



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO ENGENHARIA CIVIL

FELIPE ARTHUR SABINO ARAUJO LIMA

**ILUMINAÇÃO EFICIENTE: ANÁLISE DA SUBSTITUIÇÃO DE LÂMPADAS
FLUORESCENTES TUBULARES POR LÂMPADAS LED EM UMA INSTITUIÇÃO
PÚBLICA DE ENSINO**

Mossoró/RN

2017

FELIPE ARTHUR SABINO ARAUJO LIMA

**ILUMINAÇÃO EFICIENTE: ANÁLISE DA SUBSTITUIÇÃO DE LÂMPADAS
FLUORESCENTES TUBULARES POR LÂMPADAS LED EM UMA INSTITUIÇÃO
PÚBLICA DE ENSINO**

Trabalho de Finalização de Graduação
apresentado à Universidade Federal Rural do
Semi-Árido, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Civil.

Orientador: Prof. Me. Ednardo Pereira da Rocha

Mossoró/RN

2017

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva

ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

L732i Lima, Felipe Arthur Sabino Araujo.
Iluminação eficiente: análise da substituição de lâmpadas fluorescentes tubulares por lâmpadas led em uma instituição pública de ensino. / Felipe Arthur Sabino Araujo Lima. - 2017.
51 f. : il.

Orientador: Ednardo Pereira da Rocha.
Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil, 2017.

1. Eficiencia Energetica. 2. Iluminação. 3. Redução de custos com energia. 4. Retrofit. 5. Dialux. I. Rocha, Ednardo Pereira da, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

FELIPE ARTHUR SABINO ARAUJO LIMA

**ILUMINAÇÃO EFICIENTE: ANÁLISE DA SUBSTITUIÇÃO DE LÂMPADAS
FLUORESCENTES TUBULARES POR LÂMPADAS LED EM UMA INSTITUIÇÃO
PÚBLICA DE ENSINO.**

Trabalho de Finalização de Graduação
apresentado à Universidade Federal Rural do
Semi-Árido, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Civil.

Orientador: Ednardo Pereira da Rocha

Aprovado em: 17/05/17



Prof. Me. Ednardo Pereira da Rocha - UFERSA
Presidente da banca e Orientador



Prof. Me. Isaac Barros Tavares da Silva - UFERSA
Primeiro Membro



Eng. Daniel Pablo Dantas Diógenes – Membro Externo
Segundo Membro

Mossoró/RN

2017

A **Luis Alberto Lima** (*in memoriam*), meu pai, que sempre prezou pelo estudo e dedicação, transmitindo esses valores não apenas nas palavras, mas sobretudo no exemplo.

AGRADECIMENTOS

A realização de um sonho que um dia pareceu impossível e que hoje é uma realidade próxima, só foi possível graças à contribuição de pessoas que se fizeram presentes ao longo desta jornada com incentivos, orientações, confiança e compreensão. Assim, gostaria de manifestar de forma simples, porém verdadeira, o agradecimento a todos que participaram direta ou indiretamente desta conquista.

A toda a minha família pelo apoio e suporte nesta luta diária. Principalmente à minha mãe, Heleonora, motivo primordial para a insistência e persistência em alcançar meus objetivos.

Aos meus irmãos Victor, Lisiane, Augusto e Lilian. À minha amiga, confidente e companheira de todas as horas Nika. Aos meus avós, primos e tios, deixo aqui meu muito obrigado.

Ao meu professor orientador, Ednardo Pereira da Rocha, que motiva e abre a mente dos seus alunos quanto as possibilidades da engenharia e depositou confiança total em mim para a realização deste trabalho.

Ao professor Isaac Barros Tavares da Silva e ao Engenheiro Daniel Pablo Dantas Diógenes, membros da Banca Examinadora, por aceitar o convite disponibilizando do seu tempo para contribuir com este trabalho.

Aos grandes amigos de tantas horas de estudo árduo, de conversas e de risadas, seja nas mesas da biblioteca ou nas de bar. Sem vocês não seria possível chegar até o fim dessa jornada, portanto agradeço especialmente a Rafael Alex, Danielle Dantas, Rodrigo Silva, Andressa Adna, Ester Medley, Daniel Vitor, Maria Clara, Daniel Diógenes, Graziella Gurgel, Arthuro Munay, Karol, Udenilson, Fanny Cristina, Maia Júnior, Thais Araújo, Elano Costa e Alcidemar Galdino.

A toda a equipe de trabalho do *Campus* Apodi, do IFRN, responsáveis pela oferta de educação pública, gratuita e de qualidade, que sem sombra de dúvidas é motor propulsor do desenvolvimento social e tecnológico da região Oeste do Rio Grande do Norte.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre eficiência energética relativa à iluminação em uma instituição educacional. O objetivo é averiguar a viabilidade técnica e econômica da implementação de lâmpadas LED no Campus Apodi do IFRN como forma de reduzir os custos com energia elétrica, seguindo as diretrizes da Portaria Nº. 370 do Ministério da Educação. A metodologia utilizada consistiu no levantamento das cargas *in loco*, análise luminotécnica utilizando o software *DIALux*, proposta de substituição da iluminação existente por iluminação LED e análise da viabilidade econômica. Os resultados obtidos indicam que é possível atingir uma redução de até 50.352 kWh por ano, o que resulta em uma economia anual da ordem de 26.264 reais. O investimento para o *retrofit* é de aproximadamente 40.632 reais, o *payback* simples deste projeto será atingido em um período de 1 ano e 7 meses. Portanto, sua implantação é viável.

Palavras-chave: Eficiência energética, Iluminação, Redução de custos com energia, *Retrofit*, *DIALux*.

ABSTRACT

This work presents a study about energy efficiency on lighting in an educational institution. The aim is to determine the technical and economic feasibility of LED lamps insertion in Campus Apodi IFRN as a way to reduce electricity costs, following the guidelines of Ordinance no. 370 of the Ministry of Education. The methodology consisted in quantify loads on the spot, luminotechnical study using DIALux software, proposal to replace existing lighting for LED and analysis of economic viability. The results indicate that it is possible to achieve an energy saving up to 50,352 kWh per year, resulting in annual savings of R\$ 26,264 (US\$ 7,858). The investment for the retrofit is about R\$ 40,632 (US\$ 12,312), the simple payback of this project will be achieved in a period of 1 year and 7 months. Therefore, it is feasible to implement.

KEYWORDS: Energy efficiency, Lighting, Energy savings, Retrofit, DIALux.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Partes de uma lâmpada incandescente.	21
Figura 2 – Exemplo de lâmpada Incandescente.....	22
Figura 3 – Lâmpada fluorescente.....	23
Figura 4 - Exemplos de lâmpadas fluorescentes tubulares.	23
Figura 5 – LED convencional.	23
Figura 6 - Lâmpadas tubulares LED.....	24
Figura 7 – Resumo dos itens que compõem a conta de energia para o Subgrupo A4 na modalidade tarifária Horo-Sazonal Verde.	28
Figura 8 – Consumo total da instituição em kWh no período de janeiro/2015 a dezembro/2016.....	29
Figura 9 – Consumo no posto tarifário fora de ponta da instituição em kWh no período de janeiro/2015 a dezembro/2016.....	29
Figura 10 - Consumo no posto tarifário de ponta da instituição em kWh no período de janeiro/2015 a dezembro/2016.	30
Figura 11 – Variação percentual das tarifas e índices inflacionários.	30
Figura 12 – Comparativo do total de lâmpadas por tipo na instituição.....	32
Figura 13 - Representação da sala de aula utilizando o software DIALux.	33
Figura 14 – Representação da sala de aula na perspectiva da posição de um aluno utilizando o software Dialux.	34
Figura 15 – Representação da iluminância na lousa com escala de cores.....	34
Figura 16 - Representação dos valores de iluminância em pontos da lousa.	35
Figura 17 - Representação dos valores de iluminância da lousa em isolux.....	35
Figura 18 - Representação da iluminância na sala de aula com escala de cores.....	36
Figura 19 - Representação dos valores de iluminância em pontos no plano de trabalho.....	37
Figura 20 - Representação dos valores de iluminância em isolux da sala de aula.	37
Figura 21 - Representação da iluminância na Sala Administrativa 01 com escala de cores.....	39
Figura 22 - Representação dos valores de iluminância em pontos da Sala Administrativa 01.	40
Figura 23 - Representação dos valores de iluminância da Sala Administrativa 01 em isolux.	41
Figura 24 - Representação da iluminância na sala administrativa 02 com escala de cores.....	42
Figura 25 - Representação dos valores de iluminância em pontos no plano de trabalho na Sala Administrativa 02.....	43
Figura 26 - Representação dos valores de iluminância em isolux da Sala Administrativa 02.	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo dos tipos de grupos e subgrupos de consumidores.....	17
Tabela 2 – Resumo das modalidades e postos tarifários para o grupo A.....	18
Tabela 3 – Resumo do levantamento quantitativo das cargas de iluminação.....	31
Tabela 4 – Comparativo de valores unitários para lâmpadas LED 18W.....	47
Tabela 5 – Resumo do consumo mensal de energia com iluminação atual e após a realização do retrofit.	47
Tabela 6 - Resumo de custos.	48

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Iluminância	19
Equação 2 – Eficiência luminosa.....	19
Equação 3 – Consumo de energia de uma lâmpada	19

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção

IFRN - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

IGPM – Índice Geral de Preços do Mercado

IPCA – Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo

ISO – International Organization for Standardization

LED - *Light Emitting Diode*

MEC - Ministério da Educação

NBR - Norma Brasileira Regulamentadora

Procel - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	14
2.1. Objetivo Geral.....	14
2.2. Objetivos Específicos	14
3. REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1. Eficiência Energética	15
3.2. Resolução Normativa 414/2010 ANEEL	16
3.3. Iluminação artificial	18
3.3.1. Lâmpadas.....	20
3.3.2. Luminárias	25
4. METODOLOGIA DA PESQUISA	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
5.1. Caracterização do local de estudo.....	26
5.2. Análise do consumo de energia.....	27
5.3. Análise Luminotécnica.....	31
5.3.1. Salas de aula.....	33
5.3.2. Salas administrativas	38
5.4. Análise Financeira	45
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
REFERÊNCIAS.....	49

1. INTRODUÇÃO

A energia é um ativo estratégico para todas as nações e a sua produção envolve impactos econômicos, sociais, políticos e ambientais. Em um mundo com recursos naturais escassos, a preocupação com o uso eficiente e racional da energia elétrica nas edificações está cada vez mais presente na sociedade.

Segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção - CBIC (2013), a eficiência energética das edificações é um dos principais indicadores de desempenho para que as construções sejam sustentáveis. Para a CBIC, o setor da construção civil deve buscar um modelo que alie o desenvolvimento humano, a inovação tecnológica, e uso e reuso equilibrado dos recursos disponíveis, bem como a reciclagem.

De acordo com o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - Procel (2017), o consumo de energia elétrica nas edificações residenciais e comerciais, de serviços e públicas, é bastante significativo, correspondendo a aproximadamente 50% do total da eletricidade consumida no país.

Conforme Ryckaert (2010), a iluminação representa entre 5 e 15% do consumo total de energia elétrica nos países desenvolvidos. No Brasil, especificamente nos prédios públicos, Vargas Junior (2006) afirma que iluminação representa 24% do consumo de energia.

Pela expressividade dos consumos é de se esperar que o potencial de economia de energia também seja significativo, uma vez que edificações novas construídas de acordo com os padrões instituídos pela Etiquetagem PBE Edifica podem obter uma economia de até 50%, já as edificações existentes que sofrerem grandes reformas, uma economia de até 30%.

A portaria nº 370 de 16 de abril de 2015 do Ministério da Educação (MEC) indica que os órgãos, autarquias, fundações e empresas públicas vinculadas a MEC devem integrar esforços para desenvolver ações destinadas a melhorar a eficiência no uso de forma racional dos recursos públicos, objetivando, entre outros aspectos, “incentivar a implementação de ações de eficiência energética nas edificações públicas” (BRASIL, 2015).

As ações citadas, em consonância com os programas já implementados pelo Governo Federal, como o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica em Prédios Públicos - Procel EPP, deverão ser postas em prática pelos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia e pelas Universidades Federais.

Por essa razão, a utilização de técnicas que aumentem a eficiência das edificações tem se tornado cada vez mais importantes na redução do consumo de energia, seja para unidades residenciais, como para indústrias, comércios e instituições públicas.

