



**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA
AFRO-BRASILEIRA
INSTITUTO DE ENGENHARIAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIAS**

HILIENE DA COSTA DE CARVALHO

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÓMICA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
NA SUBSTITUIÇÃO DE LÂMPADAS CONVENCIONAIS POR LED: ESTUDO DE
CASO CAMPUS DOS PALMARES**

ACARAPE

2018

HILIE NE DA COSTA DE CARVALHO

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÓMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
NA SUBSTITUIÇÃO DE LÂMPADAS CONVENCIONAIS POR LED: ESTUDO DE
CASO CAMPUS DOS PALMARES**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energias da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira. Orientadora: Prof^ª. Mestra Janaína Barbosa Almada.

ACARAPE

2018

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Sistema de Bibliotecas da UNILAB
Catalogação de Publicação na Fonte.

Carvalho, Hiliene da Costa de.

C328a

Análise da viabilidade técnico-econômico e eficiência energética na substituição de lâmpadas convencionais por led: estudo de caso campus dos Palmares / Hiliene da Costa de Carvalho. - Acarape, 2018.

68f: il.

Monografia - Curso de Engenharia de Energias, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2018.

Orientador: Profa. Ms. Janáina Barbosa Almada.

1. Iluminação elétrica. 2. Lâmpada de LED. 3. Software Dialux. I. Título

CE/UF/BSP

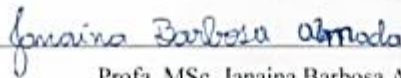
CDD 621.3815

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA E EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA NA SUBSTITUIÇÃO DE LÂMPADAS CONVENCIONAIS POR
LED: ESTUDO DE CASO CAMPUS DOS PALMARES**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Energias do Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energias.

Aprovado em 25/10/2018.

BANCA EXAMINADORA



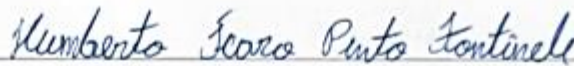
Prof. MSc. Janaina Barbosa Almada (Orientadora)

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)



Prof. MSc. Francisco Olímpio Moura Carneiro

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)



Prof. MSc. Humberto Ícaro Pinto Fontinele

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente à Deus, à minha família e a todos que depositaram confiança em mim.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente queria agradecer a Deus acima de tudo, pois, sem Ele eu jamais conseguiria chegar aonde estou hoje. Agradeço por ele ter colocado pessoas especiais na minha vida que tornaram a minha trajetória mais vitoriosa. Peço que ele continue me abençoando com saúde e sabedoria.

Aos Meus pais José Rui Freire de Carvalho e Suzana da Costa de Carvalho, duas pessoas maravilhosas que Deus colocou em minha vida. Agradeço pelos 23 anos de amor, carinho, educação, dedicação e insistência, por exigirem sempre o melhor de mim. Foram e sempre serão a minha base mais forte.

Aos meus irmãos Vladimir de Carvalho, Suzaine de Carvalho e Eliane de Carvalho, que sempre foram meus modelos vida e minha inspiração. Por sempre estarem por perto mesmo estando longe.

À minha professora orientadora Janaína Barbosa Almada, por ter aceitado me acompanhar nessa última etapa da graduação. Agradeço pela dedicação, disponibilidade e credibilidade depositada em mim.

À todos os meus professores que contribuíram de forma direta e indiretamente na minha formação.

Aos meus melhores amigos Atália Canda, Bernalize Vila Nova, Elisa Mangane, Emylia Macedo, Leandro Araújo e Livya Wana. Pessoas maravilhosas que entraram na minha vida, que sempre estiveram presentes nos meus bons e maus momentos.

Aos meus colegas e grandes amigos Cláudio Adriano, Élon Artur, Maise Soares, Nilson Costa e Wyara Souza. Pessoas que sempre estiveram dispostos a ajudar. Agradeço pela paciência e disponibilidade.

Aos técnicos de Laboratório de Física da UNILAB João Dionízio de Melo e Moisés Magalhães, pela disponibilidade e ajuda com os materiais das medições.

Ao meu amigo André Luiz, uma pessoa muito boa que sempre esteve disposto a ajudar.

Às minhas amigas, Darlene Lopes, Fausta Joaquim, Isabela, Kenny Monteiro, Leila Delgado, Milva Sengo e Rolanda Domingos pela companhia e pelos bons momentos passados juntas.

À minha turma 2013.1, que começamos juntos essa caminhada cheia de muita diversão, sofrimento e amizades.

RESUMO

O crescimento populacional e económico tem aumentado a demanda por energia eléctrica. O uso intensivo das fontes não renováveis tem originado danos ambientais que é um dos principais problemas da atualidade. Diante disso a necessidade da redução no consumo energético surge como uma das prioridades para o desenvolvimento sustentável. Dentre as diferentes estratégias para a redução no consumo da energia, encontram-se as lâmpadas LED's, que possuem uma maior eficiência energética e um descarte menos prejudicial ao meio ambiente, pois, não possuem materiais corrosivos. Este estudo traz a análise da viabilidade técnico-económico da substituição das lâmpadas fluorescentes por LED's das salas de aula do campus dos Palmares da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira. Propôs-se fazer primeiramente um estudo luminotécnico através de um *software* de simulação luminotécnico e medições *in loco* através do aparelho luxímetro, com o objetivo de verificar se o sistema de iluminação atual encontra-se de acordo com o estabelecido pela norma. Por fim, deu-se a análise da viabilidade económica do *retrofit* utilizando os principais índices de viabilidade económica (TIR, VPL e payback). Tanto as simulações no *software* como as medições feitas no local mostraram que a iluminação atual encontra-se de acordo com o estabelecido pela norma. A análise da viabilidade económica mostrou que o *retrofit* das lâmpadas será viável com um tempo de retorno do investimento de 18 meses. Além disso o VPL foi positivo e a TIR apresentou um valor maior do que a TMA.

Palavras-chaves: Iluminação Elétrica. Lâmpadas LED. Software Dialux.

ABSTRACT

Population and economic growth have increased the demand for electrical energy. The intensive use of non-renewable energy has caused environmental damage which is one of the main problems of the present time. Therefore, the need to reduce energy consumption is one of the priorities for sustainable development. Among the different strategies for reducing energy consumption is the use of LED lamps, which have a higher energy efficiency and are less harmful to the environment, since they do not have corrosive materials. This study analyzes the technical and economic feasibility of replacing fluorescent lamps for LEDs in the classrooms of the Palmares campus of the University for International Integration of the Afro-Brazilian Lusophony. First we proposed to study the lighting system with a software for lighting simulation and in loco measurements by lux meter, in order to verify if the current lighting system is in accordance with the established standard. Finally, the analysis of the economic feasibility of the retrofit was made using the main economic viability indices (IRR, NPV and payback). Both software simulations and on-site measurements have shown that current illumination is in accordance with the standard. The economic viability analysis showed that the lamp retrofit will be viable with an investment payback time of 18 months. In addition, the NPV was positive and the IRR presented a higher value than the TMA.

Keywords: Energy Efficiency, Lamp LEDs, Dialux Software, Retrofit.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1- Principais marcos na área de eficiência energética no Brasil | 14 |
| Figura 2 - Curva de sensibilidade do olho humano à radiação visível | 19 |
| Figura 3 - Temperatura de Cor | 20 |
| Figura 4 - Luminância | 22 |
| Figura 5 - Principais conceitos da luminotécnica | 22 |
| Figura 6 - Lâmpada incandescente | 25 |
| Figura 7 - Tipos de lâmpadas halógenas..... | 26 |
| Figura 8 - Principais componentes de uma lâmpada fluorescente | 27 |
| Figura 9 - Lâmpada à descarga de mercúrio..... | 28 |
| Figura 10 - Composição da lâmpada de luz mista..... | 29 |
| Figura 11 - Estrutura básica da LED | 30 |
| Figura 12 - Mapa de localização do campus dos Palmares | 36 |
| Figura 13 - Interface do software Dialux | 39 |
| Figura 14 - Sensor de intensidade luminosa | 39 |
| Figura 15 - Interface LAB200..... | 40 |
| Figura 16 - Distribuição dos pontos de medições na sala número 6 dos Palmares I | 41 |
| Figura 17 - Pontos de medições sala de aula número 311 dos Palmares II..... | 41 |
| Figura 18 - Tabela de custo para substituição das lâmpadas..... | 43 |
| Figura 19 - Modelo 3D da sala de aula número 6 Palmares I..... | 46 |
| Figura 20 (a) - Isolinhas da iluminância com o cenário atual nos Palmares I | 48 |
| Figura 21 (a) - Isolinhas da iluminância com o cenário proposto nos Palmares I..... | 50 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Levantamento do sistema de iluminação | 38 |
| Tabela 2 – Fluxo luminoso simulado a partir do software Dialux para o cenário atual | 47 |
| Tabela 3 – Fluxo luminoso simulado a partir do software Dialux, para o cenário proposto | 49 |
| Tabela 4 - Leituras realizadas nos pontos P1 e P2, sala número 6 Palmares I | 51 |
| Tabela 5 - Leituras realizadas nos pontos T1, T2, T3 e T4, sala número 6 Palmares I..... | 51 |
| Tabela 6 - Leituras realizadas nos pontos C1, C2, C3 e C4, sala número 6 Palmares I | 52 |
| Tabela 7 - Leituras realizadas nos pontos L1, L2, L3 e L4, sala número 6 Palmares I..... | 52 |
| Tabela 8 - Síntese dos valores medidos e simulados | 54 |

LISTAS DE SIGLAS E ABREVIATURAS

| | |
|-----------------------|---|
| ANEEL | Agência Nacional de Energia Elétrica |
| CIED | Coordenação de Infraestrutura e Desenvolvimento da Unilab |
| CONPET Gás Natural | Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e Gás Natural |
| DIP | Divisão de Projetos (da Unilab) |
| INMETRO | Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial |
| IRC | Índice de reprodução de cores |
| LED | Díodo Emissor de Luz |
| MME | Ministério de Minas e Energia |
| PBE | Programa Brasileiro de Etiquetagem |
| PEE | Programa Eficiência Energética das Concessionárias Distribuidoras de Energia Elétrica |
| PEN | Política Energética Nacional |
| PME | Programa de Mobilização Energética |
| PNEf | Plano Nacional de Eficiência Energética |
| PROCEL | Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica |
| PROPLAN | Pró-Reitoria de Planejamento da Unilab |
| TIR | Taxa Interna de Retorno |
| TMA | Taca Mínima de Atratividade |
| VPL | Valor Presente Líquido |
| UNILAB | Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO | 12 |
| 1.1 Eficiência energética..... | 13 |
| 1.2 Objetivos..... | 16 |
| 1.2.1 Objetivo geral..... | 16 |
| 1.2.2 Objetivos específicos | 16 |
| CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 18 |
| 2.1 Conceitos luminotécnicos | 18 |
| 2.1.1 Luz..... | 18 |
| Figura 2 - Curva de sensibilidade do olho humano à radiação visível | 19 |
| 2.1.2 Cor | 19 |
| 2.1.3 Temperatura de cor | 19 |
| 2.1.4 Índice de reprodução de cores (IRC) | 20 |
| 2.1.5 Fluxo luminoso..... | 21 |
| 2.1.6 Intensidade luminosa (I) | 21 |
| 2.1.7 Iluminância (E)..... | 21 |
| 2.1.8 Luminância (L)..... | 22 |
| 2.1.9 Eficiência luminosa (EL)..... | 23 |
| 2.2 Principais métodos de dimensionamento luminotécnico..... | 23 |
| 2.3 Evolução tecnológica das lâmpadas | 24 |
| 2.3.1 Lâmpadas incandescentes..... | 24 |
| 2.3.1.1 Lâmpadas incandescentes Halogênicas (<i>Quartzo</i>)..... | 25 |
| 2.3.2. Lâmpadas de vapor ou de descarga | 26 |
| 2.3.2.1 Lâmpada Fluorescente..... | 26 |
| 2.3.2.2 Lâmpada de vapor de mercúrio | 27 |
| 2.3.2.3 Luz mista | 28 |
| 2.3.2.4 Lâmpada de vapor de sódio | 29 |
| 2.3.3 Lâmpada LED..... | 29 |
| 2.4 Luminárias..... | 31 |
| 2.5 Reatores | 32 |
| 2.6 Estudo luminotécnico | 32 |
| 2.6.1 Software Dialux | 32 |
| 2.7 Análise de viabilidade económica..... | 33 |
| 2.7.1 Fluxo de caixa | 33 |

| | |
|---|-----------|
| 2.7.2. Payback | 34 |
| 2.7.3. Taxa Interna de Retorno (TIR)..... | 34 |
| 2.7.4. Valor Presente Líquido (VPL) | 35 |
| CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS..... | 36 |
| 3.1 Área de estudo..... | 36 |
| 3.2 Software DIALux | 37 |
| 3.3 Medições da iluminância..... | 39 |
| 3.4 Análise da viabilidade económica..... | 42 |
| CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 46 |
| 4.1 Simulação com o software Dialux | 46 |
| 4.2 Medições da iluminância..... | 51 |
| 4.3 Estudo de viabilidade técnica e económica..... | 54 |
| CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS | 58 |
| CAPÍTULO 6 - REFERÊNCIAS | 60 |

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Desde sempre o ser humano vem buscando maneiras de melhorar a sua qualidade de vida de forma a torná-la mais prática, mais eficiente e com menos desperdícios. Muitas vezes isso ocasiona um aumento na demanda por energia, tornando necessário um gerenciamento eficiente dos recursos desde a sua produção até o consumo final.

Os fatores que mais impulsionam o aumento da demanda por energia elétrica são o crescimento populacional e económico.

Para além de ser o predominante no setor dos transportes, o petróleo é o principal responsável pela geração de eletricidade no mundo. A crise do petróleo na década de 70 e o racionamento da energia elétrica no Brasil no início da década de 2000 impulsionou a preocupação com o uso racional de energia (PRADO, 2016).

Daí surge a necessidade da criação de estratégias que viabilizem o consumo eficaz de energia elétrica, buscando redução no consumo e, conseqüentemente, no custo da energia elétrica. Diante dessa necessidade surgiu o termo eficiência energética, que é toda atividade que busca melhorar o uso das fontes de energia de forma racional reduzindo as perdas e os desperdícios.

De acordo com ABESCO (2018), a eficiência energética pode ser definida como a relação entre a quantidade de energia utilizada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização.

O crescimento no consumo de energia constitui um dos maiores problemas da atualidade. Um dos setores em que se destaca é o setor residencial, conseqüência da massificação da utilização dos diversos equipamentos e da melhoria na qualidade de vida dos usuários. A eficiência energética propõe encontrar formas de minimizar o consumo da energia elétrica, sem diminuir a qualidade de vida dos consumidores.

Atualmente vem sendo feito investimentos em vários projetos de eficiência energética e em estudos e análises nas áreas de economia e conservação de energia, onde ações como mudanças nos contratos e conscientização do consumo por parte dos usuários, podem gerar economia de energia e diminuição de gastos.

A iluminação é uma carga comum a praticamente todas as classes de consumidores, como residenciais, comerciais e setor público. Dessa forma, considera-se um uso final de energia significativo para o qual se deve buscar a diminuição do consumo.

Diante disso, o desenvolvimento de luminárias com tecnologia LED (*Light Emitting Diode*) pode contribuir significativamente para diminuição do uso das lâmpadas convencionais de baixo rendimento energético, pois, possuem uma elevada eficiência energética e não apresentam na sua composição elementos tóxicos, não requerendo de um tratamento diferencial para o seu descarte.

1.1 Eficiência energética

Após a revolução industrial houve um alto desenvolvimento econômico e as atividades humanas sobre o meio ambiente tornaram-se expressivas. Com o crescimento populacional, houve um aumento no consumo de energia, originando problemas ambientais como poluição, desmatamento e aquecimento global, que estão entre os maiores problemas da atualidade.

Atualmente, quase todas as atividades humanas em uma sociedade são condicionadas pelo uso intensivo de energia, levando cada vez mais a busca por novas formas de energia com o mínimo impacto possível sobre o meio ambiente.

Face à crise do petróleo na década de 70 e ao aumento do preço dos combustíveis fósseis, a eficiência energética surge como uma forma de economizar energia e contribuir para um desenvolvimento mais sustentável, visto que muitas vezes se constata que é possível uma mesma tarefa com um menor custo de energia e, conseqüentemente com menores impactos ambientais, econômicos, sociais e culturais.

A eficiência energética contribui para promover um sistema energético seguro, confiável, acessível e sustentável para o futuro. É o único recurso energético que cada país possui em abundância e é a maneira mais rápida e barata de abordar os desafios ambientais, econômicos e de segurança energética. Embora as políticas de eficiência energética estejam se tornando uma parte fundamental do mercado global de energia, ainda há um vasto potencial inexplorado (IEA, 2010).

Segundo PUCRS (2010), a eficiência energética pode ser entendida como a redução dos desperdícios, utilizando a energia de forma racional. É determinada pela relação entre a energia consumida ou recebida e a energia produzida.

EPE (2010) define a eficiência energética como a relação entre a quantidade de energia final utilizada para um determinado fim e de um bem produzido ou serviço realizado. O conceito de eficiência energética é apresentado na equação 1.

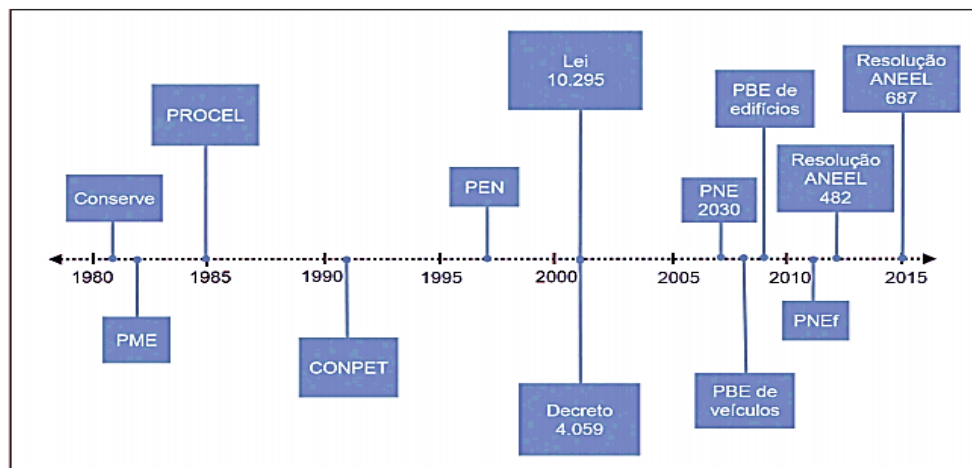
$$\text{Eficiência Energética} = \frac{\text{Energia do Produto}}{\text{Energia Total Consumida}} \quad (1)$$

De acordo com ELEKTRO (2012), o Brasil possui várias instituições que trabalham com o tema da eficiência energética, no qual podem ser citadas:

- O Ministério de Minas e Energia – MME;
- A ELETROBRÁS, responsável pela execução do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel);
- A PETROBRÁS, responsável pela execução do Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e Gás Natural (Conpet);
- A Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, responsável pela execução do Programa de Eficiência Energética das Concessionárias Distribuidoras de Energia Elétrica – PEE;
- As próprias concessionárias distribuidoras; o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – Inmetro, responsável pela execução do Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE;
- E algumas grandes empresas industriais, que possuem programas internos de conservação de energia.

