadas nas simulações.

Tabela 5 – Características das luminárias utilizadas nas simulações

Cenário	Luminária	Tipo	Potência total (W)	Fluxo luminoso (lm)	Eficiência luminosa (lm/W)
1	CCC03-S	T8	67	5400	81
2	FAA04-S	T5	66	5800	88
3	LCN12-S	LED	36,5	4350	119

Fonte: do autor

Utilizando os resultados das simulações do DIALux, calculou-se a potência consumida por cada alternativa e os dados foram inseridos no eQUEST com a finalidade de verificar o impacto que cada uma teria no consumo de energia.

3.4 Tempo de retorno do investimento

Para calcular a relação custo-benefício, será utilizada a metodologia proposta pela ANEEL, descrita em Roméro; Reis (2012), definida pela Equação 1.

$$RCB = \frac{\text{Custos anualizados}}{\text{Benefícios anualizados}} \quad (1)$$

Na Equação 1, os custos anualizados referem-se ao investimento feito durante cada ano do ciclo de vida considerado na análise, enquanto os benefícios anualizados referem-se ao custo evitado em consequência do investimento e podem ser calculados com base na tarifa vigente da unidade consumidora.

A unidade consumidora é atendida pela Celesc, na modalidade tarifária A4 Verde. Atualmente, o custo do kWh para este grupo é de R\$ 0,32193 fora de ponta e R\$ 1,08370 em horário de ponta (valores sem impostos e encargos). Para fins de cálculo, considerou-se que as lâmpadas permanecem acesas entre as 8 h e as 22 h, ou seja, 14 horas por dia. Para verificar a viabilidade econômica, será considerado um período de 10 anos.

Os custos envolvidos em cada sistema selecionado estão expostos na Tabela 6, de acordo com o orçamento obtido junto ao fabricante.

Tabela 6 – Custo de cada sistema

Cenário	Item	Quantidade	Custo (R\$)	Total (R\$)
1	Luminária CCC03-S	1	181,08	221,54
	Lâmp. Fluorescente Tubular 32W T8	2	16,14	
	Reator 2x32W bivolt	1	24,32	
2	Luminária FAA04-S	1	164,19	227,26
	Lâmp. Fluorescente Tubular 28W T5	2	14,92	
	Reator 2x25/28W TL5 220V	1	48,15	
3	Luminária LCN12-S	1	414,17	414,17

Fonte: do autor

Despesas referentes a instalação e adaptação das salas de aula para cada cenário não estão incluídos nos custos dos equipamentos e não foram considerados nos cálculos.

Será calculado, ainda conforme a metodologia da ANEEL, o tempo de retorno simples, calculado com base na Equação 2.

$$TR = \frac{\text{Investimento}}{\text{Benefícios}} \quad (2)$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção contém os resultados referentes às simulações da condição atual das edificações e também das modificações propostas na seção anterior. Alguns desses resultados foram previamente apresentados em Bilésimo; Scharlau (2015).

4.1 Condição atual no eQUEST

Após a realização das simulações das edificações, obtiveram-se os dados contidos na Tabela 7, que mostram o consumo por bloco e o consumo total.

Tabela 7 – Resultados obtidos com as simulações, em MWh

Mês	Bloco A	Bloco B	Bloco C	Total
Janeiro	7,18	2,41	4,28	13,87
Fevereiro	6,57	2,21	3,94	12,72
Março	7,40	3,38	5,21	15,99
Abril	9,95	5,71	7,05	22,71
Mai	8,87	4,62	7,08	20,57
Junho	8,51	4,49	6,81	19,81
Julho	8,35	4,21	5,97	18,53
Agosto	7,92	3,36	5,55	16,83
Setembro	8,51	4,43	6,78	19,72
Outubro	10,41	5,40	7,27	23,08
Novembro	9,74	5,15	6,45	21,34
Dezembro	9,42	6,05	6,30	21,77

Fonte: do autor

É possível perceber que o Bloco A possui consumo elevado quando comparado aos outros dois blocos, o que se deve ao fato do mesmo apresentar taxa de ocupação mais elevada ao longo do dia. Os Blocos B e C, por serem menores e relativamente menos ocupados, possuem o consumo proporcional às suas dimensões e respectivas ocupações.

