

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
ENGENHARIA AMBIENTAL

VICTORIA PALMA SANTOS

Eficiência Energética em Sistemas de Iluminação: Ganhos Ambientais e  
Econômicos

São Carlos

2020



VICTORIA PALMA SANTOS

Eficiência Energética em Sistemas de Iluminação: Ganhos Ambientais e  
Econômicos

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental, da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheira Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Frederico Fabio Mauad

São Carlos

2020

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,  
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS  
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da  
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

PS237e Palma Santos, Victoria  
Eficiência Energética em Sistemas de  
Iluminação: Ganhos Ambientais e Econômicos / Victoria  
Palma Santos; orientador Frederico Fabio Mauad. São  
Carlos, 2020.

Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) --  
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de  
São Paulo, 2020.

1. Carbono. 2. Eficiência energética. 3. Emissão  
de gases de efeito estufa. 4. Iluminação. 5. Potencial  
hidrelétrico. I. Título.



## FOLHA DE AVALIAÇÃO OU APROVAÇÃO

### FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): **Victoria Palma Santos**

Data da Defesa: 18/12/2020

Comissão Julgadora:

**Frederico Fabio Mauad (Orientador(a))**

**Talyson de Melo Bolleli**

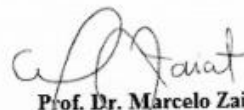
**José Carlos de Melo Vieira Júnior**

Resultado:

Aprovado

Aprovado

Aprovado



**Prof. Dr. Marcelo Zaiat**

Coordenador da Disciplina 1800091- Trabalho de Graduação



## DEDICATÓRIA

*Ao meu pai, Roberto Jesus dos  
Santos, por guardar e iluminar meu  
caminho.*



## AGRADECIMENTOS

Ao Professor Frederico Mauad, pela orientação para elaboração deste trabalho, e suas aulas dinâmicas, compartilhando conhecimento e experiências profissionais e pessoais de maneira simples, fácil e ao alcance de qualquer mentalidade.

A toda minha família, pela nobre educação, por todo o carinho, apoio e disciplina que fundamentam a base necessária para que eu possa alçar voos esplêndidos no âmbito pessoal e profissional.

A todos os meus amigos que vibraram ao meu lado em muitos momentos de felicidade, mas que nunca me desampararam diante das dificuldades percorridas nos trajetos da vida.



## EPÍGRAFE

“O avanço das renováveis não pode alimentar a crença de que os limites naturais deixam de existir com a menor dependência das fontes fósseis.”

Ricardo Abramovay (2011)

## RESUMO

SANTOS, V. P. Eficiência Energética em Sistemas de Iluminação: Ganhos Ambientais e Econômicos. 2020. 58 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.

Pretende-se com este trabalho explicitar ganhos econômicos e ambientais através do projeto de eficiência energética com a solução luminotécnica, que consiste basicamente na substituição de lâmpadas de vapor metálico, sódio, e incandescentes por lâmpadas LED.

Para tanto, foram realizadas pesquisas bibliográficas de literaturas já publicadas, identificando e salientando os principais pilares associados aos projetos de eficiência energética. Enquanto que para embasar e comprovar os fatos neste trabalho apresentados, utilizou-se levantamentos e estudos luminotécnicos de uma planta industrial localizada no Estado de São Paulo.

A maior parte da energia elétrica distribuída hoje em território nacional é provinda de usinas hidrelétricas, no entanto a transformação das áreas de superfície terrestre em áreas hídricas, implicam, além do desmatamento para áreas de transborde, como também na emissão de gases de efeito estufa (GEE), como o dióxido de carbono e o metano através da alteração do ciclo natural do carbono, tornando-se evidente a necessidade de entender a influência do aumento do potencial hidrelétrico Brasileiro e se realmente há essa necessidade para o desenvolvimento econômico do país.

Através das diversas soluções de eficiência energética, podemos contribuir com o meio ambiente, poupando energia (gastos e geração) e também contribuindo com a modernização do parque industrial brasileiro.

Palavras-chave: Carbono 1. Eficiência energética 2. Emissão de gases de efeito estufa 3. Iluminação 4. Potencial hidrelétrico 5.



## ABSTRACT

SANTOS, V. P. **Energy Efficiency in Lighting Systems:** Environmental and Economic Gains. 2020. 58 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.

The aim of this work is to explain economic and environmental gains through the energy efficiency project with the lighting solution, which basically consists of replacing metal vapor, sodium, and incandescent lamps with LED lamps.

To this end, bibliographic research has been conducted on literature already published, identifying and highlighting the main pillars associated with energy efficiency projects. While, to support and prove the facts presented in this work, we used surveys and luminotechnical studies of an industrial plant located in the State of São Paulo.

Most of the electricity distributed today in Brazil comes from hydroelectric power plants, however the transformation of land surface areas into hydroelectric areas implies, in addition to deforestation for overflow areas, as well as the emission of greenhouse gases (GHG), such as carbon dioxide and methane through the alteration of the natural carbon cycle, making evident the need to understand the influence of the increase in Brazil's hydroelectric potential and whether there is really such a need for the country's economic development.

Through the various energy efficiency solutions, we can contribute to the environment, saving energy (expenses and generation), and also contributing to the modernization of the Brazilian industrial park.

Keywords: Carbon 1. Energy efficiency 2. Greenhouse gas emissions 3. Lighting 4. Hydroelectric potential 5.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa: Bacias Hidrográficas Brasileiras .....	33
Figura 2 – Gráfico de participação setorial no consumo de eletricidade no Brasil.....	34
Figura 3 – Mapa de linhas de transmissão .....	35
Figura 4 – Mapa de densidade demográfica.....	35
Figura 5 – Ciclo do Carbono.....	36
Figura 6 – Estrutura de um reservatório.....	38
Figura 7 – Planta industrial metalúrgica, localizada no estado de São Paulo.....	46
Figura 8 – Evolução tecnológica de motores.....	49
Figura 9 – Iluminação em vapor metálico e iluminação em LED.....	51





## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Capacidade Instalada no Sistema Interligado Nacional.....	33
Tabela 2 – Emissões médias de GEE e densidade de potência dos reservatórios.....	23
Tabela 3 – Sistema atual de iluminação da planta.....	46
Tabela 4 – Sistema de iluminação proposto.....	55
Tabela 5 – Comparação de consumos.....	57
Tabela 6 – Fator de emissão médio.....	59
Tabela 7 – Economia de CO <sub>2</sub> .....	59
Tabela 8 – Valores dos equipamentos.....	60



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIMAQ – Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos

ABRACEEL – Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia

ACEEE – American Council for an Energy-Efficient Economy

ACM: Approved Consolidated Methodology

AIA – Agência Internacional de Energia

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

AND – Autoridade Nacional Designada

BEN – Balanço Energético Nacional

CER – Certificado de Emissões Reduzidas

CIMGC – Comissão Interministerial de Mudanças Climáticas

CNUMAD – Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

GEE – Gases de Efeito Estufa

HVAC – Heating, Ventilating and Air Conditioning

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPA – Instituto de Pesquisas da Amazônia

IPCC – Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas

LED – Light Emitter Diode

MCTI – Ministério de Ciência Tecnologia e Informação

MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

MME – Ministério de Minas e Energia

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico

RCEs – Reduções Certificadas de Emissões

SIN – Sistema Interligado Nacional

UHE – Usina Hidrelétrica

UNFCCC – (do inglês, Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima)



## LISTA DE SÍMBOLOS

kWh	Quilo Watts Hora
MW	Mega Watts
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CH <sub>4</sub>	Metano
H <sub>2</sub> O	Água
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	Glicose
O <sub>2</sub>	Oxigênio
H	Hidrogênio
tCO <sub>2</sub> e	Tonelada de dióxido de carbono emitida ao ano
Km <sup>2</sup>	Quilômetro quadrado
MWh	Mega Watts hora
kW	Quilo Watts
Kg	Quilograma
cv	Cavalos de potência
R\$	Reais
Lm	Lumens

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	31
1.1.Objetivos.....	32
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	33
2.1. Matriz energética brasileira.....	33
2.2. Ciclo do Carbono.....	36
2.2. Emissão de dióxido de Carbono   por usinas hidrelétricas.....	37
2.4. Emissão de Carbono do SIN do Brasil.....	39
2.3. Fatores de emissão de Carbono do SIN Brasileiro.....	45
2.6. Eficiência Energética.....	45
2.7. Iluminação e Eficiência Energética.....	49
3 ESTUDO DE CASO.....	53
3.1. Memorial de Cálculos.....	53
3.2. Cálculo de eficiência do Sistema.....	54
3.3. Dados Obtidos.....	55
3.4. Substituição Proposta.....	56
3.5. Economia de Consumo.....	57
3.6. Economia de Carbono.....	58
3.7. Economia Financeira.....	59
4 CONCLUSÃO.....	62

## 1 INTRODUÇÃO

Com a crescente globalização no século XX iniciaram-se as reflexões e discussões a respeito dos impactos e responsabilidades humanas sobre o meio ambiente, colocando em pauta o uso dos recursos naturais e sua relação com o desenvolvimento social e econômico.

Hoje os impactos ambientais atrelados à construção de usinas e barragens são amplamente conhecidos pela sociedade, mas seus impactos decorrentes são pouco difundidos, e para analisarmos de forma crítica alguns desses impactos, podemos tomar como base os sistemas de iluminação.

A utilização dos sistemas de iluminação é indispensável para as atividades industriais, comerciais e residenciais, sendo assim indispensável também a utilização de energia elétrica e embora a matriz elétrica brasileira seja de fonte considerada “limpa” e renovável, os prejuízos ambientais ainda sim são existentes, sobretudo no que diz respeito à construção de novas usinas, e as emissões de gases poluentes referentes ao período de construção e de operação.

Uma das melhores alternativas para a mitigação desses impactos está relacionada a forma atual do uso de energia. Hoje grande parte da energia gerada no Brasil é desperdiçada durante sua utilização, ou seja, há uma grande quantidade de energia consumida por equipamentos, no entanto parcela dessa energia é desperdiçada, sobretudo por conta do uso irracional, mal dimensionamento de planta e equipamentos e ineficiência de tais equipamentos.

Dentre os equipamentos, o que será destacado nesse trabalho são as lâmpadas, presentes em todas as unidades de consumo e que são recorrentemente mal utilizadas, isso porque hoje ainda é muito comum a utilização de lâmpadas incandescentes e fluorescentes em residências, tendo uma porcentagem muito baixa de eficiência, pois a maior parte da energia consumida por esses equipamentos é dissipada através de calor (90% no caso de incandescentes e 60% no caso das fluorescentes).

Em geral, essas lâmpadas ainda são comumente utilizadas por conta de seus baixos custos de aquisição e instalação, se tornando assim uma opção de compra mais atrativa do que os LEDs, que apesar de serem mais caros, apresentam uma melhor relação de custo benefício. A medida que praticamente não dissipam calor, tendo assim praticamente toda sua energia consumida transformada em trabalho/luz, reduzindo gastos com energia e suas tarifas, mas também contribuindo para a redução de emissão de CO<sub>2</sub>.

Uma maneira de avaliar e mensurar essas emissões é através dos fatores de emissão, com suas metodologias frequentemente publicadas pelo IPCC (Painel Intergovernamental sobre



Mudanças Climáticas) através do Guilines for National Grenhouse Gas Inventories. No Brasil, essa metodologia é utilizada na construção do Inventário Nacional das Emissões Antrópicas por Fontes e Remoção por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa, considerando todas as emissões geradas na queima de combustíveis e as emissões relacionadas as explorações de fontes primárias de energia.

Frequentemente esses fatores de emissão são publicados e permitem que diversas indústrias e comércios possam calcular através de métodos simples de conversão a quantidade de dióxido de carbono que é emitida através da quantidade de energia utilizada em seus respectivos estabelecimentos.

A fim de incentivar a redução dos impactos gerados pelo consumo desenfreado de energia, em 1997 durante a convenção do Protocolo de Kyoto, foi desenvolvido o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que é basicamente um procedimento de aprovação de projetos que poderiam negociar créditos de carbono no mercado mundial, tendo como principal objetivo o desenvolvimento sustentável em países com economias emergentes.