A Figura 1 mostra cronologicamente os principais marcos regulatórios brasileiros na área de eficiência energética.

Figura 1- Principais marcos na área de eficiência energética no Brasil



Fonte: ALTOÉ et al., 2017

O Programa Conserve foi a primeira iniciativa do governo de incentivo ao uso de medidas de eficiência energética em nível nacional, que ocorreu em 1981. Esse Programa visa a conservação de energia na indústria com ênfase no desenvolvimento de produtos e processos mais

eficientes energeticamente e no incentivo à substituição de derivados de petróleo importados por fontes alternativas internas (SOUZA; GUERRA; KRUGER, 2011).

Um ano depois da implementação do Programa Conserve, mais precisamente em 2 de Abril de 1982 foram aprovadas as diretrizes do Programa de Mobilização Energética – PME. O principal objetivo desse programa era a diminuição no consumo, a racionalização do uso de energia e a substituição dos derivados do petróleo por fontes alternativas nacionais (MME, 2007).

No dia 30 de Dezembro de 1985 foi criado o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL, Coordenado pelo Ministério de Minas e Energias e executado pela ELETROBRÁS. Tem como objetivo a promoção do uso racional da energia elétrica e a diminuição dos desperdícios (ELETROBRÁS, 2018).

Inicialmente o Procel atuou na publicação e distribuição de manuais de incentivos à conservação de energia elétrica nos vários setores de utilização (MME, 2007).

O Programa Nacional de Conservação de Petróleo e Derivados – CONPET, foi criado em 1991 pelo Governo brasileiro, por decreto presidencial, para promover a conscientização do desperdício dos recursos naturais não renováveis do país. O programa busca diminuir o consumo de derivados de petróleo e do gás natural e a emissão de gases poluentes na atmosfera (CONPET, 2018).

Em 6 de agosto de 1997 foi criada a LEI Nº 9.478 que dispõe sobre a Política Energética Nacional - PEN, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo. Tem como principais objetivos promover o desenvolvimento, valorizar os recursos energéticos, proteger os interesses do consumidor quanto a preço, qualidade e oferta dos produtos, proteger o meio ambiente e promover a conservação de energia (Brasil, 1997).

Em 2001 aconteceram dois marcos importantes na área de eficiência energética. A primeira foi a Lei nº 10.295, 17/10/2001 que trata do estabelecimento dos níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados e o segundo foi o Decreto n.4.059/2001, ao qual regulamentou a Lei n.10.295/2001 ao estabelecer que para além do disposto na Lei acrescentou que as edificações construídas, serão estabelecidos com base em indicadores técnicos e regulamentação específica a ser fixada nos termos do Decreto, sob a coordenação do Ministério de Minas e Energia” (Brasil, 2001b).

Outro marco importante para a eficiência energética no Brasil foi a elaboração do Plano Nacional de Energia – PNE 2030 que tem como objetivo o planejamento de longo prazo no setor energético do país, orientando tendências tornando comum as alternativas de expansão desse segmento nas décadas posteriores (MME, 2007).

No decorrer dos anos, aconteceram avanços importantes como a criação do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) em 2009. O PBE visa a certificação de eficiência energética para edifícios comerciais, públicos e de serviços, e para os edifícios residenciais, em 2010. No mesmo ano também foi criada a certificação de eficiência energética de veículos automotores (ALTOÉ et al., 2017).

O Plano Nacional de Eficiência Energética - PNEf descreve diversas ações que podem ser desenvolvidas para aumentar a conservação de energia nos setores industrial, transportes, edificações, iluminação pública, saneamento, educação, entre outros (MME, 2011).

Outro marco importante na área de energias renováveis e de eficiência energética foi a Resolução Aneel n.482/2012. A resolução introduziu o sistema de compensação de energia elétrica no Brasil, no qual unidades consumidoras com micro ou minigeração distribuída (potência instalada de até 1 MW), a partir de fonte hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, podem compensar seu consumo de energia. Essa resolução foi atualizada em 2015, pela Resolução da Aneel 687. Por esta última resolução, o período de compensação foi ampliado de 36 meses para 60 meses e o limite de potência instalada por usina foi aumentado para 3 MW para fonte hidrelétrica e 5 MW para outras fontes de energia renováveis e cogeração qualificada (Aneel, 2015).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral um estudo de caso para avaliar técnico-economicamente para substituição das lâmpadas fluorescentes tubulares por lâmpadas LED - “Light Emitting Diode” (diodo emissor de luz) das salas de aula da Unidade Acadêmica dos Palmares, da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB).

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar um estudo comparativo entre as lâmpadas fluorescentes e lâmpadas LED's;

- Simular qual a iluminância média com as lâmpadas fluorescentes das salas de aula utilizando o *software Dialux*;
- Simular novamente com lâmpadas mais eficientes e verificar se o nível de iluminamento se manteve compatível com o determinado por norma;
- Medir através de um luxímetro a intensidade luminosa do recinto em estudo, a fim de comparar com os valores simulados pelo *software Dialux*;

CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta toda a base teórica utilizada para a elaboração deste estudo. São apresentados os principais conceitos utilizados em estudos luminotécnicos, o embasamento teórico sobre o *software* utilizado para a simulação da luminosidade da área em estudo, assim como uma explanação dos principais índices de análise de viabilidade econômica.

2.1 Conceitos luminotécnicos

Nesta seção são apresentadas os conceitos das principais grandezas e unidades que são utilizadas em estudos luminotécnicos. Grandezas essas que são derivadas das leis da Ótica e da Fotometria. Algumas estão diretamente ligadas à conservação de energia e através delas são estabelecidos os parâmetros necessários para a análise de eficiência energética.

2.1.1 Luz

Todos os dias pela manhã nos deparamos com a luz logo que abrimos os olhos. Essa experiência envolve fenômenos bastante complexos. Desde os séculos passados vários cientistas tentaram explicar a natureza da luz. Em vista desses desenvolvimentos, a luz deve ser considerada como tendo natureza dupla, se comportando em alguns casos como onda e em outros como partícula (SERWAY; JEWETT, 2014).

A luz se caracteriza como um fenômeno complexo, e compreendê-la tem sido um dos principais objetivos da Física, por isso significa que ela oferece muitas oportunidades para aplicação. Uma delas é a interferência de ondas luminosas que também é conhecida como interferência ótica (RESNICK; HALLIDAY, 2010).

A luz, ou luz visível como é fisicamente caracterizada, é uma forma de energia radiante que produz a sensação de visão quando age nos órgãos visuais.

Niskier e Macyntyre (2014, p. 218) a define como,

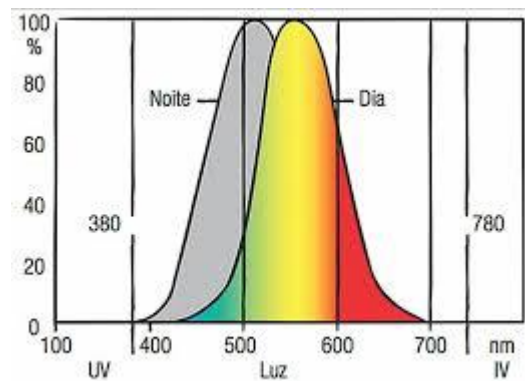
Uma modalidade da energia radiante que um observador verifica pela sensação visual de claridade determinada no estímulo da retina, sob a ação da radiação, no processo de percepção sensorial visual.

De acordo com OSRAM (2009), luz é a radiação eletromagnética capaz de produzir uma sensação visual, cujo comprimento de onda fica compreendido entre 380 e 780 nm conforme

mostrado na Figura 2. A sensibilidade visual para a luz varia de acordo com o comprimento de onda da radiação e com a sua luminosidade.

A curva de sensibilidade do olho humano mostra que radiações com comprimento de onda menores (violeta e azul) geram maior intensidade de sensação luminosa quando há pouca luz (ex: crepúsculo, noite etc.), enquanto as radiações de comprimento de onda maiores (laranja e vermelho) se comportam ao contrário (OSRAM, 2009).

Figura 2 - Curva de sensibilidade do olho humano à radiação visível



Fonte: OSRAM, 2009

2.1.2 Cor

As radiações visíveis produzem uma sensação psicofisiológica em que se traduz por uma concepção subjetiva de luminosidade e uma impressão de cor, em que só poderá ser avaliado e separado por processo de abstração mental (NISKIER; MACYNTYRE, 2014).

Nogueira (2013) definiu a cor como a interpretação que cérebro faz das ondas eletromagnéticas captadas pelo olho. A sensação de cor depende do comprimento de onda que é captado.

As cores são determinadas pela reação do mecanismo de percepção sensorial aos diversos comprimentos de onda.

2.1.3 Temperatura de cor

A temperatura de cor pode ser entendida como a grandeza que indica a aparência de cor da luz. Quanto maior o valor da temperatura da cor, mais uniforme será o espectro luminoso e mais branca a luz. Pode ser entendida de modo prático como a relação inversa entre a temperatura

aparente que uma determinada fonte produz com a temperatura de cor correspondente (SANTOS, 2013).

A cor da luz se torna cada vez mais branca a medida que a temperatura de cor aumenta. A luz quente é a que aparenta ser amarelada e a temperatura de cor baixa, menor que 3000K. Em contrapartida a luz fria, têm aparência azul-violeta com temperatura elevada, maior que 6000K. A luz branca natural é aquela emitida pelo céu aberto ao meio dia, cuja temperatura de cor é de 5800K. Unidade Kelvin (K). (OSRAM, 2007). A Figura 3 mostra a cor para diferentes temperaturas.

Figura 3 - Temperatura de Cor



Fonte: OSRAM, 2007

2.1.4 Índice de reprodução de cores (IRC)

O índice de reprodução de cor (IRC), dado em percentagem (%), é a medida da correspondência entre a cor real de um objeto e a sua aparência diante de determinada fonte luminosa artificial, tido como referência máxima 100, que corresponde ao IRC da luz do sol. Quanto mais próximo de 100 melhor é o IRC e maior os detalhes proporcionados pela a luz (SALES, 2011).

De acordo com Maia et al. (2011, p.31),

A impressão da cor de um objeto depende da composição espectral da luz que o ilumina, de suas refletâncias espectrais e do sentido da visão humana. Portanto a cor não é exatamente uma propriedade fixa e permanente em um objeto, mas o que se enxerga como cor é o fluxo luminoso refletido pelo mesmo.

Lâmpadas com IRC na escala entre 80 a 100 são as que reproduzem mais fielmente as cores vistas na decoração ou nos produtos, independente da sua Temperatura de Cor (K). (ITAIM, 2018)

2.1.5 Fluxo luminoso

Fluxo luminoso é definido como a potência de radiação total emitida por uma fonte de luz em todas as direções do espaço, medida em lúmen (lm), que é capaz de produzir uma sensação de luminosidade através do estímulo da retina ocular. Pode se dizer que é a potência de energia luminosa de uma fonte percebida pelo olho humano (FREITAS, 2018).

2.1.6 Intensidade luminosa (I)

Osram (2009) define intensidade luminosa como o fluxo luminoso irradiado na direção de um determinado ponto. Caso a fonte luminosa irradiasse a luz de forma uniforme em todas as direções, a distribuição do fluxo luminoso seria em forma de uma esfera. Esse facto é quase impossível de acontecer, por isso é necessário medir o valor dos lumens emitidos em cada direção. Essa direção tem a sua representação por vetores, em que comprimento indica a Intensidade Luminosa.

A intensidade luminosa é medida em candela (cd) e é definida a partir da potência irradiada por uma fonte luminosa em uma direção particular.

Niskier e Macyntyre (2014) definem como sendo a razão entre o fluxo luminoso que sai da fonte (Φ) e o elemento do ângulo sólido onde ela se propaga (ω) onde a sua expressão pode ser representada pela equação 2 a seguir:

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \quad (2)$$

2.1.7 Iluminância (E)

Expressa em lux (lx), é a relação entre o fluxo luminoso incidente numa superfície e a superfície sobre a qual o fluxo incide. Segundo Osram (2009), é a relação entre intensidade luminosa e o quadrado da distância ($1/d^2$). Pode se dizer que é a quantidade de luz dentro de um ambiente, que pode ser medida com o aparelho luxímetro.

O lux é uma unidade do Sistema internacional de medidas, 1 lux é definido como o iluminamento de uma superfície de 1 m^2 oriundo de uma fonte puntiforme perpendicular a 1m de distância, um fluxo luminoso de 1 lúmen, distribuído de forma uniforme (RAMOS, 2016).

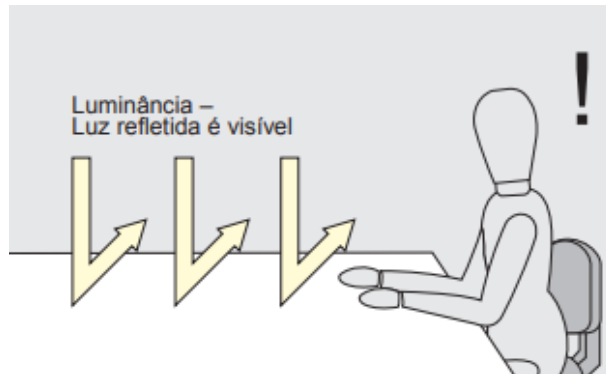
2.1.8 Luminância (L)

Luminância indica a quantidade de luz (fluxo luminoso) que é refletida por uma superfície, ou seja é a medida da maior sensação de claridade da superfície iluminante ou iluminada experimentada pelo observador, a qual é detectada pelo olho e avaliada pelo cérebro (NISKIER; MACYNTYRE, 2014). A Figura 4 representa o conceito de luminância.

O seu valor pode ser obtido pela razão entre a intensidade luminosa da superfície e a sua área aparente, conforme mostrado na expressão que se segue.

$$L = \frac{I}{A} \quad (3)$$

Figura 4 - Luminância



Fonte: OSRAM, 2009

Os principais conceitos da luminotécnica são apresentados graficamente na Figura 5.

Figura 5 - Principais conceitos da luminotécnica

| | |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| | |
| Fluxo Luminoso (lm) | Intensidade Luminosa (cd) |
| | |
| Iluminância (lx=lm/m ²) | Luminância (cd/m ²) |

Fonte: NOVICKI; JACKSON (2008)

2.1.9 Eficiência luminosa (EL)

A eficiência luminosa representa a eficiência de cada tipo de lâmpada e é obtida pela razão entre o fluxo luminoso emitido por uma fonte de luz em lúmens e a potência por ela consumida em watts (L/W).

Procel (2011) define a eficiência luminosa como a relação entre o fluxo luminoso emitido e a energia elétrica consumida por unidade de tempo (potência) por uma fonte de luz. Quanto maior a eficiência luminosa de uma lâmpada e equipamentos, menor seu consumo de energia.

A eficiência dos sistemas de iluminação artificial está associada às características técnicas e ao rendimento de um conjunto de elementos, dentre os quais destacam-se: lâmpadas, luminárias, reatores, circuitos de distribuição e controle, utilização de luz natural, cores das superfícies internas, mobiliários, necessidades de iluminação das tarefas desenvolvidas no ambiente (TAVARES, 2007).

2.2 Principais métodos de dimensionamento luminotécnico

Para a elaboração de projetos luminotécnicos, é importante a utilização de um dos métodos de cálculo, para definir a quantidade de luminárias e equipamentos necessários para o ambiente em estudo (KAWASAKI, 2018).

Os métodos de cálculo mais usuais são o método dos lúmens, definido pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE) e o método ponto a ponto, que se baseia na Lei de Lambert, que define que a iluminância é inversamente proporcional ao quadrado da distância do ponto iluminado ao foco luminoso (KAWASAKI, 2018).

O método mais utilizado para sistemas de iluminação em edificações é o método dos Lúmens, ou método do Fluxo Luminoso, que determina a quantidade de fluxo luminoso (lúmens) necessário para determinado recinto com base no tipo de atividade desenvolvida, cores das paredes e teto e do tipo de lâmpada-luminária escolhidos (LUZ, 2018).

O método ponto a ponto também chamado de método das intensidades luminosas baseia-se nas leis de Lambert e é utilizado quando as dimensões da fonte luminosa são muito pequenas em relação ao plano que deve ser iluminado. Consiste em determinar a iluminância (lux) em qualquer ponto da superfície, individualmente, para cada projetor cujo fecho atinja o ponto considerado. O iluminamento total será a soma dos iluminamentos proporcionados pelas unidades individuais (LUZ, 2018).

2.3 Evolução tecnológica das lâmpadas

As lâmpadas são fontes artificiais de luz usadas em iluminação e classificam-se em três grandes tipos: Lâmpadas incandescentes, lâmpadas de descarga e lâmpadas de estado sólido - LED (Light Emitting Diode).

As lâmpadas, com o auxílio das luminárias, fornecem energia luminosa que lhes é inerente. As luminárias permitem uma maior distribuição luminosa, melhor proteção contra fatores externos além de proporcionar uma maior estética e aspecto visual (CREDER, 2009).

2.3.1 Lâmpadas incandescentes

O primeiro projeto de lâmpada comercializável foi desenvolvido por Thomas Alva Edison, em 1879. Essa lâmpada era composta por uma base metálica e um filamento de carbono no vácuo dentro de um bulbo de vidro (FERREIRA, 2014).

Niskier e Macyntyre (2014) definem lâmpadas incandescentes como lâmpadas que possuem um bulbo de vidro, onde no interior possui um filamento de tungstênio, enrolado uma, duas ou três vezes, nas quais a emissão de luz é produzida pelo aquecimento do filamento até a incandescência, devido a passagem da corrente elétrica.