Esta pesquisa propõe-se a atacar diretamente o problema, propondo a um *retrofit* no sistema de iluminação para reduzir o consumo de uma instituição pública de ensino e consequentemente reduzir os seus custos de operação. Assim, este trabalho se mostra importante por aliar a necessidade de se cumprir os requisitos legais da portaria 370 do MEC ao mesmo tempo em que busca a otimização na iluminação em ambientes de ensino.

Espera-se que os resultados deste trabalho sirvam de subsídio para análise em outras instituições sobre a viabilidade da substituição de lâmpadas fluorescentes tubulares por lâmpadas LED, sendo totalmente replicável em outras unidades de ensino.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O objetivo é averiguar a viabilidade técnica e econômica da instalação de lâmpadas LED em substituição às lâmpadas fluorescentes tubulares em uma instituição pública de ensino.

2.2. Objetivos Específicos

Arelados ao objetivo geral deste trabalho, propõem-se quatro objetivos específicos:

- Realizar o levantamento dos ambientes da instituição e das cargas de iluminação existentes, obtendo uma noção quantitativa do número de lâmpadas, das potências de cada uma e consequentemente a potência total instalada.
- Utilizar ferramentas computacionais para análise luminotécnica.
- Analisar se é viável, tanto técnica quanto financeiramente realizar o *retrofit* de lâmpadas na instituição de ensino estudada.

- Analisar o impacto nos custos com energia elétrica na instituição de ensino analisada, seguindo as diretrizes da Portaria Nº. 370 do Ministério da Educação.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Eficiência Energética

A partir da crise do petróleo ocorrida na década de 1970, alguns países começaram a buscar alternativas para se tornarem menos dependentes dos fornecedores de petróleo, dentro deste cenário começaram a surgir as primeiras normas de eficiência energética em edificações. Segundo Bottamedi (2011) diversos países como Estados Unidos, Hong Kong, Portugal, Espanha, México, elaboraram programas de incentivo à conservação de energia. Estes programas posteriormente se transformaram em normas ou leis de eficiência energética em edificações.

O conceito de desenvolvimento sustentável em edificações é muito abrangente e complexo, pois fundamentalmente engloba três principais pilares: o social, o econômico e o ambiental, que são independentes entre si. Para uma edificação ser sustentável, ela deve ser socialmente responsável, economicamente viável e ecologicamente correta.

Para Oliva & Oliveira (2008), a ideia de responsabilidade social quando aplicada à construção civil está longe do conceito de filantropia, e relaciona-se com a adoção de políticas e práticas responsáveis dentro da cadeia de negócios e atividades das empresas. A responsabilidade social deve envolver os fornecedores, clientes, funcionários e a sociedade em geral, buscando promover uma melhoria contínua e autossustentável na qualidade de vida desta sociedade.

No ano de 2010, entra em vigor no Brasil a norma ABNT NBR 15.575, que estabelece requisitos e critérios de atendimento do desempenho de vários sistemas da construção de edifícios habitacionais. Esta norma passou por atualização e atualmente a norma em vigor é a NBR 15.575/2013.

Segundo Meira (2014), a economia de energia não deve prejudicar o conforto e a saúde das pessoas. O consumo de energia das edificações pode ser reduzido

através da adoção de estratégias passivas. Uma das estratégias passivas adotadas na otimização de recursos energéticos é o *retrofit*.

A NBR 15.575/2013 define, entre outras coisas, o conceito de *retrofit*, que é a “remodelação ou atualização do edifício ou de sistemas, através da incorporação de novas tecnologias e conceitos, normalmente visando valorização do imóvel, mudança de uso, aumento da vida útil, eficiência operacional e energética” (ABNT, 2013).

Destaca-se que profissionais inseridos no contexto de sustentabilidade e eficiência energética em edificações tendem a utilizar sistemas construtivos eficientes, com materiais, tecnologias e soluções de projeto que relacionam a edificação com o meio em que está inserida, ou seja, o uso de estratégias bioclimáticas na concepção dos projetos está relacionada diretamente com o conforto do usuário. Conforto esse que reflete diretamente na satisfação do usuário da edificação.

No que tange à eficiência energética na iluminação, os autores Lamberts, Dutra e Pereira (2012) afirmam que é conveniente que os projetos dos sistemas de iluminação sejam feitos de forma a combater os desperdícios de energia, porém é importante que não se prejudique os aspectos visuais da iluminação simplesmente para reduzir o consumo de energia.

3.2. Resolução Normativa 414/2010 ANEEL

A Resolução Normativa 414/2010 da ANEEL (BRASIL, 2010), estabelece as condições gerais para o fornecimento de energia elétrica de forma atualizada e consolidada. Define, entre outras coisas, como a energia será fornecida aos consumidores e cobrada pelos fornecedores.

A quantia monetária total que deve ser paga pelo consumidor, em função do fornecimento de energia elétrica, da conexão e uso do sistema ou da prestação de serviços deve ser apresentada na fatura de energia, que deve especificar claramente os serviços fornecidos, a respectiva quantidade, tarifa e período de faturamento.

Ainda de acordo com a Resolução Normativa 414/2010 (BRASIL, 2010) as tarifas aplicáveis a cada consumidor variam de acordo com o grupo e subgrupo ao qual pertence, bem como à modalidade tarifária que estiver sujeito.

Os consumidores de energia são divididos nos grupos A e B, com seus respectivos subgrupos apresentados resumidamente na Tabela 1 a seguir:

Tabela 1 – Resumo dos tipos de grupos e subgrupos de consumidores.

Grupo	Subgrupo	Tensão de fornecimento	Observação
A	A1	≥ 230 kV	
	A2	88 kV a 138 kV	
	A3	69 kV	
	A3a	30 kV a 44kV	
	A4	2,3 kV a 25 kV	
	AS	$\leq 2,3$ kv	Sistema subterrâneo de distribuição
B	B1	$\leq 2,3$ kv	Residencial
	B2	$\leq 2,3$ kv	Rural
	B3	$\leq 2,3$ kv	Demais classes
	B4	$\leq 2,3$ kv	Iluminação Pública

Fonte: Autor (2017) baseado na Resolução Normativa 414/2010 da ANEEL.

O grupo A é composto de unidades consumidoras que tenham fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou que sejam atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária e são caracterizados pela tarifa binômia.

O grupo B é composto de unidades consumidoras que tenham fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV, caracterizados pela tarifa monômia.

A tarifa monômia de fornecimento é constituída apenas por valor monetário aplicável ao consumo de energia ativa, enquanto a tarifa binômia é constituída por valores monetários aplicáveis ao consumo de energia elétrica ativa e também à demanda faturável.

Nas tarifas binômias, existem três tipos de modalidades tarifárias:

A modalidade tarifária convencional, onde a demanda e o consumo possuem tarifas que independem do horário de utilização.

A modalidade tarifária horária verde, onde a demanda possui única tarifa e o consumo possui tarifa diferenciada de acordo com o horário de utilização.

A modalidade tarifária horária azul, em que tanto a demanda quanto o consumo possuem tarifas diferenciada de acordo com o horário de utilização.

Os postos tarifários são definidos como o período de tempo em horas para aplicação das tarifas de forma diferenciada ao longo do dia, são eles o posto tarifário ponta, posto tarifário intermediário e posto tarifário fora de ponta.

O posto tarifário de ponta é o período composto por três horas diárias consecutivas definidas pela distribuidora considerando a curva de carga do seu

sistema. Segundo Diógenes (2016), o horário de ponta aplicável para o Rio Grande do Norte compreende o horário entre às 17:30 e 20:30 onde a tarifa terá um custo mais elevado.

O posto tarifário intermediário é o período de uma hora imediatamente antes e uma hora imediatamente depois do posto tarifário ponta.

Já o posto tarifário fora de ponta é composto pelas demais horas diárias, que não estejam classificadas nos demais postos tarifários.

A Tabela 2 a seguir resume os tipos de modalidades e postos tarifários tarifárias aplicáveis aos consumidores do grupo A.

Tabela 2 – Resumo das modalidades e postos tarifários para o grupo A.

	CONVENCIONAL	VERDE	AZUL
DEMANDA (kW)	Preço único	Preço único	Preço na ponta Preço fora ponta
CONSUMO (kWh)	Preço único	Preço ponta período úmido Preço fora ponta período úmido Preço ponta período seco Preço fora ponta período seco	Preço ponta período úmido Preço fora ponta período úmido Preço ponta período seco Preço fora ponta período seco

Fonte: Diógenes (2016) adaptado de Guedes (2011).

Ainda de acordo com a resolução, os horários de ponta e fora de ponta apresentam postos tarifários de período úmido e seco com determinadas tarifas.

3.3. Iluminação artificial

A luz, conforme Cotrim (2012), pode ser definida como a radiação eletromagnética que é capaz de produzir uma sensação visual. O espectro visível é aquele onde o comprimento das ondas eletromagnéticas está compreendido entre 380 nm e 780 nm.

O fluxo luminoso é, segundo Mamede Filho (2010), a potência de radiação emitida por uma fonte de luz em todas as direções do espaço, sendo medido em lúmens (lm), segundo o mesmo autor, outra definição possível é “a potência de radiação emitida por uma determinada fonte de luz e avaliada pelo olho do ser humano” (MAMEDE FILHO, 2010).

Cotrim (2012) explica que 1 lm corresponde à quantidade de luz produzida em 1 segundo por uma radiação eletromagnética com comprimento de onda de 555 nm e fluxo radiante de 1/680 W.

A iluminância, ou nível de iluminamento, é o limite da razão do fluxo luminoso recebido pela superfície, sendo expresso em lux (lx) conforme Equação 1.

$$E = \frac{F}{S} \quad (1)$$

Onde:

E = Iluminância (lx);

F = fluxo luminoso (lm);

S = área da superfície iluminada (m²).

Desta forma, para uma superfície plana com 1 m² de área iluminada perpendicularmente por uma fonte de luz com fluxo luminoso de 1 lm, terá iluminância de 1 lx.

A eficiência luminosa é a razão entre o fluxo luminoso produzido pela potência elétrica consumida, na forma da Equação 2:

$$\eta = \frac{\psi}{P} \quad (2)$$

Onde:

η = eficiência luminosa (lm/W)

ψ = fluxo luminoso emitido (lm)

P = potência (W).

Conforme Guedes (2011) o consumo de energia elétrica é definido como a quantidade de potência elétrica (kW) consumida em um determinado intervalo de tempo. Desta forma, o consumo de um equipamento elétrico é o valor obtido através do produto da potência do equipamento pelo seu período de utilização. Desta forma, o consumo de uma lâmpada pode ser calculado pela Equação 3 a seguir:

$$C = \frac{P \times t}{1000} \quad (3)$$

Onde:

C = consumo (kWh);

P = potência (W);

t = tempo de utilização da lâmpada (h);

Conforme a norma de Iluminação de ambientes de trabalho – ABNT NBR ISSO/CIE 8995 (ABNT, 2013) uma boa iluminação nos locais de trabalho deve fornecer uma boa visualização da tarefa a ser realizada, porém faz-se necessário que tais tarefas sejam executadas facilmente e de forma visualmente confortável, assim a iluminação deve satisfazer os aspectos quantitativos e qualitativos exigidos pelo ambiente. De forma geral a iluminação deve assegurar o conforto visual, o desempenho visual e a segurança visual.

O conforto visual deve considerar a intensidade de iluminação suficiente sobre a superfície de trabalho bem como direcionamento adequado e tem a função de dar aos trabalhadores a sensação de bem-estar.

O desempenho visual tem a função de manter o ambiente apropriado para que os trabalhadores possam realizar suas tarefas visuais de forma rápida e precisa, mesmo sob circunstâncias difíceis e durante longos períodos,

Já a segurança visual visa dar condições de iluminação que permitir que o trabalhador possa ao olhar ao redor e detecte perigos.

Lamberts, Dutra e Pereira (2012) ressaltam que as preferências humanas à iluminação são de difícil estimativa e variam de acordo com alguns fatores, entre eles a idade, hora do dia e o contexto da atividade e do local. Assim, afirmam que quanto mais complicada a tarefa a ser desempenhada em um ambiente e quanto mais velha for a pessoa, maior deverá ser o nível de iluminação do local.

A iluminação inadequada pode causar fadiga visual, dor de cabeça e irritabilidade, além de propor erros e acidentes de trabalho. Lamberts, Dutra e Pereira (2012) salientam ainda que a boa distribuição de iluminância não é, necessariamente, sinônimo de uniformidade.