## **1.1. Objetivos**

Diante desse cenário, o presente trabalho tem como objetivo analisar um sistema energético de uma planta industrial de segmentação química, através dos equipamentos de iluminação, realizando um levantamento da quantidade atual de energia em kWh e suas respectivas emissões de CO<sub>2</sub>, propondo uma substituição simples desses por equipamentos LED, buscando através das evidências numéricas comprovar os ganhos ambientais e econômicos.

### **1.1.2. Objetivos específicos:**

- Contextualizar e equalizar os entendimentos a respeito do cenário energético brasileiro através de referenciação bibliográfica;
- Apresentar as bases de cálculo utilizadas no presente trabalho;
- Calcular os fatores de emissão do sistema de iluminação da planta industrial tomada como exemplo, e assim apresentar os ganhos relacionados à substituição dos equipamentos.

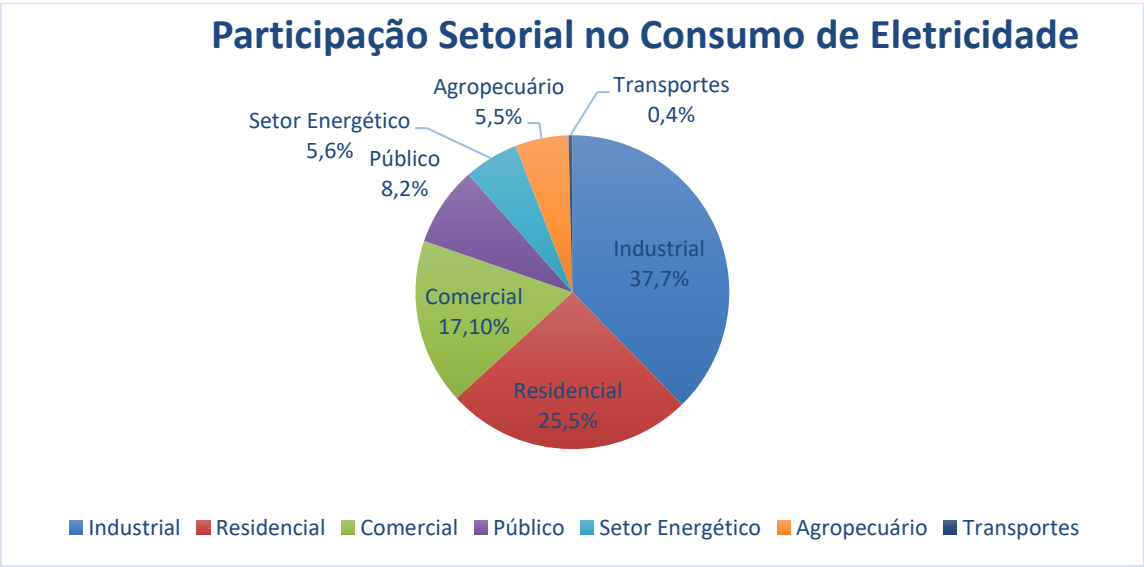


Capacidade Instalada no SIN		
Solar	2987,00	1,80%
Nuclear	1990,00	1,20%
Outras	590,00	0,40%

Fonte: ONS (2020).

Estudos mostraram que já no ano de 2018 o país possuía mais de 61,5 milhões de unidades consumidores, sendo 85% delas residenciais, no entanto a maior parte do consumo de energia elétrica está concentrado no setor industrial, representando 37% do consumo total de energia elétrica, seguido por 25% de consumo residencial e 17% comercial. (BEN 2018).

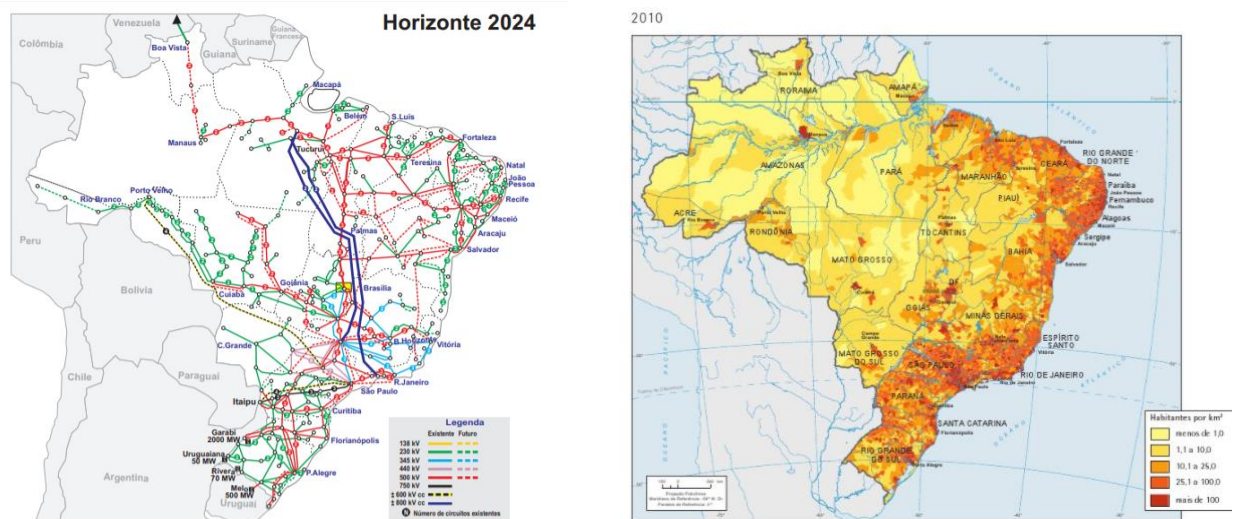
Figura 2: Gráfico de participação setorial no consumo de eletricidade no Brasil



Fonte: BEN (2018)

Entre todos os segmentos de infraestrutura, a energia elétrica é um serviço fundamental para o desenvolvimento social e econômico de um país, no entanto devido às particularidades regionais e contorno territoriais, os sistemas de geração, transmissão e distribuição ainda apresentam determinadas restrições e dificuldades para atender a população como um todo, e acaba tendo como reflexo as concentrações industriais e populacionais em regiões específicas.

Figuras 3 e 4: Mapa de Linhas de transmissão e Mapa de densidade demográfica, respectivamente



Fontes: ONS (2020) e IBGE (2010) respectivamente.