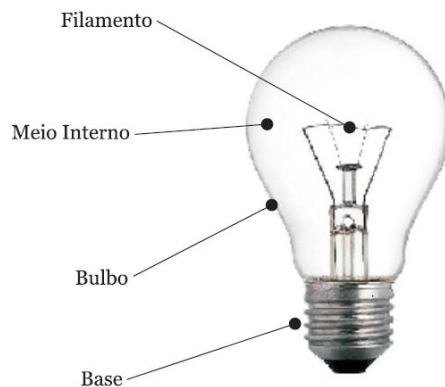
Esse filamento aquece, podendo chegar à temperatura de 3.000 °C e irradia a luz. Esse processo acaba produzindo muito calor (somente de 5% a 10% da energia é transformada em luz) o que acaba resultando num processo pouco eficaz e caro (TEIXEIRA FILHO, 2012).

De acordo com ELEKTRO (2012), uma lâmpada incandescente é composta pelos elementos mostrados na Figura 6.

Por serem de baixo custo, as lâmpadas incandescentes foram muito utilizadas em iluminação residencial e de áreas pequenas. Existem alguns tipos que são utilizadas para aplicações específicas como, por exemplo, aparelhos domésticos (geladeira e fogão), painéis de sinalização e decorativos (ELEKTRO, 2012).

Hoje em dia a comercialização desse tipo de lâmpada é proibida.

Figura 6 - Lâmpada incandescente



Fonte: ELEKTRO, 2012

2.3.1.1 Lâmpadas incandescentes Halogênicas (Quartzo)

É um aperfeiçoamento das lâmpadas incandescentes, constituída por um tubo de quartzo, que possui um filamento de tungstênio e partículas de iodo, flúor, e bromo, adicionados ao gás normal (daí o nome *halógenas*) por dentro (CREDER, 2009).

Através de uma reação cíclica, o tungstênio volatilizado é reconduzido de volta ao filamento, evitando o escurecimento do bulbo. Em temperaturas de aproximadamente 1400 °C, o halogênio (bromo ou iodo) adiciona-se ao gás contido no iodo. Pelo efeito de convecção, o composto se aproxima novamente do filamento. Devido a alta temperatura, o *haleto* se decompõe e parte do tungstênio deposita-se de volta no filamento. (NISKIER; MACYNTYRE, 2014).

Em relação às incandescentes comuns, apresenta a vantagem de ter uma vida mais longa, a ausência do escurecimento do tubo, maior eficiência luminosa, ótima reprodução de cores e menores dimensões. Em contrapartida dissipam intenso calor e são pressurizadas, podendo estilhaçar-se a qualquer momento (CREDER, 2009).

A Figura 7 ilustra os tipos de lâmpadas halógenas comercializadas atualmente.

Figura 7 - Tipos de lâmpadas halógenas



FONTE: MUSEU DA LÂMPADA, 2014

2.3.2. Lâmpadas de vapor ou de descarga

Ao contrário das lâmpadas incandescentes, onde a luz é produzida pelo aquecimento de um filamento, nas lâmpadas de descarga, a luz é produzida por uma descarga elétrica contínua em um gás ou vapor ionizado, muitas vezes, combinado com fósforo depositado no bulbo que, excitado pela radiação de descarga, provocam uma luminescência (ELEKTRO, 2012).

Nesses tipos lâmpadas, a energia é emitida sob forma de radiação, que provoca uma excitação de gases ou vapores metálicos, devido a tensão elétrica entre eletrodos especiais. Elas podem ser classificadas em fluorescentes, mistas, vapores de mercúrio e de sódio (NISKIER; MACYNTYRE, 2014).

2.3.2.1 Lâmpada Fluorescente

As lâmpadas fluorescentes foram introduzidas no mercado por Nikola Tesla em 1938. Essas lâmpadas possuem maior eficiência por emitir mais energia eletromagnética em forma de luz do que calor, tornando-se mais econômicas que as incandescentes (WANDERLEY, 2014).

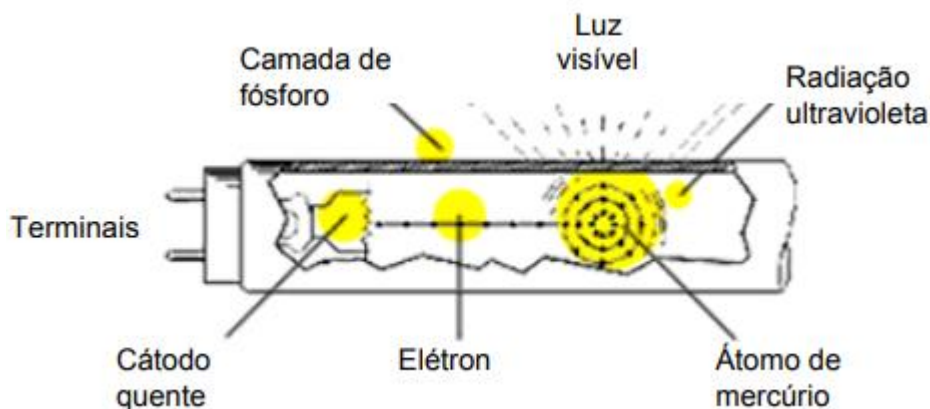
Nesse tipo de lâmpada o tubo de vidro transparente, é revestido por um pó branco (fósforo) internamente, que funciona como um conversor de radiação. Ele absorve a radiação ultravioleta produzida por descarga de num determinado comprimento de onda, para emitir luz visível (SILVA, 2008).

Por apresentarem um excelente desempenho, são mais indicadas para iluminação de interiores, como indústrias, escritórios, lojas apresentando espectro luminoso para cada aplicação.

Em relação as lâmpadas incandescentes elas apresentam um menor índice de reprodução de cores, porém, utiliza-se a lâmpada branca fria ou morna, que possibilita uma visualização razoável do espectro de cores (CREDER, 2009).

A Figura 8 a seguir mostra os principais componentes de uma lâmpada fluorescente.

Figura 8 - Principais componentes de uma lâmpada fluorescente



Fonte: ANDRÉ, 2014

As lâmpadas fluorescentes podem ser compactas, que são aquelas de tamanho reduzidas, criadas para substituir em várias aplicações as lâmpadas incandescentes. Estão disponíveis em diferentes formatos e dimensões e pode vir com o conjunto de controle (reator eletrônico e starter), incorporado ou não, e ainda com bases tipo rosca ou pino (ELEKTRO, 2012).

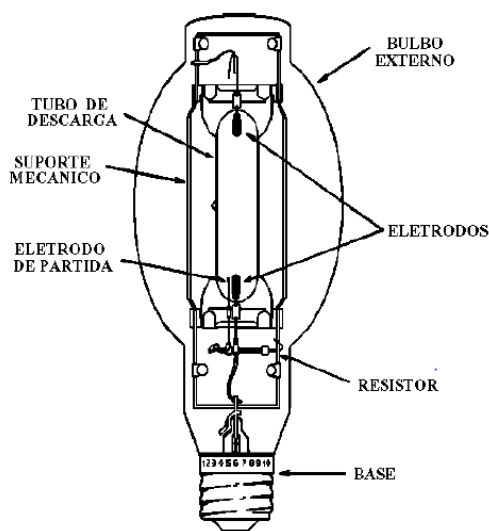
De acordo com ELEKTRO (2012), suas vantagens, em relação às incandescentes, estão, principalmente, no fato de apresentarem o mesmo fluxo luminoso com potências menores, o que gera uma economia de energia de até 80 %, uma vida mediana maior.

2.3.2.2 Lâmpada de vapor de mercúrio

Lâmpadas a vapor de mercúrio consistem de um bulbo de vidro revestido contendo um gás para manutenção da temperatura constante e um tubo de descarga de quartzo contendo vapor de mercúrio (PHILIPS, 2000).

Conforme mostrado na Figura 9, esse tipo de lâmpada é constituída de um tubo de descarga transparente, de dimensões reduzidas e com três eletrodos, inserido em um bulbo de vidro, revestido internamente com uma camada de "fósforo" para correção do índice de reprodução de cor (USP, 2018).

Figura 9 - Lâmpada à descarga de mercúrio



Fonte: USP, 2018

2.3.2.3 Luz mista

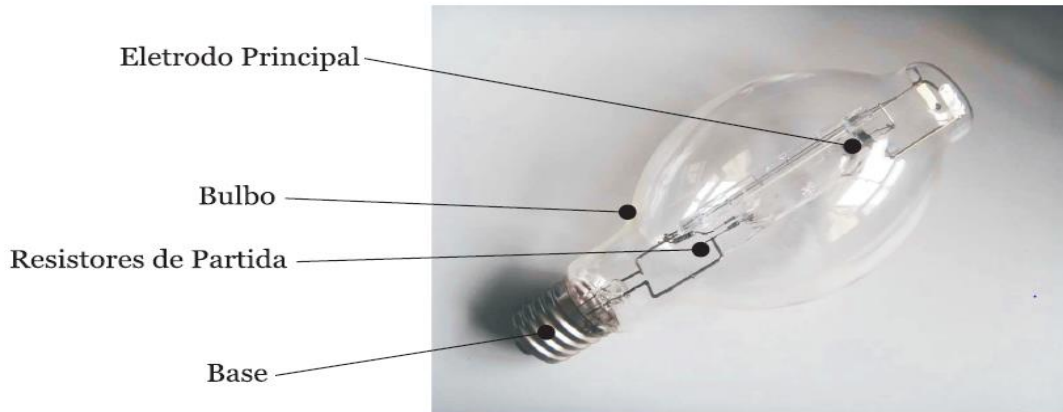
Essas lâmpadas são idênticas às lâmpadas a vapor de mercúrio de alta pressão, a diferença é que possuem um filamento montado ao redor do tubo de descarga e ligado em série com este (ELEKTRO, 2012).

Por não necessitarem de nenhum equipamento auxiliar, essa lâmpada é utilizada em geral, quando se pretende melhorar o rendimento da iluminação incandescente. Basta substituí-la no lugar da incandescente. Possui uma vida média igual a incandescente (CREDER, 2009).

De acordo com Niskier e Macyn tyre (2014), essa lâmpada reúne as vantagens da lâmpada incandescente e da de vapor de mercúrio, pois, a luz do filamento emite luz incandescente e a luz do tubo de descarga a vapor de mercúrio emite intensa luz azulada. O resultado é uma luz semelhante a luz do dia e o fluxo luminoso é 20 a 35% maior do que a lâmpada incandescente.

A composição da lâmpada de luz mista é apresentada na Figura 10.

Figura 10 - Composição da lâmpada de luz mista



Fonte: ELEKTRO, 2012

2.3.2.4 Lâmpada de vapor de sódio

Consta de um tubo de descarga em forma de U, com um eletrodo em cada extremidade, e cheios de gás argônio e neônio em baixa pressão para facilitar a partida, contendo também sódio metálico que se vaporiza durante o funcionamento.

2.3.3 Lâmpada LED

LED é a sigla para “*Light Emitting Diode*” (díodo emissor de luz). Ele é um componente eletrônico semicondutor que quando submetido a corrente elétrica, emite radiação sob a forma de luz visível. (LIMA, 2009).

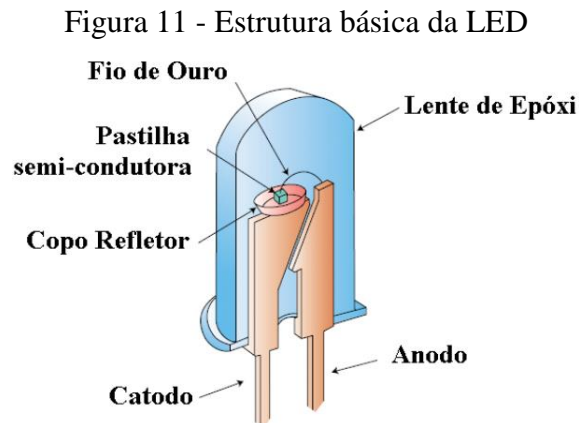
Nos estudos de Serbena (2013), ele define díodo como todo dispositivo ou componente eletrônico que consiste na junção de duas camadas semicondutoras, alimentadas por uma corrente elétrica que vai do cátodo (negativo) para o ânodo (positivo). No LED o material semicondutor é dopado de alguns compostos químicos para obter as radiações de luz desejadas.

De acordo com Castro (2013),

O princípio de funcionamento do LED baseia-se na junção P-N, combinação de dois materiais distintos, no qual o lado P contém essencialmente lacunas (falta de elétrons) enquanto o lado N contém essencialmente cargas negativas (excesso de elétrons). Quando polarizada diretamente, os elétrons e lacunas se movimentam em direção ao mesmo ponto, que é devolvida, quando eles retornam para seus níveis originais, em forma de luz.

As camadas de semicondutores são uma do tipo “n” e outra do tipo “p”. O tipo n possui na sua maior parte elétrons livres, partículas portadoras de carga negativa que participam da condução elétrica; a segunda, tipo p, possui partículas portadoras de carga positiva, composta de lacunas livres (ou buracos livres). (FERREIRA, 2014).

O LED possui na sua estrutura uma pastilha semicondutora sob uma superfície refletora no formato de uma concha, revestida por uma resina que direciona o feixe luminoso, conforme é apresentado na Figura 11 (NOVICKI; JACKSON, 2008).



Fonte: NOVICKI; JACKSON (2008)

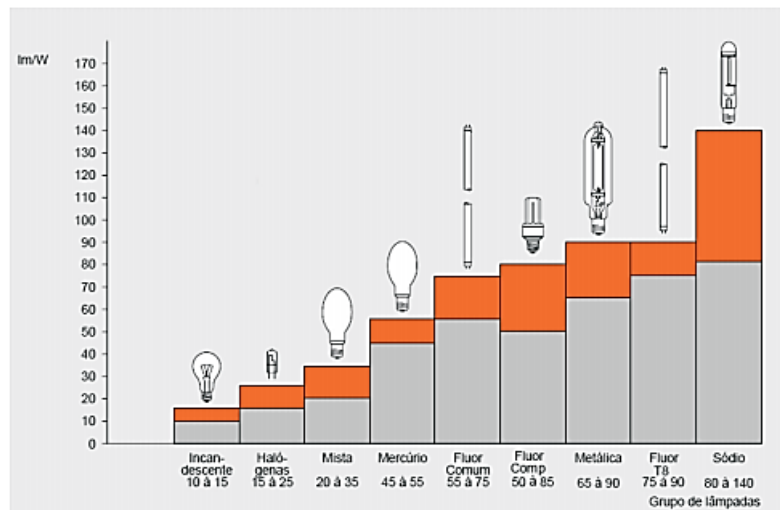
A lâmpada LED é mais econômica porque ela possui maior eficiência luminosa do que as das outras lâmpadas. Ou seja, gasta menos energia para gerar a mesma iluminação. Dependendo do modelo podem durar, no mínimo vinte e cinco vezes mais do que as incandescentes e quatro vezes mais do que as fluorescentes compactas (INMETRO, 2018).

Como outra vantagem do LED destaca-se a ausência de radiações infravermelha e ultravioleta, e a não utilização de mercúrio, chumbo ou qualquer outro material nocivo ao meio ambiente (PIRES, 2017).

As lâmpadas de tecnologia LED apresentam um ótimo rendimento, baixo consumo de energia elétrica, longa vida útil, além de possuírem grandes variações de cores, construídas em diferentes tamanhos e formatos, possuem utilidade e funções variáveis, o que facilita sua aplicação. A tecnologia LED vem se desenvolvendo e ganhando mercado cada vez mais, mostrando ser tendência na iluminação em todo mundo, devido principalmente, a sua eficiência energética.

O Gráfico 1 mostra a eficiência luminosa para os diferentes tipos de lâmpadas apresentadas. Quanto maior a eficiência luminosa de uma lâmpada e equipamentos, menor seu consumo de energia.

Gráfico 1: Eficiência energética de equipamentos para iluminação



Fonte: PROCEL (2011)

2.4 Luminárias

Luminárias são equipamentos que abrigam lâmpadas, reatores, transformadores, soquetes, conectores e filamentos elétricos.

Pode ser considerada como qualquer aparato que distribui e filtra a luz transmitida de uma ou mais lâmpadas e que inclui todas as partes necessárias para fixá-las e protegê-las. A luminária deve prover proteção contra entrada de sujeira, entrada de água e choques, vibrações e impactos (TAVARES, 2007).

De acordo com Barbosa (2007), luminárias são aparelhos de iluminação que recebem a luz das lâmpadas e alteram a distribuição do fluxo luminoso da mesma. Elas são compostas por três partes principais: o receptor para a fonte luminosa (lâmpada), os dispositivos que modificam o fluxo luminoso emitido pela lâmpada (refratores, refletores, difusores, colmeias, etc.) e a carcaça.

2.5 Reatores

Os reatores são equipamentos auxiliares das lâmpadas, com a finalidade de dar condições de partida à lâmpada, estabilizar a corrente no tubo de descarga e controlar a potência dissipada na lâmpada devido às condições da rede de alimentação (BARBOSA, 2007).

De acordo com a revista Lume Arquitetura (2015), os reatores são os principais responsáveis pela partida e funcionamento das lâmpadas de descarga. Sua função é proporcionar partida firme e estável à lâmpada, sem produzir oscilações (efeito pisca-pisca), e também atua como limitador da corrente elétrica.

Dependendo do tipo de lâmpada, os reatores podem ser divididos em dois grandes grupos: reatores eletromagnéticos, formados basicamente por uma indutância e uma capacitância e os reatores eletrônicos, formados por componentes eletrônicos (DEMAPE, 2018).

Os reatores eletromagnéticos são dispositivos com menor custo, mais antigos, robustos e simples, apresentando diversas desvantagens como perdas excessivas, peso e volume, ruído audível, baixo fator de potência e a possibilidade de ocorrência do efeito estroboscópico (DUPCZAK, 2008)

De acordo com Dupczak (2008), os reatores eletrônicos foram desenvolvidos para minimizar ou sanar esses inconvenientes, os quais apresentam alto rendimento, possuem volume e peso reduzidos, podem apresentar estágio de correção de fator de potência e tornam possível o controle da intensidade luminosa da lâmpada.

2.6 Estudo luminotécnico

2.6.1 Software Dialux

O *software* Dialux foi desenvolvido por uma equipe composta de 20 funcionários da DIAL GmbH, uma empresa de *Lüdenscheid*, Alemanha. Atualmente é um dos *softwares* de simulação mais populares no mundo e está disponível em 26 idiomas, entre eles o português de Portugal (SOUZA, 2011).

Nesse *software* é possível realizar projetos em áreas internas, externas, espaços esportivos, ruas e avenidas, considerando a luz das luminárias, luz natural ou luz de emergência.