3.3.1. Lâmpadas

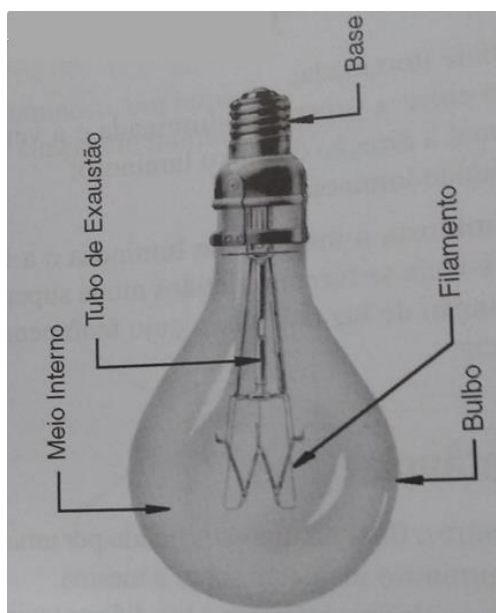
A lâmpada é a principal fonte artificial de luz, sendo utilizadas largamente em edificações residenciais, comerciais e industriais.

As primeiras lâmpadas utilizando fontes de luz de origem elétrica começaram a surgir no século XIX, segundo Cavalin e Cervelin (2012) foi Heirich Goebel quem primeiro construiu uma lâmpada incandescente no ano de 1854, que consistia basicamente em um filamento de carvão dentro de um bulbo de vidro acionadas por pilhas primitivas. Em 1879, devido principalmente à figura de Thomas Edison que realizou pesquisas sobre incandescência de filamentos e obteve o registro do seu invento, as lâmpadas passaram a ser produzidas em escala industrial.

De forma geral divide-se os tipos de lâmpadas em incandescentes, de descarga e de estado sólido.

As lâmpadas incandescentes funcionam a partir do aquecimento de um filamento de metal pela passagem da corrente elétrica até a incandescência. Geralmente são compostas de um bulbo de vidro incolor, uma base de latão ou alumínio ou outras ligas metálicas, e um conjunto de peças que contém o tubo de exaustão e o filamento, como mostrado nas Figuras 1 e 2 a seguir.

Figura 1 – Partes de uma lâmpada incandescente.



Fonte: Mamede Filho (2010).

Figura 2 – Exemplo de lâmpada Incandescente.



Fonte: Philips (2017).

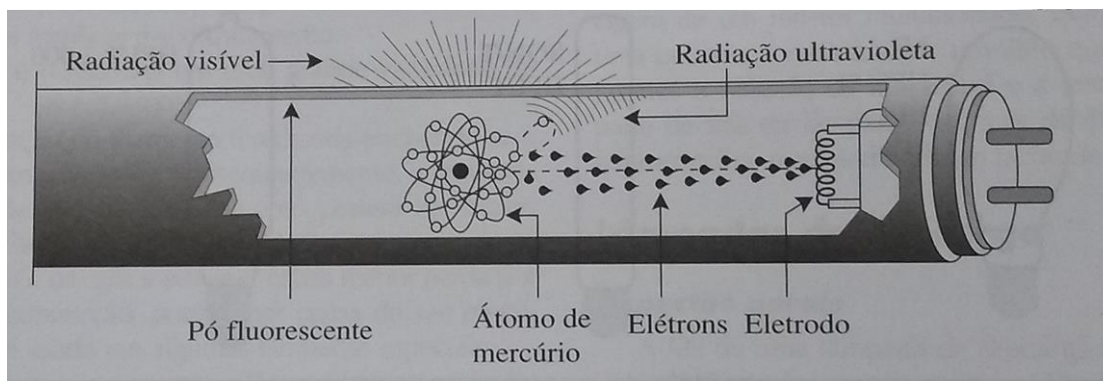
Devido ao alto consumo e baixa eficiência luminosa as lâmpadas incandescentes estão em desuso para instalações em edificações.

A comercialização de lâmpadas incandescentes a partir de 41 W está restrita no Brasil, esta ação foi estabelecida pela Portaria Interministerial 1.007/2010 com o objetivo de reduzir o desperdício no consumo de energia elétrica.

As lâmpadas fluorescentes são classificadas como lâmpadas de descarga e são constituídas de um tubo de vidro revestido internamente por uma camada de substâncias fluorescentes, dois eletrodos localizados em cada uma das extremidades da lâmpada, no seu interior a lâmpada fluorescente contém gás de mercúrio sob baixa pressão e um gás inerte.

O funcionamento da lâmpada fluorescente é explicitado na Figura 3 e ocorre da seguinte maneira: os eletrodos geram uma corrente elétrica que, ao passar através da mistura gasosa emite radiação ultravioleta. A radiação ultravioleta ao atravessar o pó fluorescente utilizado no revestimento do interior do tubo de vidro modifica o comprimento de onda ultravioleta para o espectro visível, que é refletida para o ambiente. A Figura 4 mostra exemplos de lâmpada fluorescente.

Figura 3 – Lâmpada fluorescente.



Fonte: Cotrim (2012).

Figura 4 - Exemplos de lâmpadas fluorescentes tubulares.



Fonte: General Electric (2017).

O LED (*Light Emitting Diode*) é composto por uma série de camadas de material semicondutor. Quando o diodo é energizado com corrente direta, converte a energia elétrica diretamente em luz visível. A Figura 5 exemplifica as partes componentes do LED convencional, já a Figura 6 mostra exemplos de LEDs tubulares.

Figura 5 – LED convencional.



Fonte: Utiluz (2017).

Figura 6 - Lâmpadas tubulares LED.



Fonte: Lumilândia (2017).

Os autores Cavalin e Cervelin (2012) apontam uma série de vantagens e benefícios do uso do LED para iluminação, elencados a seguir:

- Manutenção reduzida;
- Eficiência;
- Resistência a impactos e vibrações;
- Baixa tensão de operação;
- Controle dinâmico de cor;
- Acionamento instantâneo;
- Controle de intensidade variável;
- Cores vivas e saturadas sem filtro;
- Luz direta;
- Ecologicamente correto;
- Ausência de emissão de radiação ultravioleta;
- Ausência de infravermelho;

E é possível a dimerização entre 0% e 100% da sua intensidade utilizando controladores microprocessados;

3.3.2. Luminárias

As luminárias são os objetos que sustentam as lâmpadas, sua função é dar orientação ao fecho luminoso, difundir a luz, reduzir o ofuscamento, proteger as lâmpadas além de proporcionar aspecto visual agradável e compor a estética do ambiente.

Niskier e Macintyre (2008) afirmam que a escolha da luminária deve levar em consideração diversos fatores como economia, durabilidade, facilidade de manutenção e devem atender as características e necessidades do ambiente ou local a ser iluminado.

Mamede Filho (2010) atenta que na escolha de luminárias para uso em edificações industriais devem ser tomadas algumas precauções relacionadas à atividade produtiva realizada. E exemplifica para o caso de ambientes com gases combustíveis em suspensão, se faz necessário escolher luminárias de segurança reforçada e resistentes à pressão, de forma a prevenir acidentes provocados, por exemplo, pela explosão de uma lâmpada. Outro caso seria nas indústrias têxteis onde existe pó de algodão em suspensão no ar e neste caso é aconselhável adotar luminárias fechadas.

4. METODOLOGIA DA PESQUISA

A pesquisa foi desenvolvida no Campus Apodi do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN).

A metodologia consistiu em um primeiro momento na caracterização do local, análise do consumo de energia ao longo dos anos de 2015 e 2016, levantamento das cargas de iluminação existentes *in loco*, análise luminotécnica utilizando o *software* específico para isso, proposta de substituição da iluminação existente por iluminação LED e análise da viabilidade econômico-financeira.

Em um primeiro momento, foi realizada a caracterização do local estudado quanto à sua localização e função, bem como o fornecimento de energia.

Em seguida estudou-se o consumo encontrado na instituição mostrando dados de consumo na ponta e fora da ponta no período de janeiro de 2015 a dezembro de 2016, os valores de energia neste mesmo período e comparou-se a variação de custos e índices inflacionários de referência.

Realizou-se levantamento das cargas *in loco*, dividindo os ambientes de acordo com o seu uso. Sabe-se que o tempo de uso das lâmpadas varia entre os diversos locais da instituição, sendo necessário investigar quais os ambientes onde a iluminação é mais utilizada, sendo assim estudada a possibilidade da substituição das lâmpadas fluorescentes encontradas hoje por lâmpadas LED.

Em seguida foram analisados os ambientes do ponto de vista luminotécnico utilizando o *software Dialux EVO 7 (DIAL, 2017)*, sendo possível determinar a quantidade e disposição das lâmpadas e luminárias de forma a obter um melhor aproveitamento da iluminação.

Finalmente, foi elaborada uma proposta para substituição da iluminação existente por iluminação de LED e analisou-se se a substituição é viável do ponto de vista técnico e em quanto tempo se dará o retorno financeiro.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo versa sobre os resultados encontrados pela aplicação da metodologia usada no trabalho. São mostrados os dados com relação ao projeto luminotécnico mostrando o comportamento das salas de forma simulada com o uso de lâmpadas LED. São mostradas em figuras o comportamento da iluminância dos ambientes em cores falsas e também com a iluminância pontual em cada ambiente com relação aos planos de trabalho escolhidos.

5.1. Caracterização do local de estudo

O presente trabalho tem como local o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, IFRN, Campus Apodi, situada na BR 233, km-02, no bairro Chapada do Apodi. Dispõe de uma área de 50,3 hectares.

O campus está situado numa região que concentra grandes arranjos produtivos dos setores de serviços, indústria, petróleo e gás, piscicultura, agricultura e pecuária entre outros setores. Abrange cursos de nível médio técnico integrado em agricultura, agropecuária, biocombustíveis, informática e zootecnia, Técnico de nível médio PROEJA em zootecnia, Técnico subsequente em Zootecnia e Biocombustíveis e Licenciatura em química.

Para suporte a estes cursos o IFRN - Apodi dispõe de salas de aula, laboratórios, fazenda escola, biblioteca além do setor administrativo.

A edificação analisada pertence ao Poder Público Federal, e sua sede está localizada no Sítio Lagoa do Clementino, Nº 999, Zona Rural, Município de Apodi RN. O fornecimento de energia é trifásico em alta tensão possuindo subestação própria.

O Campus Apodi possui período de funcionamento durante 5 dias na semana e horário de funcionamento das 07:00 às 22:00 horas, com aulas nos períodos matutino, vespertino e noturno.

A tensão de fornecimento é de 13,8 kV, classificando a edificação no Subgrupo A4, a modalidade tarifária aplicada é a Horo-Sazonal Verde.

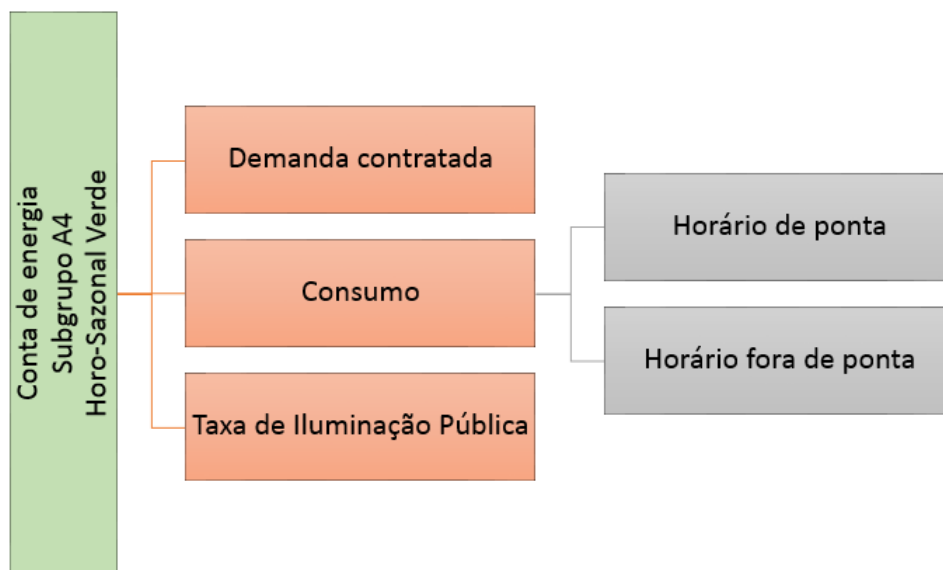
A modalidade tarifária Horo-sazonal é a modalidade que de acordo com a resolução 414/2010 da ANEEL (Brasil, 2010) é considerado consumidor da modalidade todo aquele consumidor que apresenta alimentação abaixo de 69 kV que correspondem aos subgrupos A3a, A4 e AS. Apresenta uma estrutura de demanda contratada e dois períodos de faturamento chamados de horários de ponta e fora de ponta.