O SIN (Sistema Interligado Nacional), criado em 1998 pela resolução 351/98 do Ministério das Minas e Energia com o intuito de propagar o fornecimento de energia entre todas as regiões do Brasil, representa 98,3% de toda a geração e a transmissão de energia elétrica através de uma imensa malha de linhas de conexão exclusivamente nas regiões Sul, Sudeste, Nordeste, Centro Oeste e uma pequena parte da região Norte. No entanto há ainda diversos sistemas de pequeno porte que não estão conectados ao SIN, como por exemplo algumas Pequenas Centrais Hidrelétricas, esses são então chamados de Sistemas Isolados ou Sistemas de Custo Baixo. Esses sistemas apresentam uma elevada concentração na região Amazônica, devido seus aspectos geográficos, como a presença de densas florestas que, de fato, dificultam a construção de linhas de transmissão.

A interconexão dos sistemas elétricos, por meio da malha de transmissão, propicia a transferência de energia entre subsistemas, permite a obtenção de ganhos sinérgicos e explora a diversidade entre os regimes hidrológicos das bacias. (ONS, 2020).

As atividades de coordenação e controle da operação da geração e da transmissão de energia elétrica no SIN são executadas pelo Operador Nacional do Sistema (ONS), que segue regras estabelecidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), as quais têm por objetivo combinar o menor custo e as melhores condições de segurança de abastecimento para todos os consumidores. (Abraacel, 2019).

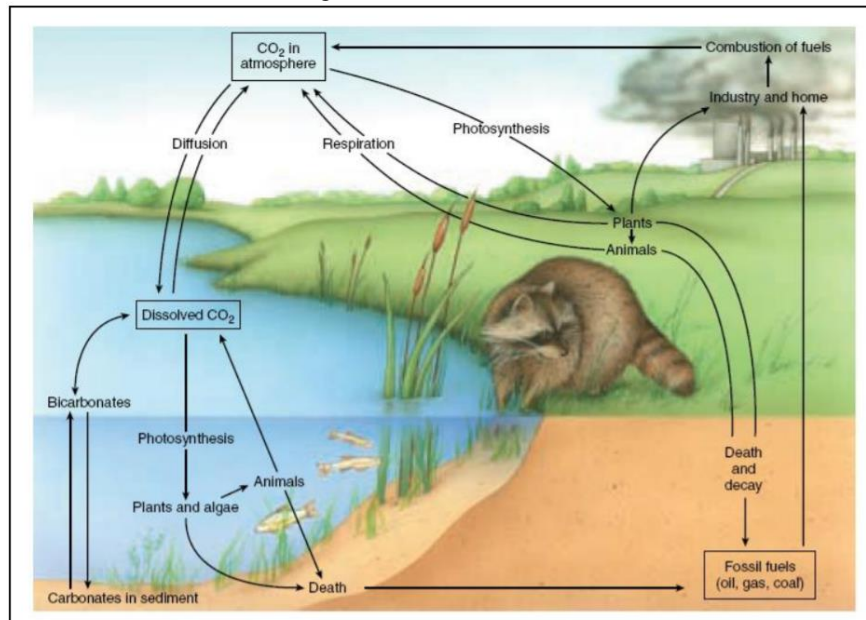
## 2.2. Ciclo do Carbono

O carbono é o quarto elemento mais abundante na terra, sobretudo na forma de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), presente na atmosfera, dissolvido em águas superficiais e águas subterrâneas, em solos e plantas, e para entendermos a relação do carbono com as usinas hidrelétricas, precisamos primeiramente compreender o ciclo do carbono na terra.

O ciclo do carbono, pode ser compreendido através de dois “subciclos” interligados:

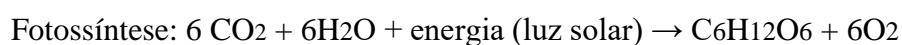
1. Ciclo de trocas rápidas de carbono entre organismos vivos;
2. Ciclo de longo prazo que ocorre através de processos geológicos.

Figura 5: Ciclo do Carbono



Fonte: RAVEN, P. H.; JOHNSON (2014).

Como podemos observar na figura 5, de modo simples, no ciclo biológico do carbono, temos as plantas como um dos principais agentes através do processo de fotossíntese, a medida em que esses organismos autótrofos absorvem energia solar e o carbono presente na atmosfera sob forma de  $\text{CO}_2$ , sintetizando a glicose e liberando oxigênio para a atmosfera.



Enquanto animais e plantas que assimilam a glicose durante o processo de respiração, emitem novamente CO<sub>2</sub>, assim a fotossíntese e a decomposição orgânica, por meio da respiração, renovam o carbono da atmosfera.

Respiração:  $C_6H_{12}O_6$  (matéria orgânica) + 6O<sub>2</sub> → 6 CO<sub>2</sub> + 6 H<sub>2</sub>O + energia

No processo geológico, que ocorre em longo prazo (milhões de anos), o carbono orgânico é gerado através do processo de aterramento, nas camadas mais profundas do solo, da matéria de organismos vivos, ou também quando afundam no oceano tornando-se parte de uma rocha sedimentar. Neste último, temos a dissolução do dióxido de carbono da atmosfera na água através da seguinte reação:



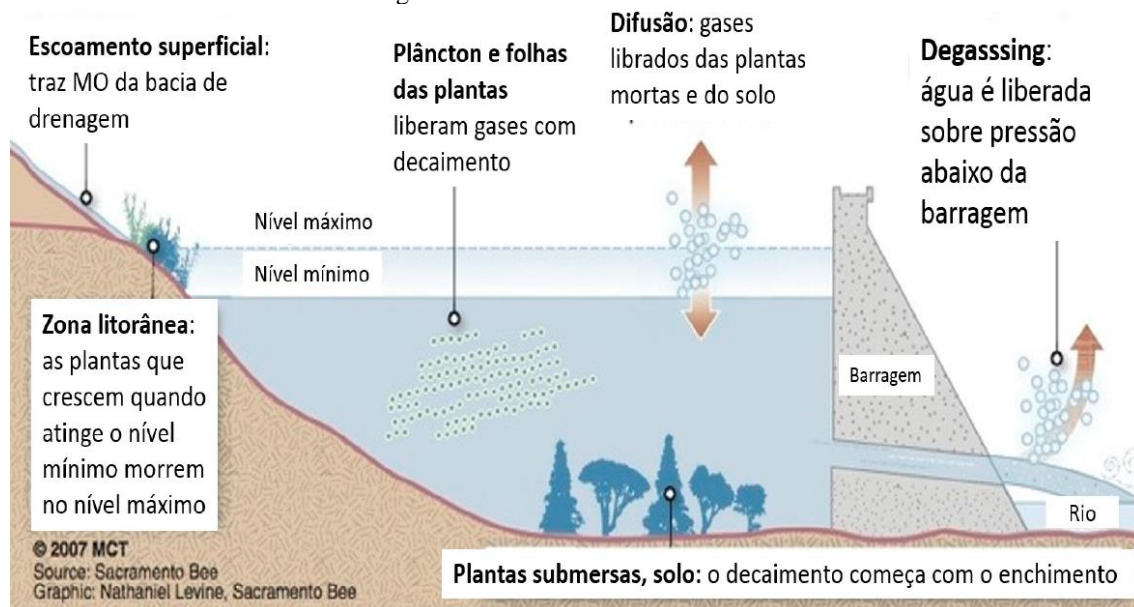
A fixação do carbono em ambientes aquáticos acontece por meio de distintas fontes, que podem ser por meio natural ou ação antropogênica, respectivamente poluição de matéria orgânica, metabolismo e morte de plantas e de organismos aquáticos, dissolução de carbono atmosférico e escoamento superficial da bacia de drenagem (IHA, 2010).

### **2.3. Emissão de dióxido de carbono por usinas hidrelétricas;**

Com o aumento significativo da exploração do potencial hidrelétrico brasileiro na década de 1990, algumas especulações ambientais começaram a se intensificar a fim de entender os riscos que essas usinas poderiam oferecer ao meio ambiente e durante a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD), mais conhecida como Rio-92, onde o foco foi totalmente voltado para as questões ambientais globais, as questões relacionadas as usinas hidrelétricas foram debatidas. A Eletrobrás, que participou do evento, se comprometeu a desenvolver ações para internalizar no Brasil as questões ambientais relacionadas ao setor elétrico, isso porque ao se construir uma usina, há a necessidade de retirar uma significativa área de vegetação por conta da área de inundação da usina. As sobras dessa vegetação que é retirada e o carbono presente no solo acabam resultando na formação de alguns gases, dentre eles o dióxido de carbono e o metano, além do transporte de sedimentos, incluindo matéria orgânica, pelo próprio rio para o reservatório. A figura 6 mostra como ocorre a propagação dos GEE ( Gases de Efeito Estufa) nas áreas represadas.



Figura 6 :Estrutura de um reservatório



Fonte: (Pereira Ferreira, 2010)

Em 1993 a Eletrobrás e a COPPE/UFRJ firmaram um contrato para reduzir os fluxos de gases, sobretudo o dióxido de carbono e o metano, nas usinas. Foram então realizados estudos e análises nas usinas de Balbina (AM), Tucuruí (PA) e Samuel (RO). Foi então observada a forte presença de CH<sub>4</sub> emitido em bolhas, sendo essa ainda mais elevada nos reservatórios mais recentes (ROSA et al, 1996). A situação mais crítica foi diagnosticada na usina de Balbina, onde as emissões de GEE foram mais altas do que a de uma termelétrica de potencial energético equivalente.

Apesar dos dados preocupantes, na época, pesquisadores do INPA (Instituto de Pesquisas da Amazônia) não concordaram com os resultados apresentados, pois de fato, a biomassa, que fica submersa com o alagamento da área do reservatório, tende a se decompor rapidamente tendo seus fatores de emissão reduzidos em poucos anos (ROSA et al, 1996 apud SANTOS et al, 2008), apontando então como principal problema a comparação de fatores que declinam com o tempo com as taxas constantes de emissão das usinas termelétricas.

Alguns outros estudos e tentativas de cálculos foram elaborados e trabalhados a fim de obter os valores reais de emissão de GEE por usinas hidrelétricas e no ano de 2006 o Ministério de Ciência Tecnologia e Informação (MCTI), publicou o Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de GEE – Emissões de Dióxido de Carbono e de Metano pelos Reservatórios Hidrelétricos Brasileiros. O MCTI então propôs uma metodologia de cálculo das emissões de GEE, no entanto as emissões são influenciadas por uma gama de fatores físico-químicos da água, temperatura do ar, insolação, quantidade e composição de biomassa,

profundidade e tempo de afogamento e baseado nessas considerações, há estudos que estimam que em cem anos, dezoito novos reservatórios brasileiros poderão emitir até 21 milhões de toneladas de metano e 310 milhões de dióxido de carbono, indicando que as hidrelétricas são responsáveis por emissão de GEE, contribuindo diretamente para o efeito estufa e o desequilíbrio do clima, sobretudo na região amazônica, onde à presença abundante de matéria orgânica e temperaturas elevadas, facilitando o processo de decomposição. A tabela 3 mostra as emissões de GEE dos reservatórios de algumas usinas brasileiras, localizadas na região amazônica e que apresentam números elevados de emissões anuais.

Tabela 3: Emissões médias de GEEs e densidade de potência dos reservatórios

<b>Reservatório</b>	<b>Emissões anuais (tCO<sub>2</sub>e/ano)</b>	<b>Potência instalada (MW)</b>	<b>Área do reservatório (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Densidade de Potência (MW.km<sup>2</sup>)</b>
Miranda	38.332	390	50,6	7,7
Três Marias	540.335	396	1.040	0,4
Barra Bonita	137.341	140,8	312	0,5
Segredo	23.497	1260	82	15,4
Xingo	41.668	3000	60	50
Samuel	535.407	216	559	0,4
Tucuruí	2.602.495	4240	2.430	1,7
Itaipu	93.269	12600	1.549	8,1
Balbina	6.700.000	250	2.600	0,1

Aqui é importante ressaltar, que apesar dos danos ambientais, o aproveitamento dos recursos hídricos é extremamente importante para a manutenção das condições elétricas do país, que influenciam diretamente no desenvolvimento social e econômico, portanto cabe aqui a reflexão a respeito de melhores formas de aproveitamento. Uma alternativa seria a construção de novas UHEs com elevadas densidades energéticas e a retirada da vegetação terrestre antes do enchimento dos reservatórios, que possivelmente pode contribuir para reduzir tais emissões. (KEMENES; FORSBURG; MELACK, 2008).