O *Dialux* é utilizado para cálculos luminotécnicos e é um dos principais programas para a área de iluminação, bastante utilizado por vários profissionais de diversas áreas como a arquitetura,

engenharia e *designer* de iluminação. Vários fabricantes disponibilizam seu catálogo de produtos em formatos compatíveis com o *software*, permitindo a simulação do efeito real de iluminação de um produto específico com uma vista 3D (MODESTO, 2014).

Esta ferramenta utiliza dois algoritmos de iluminação global, o *Radiosity*, método usado para modelar a interação da luz entre superfícies difusoras e o *Ray Tracing*, que é uma técnica que permite adicionar destaque, reflexões e transparências (ROCHA *et al.*, 2016).

Após a simulação de um ambiente, o *software* gera resultados em formato pdf os quais podem ser salvos e consultados quando necessário pelo projetista.

2.7 Análise de viabilidade econômica

As decisões de investimento em alternativas e projetos de economia e uso eficiente da energia passam, necessariamente, por uma análise de viabilidade econômica. Tais questões podem se apresentar de duas formas: ou deseja-se decidir sobre a escolha entre duas alternativas mutuamente excludentes, ou deseja-se conhecer a economicidade de uma dada alternativa.

Esta análise, em geral, utiliza-se de índices econômicos que permitem traduzir a atratividade de um investimento. Dentre estes índices pode-se destacar o valor presente líquido, a taxa interna de retorno e o tempo de retorno de capital. Para a execução de tais análises procura-se moldar o problema real em uma forma padrão denominada fluxo de caixa, o que permite utilizar-se de certas equações previamente concebidas e, assim, avaliar economicamente o projeto.

2.7.1 Fluxo de caixa

Para representar as receitas e as despesas graficamente e cronologicamente, de forma simplificada, utiliza-se o fluxo de caixa. Esse modelo pode ser representado por setas apontadas para cima, para tudo que for ganho, receita, benefícios e funções do mesmo tipo. Em contrapartida tudo que se refere a despesas, gastos, custos, investimentos é representado por seta para baixo (ELEKTRO, 2012).

Por meio dessa ferramenta é possível ter o controle da movimentação financeira (entrada e saída), apresentada por uma empresa, num determinado período de tempo.

De acordo com Sebrae (2018, p.2),

Fluxo de caixa é um instrumento de controle que tem por objetivo auxiliar o empresário a tomar decisões sobre a situação financeira da empresa. Consiste em um relatório gerencial que informa toda a movimentação de dinheiro (entradas e

saídas), sempre considerando um período determinado, que pode ser uma semana, um mês etc.

A elaboração do fluxo de caixa, permite aos analistas planejar e identificar possíveis faltas de dinheiro para cumprir as obrigações ou dinheiro parado sem nenhuma aplicação. Tendo uma visão antecipada das necessidades numéricas.

2.7.2. *Payback*

O *payback* pode ser definido como o tempo correspondente para que os fluxos de caixa positivos superem os fluxos negativos, comumente representado em anos (SILVA, 2010). Para Mallmann (2012, p.59),

O *payback* é o espaço de tempo entre o início do projeto e o momento em que o fluxo de caixa acumulado torna-se positivo, ou seja, é o período de recuperação do investimento inicial.

Pode ser calculado de duas formas: *payback* simples e *payback* descontado. De acordo com Elektro (2012), o *payback* simples é um procedimento de cálculo onde não se leva em consideração o custo de capital, ou seja, a taxa de juros, enquanto que o *payback* descontado passa a considerar o valor do dinheiro no tempo. É um instrumento mais refinado, proporcionando uma análise mais elaborada.

2.7.3. Taxa Interna de Retorno (TIR)

A TIR pode ser considerada como a taxa de juros (desconto) que, em um determinado momento do tempo, se iguala o valor presente das entradas (recebimentos) com o das saídas (pagamentos) do fluxo de caixa (ASSAF NETO, 2009).

Essa taxa de juros mede a rentabilidade do fluxo de caixa, em outras palavras, ela iguala o valor presente líquido (VPL) do fluxo de caixa a zero (SILVA, 2010).

Um projeto pode ser considerado vantajoso e lucrativo, quando a Taxa Interna de Retorno for maior do que a sua Taxa média de Atratividade (TMA). Caso contrário o investimento não compensará o custo de oportunidade da empresa (MALLMANN, 2012).

2.7.4. Valor Presente Líquido (VPL)

O VPL é um dos índices mais utilizados pela engenharia económica para avaliar um investimento. Ele fornece o ganho monetário que poderá ser obtido na realização de um investimento a uma dada taxa de juros (OLIVEIRA, 2008).

De acordo com Urtado et al. (2011) o VPL de um projeto pode ser entendido como a soma dos valores presentes de cada um dos fluxos de caixa, tanto positivos como negativos, que ocorrem durante a vida do projeto.

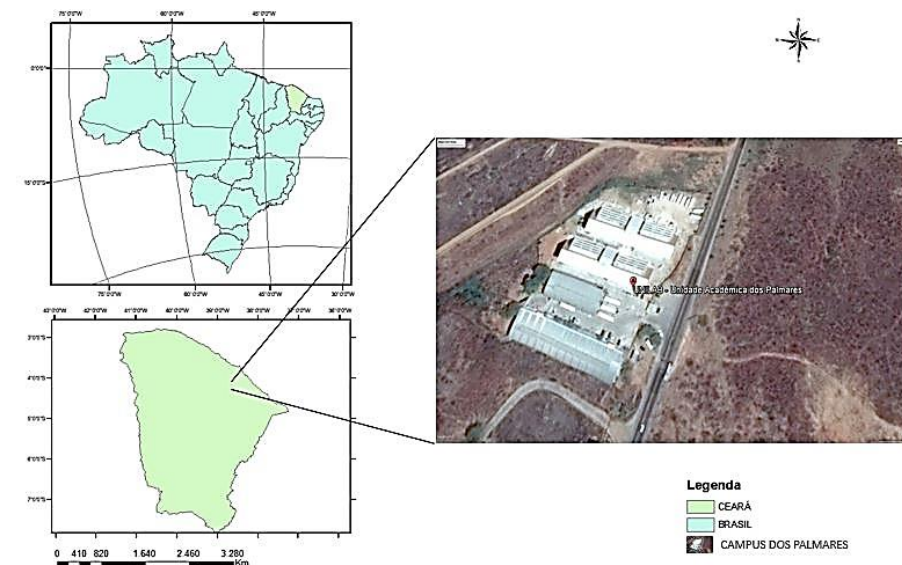
CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados quais os materiais e métodos utilizados durante a elaboração desse estudo. Tem como principal objetivo descrever os materiais e procedimentos utilizados para coleta e análise de dados, bem como a justificativa do porquê da utilização de tais instrumentos e procedimentos.

3.1 Área de estudo

O trabalho retrata o estudo luminotécnico e a viabilidade econômica da substituição do sistema de iluminação atual das salas de aula do campus dos Palmares I, II e III da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira no estado de Ceará. O campus está localizado no município de Acarape, a 61,8km de capital, Fortaleza a uma Latitude de $4^{\circ}12'47.63''S$ e longitude de $38^{\circ}42'1.17''W$. O mapa de localização do campus é apresentado na Figura 12.

Figura 12 - Mapa de localização do campus dos Palmares



Fonte: Própria (2018)

A construção do campus se deu em duas etapas. A primeira correspondeu a construção do Palmares I, compreendendo 12 (doze) salas de aula de $48,8 \text{ m}^2$. Cada sala de aula possui 6 (seis) luminárias, com duas lâmpadas cada de 40W de potência. A segunda etapa correspondeu a construção dos blocos Palmares II e III, possuindo cada um 12 salas de aula de $52,4 \text{ m}^2$, cada sala, que por sua vez, possuem 6 (seis) luminárias com duas lâmpadas de 40W de potência, cada.

3.2 Software DIALux

O presente estudo está dividido em três etapas. A primeira etapa corresponde ao estudo luminotécnico realizado através do *software Dialux*, que é um software gratuito de cálculo e simulação computacional para projetos de iluminação, conforme foi definido na revisão bibliográfica.

Em um primeiro momento foram solicitadas junto a Divisão de Projetos - DIP da Coordenação de Infraestrutura (CIED) associada a Pró-Reitoria de Planejamento (PROPLAN) da universidade, o projeto de instalações elétricas contendo a planta do Campus Palmares II e III no formato .dwg com as informações referentes a quantidades de salas de aula e quantidade de luminárias e lâmpadas por sala. Tendo em conta que a DIP não possui a planta do Palmares I, foi necessário desenhar a planta no *software AutoCAD*.

Em seguida foram feitas medições *in loco* das dimensões (comprimento, largura, altura da suspensão das luminárias, altura do plano de trabalho e o pé direito) das salas de aula utilizando o instrumento de medição trena. Os índices de refletâncias do teto, piso e parede foram atribuídos pelo *software* a partir das cores dos mesmos. As dimensões são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1: Especificações das medições das salas de aula

| Especificações | Palmares I | Palmares II | Palmares II |
|---------------------------------|------------|-------------|-------------|
| Quantidade de salas | 12,0 | 12,0 | 12,0 |
| Comprimento (m) | 7,90 | 8,09 | 8,09 |
| Largura (m) | 5,92 | 6,24 | 6,24 |
| Área (m) | 46,8 | 50,48 | 50,48 |
| Pé direito (m) | 2,82 | 2,28 | 2,28 |
| Altura do Plano de trabalho (m) | 0,70 | 0,70 | 0,70 |
| Refletância do teto (%) | 86,0 | 86,0 | 86,0 |
| Refletância da parede (%) | 63,0 | 82,0 | 82,0 |
| Refletância do chão (%) | 35,0 | 40,0 | 40,0 |

Fonte: Própria (2018)

Foram feitas levantamento do sistema de iluminação (luminárias e lâmpadas) presente. Os dados obtidos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Levantamento do sistema de iluminação

| Especificações | Palmares I | Palmares II | Palmares II |
|---------------------------------------|------------|-------------|-------------|
| Quantidade de luminárias por sala | 6 | 6 | 6 |
| Quantidade de lâmpadas por luminárias | 2 | 2 | 2 |
| Instalação das luminárias | Sobrepor | Embutir | Embutir |
| Fabricante das lâmpadas | PHILIPS | PHILIPS | PHILIPS |
| Modelo da lâmpada | TL 40W/750 | TL 40W/750 | TL 40W/750 |
| Potência | 40 | 40 | 40 |

Fonte: Própria (2018)

Esses dados foram exportados para o *software* Dialux, onde se deu as simulações para dois cenários. O primeiro cenário foi o cenário atual, onde a iluminação se dá através das lâmpadas fluorescentes tubulares, e o segundo cenário foi a substituição das lâmpadas fluorescentes por lâmpadas do tipo LED, que é o objetivo deste estudo.

O iluminamento médio para a sala de aula foi utilizada de acordo com ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013 que é a norma que substitui a NBR 5413 de 1992 desde 2013. Foi definido de acordo com o tipo de tarefa destinado ao ambiente em estudo. A área da tarefa deve ser iluminada o mais uniforme possível e a uniformidade da iluminância é definida como a razão entre o valor mínimo e o valor médio.

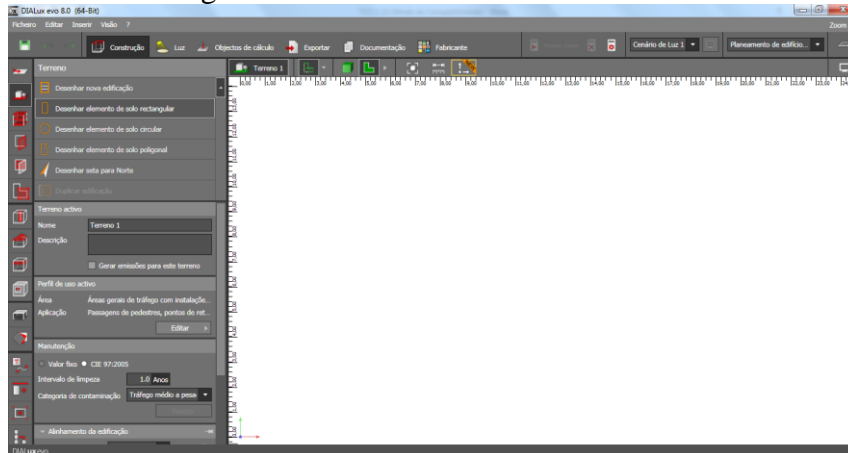
De acordo com a ISO/CIE 8995-1: 2013,

A uniformidade da iluminância na tarefa não pode ser menor que 0,7. Para sala de aula com um arranjo flexível de mesas deve ser considerada a sala inteira menos uma faixa marginal de 0,5m de largura, a uniformidade planejada pode ser $U1 \geq 0,6$. A experiência mostra que isto é suficiente para garantir que uma uniformidade mínima de 0,7 seja observada nas mesas individuais.

Ou seja pela norma, a iluminância em qualquer ponto do campo de trabalho não deve ser inferior a 70% da iluminância média e no caso das salas de aula com arranjo flexível, não pode ser inferior a 60% da iluminância média.

O *software* dispõe de catálogos de lâmpadas e luminárias de vários fabricantes com uma grande disponibilidade de lâmpadas e luminárias, de forma a facilitar a execução do projeto e o resultado final é bastante ilustrativo. A interface do *software* Dialux é apresentada na Figura 13.

Figura 13 - Interface do software Dialux



Fonte: Própria (2018)

As simulações da sala de aula dos Palmares II foram feitas com as persianas fechadas, de forma a representar o cenário real do recinto durante o tempo de utilização.

3.3 Medições da iluminância

Para a verificação do nível de iluminação, foi utilizado o sensor de intensidade luminosa da marca Cidepe, modelo CL014A com uma faixa de medição de 0-5000 Lux, disponibilizado pelo laboratório de Física da UNILAB. O sensor utilizado é apresentado na Figura 14.

Figura 14 - Sensor de intensidade luminosa



Fonte: CIDEPE, 2018

Os dados foram coletados a partir do *software* CidepeLab, instalado em um computador. Esse *software* possui diversas ferramentas que recebem os sinais da interface e os mostra na tela

instantaneamente. O CidepeLab permite ainda realizar gráficos e tabelas dos sinais coletados, gravar ou exportar os dados para outros *softwares*.

Os dados foram adquiridos na grade de aquisição por meio da interface LAB200, mostrado na Figura 15, que coleta sinais de sensores e os envia ao computador através da entrada *Universal Serial Bus – USB*.

Figura 15 - Interface LAB200



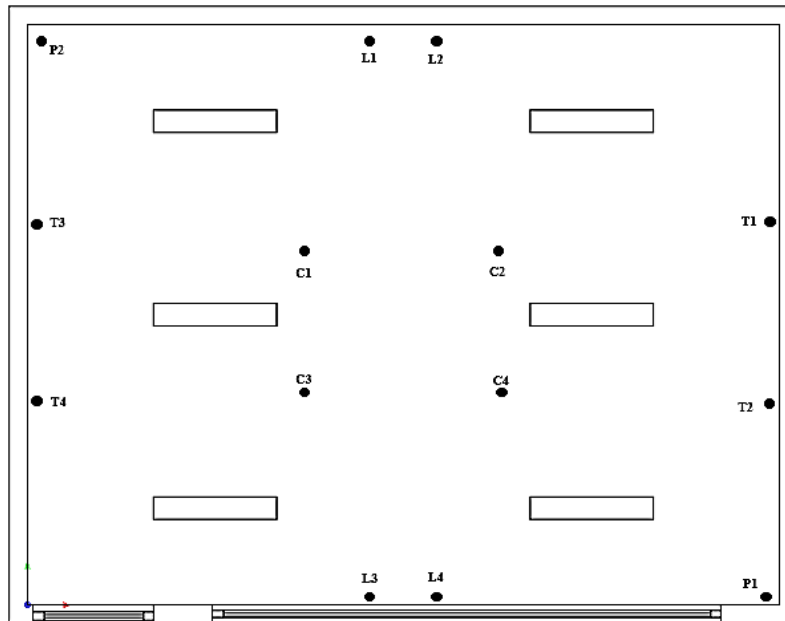
Fonte: CIDEPE, 2018

As medições foram feitas de acordo com a NBR 5382 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1985), que trata da verificação de iluminância de interiores. Segundo a norma, para verificação da iluminância média do ambiente retangular, iluminado com fontes de luz em padrão regular, simetricamente espaçadas em duas ou mais fileiras, são 18 pontos a serem considerados, porém, quando o número de linhas de luminárias for menor ou igual a três, são considerados 14 pontos de medições, que é o caso desse estudo.

Os pontos de medição P1 e P2 correspondem aos dois cantos do ambiente diametralmente opostos, os pontos T1, T2, T3 e T4 situam-se entre as paredes longitudinais e a linha de luminárias mais próximas, os pontos C1, C2, C3 e C4 situam-se no centro do ambiente e os pontos L1, L2, L3 e L4 correspondem aos pontos entre as paredes transversais e a coluna de luminárias mais próximas.

As primeiras medições foram feitas na sala de aula número 6, do palmares I, em pontos de medições como mostra a Figura 16.

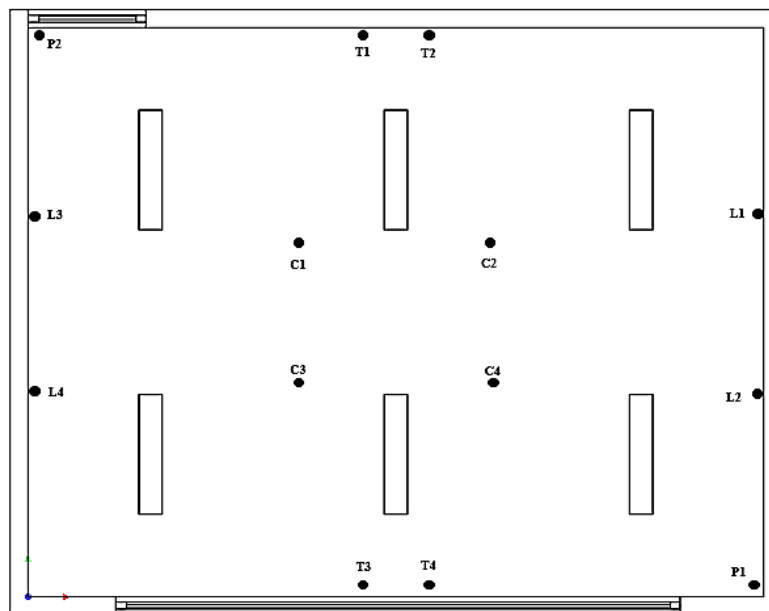
Figura 16 - Distribuição dos pontos de medições na sala número 6 dos Palmares I



Fonte: Própria (2018)

Depois fez-se as medições na sala 311 dos palmares II, em pontos de medições conforme mostra a Figura 17. As medições foram feitas com as persianas fechadas representando o cenário real durante as aulas.