A redução do consumo em janeiro e fevereiro ocorre por serem meses de férias, assim como março, julho e agosto, que também possuem períodos de férias. Nos meses de inverno, apesar de haver maior consumo com iluminação, os ventiladores não são ligados, o que faz com que o consumo nestes meses seja um pouco menor que o consumo nos meses de verão. É importante ressaltar que no Bloco B e em alguns prédios do Bloco C existem equipamentos de ar condicionado, o que contribui para um maior consumo de energia nos meses de verão.

Um fator importante a ser ressaltado consiste no fato de que somente o consumo de energia das edificações foi simulado. Isto é, a iluminação externa não foi incluída na simulação. Desta forma, foi feita uma estimativa de consumo, considerando cerca de 74 lâmpadas de 400 W acesas durante 6 horas no inverno e 5 horas no verão. Tal estimativa resultou em aproximadamente 5,3 MWh para os meses de inverno e 4,4 MWh para os meses de verão. Estes valores foram, então, subtraídos dos valores obtidos dos relatórios de consumo mensal. A partir disso, foi feita a comparação entre o consumo total simulado e o consumo real dos prédios (sem a estimativa da iluminação externa) conforme mostra a Figura 5.

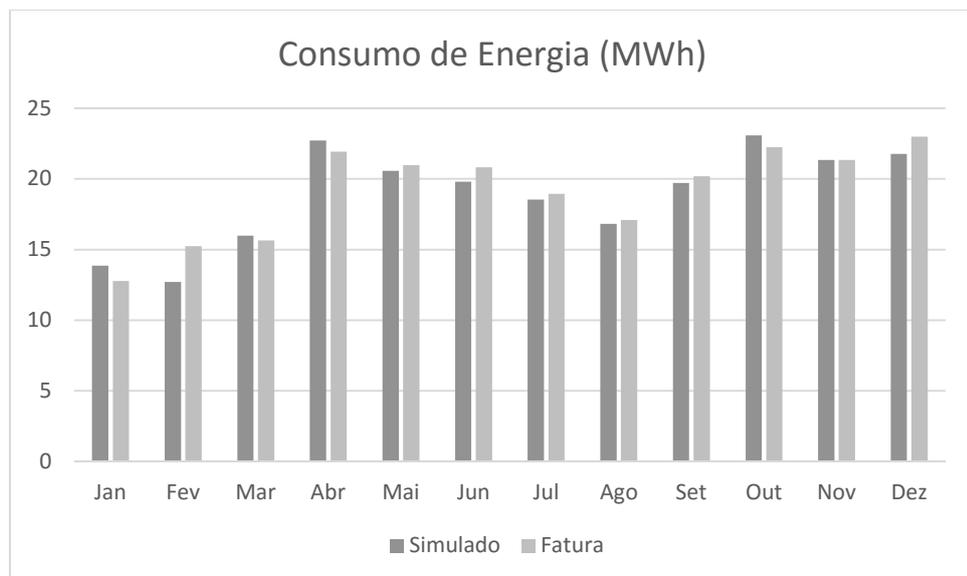


Figura 5 – Comparação entre o consumo total simulado e o consumo real dos blocos. Fonte: do autor

Através da análise dos dados, é possível perceber que os resultados das simulações se aproximam dos valores reais de consumo. As diferenças entre os valores podem ser justificadas

em consequência da dificuldade em determinar a quantidade de vezes que equipamentos são acionados e da variação no número de pessoas que ocupam os prédios. Adicionalmente, não é possível saber com exatidão se os aparelhos de ar condicionado são ligados somente nas temperaturas estipuladas no programa. Por esses motivos, foram feitas estimativas baseadas na ocupação dos prédios, as quais se mostraram satisfatórias ao verificar que os resultados se aproximam do consumo real.

4.2 Análise da iluminação

As análises realizadas no DIALux mostraram que a condição de iluminação atual, durante o período noturno, é insuficiente. De acordo com a NBR ISO/CIE 8995-1 e considerando que as salas são utilizadas no período noturno, o sistema de iluminação deve proporcionar, no mínimo, 500 lux para que o conforto visual seja satisfeito. Entretanto, é possível verificar por meio dos dados de simulação na Figura 6 e também na Tabela 8 que o nível de iluminação não atinge o mínimo necessário em todo o plano de trabalho.