## 2.4. Emissão de carbono do SIN do Brasil



Os fatores de emissão de CO<sub>2</sub> resultantes da geração de energia elétrica verificada no SIN do Brasil são calculados a partir dos registros de geração das usinas despachadas centralizadamente pelo ONS. O sistema de cálculo dos fatores de emissão de CO<sub>2</sub> foi desenvolvido através de uma parceria entre o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e o Ministério de Minas e Energia (MME), tendo como base as diretrizes da metodologia ACM0002.(MCTI, 2006).

O MDL (Mecanismos de Desenvolvimento Limpo) como parte integrante do Protocolo de Kyoto, tendo como principal objetivo a redução de emissões dos GEE's em países subdesenvolvidos e emergentes, permite que projetos realizados nos países em desenvolvimento, possam gerar os RCEs, os chamados “créditos de carbono”.

Um projeto para se qualificar como projeto de MDL precisa necessariamente cumprir uma série de exigências dentre as quais seguir estritamente uma metodologia aprovada pelo Conselho Executivo do MDL, não só por motivos de padronização, mas também a fim de garantir de fato a eficiência e os ganhos ambientais obtidos através da execução dos projetos. Já os projetos que ofertam energia elétrica para a rede ou que reduzem ou eliminam o consumo de energia da rede devem utilizar o fator de emissão de CO<sub>2</sub> associado ao SIN para calcular as reduções obtidas com a implantação do projeto (MCTI, 2006). Dependendo da escala do projeto e complexidade do projeto e também, da composição das usinas que formam o sistema elétrico estudado, há quatro maneiras diferentes de calcular o fator de emissão da margem de operação. Porém, a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CIMGC), como Autoridade Nacional Designada brasileira (AND), adotou um sistema único como padrão para projetos de MDL indicando a ferramenta para calcular fatores de emissão associados à metodologia ACM0002 para estimar as reduções de GEEs (MCTI, 2008). Dessa forma, a ferramenta metodológica fornece as diretrizes para os cálculos dos fatores de emissões do sistema elétrico que podem ser usadas nas opções metodológicas disponíveis: ACM 0002, AMS-I.D. e AMS-III.AC. O cálculo do fator da margem de operação pode ser realizado através do método da “margem de operação” OM simples, OM simples ajustada, OM da análise dos dados de despacho ou OM médio.

Desde 2008 o MCTI passou a fornecer os fatores de emissão de CO<sub>2</sub> oficiais para a margem de operação correspondente a todo o SIN, com base na opção Análise de Dados de despacho (MCTI, 2008). Esta opção leva em conta o custo marginal de operação das usinas na precedência de entrega de eletricidade para a rede, ou seja, pelo mérito de despacho. O fator de

emissão de CO<sub>2</sub> da margem de construção (BM) também é fornecido pelo MCTI e ambos são encontrados na página eletrônica do MCTI. Além dos fatores de emissão de CO<sub>2</sub> para energia elétrica, o MCTI também fornece os fatores de emissão de CO<sub>2</sub> para serem usados em inventários corporativos. Os fatores de emissão de CO<sub>2</sub> calculados a partir da ferramenta metodológica que têm como objetivo estimar a contribuição, em termos de redução de emissões de CO<sub>2</sub>, de um projeto de MDL que gere eletricidade para a rede. Resumidamente, o fator de emissão do SIN para fins de MDL é uma combinação do fator de emissão da margem de operação, que reflete a intensidade das emissões de CO<sub>2</sub> da energia despachada na margem, com o fator de emissão da margem de construção, que reflete a intensidade das emissões de CO<sub>2</sub> das últimas usinas construídas. É um algoritmo amplamente utilizado para quantificar a contribuição futura de uma usina que vai gerar eletricidade para a rede em termos de redução de emissões de CO<sub>2</sub> em relação a um cenário de linha de base. A sua utilidade está associada a projetos de MDL e se aplica, exclusivamente, para estimar as RCEs dos projetos de MDL. (MCTI, 2013). Além da opção do fator de emissão da margem de operação pelo método da análise de despacho, com valores horários, e cuja utilização por um projeto de MDL exige monitoramento horário da energia gerada ou consumida, o MCTI passou a publicar, a partir da Resolução N° 12, uma segunda opção, o fator de emissão da margem de operação pelo método simples ajustado, com valores calculados anualmente. As opções estão contempladas na citada ferramenta metodológica, que informa como poderão ser usadas. (Ibid.).

#### 2.4.1. Ferramenta para cálculo do fator de emissão de um sistema elétrico – TOOL 7

Diversas metodologias de cálculo do fator de emissão foram submetidas e analisadas pelo Comitê Executivo do MDL, no entanto em 2004 foi aprovada metodologia ACM0002. Em 2007 essa metodologia passou por diversas revisões e modificações, se tornando essa a metodologia base para todos os projetos que deslocam eletricidade do SIN, utilizando-se então a ferramenta base de cálculo: Tool to calculate the emission fator for na electrity system, para determinar o fator de emissão do sistema elétrico que representa quanto de eletricidade será deslocado com a entrada do projeto, medido em t CO<sub>2</sub>/MWh, demonstrando assim a mitigação de emissões de GEE.

A ferramenta metodológica para o cálculo da emissão de um sistema elétrico estipula o fator de emissão de dióxido de carbono gerado através da produção de energia elétrica por usinas

hidrelétricas, utilizando o fator de margem combinada (CM) do sistema elétrico. (UNFCCC,2015).

Sendo o CM o resultado entre a média ponderada dos dois fatores relacionados de emissão, a margem de operação (OM) e a margem de construção (CM), sendo a margem de operação a que refere-se as plantas de energias já existentes, que teria sua geração de eletricidade atual alterada por conta da atividade do projeto proposto. Enquanto a margem de construção refere-se as energias futuras, que teriam sua construção e operação futuras afetadas através da atividade do projeto proposta.