Figura 17 - Pontos de medições sala de aula número 311 dos Palmares II



Fonte: Própria (2018)

Com as medições feitas calculou-se a iluminância média conforme Equação 4 dada pela NBR 5382:

$$I = \frac{MP+MT(n-1)+MC(n-1)(m-1)+ML(m-1)}{mn} \quad (4)$$

Em que:

MC - média dos pontos C

ML - média dos pontos L

MT - média dos pontos T

MP - média dos pontos P

n - número de luminárias em cada linha.

m - número de linhas.

3.4 Análise da viabilidade económica

A segunda etapa corresponde a um estudo *retrofit* do sistema de iluminação das salas de aula e na análise de viabilidade técnica e económica. *Retrofitting* significa modificar equipamentos ou estruturas existentes com componentes adicionais ou novos. Uma lâmpada LED *retrofit* é aquela que pode encaixar no mesmo soquete ou luminária, usado anteriormente para lâmpadas incandescentes ou fluorescentes. Também deve ser compatível com a infraestrutura elétrica disponível no local, permitindo a montagem das luminárias existente com LED. Isto é, a lâmpada LED deve funcionar sem nenhum comprometimento funcional, quando colocada no mesmo lugar do qual uma lâmpada incandescente for retirada.

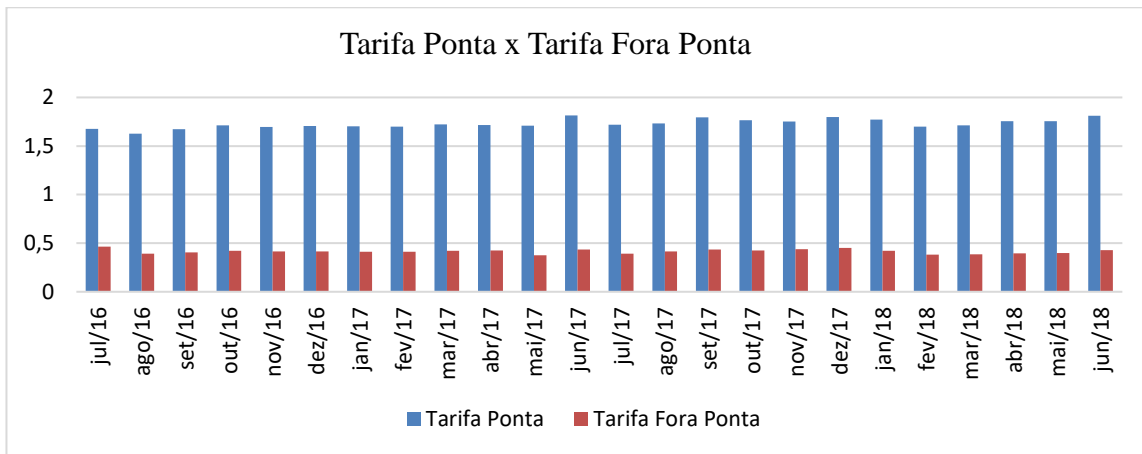
Em um primeiro momento foi realizado um levantamento dados sobre o sistema de iluminação presente, como o fabricante e a quantidade de lâmpadas e luminárias, a potência instalada. Esses dados foram disponibilizados pela divisão de projetos da universidade - DIP e também foram feitas visitas *in loco* e verificação da iluminação.

Com esses dados em mãos fez-se a análise da viabilidade económica do investimento, a fim de justificar o investimento no novo sistema de iluminação.

Para essa análise foram feitas algumas considerações. A primeira foi que as lâmpadas são utilizadas em média 12 horas por dia, sendo 3 horas no horário ponta, das 17:30 as 20:30 e 9 horas no horário fora ponta, que compreende os períodos das 08:00 às 12:00, das 14:00 às 17:30 e das 20:30 às 22:00, considerando que as salas ficam fechadas no período das 12:00 às 14:00.

Os cálculos do custo consumo de energia foram feitas levando em consideração a tarifa do horário ponta e do horário fora ponta. Para isso, foi feito uma média das tarifas ponta e fora ponta dos últimos 2 anos. O Gráfico 1 apresenta a variação das tarifas ponta e fora ponta dos dois últimos anos.

Gráfico 2: Variação da tarifa ponta e fora ponta dos dois últimos anos



Fonte: Própria (2018)

O custo médio mensal de reposição das lâmpadas resulta do produto da quantidade de lâmpadas utilizadas no estudo pelas horas de utilização vezes o preço de cada unidade. O resultado deve ser dividido pela vida útil da lâmpada.

Com os valores da potência total instalada, as horas de utilização das lâmpadas e a tarifa, calculou-se consumo total de energia para os dois tipos de lâmpadas. Para saber a economia de energia que o investimento proporcionaria, fez-se a diferença entre o consumo das lâmpadas fluorescentes e as lâmpadas LED's.

A vida útil das lâmpadas foram consultados no catálogo do fabricante para os dois tipos de lâmpadas e o custo da mão-de-obra para a substituição das lâmpadas foi calculado de acordo com a tabela de custos da Secretaria de Infraestrutura - SEINFRA, conforme apresentado na Figura 18.

Figura 18 - Tabela de custo para substituição das lâmpadas

| | | | | |
|----------|-------|---|----|---------|
| 18.10.22 | C1766 | LÂMPADA FLUORESCENTE DE 32W OU 40W (SUBSTITUIÇÃO) | UN | 13,2700 |
|----------|-------|---|----|---------|

Fonte: SEINFRA, 2018

Para saber o preço das lâmpadas LED's entrou-se em contacto direto com as lojas de forma a selecionar a que apresentava o melhor custo benefício. Com esses valores calculou-se o custo do investimento. E com o custo do investimento e da economia mensal elaborou-se o fluxo de caixa.

O VPL (valor presente líquido) foi calculado para se determinar o valor presente de pagamentos futuros descontados a uma taxa de juros definida, menos o custo do investimento inicial. Esse cálculo diz quanto as receitas e/ou pagamentos futuros, somados a um custo inicial, estariam valendo atualmente, levando em consideração o valor do dinheiro no tempo (GEDRA, 2009). O VPL pode ser calculado a partir da fórmula apresentada na equação 5:

$$VPL = -Civ + \sum_{t=i}^T \frac{FCt}{(1+i)^t} \quad (5)$$

Em que:

Civ = Custo de investimento;

FC = Fluxo de caixa do período t;

t = Número de períodos em que foi determinado o fluxo de caixa;

T = Período total do fluxo de caixa, sendo este um múltiplo inteiro de t;

O resultado do VPL pode resultar em três situações de análise diferentes:

- a) Quando for maior do que zero, o projeto deve ser aceito, pois o projeto terá retorno.
- b) Quando for igual a zero, não haverá retorno do investimento nem terá despesas sobre o capital investido.
- c) Quando for menor que zero, o projeto deve ser rejeitado, pois os custos serão maiores ao longo do tempo.

A Taxa Interna de Retorno (TIR) corresponde a taxa de juros que torna equivalente às receitas de um projeto com o seu investimento, ou seja, a taxa de juros que torna nulo o VPL. Equivale a taxa de remuneração do capital que foi investido num projeto. Para determinar deve-se aplicar a Equação 6.

$$0 = -Civ + \sum_{t=1}^T \frac{Fct}{(1+TIR)^t} \quad (6)$$

Na qual:

Civ = Custo de investimento;

FC = Fluxo de caixa do período t;

t = Número de períodos em que foi determinado o fluxo de caixa;

i = Taxa de juros (custo de oportunidade);

T = Período total do fluxo de caixa, sendo este um múltiplo inteiro de t ;

Para o projeto ser considerado a TIR precisa ser maior do que a taxa média de atratividade, caso contrário ele deve ser desconsiderado.

Para calcular a TIR e o VPL foi necessário elaborar o fluxo de caixa de caixa do projeto, com o custo do investimento e as receitas mensais durante um período de tempo.

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

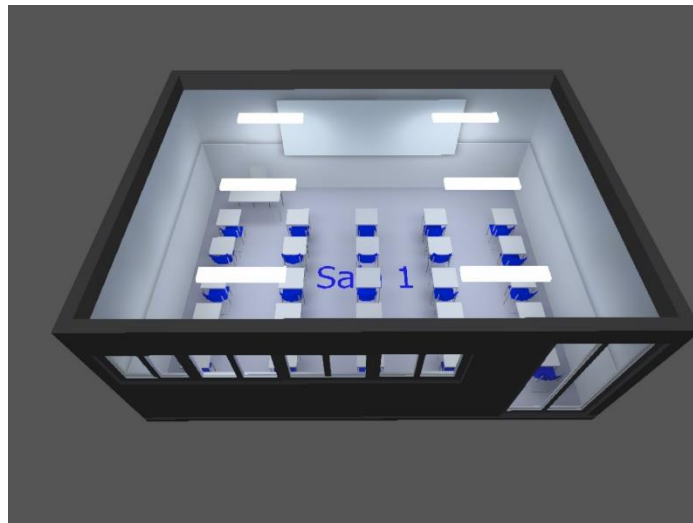
Neste capítulo são apresentados os resultados alcançados perante a aplicação dos processos metodológicos descritos no capítulo 3.

Este capítulo encontra-se dividido em três secções, sendo a primeira que trás os resultados obtidos através das simulações feitas no *software* Dialux, a segunda apresenta os resultados das medições feitas nas salas de aula com o instrumento de medição de luminosidade, luxímetro e a ultima secção trás os resultados obtidos da análise de viabilidade económica.

4.1 Simulação com o software Dialux

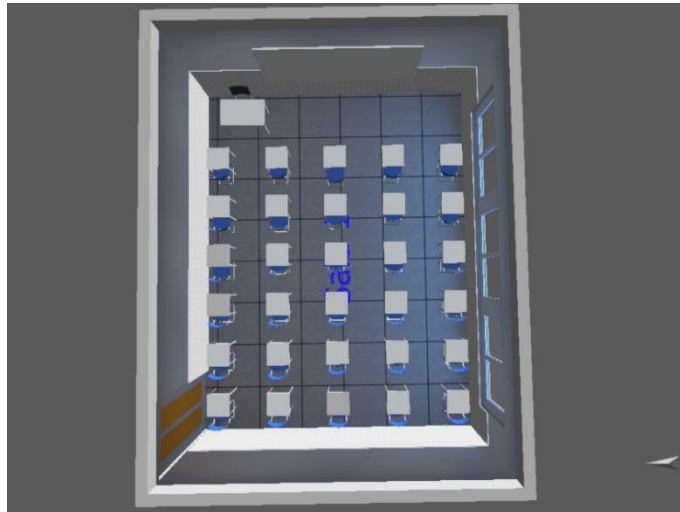
Como apresentado na secção anterior, o Dialux é um *software* de simulação gratuito de cálculo para projetos de iluminação. Foram feitas simulações em ambiente virtual das salas de aula número 6 e 311 dos Palmares I e II consecutivamente como pode ser observado na Figura 19 (a) e (b).

Figura 19 - Modelo 3D da sala de aula número 6 Palmares I



Fonte: Própria (2018)

Figura 19 (b): Modelo 3D da sala de aula número 311 Palmares II



Fonte: Própria (2018)

A primeira simulação foi feita com o cenário atual de distribuição das luminárias com lâmpadas fluorescentes. Na Tabela 2 é apresentado o resultado da iluminância média, máxima, mínima e uniformidade dos Palmares I e II.

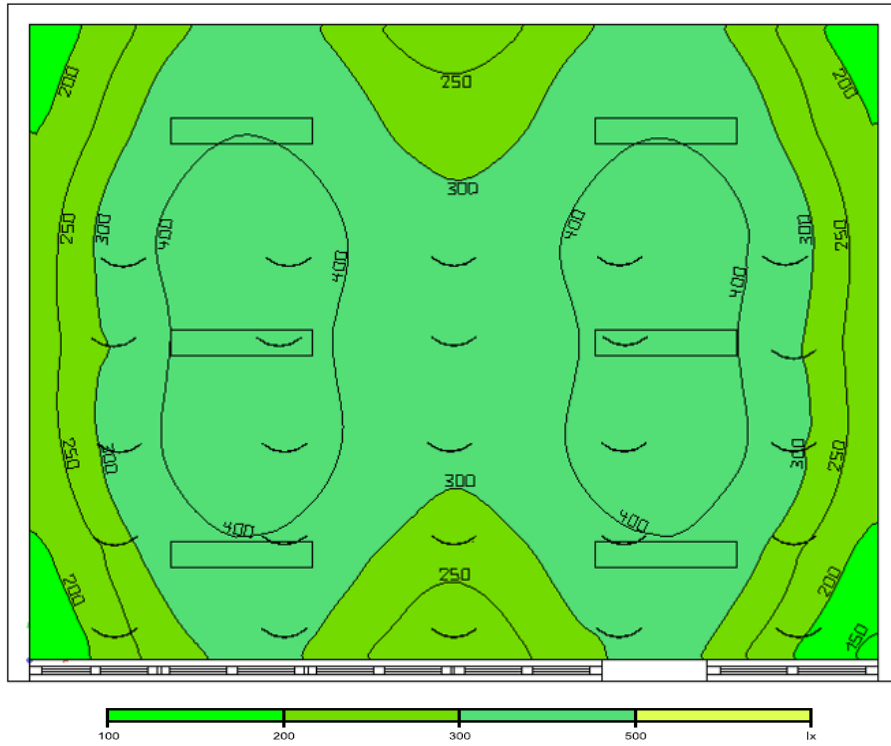
Tabela 2 – Fluxo luminoso simulado a partir do *software* Dialux para o cenário atual

| Sala | E_m (lux) | E_{max} | E_{min} | $E_{mín} / E_m$ |
|-------------|-------------|-----------|-----------|-----------------|
| Palmares I | 352 | 468 | 213 | 0,61 |
| Palmares II | 436 | 923 | 252 | 0,58 |

Fonte: Própria (2018)

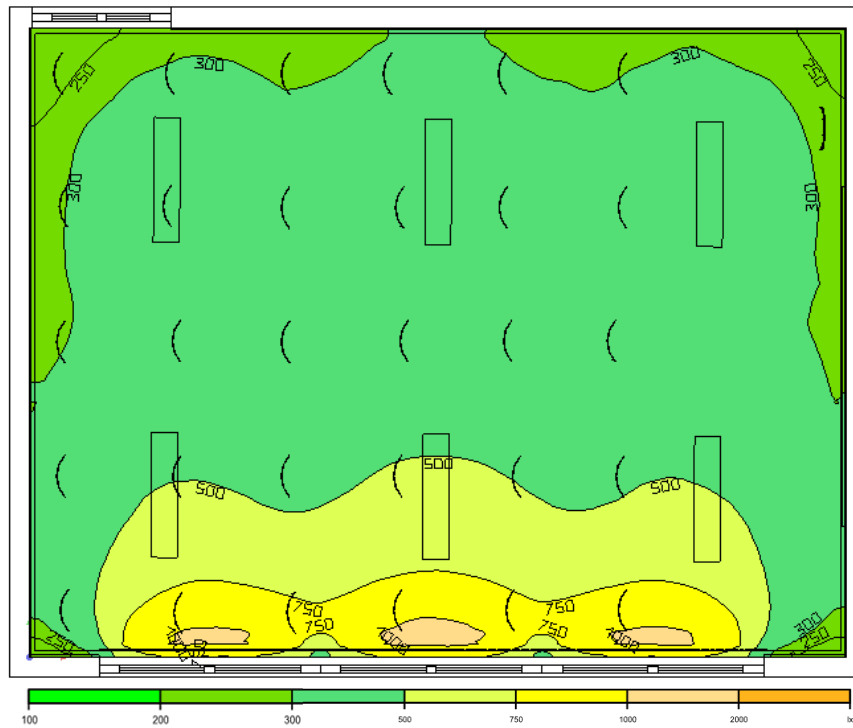
As Figuras 20 (a) e 20 (b) mostram o mapa das isolinhas da iluminância vertical no plano de uso a 0,70 metros do chão para o cenário atual nos Palmares I e II, respectivamente.

Figura 20 (a) - Isolinhas da iluminância com o cenário atual nos Palmares I



Fonte: Própria (2018)

Figura 20 (b): Isolinhas da iluminância com o cenário atual nos Palmares II



Fonte: Própria (2018)

Com os resultados obtidos, pode-se observar que tanto o sistema de iluminação atual dos Palmares I e II, atendem os requisitos da norma de iluminância média das salas de aula, que deve ser maior ou igual a 300 lux. A iluminância média obtida foi de 352 lux para Palmares I e 436 para Palmares II que, devido ao posicionamento das janelas para o exterior, sem nenhum sombreamento, apresentou uma iluminância média um pouco maior do que os Palmares I onde as janelas são menores e se encontram posicionadas em direção aos corredores que apresentam pouca iluminação. O valor da uniformidade dos Palmares I também se encontra dentro do especificado na norma que é de 0,60, ou seja em qualquer ponto do plano de trabalho a iluminância é superior a 60% da iluminância média. Porém, a uniformidade nos Palmares II ficou um pouco abaixo do especificado pela norma. Isso se explica devido a grande variação da iluminância no recinto, pois quanto mais próximo das janelas mais alta é a iluminância, fazendo com que exista uma grande diferença nos valores na área do recinto.

A segunda simulação foi feita com o cenário do sistema proposto de distribuição das luminárias com lâmpadas LED's. Esse cenário foi elaborado de forma equivalente em lumens e em pontos. Para isso foi selecionada uma luminária de LED que apresentasse o fluxo luminoso igual ao existente atualmente.

A Tabela 3 mostra o resultado da iluminância média, máxima, mínima e uniformidade para o cenário proposto.