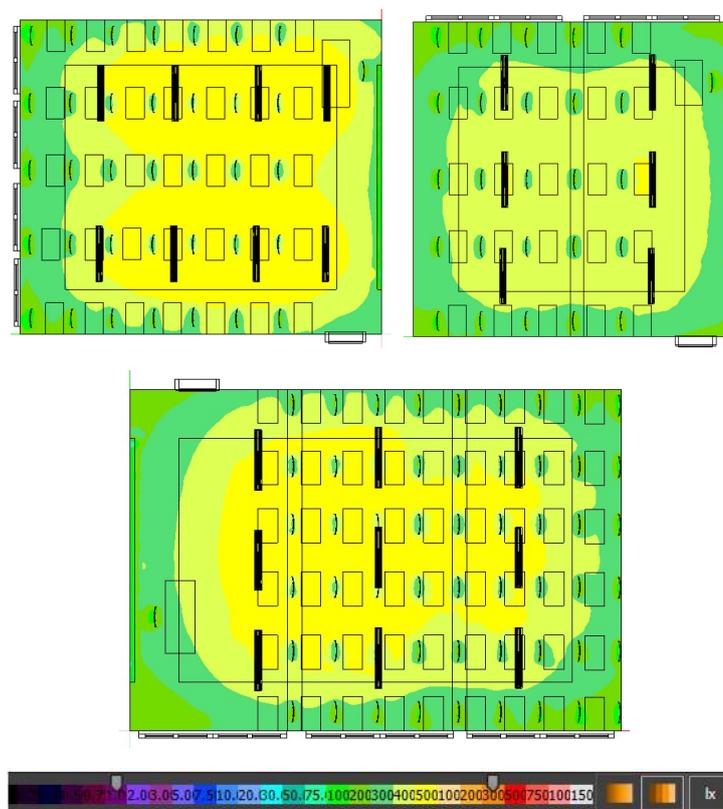


Figura 6 – Simulação da condição de iluminação no período noturno utilizando o programa DIALux. Fonte: do autor

Tabela 8 – Resultado da simulação da condição atual de iluminação, no DIALux

Luminária	Tipo	Sala	Nº de luminárias	Potência instalada (W)	Ilum. média simulada (lux)
CCN14-S	T8	1	8	536	472
		2	6	402	400
		3	9	603	436

Fonte: do autor

Para verificar os resultados simulados, foram realizadas medições de iluminação em duas salas de aula de cada tipo no período noturno. O luxímetro foi posicionado ao longo das paredes, sobre as carteiras, para verificar o nível de iluminação no perímetro das salas. Em seguida, o mesmo foi posicionado em várias carteiras das áreas centrais, visando avaliar a diferença entre os pontos mais próximos e mais distantes das lâmpadas.

As medições realizadas com o luxímetro apontaram o nível de iluminação variando entre 200 lux (próximo do perímetro da sala) e 400 lux. Apenas em alguns locais específicos o luxímetro apontou valores próximos de 500 lux. Em vista disso, conclui-se que as medições comprovam os resultados obtidos em simulação.

As simulações de alternativas para suprir a condição de iluminamento necessária forneceram os resultados contidos na Tabela 9.

Tabela 9 – Resultado das simulações das alternativas sugeridas

Luminária	Tipo	Sala	Nº de luminárias	Potência instalada (W)	Ilum. média simulada (lux)
CCC03-S	T8	1	12	804	550
		2	10	670	506
		3	15	1005	555
FAA04-S	T5	1	10	660	595
		2	8	628	541
		3	11	726	535
LCN12-S	LED	1	10	365	589
		2	8	292	536
		3	11	401,5	523

Fonte: do autor

Em alguns casos, percebe-se que a iluminância média fica acima do exigido pela norma. Estes valores foram mantidos para garantir que o todo o plano de trabalho esteja com a iluminação adequada.

A condição de iluminação para o cenário número 1 pode ser vista mais detalhadamente na Figura 7.