A portaria nº 370 de 16 de abril de 2015 do Ministério da Educação indica que os órgãos, autarquias, fundações e empresas públicas vinculadas a MEC devem integrar esforços para desenvolver ações destinadas a melhorar a eficiência no uso de forma racional dos recursos públicos, observando, entre outros aspectos, “incentivar a implementação de ações de eficiência energética nas edificações públicas” (BRASIL, 2015).

5.2. Análise do consumo de energia

O gerenciamento energético de qualquer instalação requer o pleno conhecimento dos sistemas energéticos existentes, dos hábitos de utilização da instalação, dos mecanismos de aquisição de energia e da experiência dos usuários e técnicos da edificação.

Figura 7 – Resumo dos itens que compõem a conta de energia para o Subgrupo A4 na modalidade tarifária Horo-Sazonal Verde.



Fonte: Autor (2017).

De acordo com a resolução os horários de ponta e fora de ponta apresentam postos tarifários de período úmido e seco com determinadas tarifas. Conforme Diógenes (2016) o horário de ponta aplicável para o Rio Grande do Norte compreende o horário entre às 17:30 e 20:30 também apresentando uma tarifa específica. Estas tarifas incidem no consumo de energia elétrica.

Esta modalidade ainda confere a taxação por ultrapassagem de energia ativa e reativa, ou seja, no caso de ultrapassagem da energia ativa e reativa contratada e adequada numa tolerância de 5% será cobrado o dobro da tarifa comum multiplicado pela diferença da potência de ultrapassagem e a demanda contratada pelo consumidor.

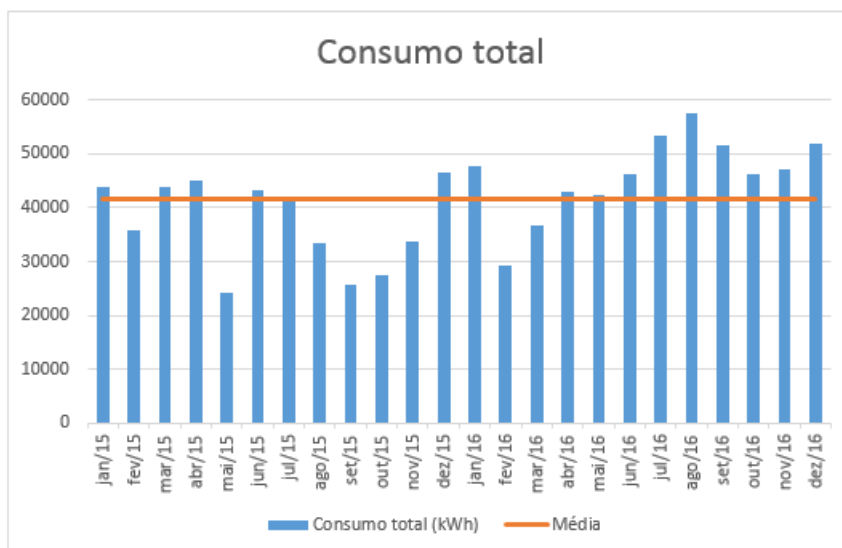
A análise das contas de energia da instituição indica que os valores tarifários cobrados em dezembro de 2016 foram de 15,32 R\$/kW na demanda ativa contratada, 1,58 R\$/kWh no horário de ponta e 0,33 R\$/kWh no horário fora de ponta.

A demanda contratada é de 235 kW, esta demanda refere-se à disponibilidade de energia elétrica para o consumidor e, portanto, é paga independentemente do seu uso.

No período entre janeiro de 2015 e dezembro de 2016, o custo médio com energia elétrica na instituição foi de R\$ 20.670,76 por mês. Já o consumo médio de energia elétrica foi de 41.605 kWh por mês, sendo em média 4.284,15 kWh

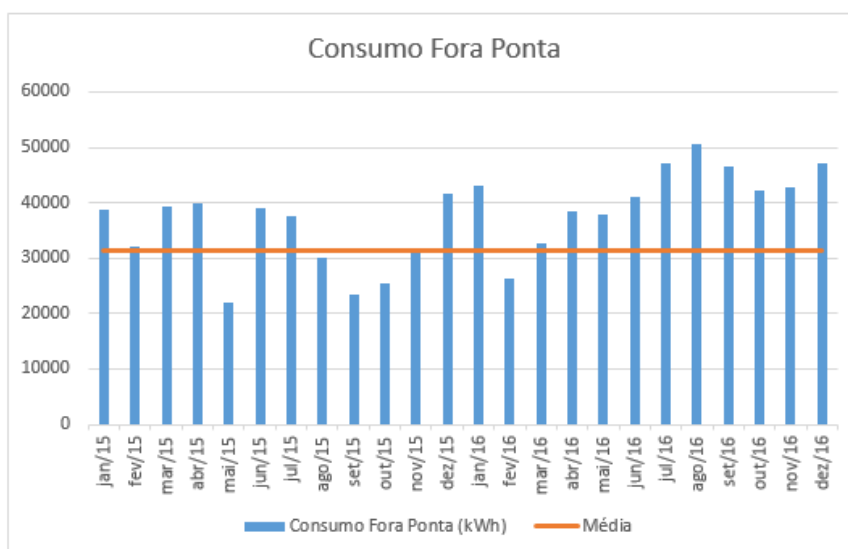
consumidos em horário de ponta e 37.321,53 kWh consumidos em horário fora de ponta. Os registros mensais são mostrados nas Figuras 8, 9 e 10 a seguir:

Figura 8 – Consumo total da instituição em kWh no período de janeiro/2015 a dezembro/2016.



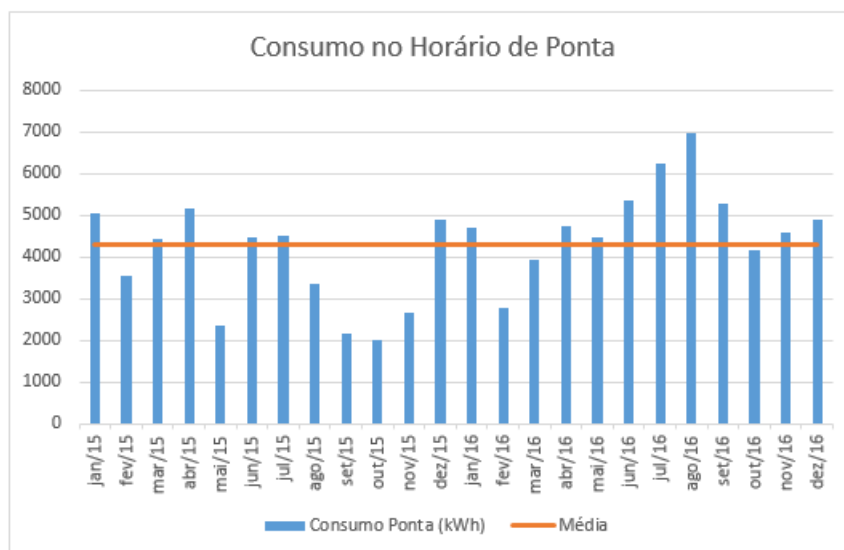
Fonte: Autor (2017).

Figura 9 – Consumo no posto tarifário fora de ponta da instituição em kWh no período de janeiro/2015 a dezembro/2016.



Fonte: Autor (2017).

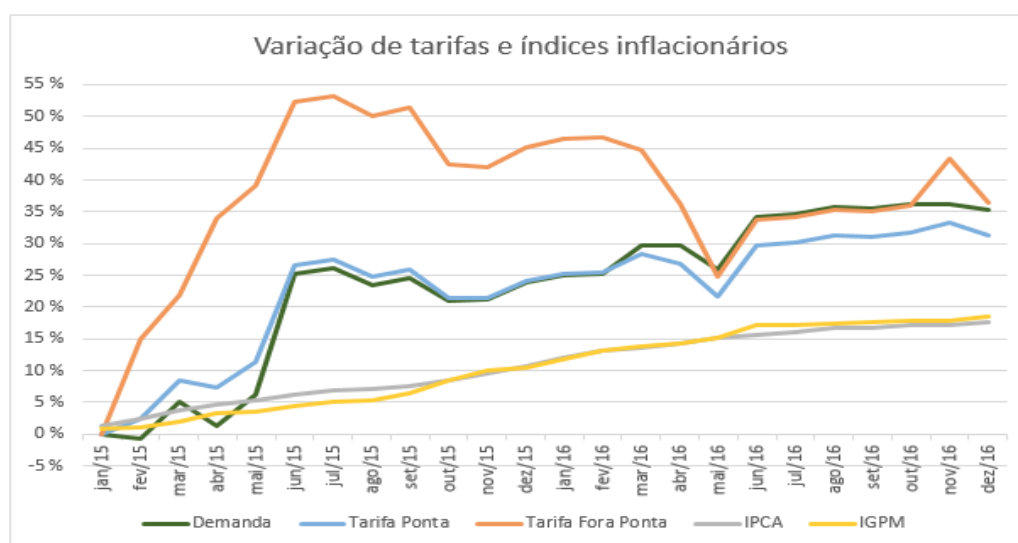
Figura 10 - Consumo no posto tarifário de ponta da instituição em kWh no período de janeiro/2015 a dezembro/2016.



Fonte: Autor (2017).

No período analisado, de janeiro de 2015 a dezembro de 2016, a tendência foi de aumento no custo com energia em níveis superiores aos índices inflacionários. A Figura 11 a seguir mostra as variações percentuais no período em relação ao mês de janeiro de 2015 da demanda contratada, tarifa na ponta e fora da ponta, além dos índices inflacionários IPCA (índice de preços ao consumidor amplo) e IGP-M (índice geral de preços do mercado).

Figura 11 – Variação percentual das tarifas e índices inflacionários.



Fonte: Autor (2017).

Os valores tarifários cobrados sofreram variações acumuladas no período de 35,33% na demanda ativa contratada, 36,36% na tarifa do consumo ativo na ponta e 31,21% na tarifa do consumo ativo fora de ponta.

No mesmo período, a variação acumulada do IPCA foi de 17,63%. Já a variação do índice IGP-M 18,49%. Assim, constata-se que o custo com energia teve um aumento bem superior aos índices inflacionários do país.

Anualizando as taxas, tem-se que no período de janeiro de 2015 a dezembro de 2016 a demanda contratada sofreu variação de 16,33% a.a., a tarifa do consumo ativo na ponta 16,77% a.a., a tarifa do consumo ativo fora de ponta 14,54% a.a., o IPCA 8,46% a.a. e o IGP-M 8,85% a.a.

5.3. Análise Luminotécnica

Para fazer a aplicação de ações de eficiência energética no Campus Apodi do IFRN, realizou-se o levantamento quantitativo nas salas de aula e laboratórios da instituição, totalizando 126 ambientes. Procedeu-se com o registro das lâmpadas existentes, a potência de cada uma delas, o tipo da lâmpada, tipo de luminária, bem como o horário de utilização do ambiente durante o dia.

Os resultados desse levantamento estão resumidos na Tabela 3 a seguir:

Tabela 3 – Resumo do levantamento quantitativo das cargas de iluminação.