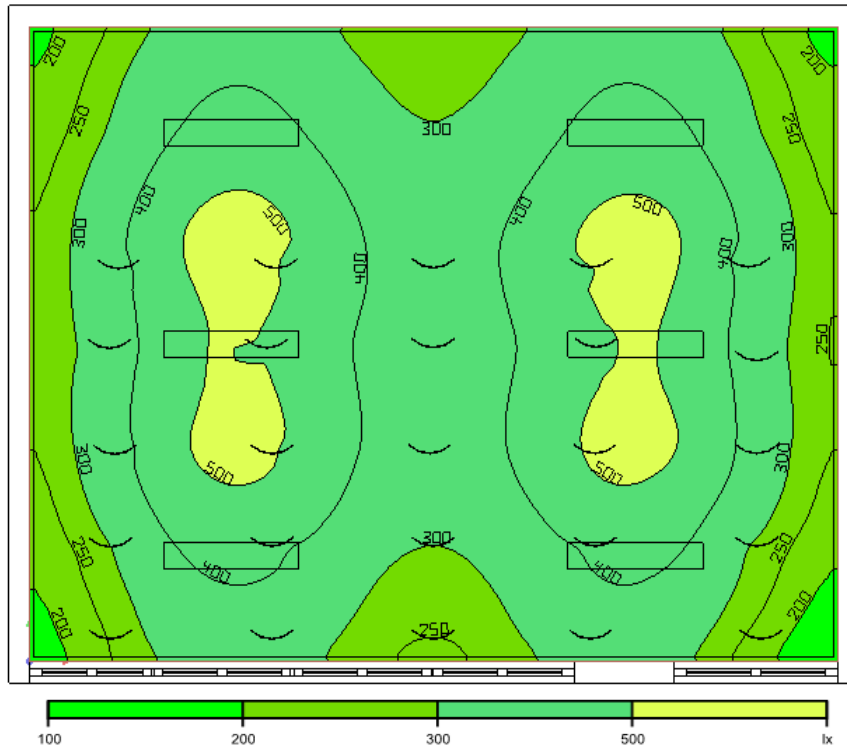
Tabela 3 – Fluxo luminoso simulado a partir do software Dialux, para o cenário proposto

| Sala | E_m (lux) | E_{max} | E_{min} | $E_{mín} / E_m$ |
|-------------|-------------|-----------|-----------|-----------------|
| Palmares I | 379 | 504 | 229 | 0,60 |
| Palmares II | 530 | 1005 | 324 | 0,61 |

Fonte: Própria (2018)

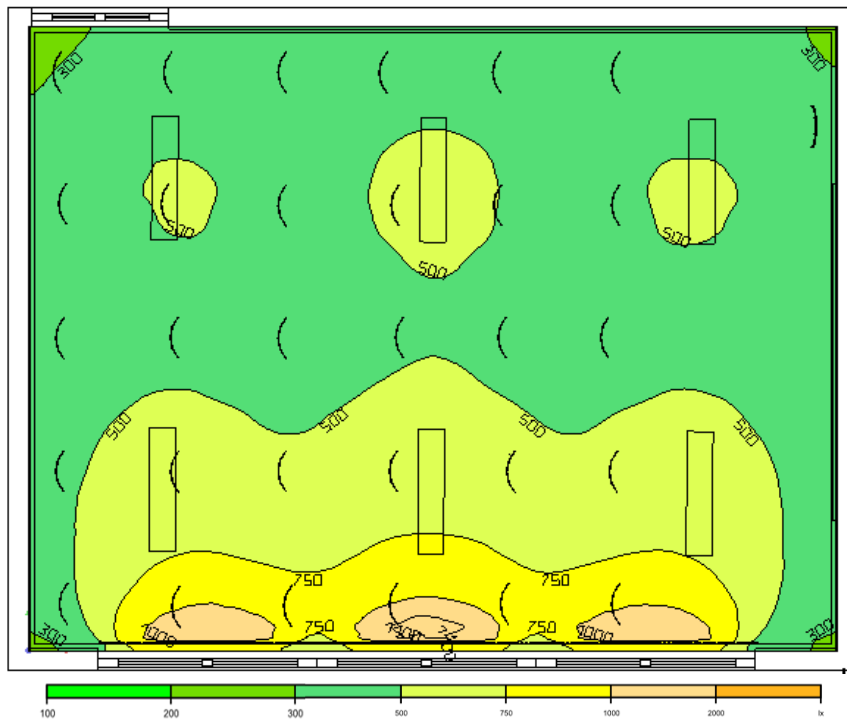
As Figuras 21 (a) e 21 (b) mostram o mapa das isolinhas da iluminância vertical no plano de uso a 0,70 metros do chão para o cenário proposto nos Palmares I e II respectivamente.

Figura 21 (a) - Isolinhas da iluminância com o cenário proposto nos Palmares I



Fonte: Própria (2018)

Figura 21 (b): Isolinhas da iluminância com o cenário proposto nos Palmares II



Fonte: Própria (2018)

Como pode ser observado na tabela 3 a troca das lâmpadas fluorescentes por LED proporciona um aumento na iluminância média de 352 lux para 379 lux nos Palmares I e de 436 lux para 530 lux nos Palmares II. Porém as uniformidades não sofreram muitas alterações.

4.2 Medições da iluminância

Realizaram-se as medições nos pontos P1 e P2 e fez-se a média da iluminância nesses pontos para as salas número 6 e 311 dos Palmares I e II respectivamente. Os resultados são apresentados nas Tabelas 4 (a) e 4 (b) respectivamente.

Tabela 4 - Leituras realizadas nos pontos P1 e P2, sala número 6 Palmares I

| Pontos | P1 | P2 | MP* (lux) |
|-------------------|-------|-------|-----------|
| Iluminância (lux) | 174,5 | 191,5 | 183 |

*MP: Média das iluminâncias nos pontos P.

Tabela 4 (b): Leituras realizadas nos pontos P1 e P2, sala número 311 Palmares II

| Pontos | P1 | P2 | MP (lux) |
|-------------------|-------|-------|----------|
| Iluminância (lux) | 263,2 | 364,7 | 314 |

Fonte: Própria (2018)

O resultado das medições e da iluminância média dos quatro pontos T1, T2, T3 e T4, entre as paredes longitudinais e a linha de luminárias mais próximas, para as salas número 6 e 311 dos Palmares I e II, é apresentado nas Tabelas 5 (a) e 5 (b) respectivamente.

Tabela 5 - Leituras realizadas nos pontos T1, T2, T3 e T4, sala número 6 Palmares I

| Pontos | T1 | T2 | T3 | T4 | MT* (lux) |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| Iluminância (lux) | 418,9 | 236,6 | 402,2 | 190,7 | 319,4 |

*MT: Média das iluminâncias nos pontos T.

Tabela 5 (b): Leituras realizadas nos pontos T1, T2, T3 e T4, sala número 311 Palmares II

| Pontos | T1 | T2 | T3 | T4 | MT (lux) |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|----------|
| Iluminância (lux) | 232,4 | 273,4 | 373,7 | 516,6 | 323,5 |

Fonte: Própria (2018)

Realizaram-se as leituras das iluminâncias dos quatros pontos C1, C2, C3 e C4 e fez-se a média das iluminâncias nesses pontos. Fez-se esse procedimento para as duas salas dos Palmares I e II. Os resultados são apresentados nas Tabelas 6 (a) e 6 (b) respetivamente.

Tabela 6 - Leituras realizadas nos pontos C1, C2, C3 e C4, sala número 6 Palmares I

| Pontos | C1 | C2 | C3 | C4 | MC* (lux) |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| Iluminância (lux) | 472,9 | 402,7 | 388,0 | 316,9 | 319,4 |

*MC: Média das iluminâncias nos pontos C.

Tabela 6 (b): Leituras realizadas nos pontos C1, C2, C3 e C4, sala número 311 Palmares II

| Pontos | C1 | C2 | C3 | C4 | MC (lux) |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|----------|
| Iluminância (lux) | 481,5 | 412,6 | 289,2 | 521,4 | 323,5 |

Fonte: Própria (2018)

O resultado das leituras nos pontos L1, L2, L3 e L4 e da iluminância média nesses pontos é apresentado nas Tabelas 7 (a) e 7 (b) para as salas dos Palmares I e II respetivamente.

Tabela 7 - Leituras realizadas nos pontos L1, L2, L3 e L4, sala número 6 Palmares I

| Pontos | L1 | L2 | L3 | L4 | ML* (lux) |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| Iluminância (lux) | 267,5 | 214,5 | 333,8 | 315,8 | 291,7 |

*ML: Média das iluminâncias nos pontos L.

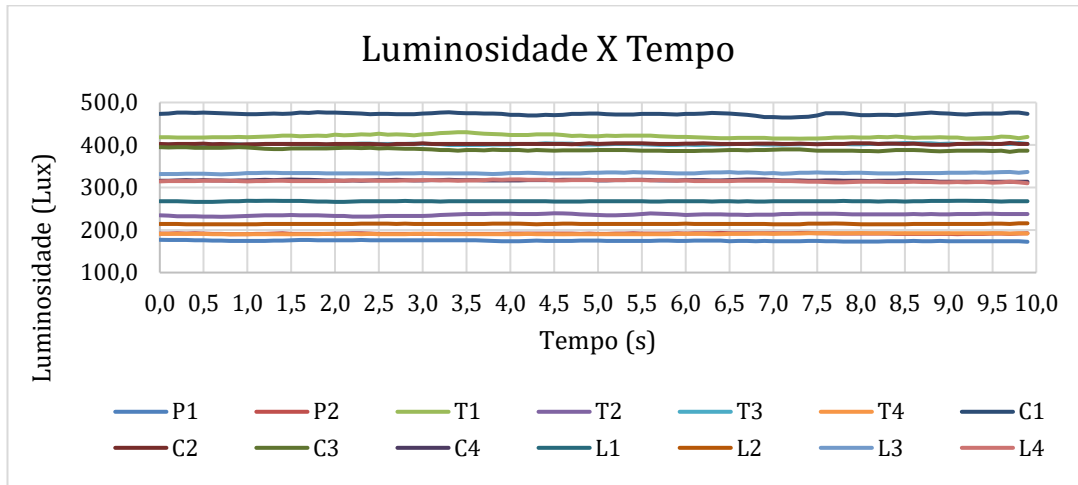
Tabela 7 (b): Leituras realizadas nos pontos L1, L2, L3 e L4, sala número 311 Palmares II

| Pontos | L1 | L2 | L3 | L4 | ML (lux) |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|----------|
| Iluminância (lux) | 449,4 | 443,7 | 428,9 | 443,7 | 446,5 |

Fonte: Própria (2018)

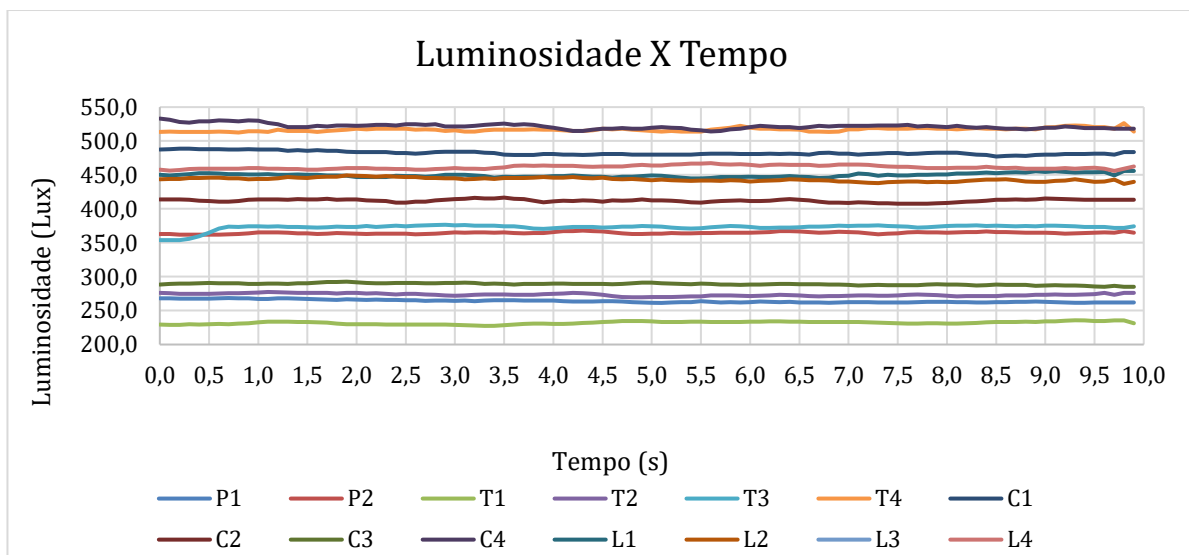
Os Gráficos 3 (a) e 3 (b) possibilitam visualizar mais detalhadamente a variação das iluminâncias nos diferentes pontos ao longo do tempo. A Tabela com os valores medidos em cada ponto encontra-se no Apêndice A desse trabalho.

Gráfico 3 (a): Iluminância de cada ponto medido em função do tempo, Palmares I



Fonte: Própria (2018)

Gráfico 3 (b): Iluminância de cada ponto medido em função do tempo, Palmares II



Fonte: Própria (2018)

Como pode ser observado nos Gráficos 3 (a) e 3 (b) as iluminâncias medidas variam de 172,3 lux a 477,2 lux e de 227,5 a 533,1 lux para Palmares I e II, respetivamente.

Com as médias das iluminâncias MP, MT, MC, e ML calculou-se a iluminância média do recinto a partir da Equação 3 apresentada na secção anterior. A iluminância média do recinto encontrada a partir das medições foram de 312,74 lux para a sala número 6 dos Palmares I e de 404,11 lux para a sala 311 dos Palmares II. As salas de aula dos Palmares II encontram-se mais

bem projetados, no que diz respeito à iluminação, com janelas direcionadas para o exterior aproveitando melhor a iluminação natural, o que não acontece com as salas de aula dos palmares I, pois nessas salas as janelas encontram direcionadas para o corredor pouco iluminado. Outro fator que influenciou nos valores das iluminâncias é o fato de que durante as medições na sala número 6 uma lâmpada não funcionava, esse problema acontece com a maioria das sala dos Palmares I. A partir dos resultados obtidos foi possível constatar que as iluminâncias médias de ambas as salas se encontram de acordo com o especificado na norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013.

O fator de uniformidade do recinto, de acordo com as medições, para os Palmares I encontra-se dentro do especificado pela norma, apresentando um valor de 0,6, ou seja, a relação entre a iluminância mínima e média do recinto é de 0,6. Porém, nos Palmares II o fator de uniformidade do recinto medido ficou um pouco abaixo do especificado na norma apresentando um valor de 0,58, pois existe uma grande faixa de variação da iluminância dentro do recinto devido a influência da iluminação natural através das janelas.

A Tabela 8 apresenta a síntese dos valores obtidos através das simulações e dos valores medidos.

Tabela 8 - Síntese dos valores medidos e simulados

| | Valores medidos | | Valores simulados | |
|--------------|-----------------|-------------|-------------------|-------------|
| | Palmares I | Palmares II | Palmares I | Palmares II |
| E_m (lux) | 312,74 | 404,11 | 352 | 436 |
| Uniformidade | 0,6 | 0,58 | 0,61 | 0,58 |

Fonte: Própria (2018)

Como pode ser observado na tabela 8, os valores medidos e simulados encontram-se muito próximos o que permite concluir veracidade dos valores.

4.3 Estudo de viabilidade técnica e económica

O Quadro 2 que foi elaborado a partir dos procedimentos metodológicos descritos na secção anterior, possibilita ver a economia e o retorno do investimento feito ao substituir as lâmpadas fluorescente por lâmpada LED.

O quadro está dividido em etapas, sendo que na primeira etapa consta as características da iluminação da área de estudo, a segunda as características do uso, a terceira os custos dos materiais envolvidos, a quarta os custos do investimento incluindo a mão-de-obra e a quinta a economia

mensal de energia que resulta da diferença entre os custos da utilização das lâmpadas fluorescentes com os custos da utilização das lâmpadas LED's.

Quadro 2: Análise de viabilidade económica

| 1ª Etapa: Características da Iluminação | | |
|--|-----------------------------|--------------|
| | Fluorescente | LED |
| Modelo | T10 Extra Luz do dia TL 40W | LED TUB. 18W |
| Vida média da Lâmpada (h) | 20000 | 40000 |
| Quantidade de Lâmpadas | 432 | 432 |
| Quantidade de Reator | 216 | 0 |
| Potência total das Lâmpadas (W) | 17280 | 7776 |
| Potência total dos reatores (W) | 864 | 0 |
| Potencia total instalada (W) | 18144 | 7776 |

| 2ª Etapa: Características de uso | | |
|---|---------|---------|
| Tempo de uso mensal ponta (h) | 60 | 60 |
| Tempo de uso mensal fora ponta (h) | 180 | 180 |
| Tempo de uso total (h) | 240 | 240 |
| Consumo mensal ponta (kh) | 1088,64 | 466,56 |
| Consumo mensal fora ponta (kWh) | 3265,92 | 1399,68 |
| Consumo mensal total (kWh) | 4354,56 | 1866,24 |
| Durabilidade média da lâmpada (meses) | 83,333 | 166,67 |

| 3ª Etapa: Custo dos Materiais Envolvidos | | |
|---|-------|-------|
| Preço de cada lâmpada (R\$) | 7,00 | 26,0 |
| Preço de cada luminária (R\$) | 0,00 | 0,00 |
| Tarifa Ponta (R\$) | 1,75 | 1,75 |
| Tarifa Fora Ponta (R\$) | 0,413 | 0,413 |

| 4ª Etapa: Custos de investimento | | |
|---|---|-------|
| Custo de investimento para instalação (R\$) | 0 | 11232 |

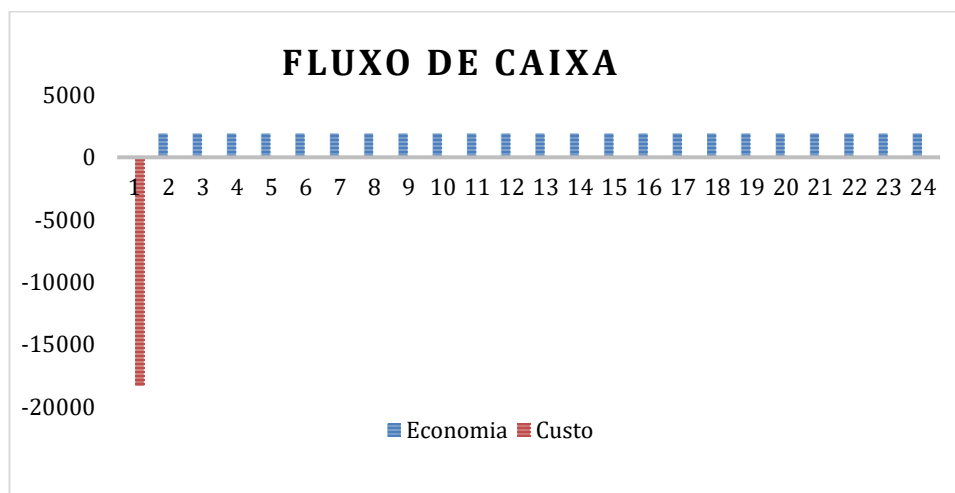
| | | |
|--|---|-----------------|
| Custo mão-de-obra (R\$) | 0 | 5732,64 |
| Somatório de custo de investimento (R\$) | 0 | 16964,64 |

| 5ª Etapa: Economia mensal | | |
|--|---------------|---------|
| Custo consumo mensal de energia ponta (R\$/kwh) | 1905,1 | 816,48 |
| Custo consumo mensal de energia fora ponta (R\$/kwh) | 1348,80 | 578,0 |
| Custo médio mensal de reposição das lâmpadas (R\$) | 36,30 | 0 |
| Somatório dos Custos operacionais (R\$) | 3290,2 | 1394,54 |
| Diferenças mensais entre custos operacionais (R\$) | 1895,7 | |

Fonte: Própria (2018)

Com os valores do custo do investimento e a economia mensal obtido nos cálculos do quadro 2, elaborou-se o fluxo de caixa mensal para a determinação do *payback* descontado, da TIR e do VPL utilizando as fórmulas descritas na seção anterior. O fluxo de caixa é apresentado no Gráfico 4 e no Apêndice B desse trabalho encontra-se a tabela do fluxo de caixa detalhado.