A margem operacional é definida pelo conjunto de usinas existentes, cujas gerações podem ser afetadas com as atividades do projeto de MDL. Essa medida é dada pelo fator de emissão da margem operacional, calculado com base nas energias geradas pelas usinas que estão operando na margem do sistema elétrico e nos seus respectivos fatores de emissão que refletem, em última estância, o montante de emissões por unidade de energia que poderá ser deslocado com a entrada do projeto de MDL. (Ibid.).

A margem de construção se refere aos empreendimentos cujas construções mais recentes poderão ser afetadas com a implementação das atividades do projeto MDL. O fator de emissão da margem de construção é calculado com base num provável deslocamento das emissões por unidade de energia gerada associado às emissões do conjunto de capacidade adicional ao sistema elétrico que compreende 20% da geração do sistema, recentemente instalada no sistema elétrico brasileiro. (Ibid.).

Para a realização do cálculo do fator de margem operacional existem basicamente 4 métodos, sendo que qualquer um deles pode ser adotado conforme as características e informações disponíveis a respeito do sistema elétrico, sendo eles:

- (a) OM simples;
- (b) OM simples ajustada;
- (c) OM da análise dos dados de despacho;
- (d) OM médio

#### 2.4.2. Método da OM simples

O fator de emissão através do método da margem de operação simples é calculado através da média ponderada das emissões de geração por unidade, de todas as fontes que abastecem o SIN, com exceção das plantas de energia de baixo custo ou inflexíveis.

Sendo então o fator de emissão da OM simples calculado com base na geração líquida de eletricidade de cada planta, temos um fator de emissão para cada:

$$EF_{\text{grid,OMsimple},y} = \frac{\sum_m EG_{m,y} \times EF_{EL,m,y}}{\sum_m EG_{m,y}}$$

Onde  $EF_{\text{grid,OMsimple},y}$  é o fator de emissão de CO<sub>2</sub> na margem de operação simples no ano y, dado em t CO<sub>2</sub>.MWh<sup>-1</sup>. Sendo  $EG_{m,y}$  a quantidade líquida de energia gerada e entregue ao SIN pela usina m, no ano y em MWh e  $EF_{EL,m,y}$  o fator de emissão de CO<sub>2</sub> da unidade m, no ano y em t CO<sub>2</sub>. MWh<sup>-1</sup>.

#### 2.4.2. Método da Margem de operação simples ajustada

Esse método é uma variação da OM simples, neste caso os fatores de emissão são aqueles resultantes considerando-se a exclusão de todas as centrais de baixo custo e aquelas que são consideradas inflexíveis (k). Este método somente pode ser usado segundo a metodologia descrita pela ONU quando as usinas de baixo custo e inflexíveis representarem no mínimo 50% da produção de energia elétrica no sistema interligado nos últimos 5 anos, e pode ser calculado do seguinte modo:

Assim como a metodologia de OM simples, é calculada com base na geração líquida de eletricidade de cada usina e um fator de emissão para cada usina:

$$EF_{\text{grid,OM-adj},y} = (1 - \lambda_y) \times \frac{\sum_m EG_{m,y} \times EF_{EL,m,y}}{\sum_m EG_{m,y}} + \lambda_y \times \frac{\sum_m EG_{k,y} \times EF_{EL,k,y}}{\sum_k EG_{k,y}}$$

Onde  $EF_{\text{grid,OM-adj},y}$  é o fator de emissão de CO<sub>2</sub> da margem de operação simples ajustada no ano y (t CO<sub>2</sub>.MWh<sup>-1</sup>);  $\lambda_y$ , fator que expresa a porcentagem de tempo que as usinas inflexíveis/baixo custo estão na margem no ano y;  $EG_{m,y}$ , quantidade de energia elétrica líquida gerada e entregue à rede pela usina m no ano y (MWh);  $EG_{k,y}$ , quantidade de energia elétrica líquida gerada e entregue à rede pela usina k no ano y (MWh);  $EF_{EL,m,y}$ , fator de emissão de CO<sub>2</sub> da usina m no ano y (t CO<sub>2</sub>.MWh<sup>-1</sup>);  $EF_{EL,k,y}$ , fator de emissão de CO<sub>2</sub> da usina k no ano

$y$  (t CO<sub>2</sub>.MWh<sup>-1</sup>);  $m$ , todas as usinas que servem a rede no ano  $y$  exceto usinas inflexíveis/baixo custo e;  $k$  todas as usinas inflexíveis/baixo custo da rede que servem a rede no ano  $y$ .

Sendo  $\lambda_y$  definido como a relação do número de horas das usinas de baixo custo/inflexíveis que estão na margem do ano  $y$ , por 8.760 horas por ano. Ou pode-se utilizar os valores padrão de  $\lambda$  da Tabela 1 no Anexo A com base na parte da geração de eletricidade a partir de fontes inflexíveis/baixo custo na geração total usando: (a) média dos últimos cinco anos, ou (b) com base na média de longo prazo para a produção de eletricidade.

#### 2.4.3. Método da margem de operação da análise de despacho

Neste caso o fator de emissão é calculado pelas emissões das centrais pertencentes ao aos 10% do topo da ordem do despacho em cada hora do dia. As recomendações da ONU são para em existindo dados priorizar o Método da Análise de Despacho, não se aplicando a dados históricos e fazendo-se necessário o acompanhamento anual do  $EF_{grid,OM-DD,y}$ . Sendo este o método utilizado para projetos realizados no Brasil.

O fator de emissão é então calculado da seguinte forma:

$$EF_{grid,OM-DD,y} = \frac{\sum_m EG_{PJ,h} \times EF_{EL,DD,y}}{EG_{PJ,y}}$$

Onde  $EF_{grid,OM-DD,y}$  é o fator de emissão de CO<sub>2</sub> da margem de operação da análise dos dados de despacho no ano  $y$  (t CO<sub>2</sub>.MWh<sup>-1</sup>);  $EG_{PJ,h}$ , energia elétrica deslocada pela atividade de projeto no ano  $y$  (MWh);  $EF_{EL,DD,y}$ , fator de emissão de CO<sub>2</sub> para usinas da rede no topo da ordem de despacho na hora  $h$  no ano  $y$  (t CO<sub>2</sub>.MWh<sup>-1</sup>);  $EG_{PJ,y}$ , total de energia elétrica deslocada pela atividade de projeto no ano  $y$  (MWh);  $h$ , horas no ano  $y$  que a atividade de projeto esta deslocando eletricidade da rede e;  $y$ , ano em que a atividade de projeto está deslocando eletricidade da rede.