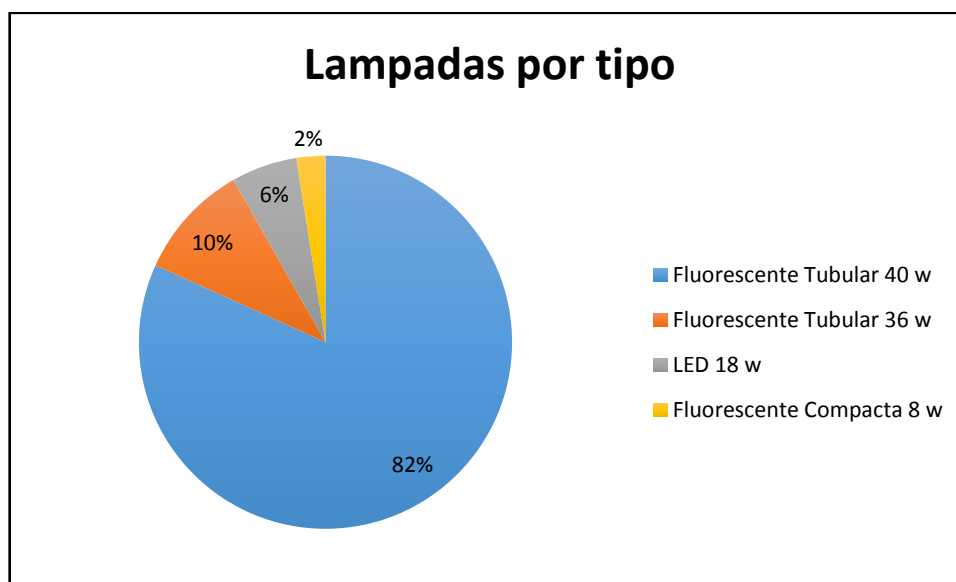
Tipo de Ambiente	Número de Ambientes	Quantidade de Lâmpadas	Potência Instalada (W)
Ensino	46	676	26760
Administrativo	37	263	10504
Circulação	18	174	4060
Reuniões	7	206	8240
Banheiros	5	19	536
Outros	13	99	3848
Total	126	1473	53948

Fonte: Autor (2017).

Verificou-se que nos ambientes da instituição, existem 1.437 lâmpadas, sendo 1.175 lâmpadas fluorescente tubulares com potência 40 W, 144 lâmpadas fluorescente tubulares com potência de 36 W, 36 lâmpadas fluorescentes compactas

de 8 W e 82 lâmpadas LED de 18 W. A potência instalada em iluminação é portanto 53.948 W.

Figura 12 – Comparativo do total de lâmpadas por tipo na instituição.



Fonte: Autor (2017).

O consumo mensal de energia elétrica gasto com iluminação na instituição de ensino foi estimado em 6.890 kWh mensais, sendo 1.318 kWh/mês consumido na ponta, e 5.572 kWh/mês fora da ponta. O que representa aproximadamente 16,56% do consumo mensal total de energia da instituição, sendo responsável por 30,76% do consumo de energia na ponta e 14,93% do consumo de energia fora da ponta.

Propõe-se a substituição das lâmpadas fluorescentes tubulares por lâmpadas com tecnologia LED. Para tanto é necessário analisar se a nova iluminação é capaz de atender aos requisitos normatizados pela ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013), que trata da iluminação no interior dos ambientes de trabalho.

A norma indica que, para salas de aula noturnas, classes e educação de adultos, a iluminância média requerida é de 500 lx. Para os ambientes administrativos a indicação normatizada é também de 500 lx.

A análise luminotécnica foi elaborada utilizando o software *DIALux Evo 7* (DIAL, 2017) que confere a simulação da iluminação. O software dispõe de catálogos com luminárias e lâmpadas, buscou-se trabalhar com luminárias similares às já atualmente utilizadas na instituição.

Foram realizadas simulações para os ambientes de ensino e administrativos que conforme a Tabela 3 totalizam 83 ambientes, 939 lâmpadas e carga instalada de 37.274 W (aproximadamente 69% da carga instalada total em iluminação).

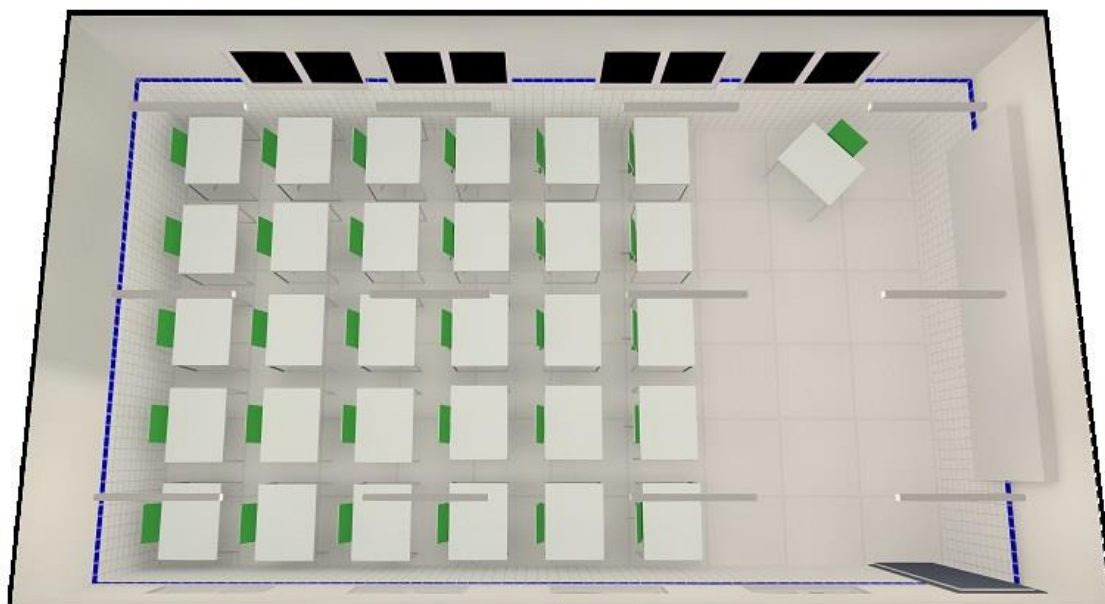
Para a simulação computacional dos ambientes propostos, utilizou-se em substituição às lâmpadas fluorescentes tubulares já existentes, lâmpadas LED com as seguintes características: potência 18 W, fluxo luminoso de 1800 lumens (lm) e temperatura de cor 6500 K.

5.3.1. Salas de aula

As salas de aulas da instituição seguem uma padronização possuindo áreas semelhantes e disposições construtivas semelhantes, tendo forro pintado na cor branca, paredes com cerâmicas até a altura de 1,60 m (sendo até 1,50 m do piso cerâmicas na cor branca, e uma faixa de 10 cm com cerâmicas na cor azul), e piso em cerâmica branca.

O mobiliário é composto por carteiras estudantis na cor verde e superfície de estudos plana na cor branca. A sala de aula está representada nas Figuras 13 e 14 a seguir:

Figura 13 - Representação da sala de aula utilizando o *software DIALux*.



Fonte: Autor (2017).

Figura 14 – Representação da sala de aula na perspectiva da posição de um aluno utilizando o software *Dialux*.

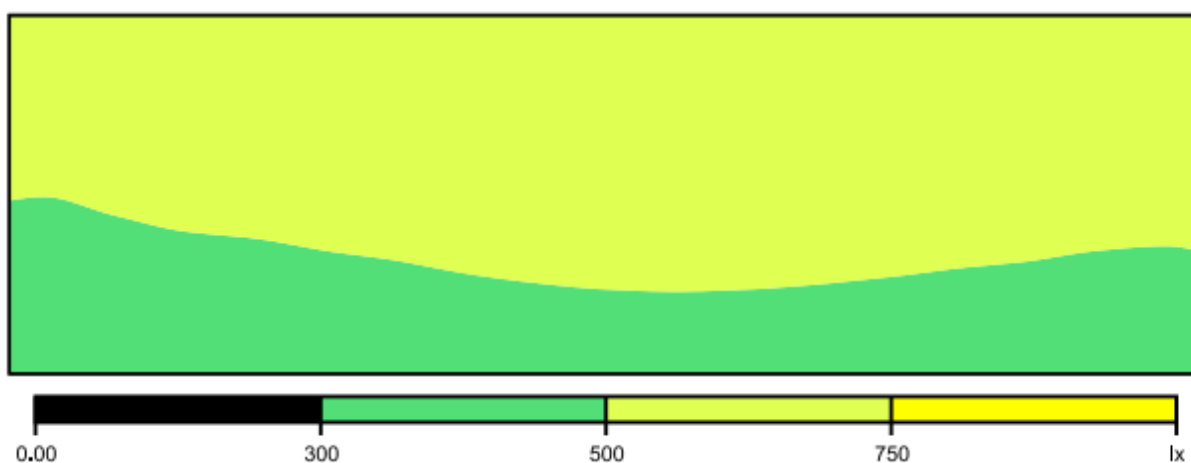


Fonte: Autor (2017).

Realizando-se a simulação é possível analisar se o arranjo disposto das luminárias na sala de aula pode ser mantido.

A NBR ISO/CIE 8995-1 (2013) define a área de tarefa como a área parcial no local de trabalho em que a tarefa é realizada. No caso particular das salas de aula, as áreas de tarefa são a área da lousa e a área das mesas dos estudantes. Nas Figuras 15, 16 e 17 a seguir, são mostradas a iluminância na lousa.

Figura 15 – Representação da iluminância na lousa com escala de cores.



Fonte: Autor (2017).

Pela escala de cores da Figura 15, observa-se que a lousa terá iluminância superior a 500 lx na maioria da sua área superior, já na parte inferior a iluminância estará na faixa entre 300 a 500 lx.

Este resultado era esperado uma vez que a área superior da lousa está mais próxima às lâmpadas e luminárias, consequentemente a intensidade de iluminação será maior, já a área inferior da lousa, que está mais distante das lâmpadas acaba tendo menor intensidade de iluminação.

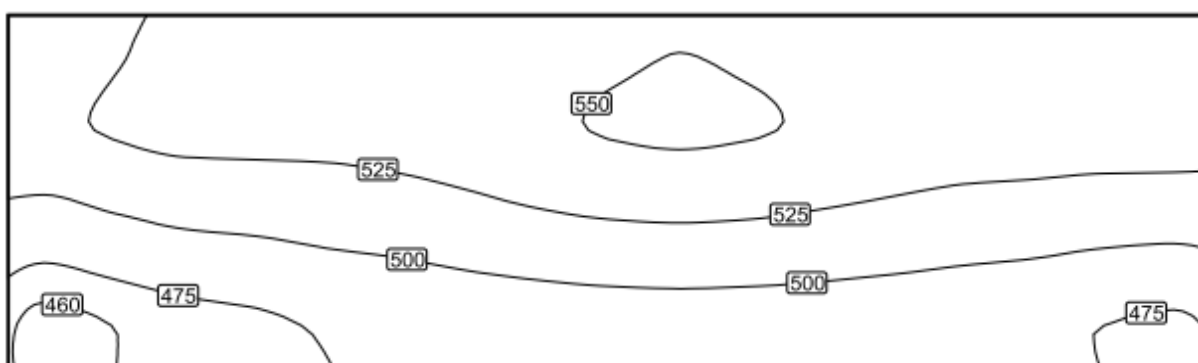
Figura 16 - Representação dos valores de iluminância em pontos da lousa.

+517	+524	+529	+531	+530	+533	+537	+541	+547	+550	+548	+544	+541	+539	+537	+534	+533
+521	+527	+532	+532	+532	+534	+540	+546	+552	(554)	+552	+547	+542	+539	+538	+537	+537
+501	+507	+513	+514	+517	+520	+524	+530	+534	+536	+534	+530	+526	+523	+521	+519	+518
+475	+481	+488	+491	+495	+498	+502	+506	+509	+510	+509	+507	+504	+501	+499	+495	+493
(454)	+460	+466	+470	+476	+479	+482	+485	+487	+488	+487	+485	+483	+481	+478	+474	+471

Fonte: Autor (2017).

A Figura 16 mostra a representação dos valores de iluminância distribuídas em pontos da lousa. A média de iluminância na superfície do quadro foi de 514 lx, com mínimo de 454 lx e máximo de 554 lx.

Figura 17 - Representação dos valores de iluminância da lousa em isolux.