Gráfico 4: Fluxo de caixa



Fonte: Própria (2018)

Assim por meio do cálculo do *payback* descontado obtido a partir do custo total gasto com o investimento, que somam 18260,64 reais e a diferença do consumo de energia mensal do sistema com LED para o de lâmpadas fluorescentes que chega a 1895,7 reais mensais, verificou-se um

retorno de investimento de 18 (dezoito) meses equivalentes a 1 ano e 6 meses. Sabendo que vida útil estimada das lâmpadas Led utilizadas neste estudo é de 40.000 horas que dura em média 7 anos e obtendo como resultado um VPL positivo de 2511 e TIR de 11%, maior do que a TMA, o projeto de substituição de lâmpadas Fluorescentes por Led para as condições adotadas no estudo apresenta-se, economicamente viável.

CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi realizado um estudo luminotécnico das salas de aula da unidade acadêmica dos Palmares da UNILAB, utilizando o *software Dialux* e verificação da iluminância média do recinto através de medições no local. Para além disso realizou-se um estudo de *retrofit* das lâmpadas. O objetivo foi verificar se a iluminação existente encontra-se em conformidade com as normas e analisar a viabilidade da substituição das lâmpadas fluorescentes existentes atualmente por lâmpadas LED's, que apresentam uma maior eficiência na conversão de energia.

Durante a simulação buscou-se reproduzir o cenário o mais próximo possível da realidade, onde foram feitas todas as medições e verificações do sistema de iluminação *in loco* e transferidos para o *software*.

Os resultados das simulações mostraram que o sistema de iluminação atual encontra em conformidade com a NBR ISO/CIE 8995-1:2013, tanto nos Palmares I como nos Palmares II, apresentando uma iluminância média de 352 lux e 436 lux respetivamente, acima da média estabelecida. As janelas direcionadas para o exterior das salas dos Palmares II mostraram grande influência nos resultados, pois, nessas salas é possível aproveitar a iluminação natural aumentando a iluminância média do recinto.

A uniformidade da iluminação no recinto se encontra de acordo com a norma para as salas dos Palmares I, apresentando um valor de 0,61 acima do estabelecido pela norma. Enquanto que nos Palmares II o valor não atingiu o estabelecido pela norma, apresentando um valor de 0,58 um pouco subestimado. Essa baixa uniformidade se explica pelo fato de que existe uma grande diferença nos valores de iluminância dentro da sala, pois, quanto mais perto das janelas mais elevado são os valores de iluminância e vice-versa.

As simulações utilizando o sistema de iluminação proposto mostraram que com a substituição das lâmpadas fluorescentes por LED's, levaria a um aumento da iluminância média 352 lux para 379 lux nos Palmares I e de 436 lux para 530 lux nos Palmares II. A uniformidade da iluminação não sofreria grandes mudanças. Com isso pode-se dizer que no que diz respeito a iluminância média e uniformidade, as lâmpadas LED's substituem satisfatoriamente o sistema de iluminação atual.

No que diz respeito as medições da iluminância média feitas no local, pode-se concluir que a iluminância média se encontra de acordo com o estabelecido na norma, apresentando valores acima da média. Um ponto importante a mencionar é a falta de lâmpadas em praticamente todas

as salas de aula dos Palmares I. A falta de lâmpadas diminui a iluminância e a uniformidade do recinto, principalmente nos espaços mais pertos de onde faltam as lâmpadas, podendo trazer um desconforto visual para os usuários.

Do ponto de vista económico a substituição das lâmpadas fluorescentes por LED's, mostrou-se bastante viável, pois as LED's apresentam menor potência quando comparadas as fluorescentes e uma maior eficiência luminosa, apesar do alto custo do investimento inicial. O custo inicial para a implementação deste projeto foi entorno de 17000 R\$ (dezassete mil reais), levando a economia mensal de cerca de 1900 R\$ (mil e novecentos reais). Com isso o *payback*, ou seja, o tempo de retorno do investimento é de 18 (dezoito) meses.

Além disso o investimento apresentou um VPL positivo, o que quer dizer que o projeto deve ser aceito. O resultado da análise mostrou uma TIR de 11%, valor esse, maior do que a TMA que é de 9%.

A troca das lâmpadas fluorescentes por LED's além de trazer redução do consumo da energia na universidade, pois, ela é mais eficiente, apresentam uma vida útil mais longa, não necessitam de reatores e não possuem materiais tóxicos, podendo ser recicláveis não apresentando grandes danos ao meio ambiente.

CAPÍTULO 6 - REFERÊNCIAS

ABESCO. **O que é eficiência energética.** 2018. Disponível em: <<http://www.abesco.com.br/pt/o-que-e-eficiencia-energetica-ee/>>. Acesso em: 05 mar. 2018.

ALTOÉ, Leandra et al. **Políticas públicas de incentivo à eficiência energética.** Estudos Avançados, São Paulo, v. 31, n. 89, p.285-297, nov. 2017. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v31n89/0103-4014-ea-31-89-0285.pdf>>. Acesso em: 03 ago. 2018.

ANDRÉ, Anderson Soares. **Sistema eletrônico para lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão.** 2014. 142 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa 482, de 17 de abril de 2012, a qual estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 2012.

ASSAF NETO, Alexandre. Matemática Financeira e Suas Aplicações. 11. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2009.

BARBOSA, Jaques da Silva. **Iluminação de interiores: Análise e orientação para aplicações.** 2007. 131 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

BRASSIL. Lei 9.478, de 6 de agosto de 1997. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 1997.

CASTRO, Douglas Bezerra de. Iluminação por LEDs. Revista Especialize On-line, Goiânia, v. 1, n. 05, p.1-13, jul. 2013.

CREDER, Hélio. **Instalações Elétricas.** 15ª edição. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2009.

Decreto 4.059, de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei n.10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 2001b.

DEMAPE. **Reatores para iluminação.** 2018. Disponível em: <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17663/material/manual_reator.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2018.

DUPCZAK, Bruno Scortegagna. **Reator eletrônico para lâmpadas fluorescentes alimentado em corrente contínua.** 2008. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

ELEKTRO (Org.). **Eficiência energética: fundamentos e aplicações.** Campinas: Elektro, 2012. 315 p.

ELETROBRÁS. **Eficiência energética**: Teoria & Prática. 2007. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Efic%20En-Teoria%20e%20Pratica-Eletr-Procet-Unifei%20-07.pdf>>. Acesso em: 23 jul. 2018.

ELETROBRÁS. **Resultados Procel 2018**: Ano de Base 2017. 2018. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2018/docs/Procel_rel_2018_web.pdf>. Acesso em: 10 out. 2018.

EPE. Nota técnica DEA 14/10: **Avaliação da Eficiência energética na indústria e nas residências no horizonte decenal (2010-2019)**, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2010. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20100809_4.pdf>. Acesso em: 06 dez. 2018.

FERREIRA, Juliana Zandona. **Estudo comparativo entre lâmpadas fluorescentes tubulares T8 e tubulares de led**. 2014. 59 f. Monografia (Especialização) - Curso de Construções Sustentáveis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

GEDRA, Ricardo Luis. **Análise de viabilidade financeira para obtenção de créditos de carbono em projetos de eficiência energética**. 2009. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Comércio). Ministério de Desenvolvimento de Indústria e Comércio Exterior. **Lâmpada LED**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/cartilhas/lampada-led/lampadaled.pdf>>. Acesso em: 19 ago. 2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Key world energy statistics 2010**. Disponível em: <<http://www.iea.org>>. Acesso em: 03 Ago. 2018.

ITAIM. **O que é IRC**. Disponível em: <<http://www.itaimiluminacao.com.br/servicos/pressreleaseview/id/179>>. Acesso em: 18 jul. 2018.

KAWASAKI, Juliana Iwashita. **Métodos de cálculo luminotécnico**. 2018. Disponível em: <http://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/documentos/fasciculos/Ed74_fasc_sistemas_iluminacao_cap3.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2018.

Lei 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 2001a.

Lima, Anderson L. et al (2009), Uso de leds em semáforos de trânsito: um estudo de viabilidade técnico-econômica, **Revista Energia Alternativa**, I (3), pp. 42-51.

LUME ARQUITETURA. Reatores Eletrônicos: O que você precisa saber sobre eles. **Lume Arquitetura**, São Paulo, v. 1, n. 5, p.64-67, nov. 2015. Disponível em: <http://www.lumearquitectura.com.br/pdf/ed22/ed_22_aula.pdf>. Acesso em: 13 set. 2018.

LUZ, Jeanine Marchiori da. Luminotécnica. Disponível em: <<http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/Luminotecnica.pdf>>. Acesso em: 08 ago. 2018.

MAIA, Ana Cristina Braga et al. **Manual de Iluminação**. Rio de Janeiro: Procel, 2011. 54 p. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/MANUAL%20DE%20ILUMINACAO%20-%20PROCEL_EPP%20-AGOSTO%202011.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2018.

MALLMANN, Roberta. **Análise da viabilidade de um empreendimento de Produção Musical**. 2012. 81 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Contábeis, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2012.

MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília, 2007.

MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Nacional de Eficiência Energética**. Brasília, 2011.

MODESTO, André Luiz Navarro. **Avaliação do consumo energético de sistemas de iluminação utilizando lâmpadas fluorescentes e led**. 2014. 107 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.

MUSEU DA LÂMPADA. História da lâmpada. Disponível em: <<http://www.museudalampada.com/#!o-fogo/c1fhw>>. Acesso em: 13 ago. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5382: Verificação de iluminância de interiores**. Rio de Janeiro. 1985.

NISKIER, Julio; MACYNTYRE, A. J. **Instalações Elétricas**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2014.

NOGUEIRA, Fernando José. **Avaliação experimental de luminárias empregando LEDs orientadas à iluminação pública**. 2013. 193 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.

NOVICKI; Martinez, JACKSON; Rodrigo, **LEDs PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA**, 2008. Disponível em: <<http://www.cricte2004.eletrica.ufpr.br/ufpr2/tccs/41.pdf>>. Acesso em: 19 ago. 2018.

OLIVEIRA, Mário Henrique da Fonseca. **Avaliação Econômico-Financeira de Investimentos sob Condições de Incerteza: Uma comparação entre o método Monte de Carlo e o VPL Fuzzy**. 2008. 231 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade de São Carlos, São Carlos, 2008.

OSRAM (Ed.). **Iluminação: Conceitos e Projetos**. Osasco: Osram, 2009.

OSRAM. **Manual Luminotécnico Prático**. São Paulo, 2009.

PHILIPS. **Lâmpadas de Descarga: HPLN (Mercúrio)**. 2000. Disponível em: <http://www.lapsi.eletr.ufrgs.br/~luizfg/disciplinas_IEPrediais_arquivos/Lampada%20HPLN.pdf>. Acesso em: 09 ago. 2018.

PIRES, Mônica Fernanda Tavares. A Tecnologia LED na Iluminação Pública do Recife. Revista **Especialize On-line, Goiânia**, v. 13, p.1-14, jul. 2017.

PRADO, Mariana Galvão de Almeida. **Eficiência energética no sistema de iluminação artificial em torrefadora de café**. 2016. 49 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE PETRÓLEO E DERIVADOS. **CONPET**. 2018. Disponível em: <http://www.conpet.gov.br/portal/conpet/pt_br/conteudo-gerais/conpet.shtml>. Acesso em: 10 out. 2018.

RAMOS, Luise Wanderley Torres. **Projeto luminotécnico com tecnologia led para algumas áreas do centro de tecnologia da ufrj**. 2016. 91 f. tcc (graduação) - curso de engenharia elétrica, ufrj, Rio de Janeiro, 2016.

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS). **USE - Uso Sustentável da Energia**: Manual de Economia de Energia. Rio Grande do Sul: PUCRS, 2010. 28 p. Disponível em: <<http://www.pucrs.br/biblioteca/manualuse.pdf>>. Acesso em: 03 Ago. 2018.

RESNICK, Robert; HALLIDAY, David. **Fundamentos de Física: Óptica e Física Moderna**. 8. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2010. 4 v.

SALES, Roberto Pereira. **LED, o novo paradigma da iluminação pública**. 2011. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenvolvimento de Tecnologia, Instituto de Engenharia do Paraná, Curitiba, 2011.

SEBRAE. **Fluxo de caixa**. Disponível em: <<https://m.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/PB/Artigos/cartilha-saiba-mais-fluxo-de-caixa.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2018.

SEINFRA- Secretaria de Infraestrutura. **Tabela de Custos** - Versão 024. Disponível em: <<http://sites.seinfra.ce.gov.br/siproce/onerada/html/18.10.html?a=1493216233000>>. Acesso em: 25 ago. 2018.

SERWAY, Raymond A.; JEWETT, John W.. **Princípios de Física: Óptica e Física Moderna**. 5. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014. 4 v.

SERBENA, H. J. **Plataforma de luminária led para habitação de interesse social**. 2013. 203 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Design, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/>>. Acesso em: 03 abr. 2018.

SILVA, André Luiz Carvalhal da. **Matemática Financeira Aplicada**. 3. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2010.

SILVA, Cintia Gonçalves Mendes da. **Diagnóstico sobre a utilização das lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) como promotoras de eficiência energética nos sistemas de iluminação no Brasil**. 2008. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

SOUZA, Andréa de; GUERRA, Jorge Carlos Correa; KRUGER, Eduardo Leite. Os programas brasileiros em eficiência energética como agentes de reposicionamento do setor elétrico. **Tecnologia e Sociedade**, Curitiba, v. 1, n. 5, p.1-7, ago. 2011.

SOUZA, Dennis Flores de. DIALux: Uma ferramenta em constante evolução. **Lumearquitetura**, São Paulo, v. 4, n. 8, p.38-46, maio 2011.

TAVARES, Sílvia Garcia. **Simulação computacional para projeto de iluminação em arquitetura**. 2007. 183 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

TEIXEIRA FILHO, Vilmar Rocha. **Descarte e reciclagem de lâmpadas**. 2012. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná., Curitiba, 2012.

URTADO, Edson Silva et al. **Aplicação do método do valor presente líquido (vpl) na análise da viabilidade econômica de projetos na indústria metal mecânica**: um estudo de caso. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 13., 2011, Vale do Paraíba. Anais. Vale do Paraíba: Universidade do Vale do Paraíba, 2011. p. 1 - 4. Disponível em: <http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2009/anais/arquivos/0732_0960_01.pdf>. Acesso em: 11 out. 2018.

USP (Brasil). Escola Politécnica da USP. **Lâmpadas elétricas**. Disponível em: <http://gerson.luqueta.com.br/index_arquivos/LAMPADAS.PDF>. Acesso em: 09 ago. 2018.

WANDERLEY, Thiago Costa. A evolução das lâmpadas e a grande revolução dos LEDs. **Revista Especialize On-line Ipog**, Goiânia, v. 1, n. 009, p.1-17, dez. 2014.