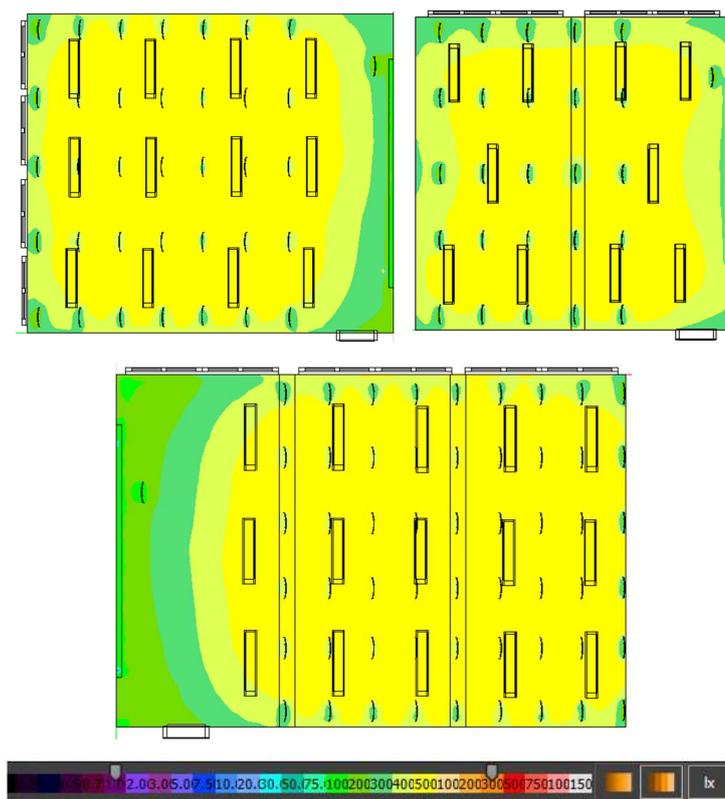


Figura 7 – Condição de iluminação para o cenário número 1. Fonte: do autor

Para o segundo cenário proposto, em que se utilizam luminárias com lâmpadas T5, a condição de iluminação simulada pode ser vista na Figura 8. Em seguida, na Figura 9, tem-se a simulação da condição de iluminação em decorrência do uso de lâmpadas LED.

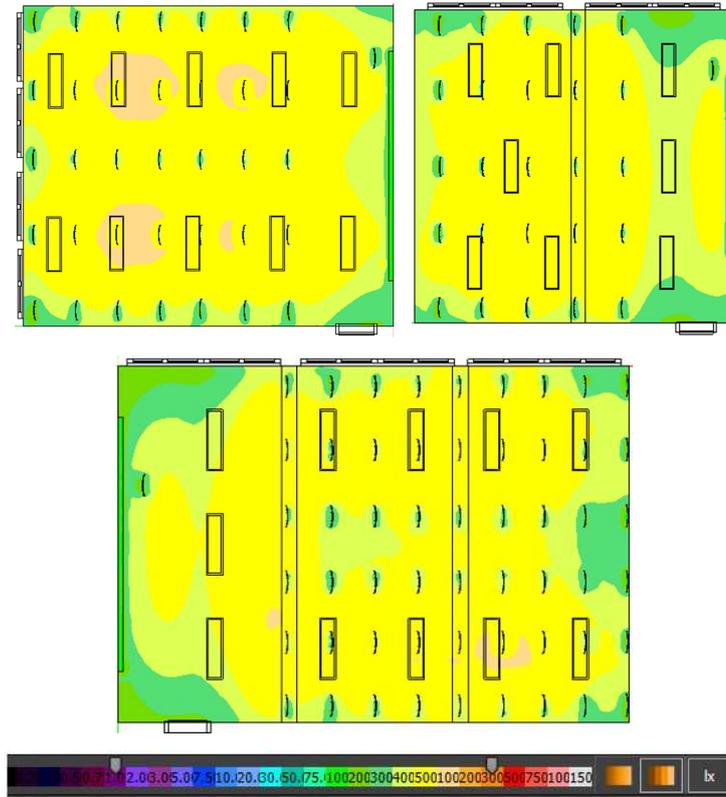


Figura 8 – Condição de iluminação para o cenário número 2. Fonte: do autor



Figura 9 – Condição de iluminação para o cenário número 3. Fonte: do autor

Devido a sua alta eficiência luminosa, a lâmpada LED é a que oferece a melhor condição de iluminação com o menor número de equipamentos, seguida pela lâmpada T5. A utilização de lâmpadas T8 exige um número maior de equipamentos para a mesma condição de iluminação, não sendo vantajosa em termos de eficiência energética.

Tendo em vista a existência de 18 salas de aula do Tipo 1, 32 do Tipo 2 e 4 do Tipo 3, seriam necessárias 596 conjuntos de luminárias CCC03-S (T8), ou 480 conjuntos de FAA04-S (T5) ou LCN12-S (LED).

Simulações no eQUEST mostraram que as alternativas sugeridas impactam significativamente no consumo de energia do Bloco A, conforme a Tabela 10.