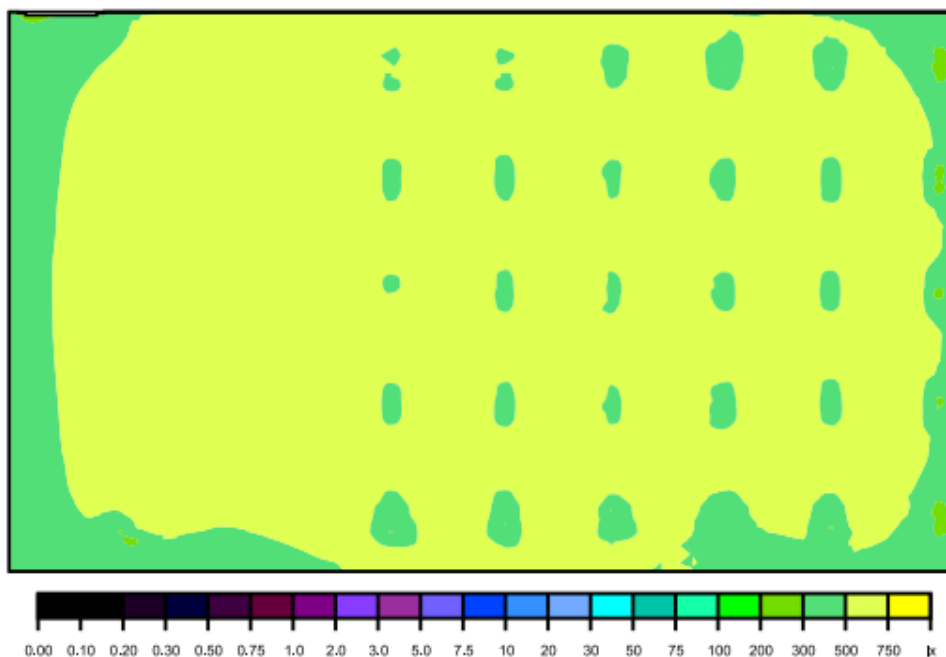
Fonte: Autor (2017).

Utilizando o recurso de isolux, foram definidas linhas que apresentam iluminância de 460 lx, 475 lx, 500 lx, 525 lx e 550. Através da Figura 17 fica claro

perceber que mesmo nas áreas inferiores, a lousa apresenta zonas de iluminância nos intervalos de 450 lx a 475 lx e 475 a 500 lx.

Além da lousa analisou-se o plano de trabalho nas superfícies das mesas dos alunos como um todo. A iluminância é mostrada nas figuras 18, 19 e 20 a seguir.

Figura 18 - Representação da iluminância na sala de aula com escala de cores.

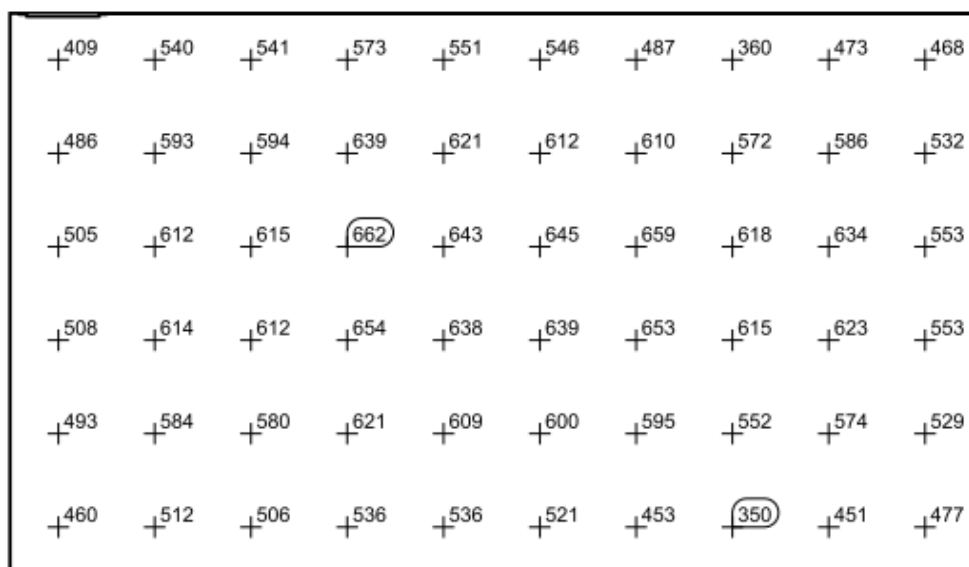


Fonte: Autor (2017).

Pela escala de cores da Figura 18, observa-se que no plano de trabalho dos alunos, a sala de aula terá iluminância superior a 500 lx na maioria da sua área.

As áreas centrais na Figura 18 que possuem iluminância abaixo de 500 lx é explicável devido à altura dos encostos das cadeiras, que cruzam o plano de trabalho das mesas e gerarão sombreamento, reduzindo a intensidade de iluminação no plano.

Figura 19 - Representação dos valores de iluminância em pontos no plano de trabalho.

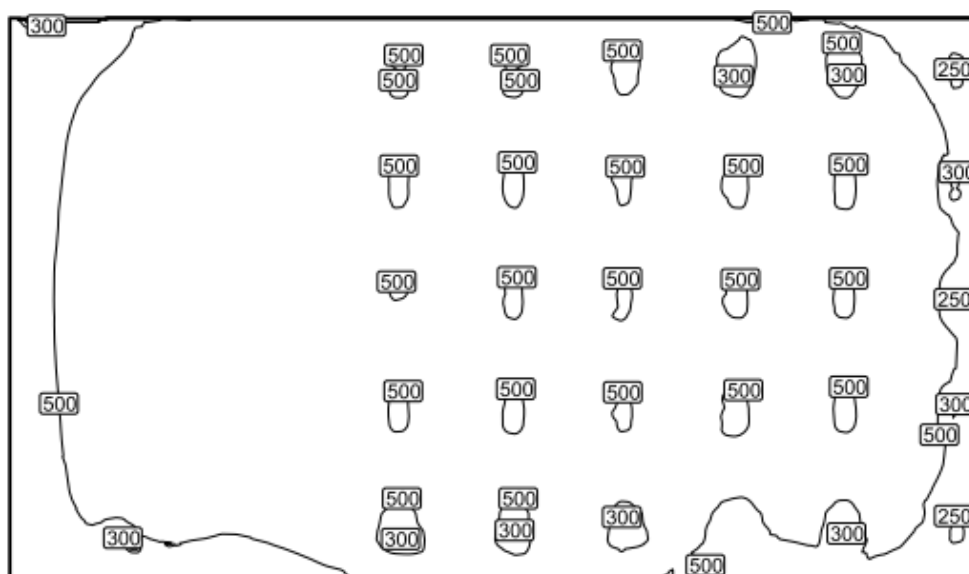


Fonte: Autor (2017).

A Figura 19 mostra a representação dos valores de iluminância nos pontos da sala de aula. A média de iluminância no plano de trabalho foi de 558 lx, portanto adequado à recomendação da norma, que requer iluminância de média de 500 lx.

A iluminância máxima foi de 670 lx, e a mínima foi de 0,05 lx este resultado de iluminância mínima é explicável devido à altura dos encostos das cadeiras, que cruzam o plano de trabalho das mesas e, portanto, geram sombreamento.

Figura 20 - Representação dos valores de iluminância em isolux da sala de aula.



Fonte: Autor (2017).

A maior parte da sala de aula superará os 500 lx requeridos pela norma. Algumas poucas zonas na lateral e última fileira de cadeiras terão iluminância entre 300 lx e 500 lx.

Diante dos resultados constata-se que a iluminância nas áreas relevantes da sala de aula estão de acordo com a norma NBR ISO/CIE 8995-1 (2013) para uso adulto ou noturno.

As Figuras 18, 19 e 20 mostram através de escalas e valores inteiros que a iluminância predominante supera os 500 lx, porém para isso ocorrer, foi necessário aumentar o número de lâmpadas das salas de aula que atualmente possuem 16 ou 22 lâmpadas para 24 lâmpadas por sala.

Desta forma, o quantitativo de lâmpadas nos ambientes de ensino terá um aumento de 21,6% em relação ao número atual de lâmpadas. Passando de 676 lâmpadas para 822 lâmpadas.

5.3.2. Salas administrativas

A padronização existente nos ambientes de ensino não se repete nos ambientes administrativos, onde cada sala possui uma área diferente, bem como o *layout* e mobiliário próprios. Neste caso, modelou-se dois tipos de salas.

A sala administrativa do tipo 01 possui área de 23,40 m², e a iluminação é feita por 6 lâmpadas fluorescentes de 40 W, distribuídas em 3 luminárias alinhadas.

A sala administrativa do tipo 02 possui área de 34,22 m², e a iluminação é feita por 8 lâmpadas fluorescentes de 40 W, distribuídas em 4 luminárias em duas linhas e duas colunas.

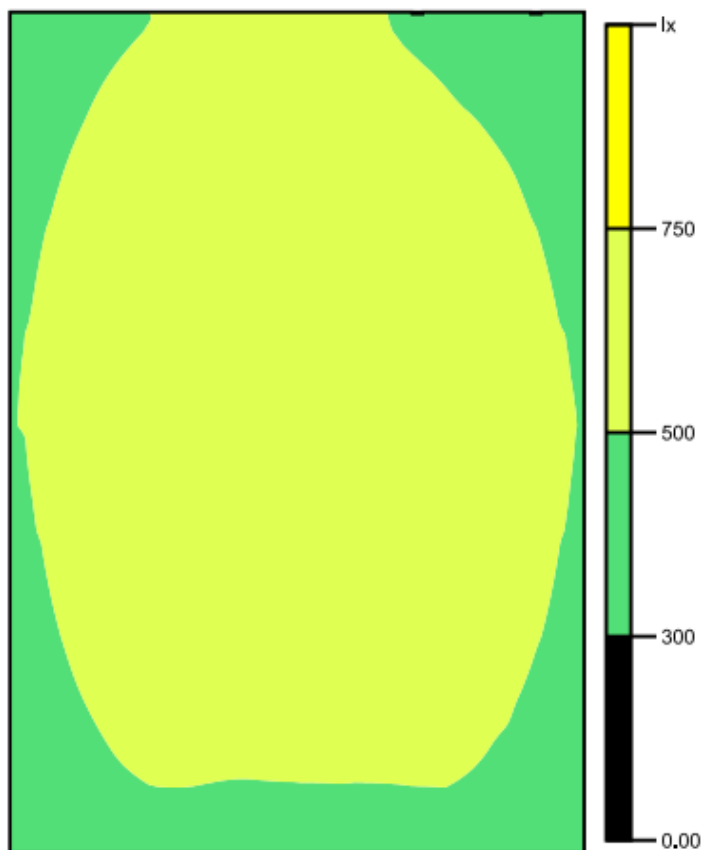
Quanto às disposições construtivas, as salas administrativas possuem forro pintado na cor branca, paredes pintadas na cor branca e piso em cerâmica branca.

O mobiliário é composto por mesas, cadeiras, computadores e armários, porém devido à não padronização dos *layouts* internos de cada uma das salas, optou-se por realizar a análise luminotécnica considerando o arranjo desconhecido do local de trabalho.

De acordo com o item A.3.2 da NBR ISO/CIE 8995-1 (2013) que é utilizada para escritórios com arranjo desconhecido do local de trabalho, a altura de referência para iluminância considerada é de 0,75 m acima do piso, e a área de trabalho deve ser considerada a sala inteira, menos a faixa marginal.

Realizando-se a simulação podemos analisar se o arranjo disposto das luminárias na sala de aula é adequado.

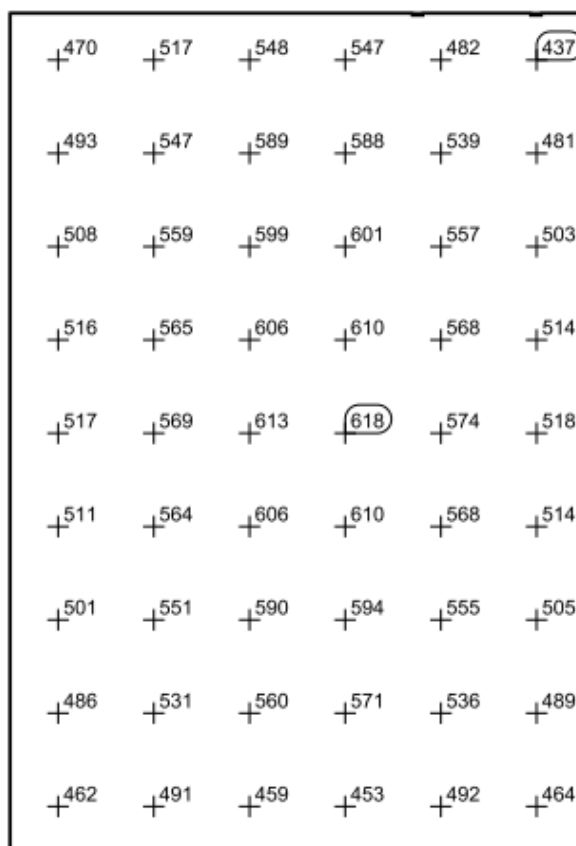
Figura 21 - Representação da iluminância na Sala Administrativa 01 com escala de cores.