APÊNDICE A – VALORES DE MEDIÇÕES

| Tempo (s) | Iluminância (Lux) | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | P 1 | P 2 | T 1 | T 2 | T 3 | T 4 | C 1 | C 2 | C 3 | C 4 | L 1 | L 2 | L 3 | L 4 |
| 0,000 | 177,0 | 191,5 | 418,3 | 234,6 | 400,6 | 191,0 | 472,9 | 402,7 | 394,7 | 316,2 | 267,4 | 214,7 | 331,4 | 314,7 |
| 0,100 | 176,9 | 191,8 | 418,3 | 233,9 | 401,1 | 190,7 | 473,6 | 401,6 | 394,2 | 316,2 | 267,4 | 214,5 | 331,8 | 315,1 |
| 0,200 | 176,6 | 192,2 | 417,8 | 232,5 | 401,6 | 191,2 | 476,5 | 402,7 | 394,7 | 316,9 | 267,4 | 214,3 | 331,8 | 315,1 |
| 0,300 | 176,4 | 191,8 | 417,8 | 232,1 | 401,6 | 191,0 | 476,5 | 402,2 | 394,7 | 317,3 | 267,1 | 213,5 | 332,6 | 315,1 |
| 0,400 | 176,3 | 192,3 | 417,8 | 232,1 | 401,6 | 190,8 | 475,8 | 402,2 | 393,7 | 316,9 | 266,5 | 213,5 | 332,6 | 315,4 |
| 0,500 | 175,9 | 191,8 | 417,2 | 231,9 | 402,2 | 190,7 | 476,5 | 403,3 | 393,7 | 317,3 | 266,3 | 213,7 | 332,2 | 315,8 |
| 0,600 | 175,4 | 191,0 | 418,3 | 231,4 | 401,6 | 190,3 | 475,8 | 401,6 | 393,7 | 316,9 | 266,3 | 213,7 | 331,4 | 316,2 |
| 0,700 | 174,9 | 191,2 | 418,3 | 231,2 | 401,1 | 190,3 | 475,1 | 402,2 | 393,2 | 316,5 | 266,8 | 213,9 | 331,0 | 315,8 |
| 0,800 | 174,4 | 190,2 | 418,3 | 231,6 | 401,6 | 190,0 | 474,4 | 401,6 | 394,2 | 316,2 | 267,4 | 213,7 | 331,4 | 315,8 |
| 0,900 | 174,3 | 190,5 | 418,9 | 232,1 | 401,6 | 190,2 | 472,9 | 401,1 | 394,7 | 316,9 | 267,7 | 213,5 | 332,6 | 315,1 |
| 1,000 | 174,6 | 190,5 | 418,3 | 233,4 | 400,6 | 190,2 | 472,2 | 401,6 | 394,2 | 316,9 | 268,8 | 213,7 | 333,8 | 314,7 |
| 1,100 | 174,7 | 191,0 | 418,9 | 234,1 | 401,6 | 190,3 | 472,2 | 401,6 | 392,7 | 317,6 | 268,5 | 213,9 | 333,8 | 315,4 |
| 1,200 | 174,7 | 191,3 | 419,5 | 234,6 | 402,7 | 190,5 | 472,9 | 402,2 | 391,1 | 318,0 | 268,8 | 214,3 | 335,0 | 315,4 |
| 1,300 | 175,0 | 191,5 | 420,7 | 234,8 | 402,2 | 190,3 | 473,6 | 402,2 | 390,6 | 317,6 | 268,8 | 214,7 | 334,6 | 315,8 |
| 1,400 | 175,4 | 192,1 | 421,8 | 234,6 | 402,7 | 190,3 | 472,9 | 402,7 | 390,6 | 318,0 | 268,5 | 214,5 | 334,2 | 315,8 |
| 1,500 | 175,9 | 191,3 | 421,8 | 235,0 | 402,7 | 190,0 | 474,4 | 402,7 | 392,1 | 318,7 | 268,5 | 214,5 | 333,8 | 315,4 |
| 1,600 | 176,6 | 190,8 | 420,7 | 234,8 | 401,6 | 190,2 | 476,5 | 402,2 | 391,6 | 318,4 | 268,2 | 214,5 | 333,8 | 315,4 |
| 1,700 | 176,6 | 191,2 | 421,2 | 234,8 | 401,6 | 190,3 | 475,8 | 402,7 | 391,6 | 318,0 | 267,4 | 214,3 | 334,2 | 315,4 |
| 1,800 | 176,3 | 190,8 | 421,8 | 234,8 | 401,1 | 190,3 | 477,2 | 402,2 | 392,1 | 317,6 | 267,1 | 214,5 | 333,8 | 315,1 |
| 1,900 | 175,9 | 191,3 | 421,2 | 233,7 | 401,1 | 190,8 | 476,5 | 401,6 | 391,6 | 316,5 | 266,8 | 214,3 | 333,4 | 315,4 |
| 2,000 | 175,7 | 192,0 | 424,2 | 233,4 | 401,1 | 190,5 | 476,5 | 402,2 | 392,6 | 316,5 | 266,3 | 214,5 | 333,0 | 315,8 |
| 2,100 | 175,7 | 192,0 | 423,0 | 233,0 | 401,1 | 190,7 | 475,8 | 402,2 | 393,7 | 316,2 | 266,5 | 214,7 | 333,0 | 315,8 |
| 2,200 | 176,0 | 192,3 | 423,6 | 231,9 | 402,7 | 190,7 | 475,1 | 402,2 | 393,2 | 316,5 | 267,1 | 214,7 | 333,4 | 316,9 |
| 2,300 | 176,4 | 192,1 | 424,8 | 231,6 | 403,3 | 190,3 | 473,7 | 402,2 | 392,6 | 316,2 | 267,4 | 213,3 | 333,4 | 316,5 |
| 2,400 | 176,1 | 192,0 | 424,2 | 231,9 | 403,3 | 190,7 | 472,2 | 402,7 | 393,2 | 316,9 | 267,9 | 215,1 | 333,4 | 316,5 |
| 2,500 | 175,9 | 191,2 | 426,5 | 232,3 | 402,7 | 190,3 | 472,9 | 401,6 | 392,1 | 317,6 | 267,9 | 215,1 | 333,0 | 316,2 |
| 2,600 | 175,7 | 191,2 | 424,2 | 232,8 | 402,2 | 190,3 | 472,9 | 400,6 | 392,6 | 317,6 | 267,7 | 214,9 | 332,6 | 315,8 |
| 2,700 | 175,6 | 191,2 | 424,8 | 233,4 | 402,2 | 190,5 | 472,2 | 402,2 | 391,6 | 318,0 | 267,9 | 214,7 | 333,4 | 316,2 |
| 2,800 | 175,7 | 191,2 | 424,2 | 233,0 | 402,2 | 190,3 | 472,2 | 402,2 | 391,1 | 317,3 | 268,2 | 214,9 | 333,0 | 316,5 |
| 2,900 | 175,9 | 191,3 | 423,0 | 232,8 | 403,3 | 190,7 | 472,2 | 402,7 | 391,1 | 316,5 | 267,9 | 214,5 | 333,0 | 316,9 |
| 3,000 | 176,0 | 191,0 | 425,3 | 233,2 | 402,7 | 191,0 | 473,7 | 403,8 | 390,1 | 316,5 | 267,7 | 214,5 | 333,8 | 317,3 |
| 3,100 | 176,0 | 191,0 | 425,9 | 233,7 | 402,2 | 190,7 | 475,1 | 402,2 | 389,6 | 317,3 | 267,4 | 214,5 | 333,0 | 317,3 |
| 3,200 | 176,0 | 190,8 | 427,7 | 235,0 | 401,6 | 190,3 | 476,5 | 402,2 | 388,0 | 317,6 | 267,1 | 214,7 | 333,4 | 316,5 |
| 3,300 | 176,1 | 191,0 | 428,9 | 235,9 | 400,0 | 190,5 | 477,2 | 402,7 | 388,0 | 318,0 | 267,7 | 214,7 | 333,4 | 316,5 |
| 3,400 | 176,0 | 191,0 | 430,1 | 236,9 | 400,0 | 190,2 | 475,7 | 402,2 | 387,0 | 317,6 | 267,7 | 214,5 | 333,4 | 316,2 |
| 3,500 | 175,9 | 191,0 | 430,1 | 237,3 | 400,0 | 190,3 | 475,0 | 402,7 | 388,0 | 317,3 | 268,0 | 214,5 | 333,4 | 316,5 |
| 3,600 | 175,7 | 191,2 | 427,7 | 237,8 | 400,6 | 190,3 | 475,0 | 402,7 | 388,5 | 317,3 | 267,7 | 214,3 | 333,0 | 316,5 |
| 3,700 | 175,3 | 191,2 | 426,5 | 238,0 | 400,0 | 190,2 | 473,6 | 402,2 | 387,5 | 316,9 | 268,0 | 214,7 | 332,6 | 317,3 |
| 3,800 | 174,2 | 191,2 | 425,9 | 238,2 | 401,1 | 190,3 | 473,6 | 402,2 | 389,1 | 316,5 | 268,0 | 215,3 | 331,8 | 318,8 |
| 3,900 | 173,9 | 191,3 | 424,8 | 238,5 | 401,1 | 190,2 | 472,9 | 402,2 | 388,0 | 316,5 | 267,7 | 215,3 | 332,6 | 318,0 |
| 4,000 | 173,6 | 191,7 | 423,6 | 238,3 | 401,1 | 190,3 | 470,8 | 402,2 | 388,0 | 316,9 | 268,0 | 214,9 | 333,8 | 318,8 |
| 4,100 | 173,5 | 191,7 | 423,6 | 238,0 | 402,7 | 190,5 | 470,8 | 402,2 | 388,5 | 316,5 | 267,7 | 214,9 | 334,2 | 319,1 |
| 4,200 | 174,4 | 192,0 | 423,6 | 237,8 | 402,7 | 190,7 | 469,5 | 402,2 | 387,0 | 317,3 | 267,7 | 214,1 | 335,0 | 318,4 |
| 4,300 | 174,9 | 192,0 | 424,8 | 238,0 | 402,2 | 190,5 | 469,5 | 402,7 | 388,0 | 317,6 | 267,7 | 213,7 | 334,2 | 318,4 |
| 4,400 | 174,2 | 191,8 | 424,8 | 238,7 | 403,8 | 190,3 | 470,8 | 402,2 | 387,5 | 317,3 | 267,7 | 214,1 | 333,0 | 318,0 |
| 4,500 | 174,2 | 191,5 | 424,8 | 239,4 | 403,3 | 190,2 | 470,1 | 402,7 | 387,0 | 317,6 | 267,1 | 214,7 | 333,4 | 316,9 |
| 4,600 | 174,5 | 191,7 | 423,6 | 239,2 | 403,3 | 190,0 | 470,8 | 402,7 | 387,5 | 318,4 | 267,1 | 214,9 | 333,0 | 316,9 |
| 4,700 | 174,3 | 191,7 | 421,2 | 238,5 | 403,3 | 190,2 | 472,9 | 401,6 | 387,5 | 318,0 | 267,1 | 215,1 | 333,0 | 317,3 |
| 4,800 | 175,3 | 191,3 | 421,8 | 237,1 | 401,1 | 190,3 | 472,9 | 402,7 | 387,5 | 318,0 | 267,1 | 214,7 | 333,4 | 317,3 |
| 4,900 | 175,3 | 191,5 | 420,6 | 235,9 | 401,1 | 190,3 | 473,6 | 403,8 | 387,5 | 318,0 | 267,4 | 214,3 | 335,0 | 317,3 |
| 5,000 | 175,0 | 190,8 | 420,6 | 235,3 | 401,1 | 190,3 | 473,6 | 402,7 | 388,0 | 316,9 | 267,4 | 214,3 | 334,6 | 317,3 |
| 5,100 | 174,6 | 191,0 | 421,8 | 234,6 | 401,6 | 190,3 | 472,2 | 403,3 | 388,5 | 316,9 | 267,7 | 214,3 | 335,8 | 317,3 |
| 5,200 | 174,3 | 191,5 | 421,2 | 234,6 | 402,7 | 190,2 | 471,5 | 403,8 | 388,0 | 317,6 | 267,9 | 214,3 | 335,4 | 317,6 |
| 5,300 | 174,3 | 191,5 | 422,4 | 235,5 | 402,2 | 190,3 | 471,5 | 403,8 | 388,0 | 317,6 | 267,7 | 214,5 | 335,0 | 317,6 |
| 5,400 | 174,2 | 192,5 | 422,4 | 236,4 | 402,2 | 190,3 | 471,5 | 403,8 | 387,5 | 318,4 | 267,4 | 214,5 | 336,2 | 317,6 |
| 5,500 | 174,4 | 191,8 | 421,8 | 238,0 | 401,6 | 190,3 | 472,9 | 403,8 | 386,5 | 318,4 | 267,7 | 214,3 | 335,8 | 317,3 |
| 5,600 | 174,7 | 191,5 | 421,8 | 239,0 | 401,1 | 190,5 | 472,9 | 403,3 | 386,5 | 317,3 | 267,1 | 214,5 | 335,4 | 316,5 |
| 5,700 | 175,0 | 191,7 | 420,6 | 238,5 | 400,6 | 190,5 | 472,9 | 402,2 | 386,5 | 316,9 | 266,8 | 214,5 | 335,0 | 317,3 |
| 5,800 | 174,9 | 191,7 | 419,5 | 237,8 | 400,0 | 190,5 | 472,2 | 402,7 | 386,0 | 316,9 | 267,4 | 214,3 | 333,8 | 316,9 |
| 5,900 | 174,7 | 192,1 | 418,9 | 236,9 | 400,6 | 191,0 | 471,5 | 402,7 | 386,0 | 316,9 | 267,7 | 214,5 | 333,0 | 316,2 |
| 6,000 | 174,7 | 192,0 | 418,9 | 235,7 | 401,1 | 191,3 | 472,9 | 403,3 | 386,0 | 317,3 | 267,4 | 214,9 | 333,0 | 316,5 |
| 6,100 | 175,0 | 192,1 | 419,3 | 236,2 | 400,6 | 191,2 | 472,9 | 403,3 | 386,0 | 317,6 | 268,0 | 214,3 | 334,6 | 316,5 |
| 6,200 | 175,0 | 192,3 | 417,8 | 237,1 | 400,6 | 191,0 | 474,3 | 403,8 | 387,0 | 318,0 | 268,0 | 214,5 | 334,6 | 315,1 |
| 6,300 | 174,9 | 192,6 | 416,6 | 236,9 | 401,1 | 190,5 | 475,7 | 403,3 | 387,0 | 316,5 | 267,1 | 214,5 | 335,4 | 315,1 |
| 6,400 | 174,9 | 193,0 | 416,0 | 236,6 | 401,1 | 190,5 | 475,0 | 402,7 | 387,5 | 316,9 | 267,4 | 214,1 | 335,8 | 315,1 |
| 6,500 | 173,9 | 192,5 | 416,0 | 236,2 | 401,6 | 190,7 | 474,3 | 402,7 | 388,5 | 317,3 | 267,4 | 214,5 | 336,2 | 315,4 |
| 6,600 | 174,2 | 192,6 | 416,6 | 235,9 | 402,2 | 191,2 | 472,2 | 402,2 | 388,0 | 318,0 | 267,1 | 214,5 | 334,6 | 315,8 |
| 6,700 | 174,2 | 192,8 | 416,6 | 235,7 | 402,2 | 191,3 | 470,8 | 402,7 | 387,5 | 318,7 | 267,4 | 214,7 | 335,4 | 316,2 |
| 6,800 | 173,9 | 192,3 | 416,6 | 235,9 | 401,6 | 191,5 | 468,8 | 403,3 | 388,0 | 318,7 | 267,1 | 214,7 | 335,0 | 315,8 |
| 6,900 | 174,2 | 192,5 | 416,6 | 235,9 | 401,1 | 191,5 | 466,0 | 403,3 | 388,0 | 318,7 | 267,1 | 214,3 | 333,4 | 315,8 |
| 7,000 | 173,7 | 192,5 | 415,5 | 236,4 | 401,1 | 191,3 | 466,0 | 403,3 | 389,0 | 317,3 | 267,4 | 213,9 | 333,8 | 315,8 |
| 7,100 | 173,9 | 192,5 | 415,5 | 237,3 | 401,1 | 191,7 | 464,6 | 402,7 | 390,1 | 316,9 | 267,4 | 213,7 | 332,6 | 315,1 |
| 7,200 | 173,6 | 192,5 | 415,5 | 237,8 | 401,6 | 191,5 | 464,6 | 402,7 | 390,1 | 316,5 | 267,7 | 213,9 | 333,4 | 315,1 |
| 7,300 | 173,9 | 193,0 | 414,9 | 238,2 | 401,6 | 191,8 | 465,3 | 403,3 | 389,6 | 316,5 | 267,4 | 213,9 | 334,6 | 314,7 |
| 7,400 | 174,3 | 193,3 | 415,5 | 238,2 | 402,2 | 192,1 | 466,7 | 402,7 | 388,5 | 316,2 | 267,7 | 214,9 | 335,0 | 313,6 |
| 7,500 | 174,2 | 192,8 | 415,5 | 238,2 | 402,7 | 192,3 | 469,5 | 401,7 | 387,0 | 316,2 | 267,9 | 215,3 | 335,4 | 313,6 |
| 7,600 | 174,0 | 192,3 | 416,0 | 238,2 | 402,7 | 192,3 | 474,4 | 402,2 | 386,5 | 316,5 | 267,9 | 215,3 | 334,6 | 312,9 |
| 7,700 | 174,0 | 192,0 | 417,2 | 238,2 | 402,7 | 192,6 | 474,4 | 402,2 | 387,0 | 316,9 | 267,9 | 215,5 | 334,6 | 312,2 |
| 7,800 | 173,2 | 191,7 | 41 | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Média | 174,5 | 191,5 | 418,9 | 236,6 | 402,2 | 190,7 | 472,9 | 402,7 | 388,0 | 316,9 | 267,5 | 214,5 | 333,8 | 315,8 |
| MP | 183,0 | | | | | | | | | | | | | |
| MT | 319,4 | | | | | | | | | | | | | |
| MC | 395,4 | | | | | | | | | | | | | |
| ML | 291,7 | | | | | | | | | | | | | |
| Iluminancia média | 312,74 | | | | | | | | | | | | | |
| Uniformidade | 0,6 | | | | | | | | | | | | | |

APÊNDICE B – FLUXO DE CAIXA

| Análise de investimento | | | |
|-------------------------|----------------|----------------|--------------------|
| | Fluxo de caixa | Valor Presente | Saldo investimento |
| 0 | -16964,64 | | -16964,64 |
| 1 | 1895,68512 | 1739,2 | -15225,5 |
| 2 | 1895,68512 | 1595,6 | -13629,9 |
| 3 | 1895,68512 | 1463,8 | -12166,1 |
| 4 | 1895,68512 | 1343,0 | -10823,2 |
| 5 | 1895,68512 | 1232,1 | -9591,1 |
| 6 | 1895,68512 | 1130,3 | -8460,8 |
| 7 | 1895,68512 | 1037,0 | -7423,7 |
| 8 | 1895,68512 | 951,4 | -6472,4 |
| 9 | 1895,68512 | 872,8 | -5599,5 |
| 10 | 1895,68512 | 800,8 | -4798,8 |
| 11 | 1895,68512 | 734,6 | -4064,1 |
| 12 | 1895,68512 | 674,0 | -3390,2 |
| 13 | 1895,68512 | 618,3 | -2771,8 |
| 14 | 1895,68512 | 567,3 | -2204,6 |
| 15 | 1895,68512 | 520,4 | -1684,1 |
| 16 | 1895,68512 | 477,5 | -1206,6 |
| 17 | 1895,68512 | 438,0 | -768,6 |
| 18 | 1895,68512 | 401,9 | -366,7 |
| 19 | 1895,68512 | 368,7 | 2,0 |
| 20 | 1895,68512 | 338,2 | 340,2 |
| 21 | 1895,68512 | 310,3 | 650,5 |
| 22 | 1895,68512 | 284,7 | 935,2 |
| 23 | 1895,68512 | 261,2 | 1196,4 |
| 24 | 1895,68512 | 239,6 | 1436,0 |
| 25 | 1895,68512 | 219,8 | 1655,9 |
| 26 | 1895,68512 | 201,7 | 1857,6 |
| 27 | 1895,68512 | 185,0 | 2042,6 |
| 28 | 1895,68512 | 169,8 | 2212,4 |
| 29 | 1895,68512 | 155,7 | 2368,1 |
| 30 | 1895,68512 | 142,9 | 2511,0 |
| TMA | 9,0% | | |
| TIR | 11% | | |
| VPL | 2511,0 | | |