Tabela 10 – Consumo de energia do Bloco A para cada condição de iluminação, em MWh

Mês	Condição atual	T8	T5	LED
Janeiro	7,18	8,76	7,94	6,56
Fevereiro	6,57	8,03	7,27	6,00
Março	7,40	9,04	8,19	6,75
Abril	9,95	12,38	11,12	8,99
Maio	8,87	11,70	10,24	7,76
Junho	8,51	11,23	9,82	7,44
Julho	8,35	10,66	9,46	7,44
Agosto	7,92	10,08	8,97	7,08
Setembro	8,51	11,23	9,82	7,44
Outubro	10,41	12,93	11,63	9,42
Novembro	9,74	11,76	10,71	8,94
Dezembro	9,42	11,41	10,38	8,63

Fonte: do autor

Para adequar a iluminação utilizando luminárias com lâmpadas T8, seria observado um acréscimo de 16,12 kW na demanda de energia e 2.198,33 kWh no consumo. Conseqüentemente, haveria um aumento de aproximadamente R\$ 3.285,58 na fatura de energia.

A Tabela 11 ilustra a variação média de demanda, consumo e custo do uso de lâmpadas T5 e LED, quando comparadas à condição estabelecida pela norma utilizando lâmpadas T8.

Tabela 11 – Impacto médio mensal do uso de lâmpadas T5 e LED em comparação com a condição ideal com o uso de lâmpadas T8

Luminária	Δ demanda (kW)	Δ consumo (kWh)	Δ custo (R\$)
FAA04-S	-8,25	-1.138,33	-1.681,51
LCN12-S	-22,41	-3.063,33	-4.566,89

Fonte: do autor

Entre todas as alternativas, mais uma vez a lâmpada LED se mostra mais eficiente, uma vez que permite maior redução do consumo de energia oferecendo a mesma qualidade de iluminação que as outras opções. É importante ressaltar que a comparação foi feita com a condição de iluminação mínima necessária e não com a condição atual, uma vez que neste caso a iluminação existente não atende aos valores mínimos estipulados pela norma NBR ISO/CIE 8995-1.

4.3 Tempo de retorno do investimento

O tempo de retorno do investimento foi calculado para os cenários que utilizam as lâmpadas mais eficientes, ou seja, LED e T5.

Sendo a luminária LCN12-S (LED) mais eficiente para este caso, tem-se:

- Necessidade de 480 conjuntos de luminárias no valor de R\$ 414,17, totalizando um custo de R\$ 198.801,60.
- Economia média mensal de R\$ 4.566,89.
- Vida útil da lâmpada LED de até 50.000 horas.

De acordo com a Equação 1, o valor de RCB é 0,36, indicando que os custos são relativamente pequenos quando comparados aos benefícios trazidos pelo investimento.

Considerando que as lâmpadas permaneçam acesas por 14 h/dia, as mesmas teriam durabilidade de aproximadamente 10 anos, o que faz com que não haja necessidade de trocar equipamentos durante o período analisado. Desta forma, de acordo com a Equação 2, o tempo de retorno do investimento é de 3,6 anos.

Para a luminária FAA04-S (T5), as condições são:

- Necessidade de 480 conjuntos de luminárias no valor de R\$ 227,26, o que representa um custo inicial de R\$ 109.084,80.
- Economia média mensal de R\$ 1.681,51.
- Vida útil da lâmpada de até 20.000 horas.

- Vida útil do reator de até 50.000 horas.

O cálculo da Relação Custo-Benefício para este caso resulta em um valor de 0,61. Levando em conta apenas este valor, o primeiro investimento sugerido seria mais viável quando comparado a este.

Visto que as lâmpadas tem durabilidade de cerca de 4 anos, seria necessário realizar duas substituições no valor de R\$ 7.161,60, isto é, R\$ 14.323,20. Durante o período analisado, não há necessidade de substituir luminárias e reatores. Portanto, o custo total do investimento é de R\$ 123.408,00 e, de acordo com a Equação 2, o tempo de retorno do investimento é de 6,1 anos.