Fonte: Autor (2017).

Pela escala de cores da Figura 21, observa-se que na sala administrativa tipo 01 a área central terá iluminância de 500 lx ou superior, nas proximidades das paredes a iluminância estará na faixa de 300 lx a 500 lx.

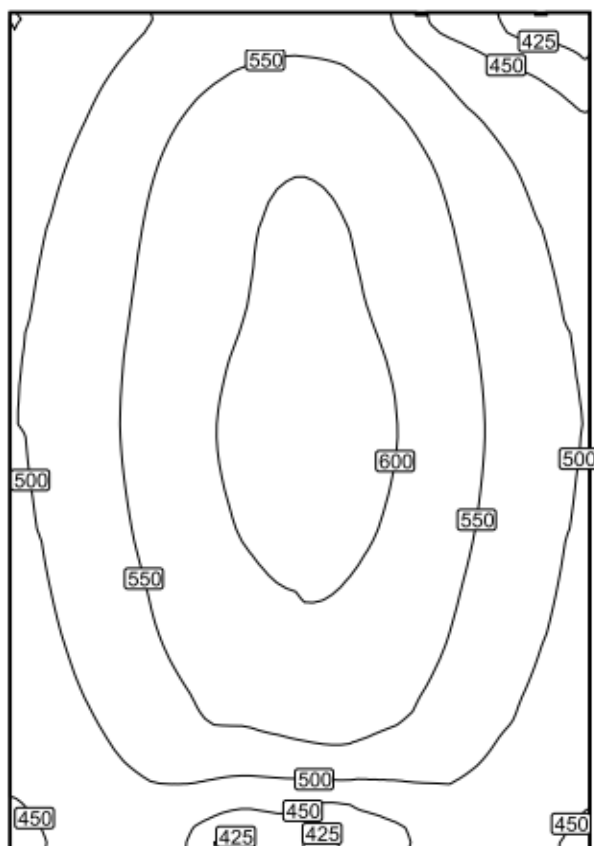
Figura 22 - Representação dos valores de iluminância em pontos da Sala Administrativa 01.



Fonte: Autor (2017).

A Figura 22 mostra a representação dos valores de iluminância nos pontos da Sala Administrativa 01. A média de iluminância no plano de trabalho foi de 536 lx, portanto adequado à recomendação da norma, que requer iluminância de média de 500 lx. A iluminância máxima pontual foi de 618 lx na região central da sala, e a iluminância mínima foi de 437 lx próximo ao encontro entre paredes.

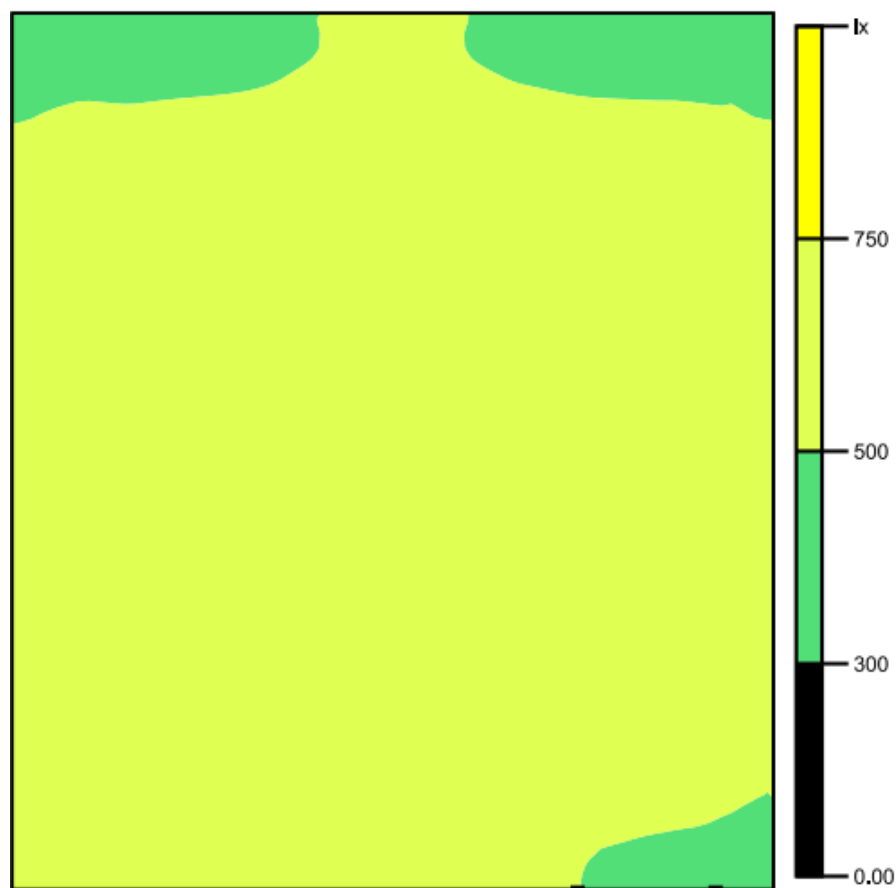
Figura 23 - Representação dos valores de iluminância da Sala Administrativa 01 em isolux.



Fonte: Autor (2017).

Utilizando o recurso de isolux, foram definidas linhas que apresentam iluminância de 425 lx, 450 lx, 500 lx, 550 lx e 600 lx. Pela Figura 23 as zonas centrais estarão com maior iluminância, decaindo gradualmente ao se afastar do centro em direção às extremidades.

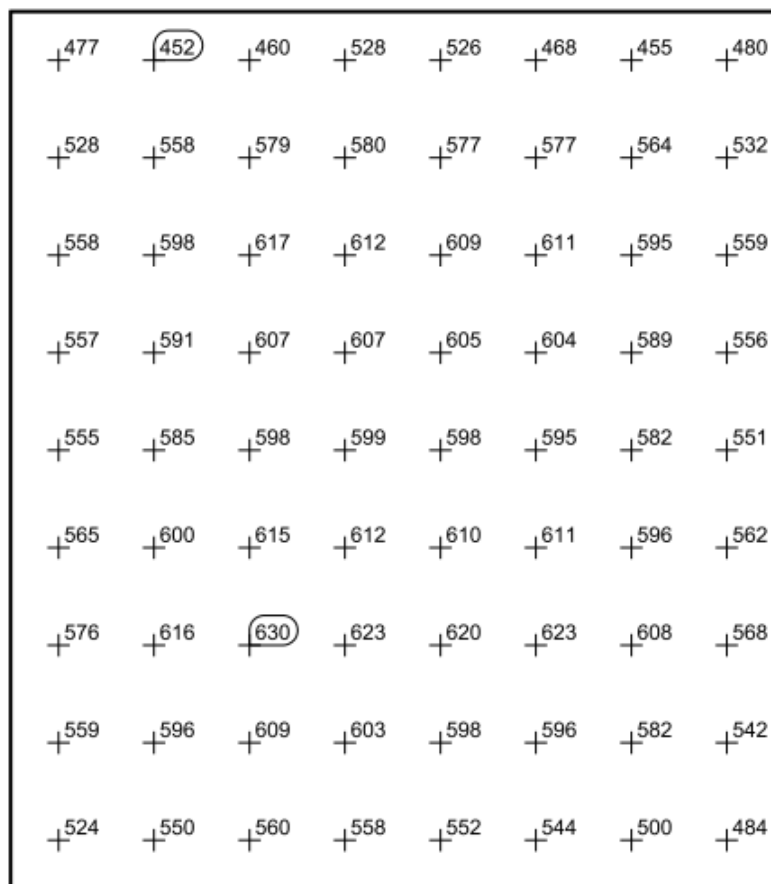
Figura 24 - Representação da iluminância na sala administrativa 02 com escala de cores.



Fonte: Autor (2017).

Pela escala de cores da Figura 24, observa-se que na sala administrativa tipo 02 há uma maior área com iluminância de 500 lx ou superior, e apenas nos encontros das paredes a iluminância estará na faixa de 300 lx a 500 lx.

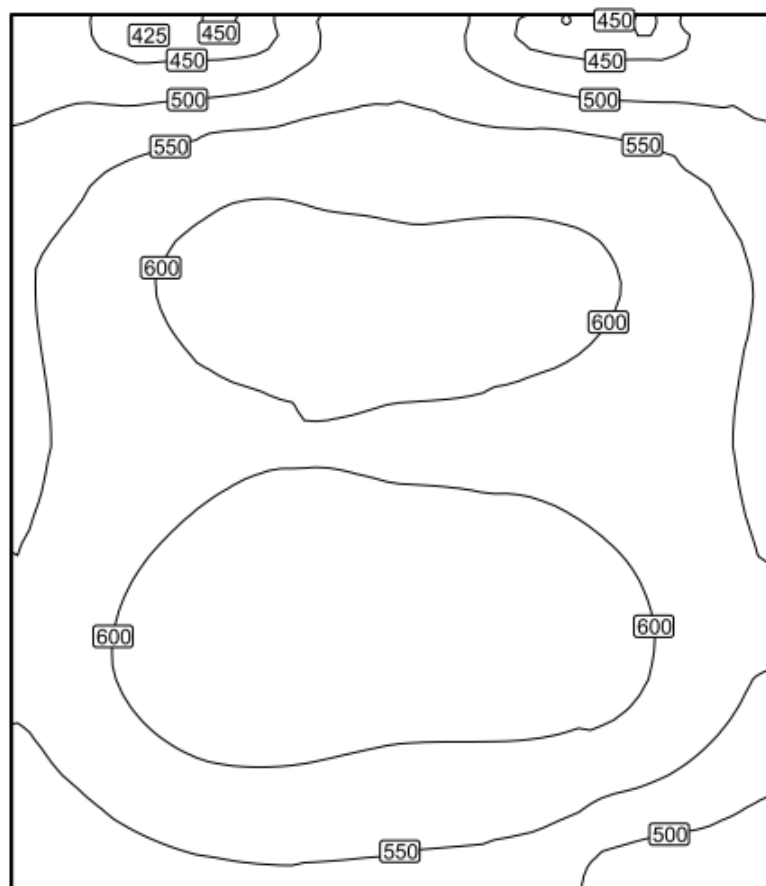
Figura 25 - Representação dos valores de iluminância em pontos no plano de trabalho na Sala Administrativa 02.



Fonte: Autor (2017).

A Figura 25 mostra a representação dos valores de iluminância nos pontos da sala administrativa 02. A média de iluminância no plano de trabalho foi de 570 lx, portanto adequado à recomendação da norma, que requer iluminância de média de 500 lx. A iluminância máxima pontual foi de 630 lx na região central da sala, e a iluminância mínima foi de 452 lx próximo ao encontro entre paredes.

Figura 26 - Representação dos valores de iluminância em isolux da Sala Administrativa 02.



Fonte: Autor (2017)

Utilizando o recurso de isolux, foram definidas linhas que apresentam iluminância de 425 lx, 450 lx, 500 lx, 550 lx e 600 lx. Pela Figura 26 observa-se que existirão duas zonas com iluminância igual ou superior a 600 lx, e estas se situam entre as fileiras das luminárias.

Diante dos resultados constata-se que a iluminância nas áreas relevantes da sala de aula estão de acordo com a norma NBR ISO/CIE 8995-1 (2013) para uso adulto ou noturno. As Figuras 21, 22, 23, 24, 25 e 26 mostram através de escalas e valores que a iluminância predominante superará os 500 lx, ao substituir diretamente as lâmpadas fluorescentes tubulares por lâmpadas LED, sem que seja necessário adicionar lâmpadas aos ambientes administrativos.

5.4. Análise Financeira

Uma vez que a substituição de lâmpadas tubulares por lâmpadas LED é possível do ponto de vista técnico, o próximo passo para a validação é realizar a análise do ponto de vista econômico.

Para tal análise foram considerados o quantitativo de lâmpadas a ser adquiridas, o custo unitário para aquisição de cada uma, encontrando-se o custo total. Foi calculado o valor que será economizado com o novo sistema, e este valor foi comparado com o custo total, de modo que a substituição seja paga com a economia de energia que o novo sistema proporcionará, finalmente, calculou-se o tempo que levará para que o investimento se pague apenas com a economia de energia (*payback*).