Comparando os dois cenários percebe-se que, apesar do alto investimento, a alta eficiência da lâmpada LED faz com que haja uma grande economia no consumo, garantindo que o investimento tenha tempo de retorno menor que a outra alternativa. Por sua vez, as lâmpadas T5 exigem um investimento inicial menor, mas levam um tempo maior para garantir o retorno do investimento. É importante lembrar que, uma vez que os custos de instalação e adequação das salas não foi considerado, o tempo de retorno do investimento deve se mostrar um pouco maior que o calculado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho analisou o consumo de energia da UFSC Campus Araranguá e também alternativas para o sistema de iluminação, a fim de torná-lo mais eficiente energeticamente. Entre as alternativas propostas, a que envolve o uso de lâmpadas T5 necessita de um investimento inicial menor quando comparada ao cenário que utiliza lâmpadas LED. Entretanto, o tempo de retorno de investimento do cenário com lâmpadas LED é menor, pois o mesmo proporciona maior economia mensal. Analisando os resultados obtidos, pode-se concluir que é imprescindível que alguma alternativa seja adotada para melhorar a qualidade da iluminação das salas de aula e aumentar a eficiência energética do Campus. Os investimentos se mostram viáveis economicamente. Entretanto, devido aos altos custos envolvidos, deve-se ponderar antes de optar por algum cenário sugerido. Recomenda-se realizar pesquisas de mercado, buscando equipamentos com menor custo e que garantam a mesma eficiência que as alternativas propostas neste estudo. É importante lembrar que a economia média prevista nos cálculos pode ser ainda maior se considerarmos que a inserção de lâmpadas mais eficientes aliada a uma correta divisão dos circuitos pode reduzir o número de lâmpadas que precisam permanecer acesas durante os momentos em que se pode aproveitar a iluminação natural. Além

disso, a diminuição na demanda em decorrência da substituição das lâmpadas poderia gerar economia a partir da redução da demanda contratada pela unidade consumidora, reduzindo ainda mais os custos e aumentando os benefícios relacionados ao investimento.

ANALYSIS AND EFFICIENCY OF ENERGY CONSUMPTION ON A UNIVERSITY CAMPUS

ABSTRACT

This article aims to analyze the energy consumption of the buildings that compose the Campus Araranguá of the Federal University of Santa Catarina (UFSC) and to propose measures of energy efficiency in the classroom's lightning system. The adopted methodology was based on data survey about occupation, installed power, energy consumption reports and illuminance measurements. The softwares used to model and simulate were eQUEST and DIALux. The simulation results were compared with the report data and measurements and both results are in a good agreement. Propositions that turn the classroom's lightning system more effective were also elaborated. The payback period of these propositions were calculated and it is possible to conclude that the investment required to improve the lightning system is viable in economic terms. Therefore, it is important to adopt some alternative to upgrade the illumination quality of the buildings, specially in classrooms.

Keywords: Energy consumption, Edifications, Energy efficiency, Simulation.

REFERÊNCIAS

BILÉSIMO, T. L.; SCHARLAU, C. C., Análise e Simulação do Consumo de Energia em um Campus Universitário. **Anais do IV Simpósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinense**, Sombrio, 2015.

CAMPOS, F. F. S.; BARBIERI, P. E. L.; MARTINS NETO, J. H. Simulação energética de edificações comerciais utilizando o *software* "eQuest". **16º POSMEC**, Minas Gerais, 2006.

CARLO, J. C.; **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação de Eficiência Energética do Envoltório de Edificações Não-residenciais**. 2008. 196 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2008.

CEPEL, **Guia para Eficiência Energética nas Edificações Públicas**. Rio de Janeiro, 2015.

CONPET, **CONPET**. Disponível em http://www.conpet.gov.br/portal/conpet/pt_br/conteudo-gerais/conpet.shtml. Acesso em 12 de novembro de 2015.

DE SANTOLI, L. *et al.*. Energy performance assessment and a retrofit strategies in public school buildings in Rome. **Energy and Buildings**, Science Direct, USA, v. 68, p. 196-202, 2013.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, Anuário Estatístico de Energia Elétrica, 2014.

HIRSCH, J. J. **eQUEST the Quick Energy Simulation Tool**. Disponível em <http://www.doe2.com/equest/>. Acesso em 15 de julho de 2015.

INMETRO, **O Programa Brasileiro de Etiquetagem**. Disponível em http://www2.inmetro.gov.br/pbe/conheca_o_programa.php. Acesso em 19 de setembro de 2015.

JANNUZZI, G. D. M. **Políticas Públicas para Eficiência Energética e Energia Renovável no Novo Contexto de Mercado: uma análise da experiência recente dos EUA e do Brasil**. Campinas: Autores Associados, 116 p., 2000.

KE, M. T.; YEH, C. H.; JIAN, J. T. Analysis of building energy consumption parameters and energy savings measurement and verification by applying eQUEST software. **Energy and Buildings**, Science Direct, USA, v. 61, p. 100-107, 2013.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: PROCEL, [201-]. 366 p., 2013.

LUMICENTER, **DIALux**. Disponível em <http://www.lumicenteriluminacao.com.br/pt/tecnologia/dialux.html>. Acesso em 18 de setembro de 2015.

MENDES, N. *et al.* Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético das edificações no Brasil. **Ambiente construído**, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 47-68, out./dez. 2015.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, **Plano Nacional de Eficiência Energética**. Disponível em http://www.orcamentofederal.gov.br/projeto-esplanada-sustentavel/pasta-para-arquivar-dados-do-pes/Plano_Nacional_de_Eficiencia_Energetica.pdf. Acesso em 12 de agosto de 2015.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, **Portaria Interministerial Nº 1007, de 31 de dezembro de 2010**. Disponível em http://www.mme.gov.br/documents/10584/904396/Portaria_interminestral+1007+de+31-12-2010+Publicado+no+DOU+de+06-01-2011/d94edaad-5e85-45de-b002-f3ebe91d51d1?version=1.1. Acesso em 12 de novembro de 2015.

NUNES, A. L. R. **Eficiência Energética em Prédios Públicos**. 2010. 135 f. Projeto de Diplomação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, UFRGS, Porto Alegre, 2010.

PÉREZ-LOMBARD, L.; ORTIZ, J.; POUT, C. A review on buildings energy consumption information. **Energy and Buildings**, Science Direct, USA, v. 40, p. 394-398, 2008.

PETRY, B. M. *et al.*. Ferramenta computacional para análise de sistemas de iluminação – DIALux. Disponível em <http://www.edipucrs.com.br/XSalaoIC/Engenharias/Engenharia_Eletrica/71337-BIBIANA_MAITE_PETRY.pdf>. Acesso em 21 de setembro de 2015.

PROCEL, **O Programa**. Disponível em <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?Team=%7B505FF883-A273-4C47-A14E-0055586F97FC%7D>>. Acesso em 19 de setembro de 2015

PROCEL, **Procel Edifica**. Disponível em <<http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMIDC46E0FFDDBD124A0197D2587926254722LUMISADMIN1PTBRIE.htm>>. Acesso em 15 de julho de 2015.

RAMINHOS, F.; VALDEZ, M. T.; FERREIRA, C. M. Aplicação de programas de modelação 3D na análise do cálculo luminotécnico de exteriores. **VIII International Conference on Engineering and Computer Education**. Angola, p. 304-307, 2013.

ROMÉRO, M. A.; REIS, L. B. **Eficiência energética em edifícios**. 1ª ed. Barueri: Manole, 2012. 195 p.

SANTOS, A. H. M., *et al.*. **Eficiência energética: teoria & prática**. 1ª ed. Itajubá: Eletrobrás/Procel Educação, UNIFEI, FUPAI, 2007. 224 p.

VIANA, A. N. C., *et al.*. **Eficiência energética: fundamentos e aplicações**. 1ª ed. São Paulo: Elektro, UNIFEI, Excen, FUPAI, 2012. 314 p.

XING, J.; REN, P.; LING, J. Analysis of energy efficiency retrofit scheme for hotel buildings using eQuest software: a case of study from Tianjin, China. **Energy and Buildings**, Science Direct, USA, v. 87, p. 14-24, 2015.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me conceder forças para concluir mais esta etapa. À minha família, pelo exemplo de força, determinação e persistência, e também pela paciência quando muitas vezes precisei me isolar para estudar. Ao meu namorado, Luiz Antonio, por todo o apoio e por acreditar mais em mim do que eu mesma. Agradeço também aos meus amigos, pelo suporte e companheirismo em todos os momentos.

Ao professor Dr. César Cataldo Scharlau, meu orientador, pelas palavras de apoio e incentivo à busca de conhecimento.

Ao professor Dr. Rogério Gomes de Oliveira, do Laboratório de Ciências Térmicas Aplicadas, pelo auxílio com o eQUEST. Ao Augusto, por ceder o luxímetro para as medições. Aos funcionários da UFSC e Unisul, por terem permitido o levantamento de dados, bem como por fornecerem faturas de energia e detalhes sobre a ocupação dos prédios, necessários para a realização deste trabalho.