O quantitativo atual de lâmpadas fluorescentes tubulares nos ambientes foi de 1.319 lâmpadas.

Porém foi necessário que aumentar o quantitativo de lâmpadas nos ambientes de ensino para garantir que os parâmetros luminotécnicos sejam atendidos. Este acréscimo será no valor de 21,6%, o que resultará em um adicional de 150 lâmpadas para os ambientes de ensino, que totalizará 822 unidades de lâmpadas LED.

Nos ambientes administrativos não foi necessário o aumento no quantitativo de lâmpadas, uma vez que realizando uma substituição de forma direta, os parâmetros luminotécnicos normatizados foram atendidos. Totalizando 263 unidades de lâmpadas LED.

Para os demais ambientes que possuem lâmpadas fluorescentes tubulares - classificados na Tabela 3 como circulação, reuniões, banheiros e outros - onde não foram realizadas simulações dos parâmetros luminotécnicos, foi considerado, conservadoramente, o mesmo percentual de aumento no quantitativo de lâmpadas para os ambientes de ensino, no valor de 21,6%, passando de 390 lâmpadas para 474 unidades de lâmpadas LED.

Portanto, o quantitativo de lâmpadas que deverão ser adquiridas para a realização do *retrofit* é de 1.559 lâmpadas, com a instalação de mais 240 lâmpadas e 120 luminárias para duas lâmpadas.

Para a estimativa do custo de aquisição das lâmpadas LED neste caso particular deve-se considerar que a realização de compras para o serviço público no Brasil é feita por meio de licitações e, portanto, devem obedecer ao disposto na Lei

8.666/93 (BRASIL, 1993) que institui normas para licitações e contratos da Administração Pública.

Optou-se por pesquisar em atas de licitações na modalidade pregão que contivessem lâmpadas LED com características e volume de compra semelhantes ao proposto neste artigo. Pesquisou-se ainda os preços praticados no mercado local como critério de comparação e validação dos preços.

As licitações foram buscadas pelo site Painel de Preços¹ do Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão, utilizando os seguintes filtros: material: Lâmpada LED, ano da compra: 2016, modalidade da compra: Pregão.

Foram analisados apenas as compras que possuíam na descrição do item a potência da lâmpada de 18 W, fluxo luminoso de 1800 lm ou superior e a quantidade ofertada de 1000 a 2000 unidades. Com essa busca, encontrou-se duas atas de realização de pregão eletrônico

A ata de realização do pregão eletrônico Nº 00003/2016 da Delegacia da Receita Federal em Londrina apresenta a seguinte descrição para a lâmpada: “lâmpada LED, bivolt 85/277 vca, 18 w, estrutura alumínio alta pureza e policarbonato vir, branca fria, 1850 lm, t8 dissipador de calor de alumínio puro, 6000 k, tubular t8, 65.000 h, > 0,97” (BRASIL, 2016a) com quantidade de 1.100 unidades e valor de R\$ 23,32 por unidade.

A ata de realização do pregão eletrônico Nº 00024/2016 da Justiça Federal de Primeira Instância – MT apresenta a mesma descrição para a lâmpada da ata anterior: “lâmpada LED, bivolt 85/277 vca, 18 w, estrutura alumínio alta pureza e policarbonato vir, branca fria, 1850 lm, t8 dissipador de calor de alumínio puro, 6000 k, tubular t8, 65.000 h, > 0,97” (BRASIL, 2016b) com quantidade de 1.440 unidades e valor de R\$ 16,98 por unidade.

No mercado local encontrou-se lâmpadas de fluxo luminoso e potências equivalentes em três lojas. Na Loja A a lâmpada com potência de 18 W e fluxo luminoso de 1850 lm, pelo valor unitário de R\$ 28,65. Na loja B a lâmpada com potência de 18 W e fluxo luminoso de 1800 lm pelo valor de R\$ 25,35. Já na loja C, a lâmpada encontrada tinha potência de 20,5 W, e fluxo luminoso de 1850 lm, e custava R\$ 35,13 por unidade.

¹ <http://paineldeprecos.planejamento.gov.br>

A Tabela 4 a seguir apresenta resumidamente os preços unitários encontrados e a média de preços.

Tabela 4 – Comparativo de valores unitários para lâmpadas LED 18W.

Tipo	Descrição	Valor unitário (R\$)
Licitação	Pregão 00003/2016	23,32
Licitação	Pregão 00024/2016	16,98
Cotação no mercado local	Loja A	28,65
Cotação no mercado local	Loja B	35,13
Cotação no mercado local	Loja C	25,35
Média		25,89

Fonte: Autor (2017).

Admitindo-se que o preço de aquisição das lâmpadas seja a média dos preços encontrados, ou seja, R\$ 25,89, a compra de 1.559 lâmpadas irá custar R\$ 40.632,51.

A redução no consumo mensal de energia elétrica com iluminação nos ambientes de ensino será de 60,9%, passando de 6.890 kWh mensais com lâmpadas fluorescentes, para 2.694 kWh mensais com lâmpadas LED, gerando uma redução mensal de 4.196 kWh o que em um ano representa uma redução no consumo de 50.352 kWh. O consumo na ponta passará de 1.318 kWh/mês para 663 kWh/mês, reduzindo 49,7%. Já o consumo fora da ponta passará de 5.572 kWh/mês para 2.031 kWh/mês, reduzindo 63,5%.

Tabela 5 – Resumo do consumo mensal de energia com iluminação atual e após a realização do retrofit.

Horário de consumo	Atual (kWh)	Após retrofit (kWh)	Redução (kWh)	Variação
Ponta	1318	663	655	-49,7%
Fora de ponta	5572	2031	3541	-63,5%
Total	6890	2694	4196	-60,9%

Fonte: Autor (2017).

Em termos de custo, considerando as tarifas aplicáveis no mês de dezembro de 2016, a tarifa na ponta foi de 1,58216921R\$/kWh, e a tarifa fora ponta foi de 0,32541748 R\$/kWh. Haverá uma redução de custos de 56,1%, passando de R\$ 3.898,76 para R\$ 1.710,01. Uma diferença de R\$ 2.188,75 por mês, ou R\$ 26.264,98 por ano.

Portanto, para uma quantidade de 1.559 lâmpadas é necessário um investimento para o *retrofit* no valor de R\$ 40.632,51. A economia direta, considerando apenas o consumo de energia elétrica é de 26.264,98 por ano.

Tabela 6 - Resumo de custos.

Investimento	Custo mensal atual	Custo mensal após <i>retrofit</i>	Redução mensal
R\$ 40.632,51	R\$ 3.898,76	R\$ 1.710,01	R\$ 2.188,75

Fonte: Autor (2017).

O *payback* simples desse investimento se dará em um tempo de 1 ano e 7 meses, sendo viável a sua implementação.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que existe viabilidade tanto técnica quanto de tempo para o retorno financeiro na substituição de lâmpadas fluorescentes tubulares por lâmpadas LED na instituição de ensino em questão.

Para a substituição de lâmpadas, é necessário observar as normas vigentes quanto à iluminação de ambientes de trabalho, neste caso específico foi necessário ampliar o número de lâmpadas de LED para se obter a iluminância adequada.

A realização do proposto neste trabalho requer um investimento financeiro relativamente baixo e é capaz de gerar economia considerável de energia. Esta economia de energia se igualará ao custo do investimento em um curto período de tempo.

É possível expandir este trabalho para outras instituições de ensino. Porém, é importante ressaltar que deve ser realizada, em cada ambiente, a análise luminotécnica objetivando manter a iluminância adequada nos diversos ambientes de trabalho existentes em cada instituição.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho – Interior**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15.575: Edificações habitacionais - Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.

BOTTAMEDI, M. G. **Avaliação da eficiência energética de hotéis de quatro estrelas em Florianópolis: aplicação do programa de etiquetagem de edificações**. 179 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Resolução Normativa Nº 414**, de 09 de Setembro de 2010. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>> Acesso em abril de 2017.

_____. **Ata de Realização de pregão eletrônico nº 00003/2016**.

Disponível em:

<http://www.comprasnet.gov.br/livre/pregao/AtaEletronico.asp?co_no_uasg=170159&&uasg=170159&numprp=000032016>, acesso em janeiro de 2017a.

_____. **Ata de Realização de pregão eletrônico nº 00024/2016**.

Disponível em:

<http://www.comprasnet.gov.br/livre/pregao/AtaEletronico.asp?co_no_uasg=90021&&uasg=090021&numprp=000242016>, acesso em janeiro de 2017b.

_____. **Lei n. 8.666, de 21 de junho de 1993**. Regulamenta o art. 37, inciso XXI, da Constituição Federal, institui normas para licitações e contratos da Administração Pública e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8666compilado.htm>. Acesso em setembro de 2016.

_____. **Portaria n. 370**, de 16 de abril de 2015. Diário Oficial da União, Brasília, DF, n. 73, seção 1, p. 14, 17 abril de 2015.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Desenvolvimento com sustentabilidade**. 32 p. 2013. Disponível em: <<http://www.cbic.org.br/sites/default/files/Programa-Construcao-Sustentavel.pdf>>. Acesso em fevereiro de 2017.

CAVALIN, G. CERVELIN, S. **Instalações elétricas prediais**. 21ª ed. São Paulo. Érica. 422 p. 2012.

CREDER, H., **Instalações Elétricas**, 15ª ed, Rio de Janeiro. LTC. 428 p. 2012.

COTRIM, A. M. B., **Instalações Elétricas**. 5ª ed. São Paulo. Editora: Pearson. 495 p. 2012.

DIAL. **DIALux**: Light Building Software. Versão 7. www.dial.com.

DIOGENES, D. P. D. **Desenvolvimento de um equipamento de baixo custo para redução do desperdício de energia no setor residencial**. 76 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Energia). Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2016.

GENERAL ELECTRIC. **Lâmpadas Lineares Fluorescentes da GE**. Disponível em <<http://www.gelighting.com/LightingWeb/br/products/technologies/linear-fluorescent/>>. Acesso em maio de 2017.

GUEDES, J. C. S. **Manual de Tarifação da Energia Elétrica**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2011.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L; PEREIRA F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3ª ed., 2012. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Livro%20-%20Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica%20na%20Arquitetura.pdf>>. Acesso em fevereiro de 2017.

LUMILANDIA. **Lâmpadas**. Disponível em: <<http://www.lumilandia.com.br/lampadas/lampada.htm>>. Acesso em maio de 2017.

MAMEDE FILHO, J. **Instalações Elétricas Industriais**, 8ª ed. Rio de Janeiro. LTC. 2010.

MEIRA, A. C. B. S. **Eficiência energética de edificações residenciais no plano piloto de Brasília: Uma análise comparativa com utilização do RTQ-R**. 169 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

NISKIER, J. MACINTYRE A. J. **Instalações Elétricas**. 5ª ed. Rio de Janeiro. LTC. 2008.

OLIVA, A. OLIVEIRA, R. Responsabilidade social na construção civil no Brasil: um caminho que pode vir a auxiliar o acesso à moradia. Revista **INVI**, Santiago, v. 23, n. 63, p. 121-136, 2008 . Disponível em <<http://www.revistainvi.uchile.cl/index.php/INVI/article/view/445/952>>. Acesso em fevereiro de 2017.

PHILLIPS. **Shock resistant lamp lâmpada incandescente**. Disponível em: <<http://www.philips.pt/c-p/871150009033105/shock-resistant-lamp-lampada-incandescente>>. Acesso em maio de 2017.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – PROCEL. **Etiquetagem em edificações**. Disponível em <<http://www.eletronbras.com/pci/main.asp?View={89E211C6-61C2-499A-A791-DACD33A348F3}>>. Acesso em fevereiro de 2017.

RYCKAERT, W. R., LOOTENS, C., GELDOF, J., HANSELAER, P. Criteria for energy efficient lighting in buildings. **Energy and buildings**, v. 42, p. 341-347, 2010.

UTILUZ. **Conheça o LED**. Disponível em: <<http://utiluz.com/pt/oled>>. Acesso em maio de 2017.

VARGAS JUNIOR, R. H. **Análise do potencial de conservação de energia elétrica em hospitais públicos de pequeno porte no Brasil: Sistemas de iluminação e ar condicionado tipo janela**. 218 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

VIANA, A. N. C. et al. **Eficiência Energética: Fundamentos e Aplicações**. Campinas: Elektro, 2012.