#### 2.4.4. Método da Margem Combinada

Esse método avalia também o resultado das alternativas (A – OM Simples) ou (B – OM Simples Ajustada)) com a expansão do sistema elétrico. Para a realização do cálculo utiliza-se a mesma equação do método da margem de operação simples, no entanto considera-se também as usinas de baixo custo/ inflexíveis.

## **2.5.Fatores de emissão de carbono do SIN Brasileiro**

Desde 2008 o MCTI fornece os fatores de emissão de CO<sub>2</sub> oficiais para a margem de operação e construção de todo o SIN, adotando como metodologia oficial a opção de Análise de Despacho, sendo esses dados publicados quase periodicamente na página eletrônica do MCTI. Além disso, também são publicados os fatores de emissão de CO<sub>2</sub> para inventários corporativos.

Em suma, esses fatores de emissão de CO<sub>2</sub> permitem que sejam realizados cálculos para verificar a redução de emissão de dióxido de carbono através da implantação de algum projeto que altere a demanda de energia de uma dada planta, ou seja, um projeto que estaria apto aos fins de MDL, permitindo assim, que os projetos executados no Brasil (país em desenvolvimento – classificado no anexo 1 do MDL), possam ser utilizados para obtenção dos Certificados de Emissões Reduzidas (CER) e consequentemente negociações comerciais com países desenvolvidos, que precisam cumprir obrigatoriamente as reduções de emissões, conforme o artigo 12 do Protocolo de Kyoto.

### **2.5.1. Inventários Corporativos de Emissão de Gases de Efeito Estufa**

Os inventários corporativos são uma importante ferramenta para organizações que permitem quantificar o impacto dessas no meio ambiente, sobretudo no que diz respeito aos efeitos climáticos, à medida que são realizados com base nos fatores de emissão.

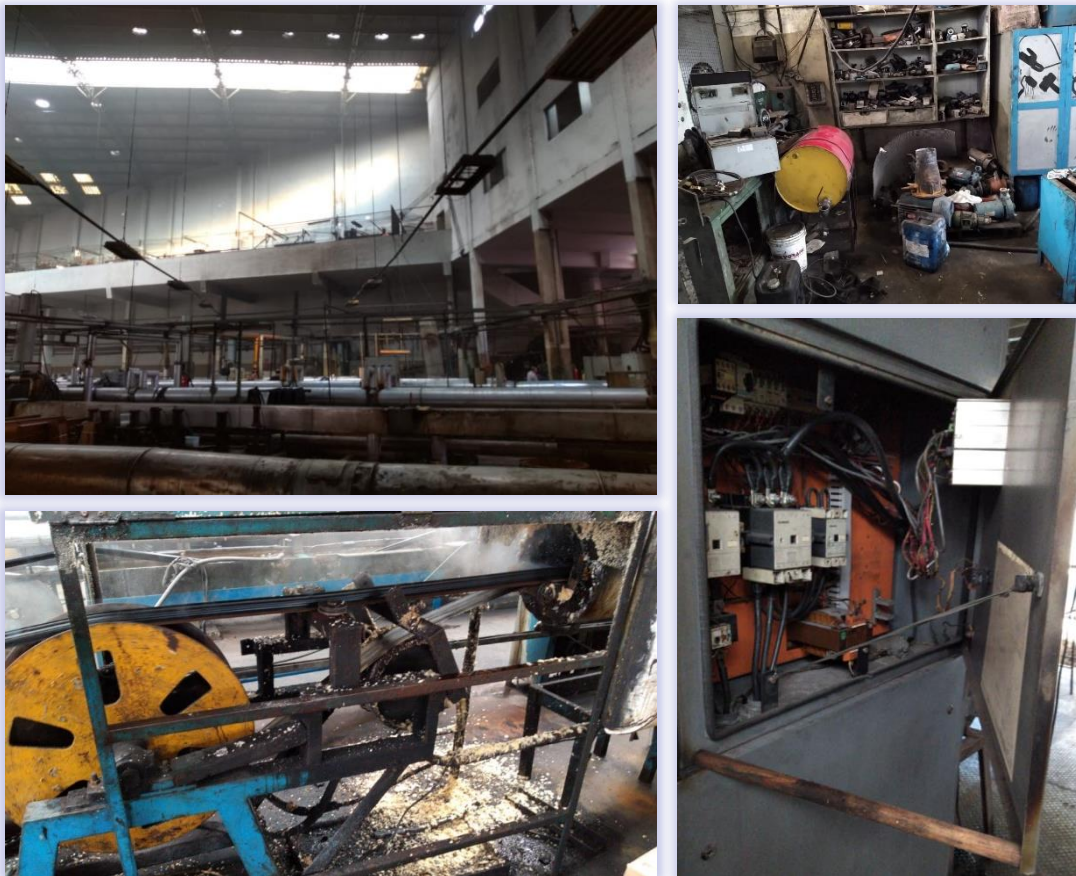
Esses inventários também são contemplados pelo MDL, permitindo também as negociações comerciais com base nos CER. No entanto as fontes de emissão para base de cálculo não são as mesmas utilizadas para os temas de energia elétrica, e por isso não serão aqui detalhadas, uma vez que visam identificar todas as fontes correlacionadas de emissão de GEE.

## 2.6. Eficiência Energética

### 2.6.1. Parque Industrial Brasileiro:

Para entender os pilares da eficiência energética e seus benefícios atrelados, faz-se necessário o entendimento sobre a situação atual do parque industrial brasileiro. O parque industrial brasileiro têm uma idade média de 17 anos, enquanto parques industriais de países desenvolvidos, tal como a Alemanha, tem cerca de 5 anos apenas, e tal fato é refletido em plantas e consequentemente em seus respectivos processos produtivos. (ABIMAQ, 2013), como podemos ver na figura 7, uma planta da indústria metalúrgica em situações precárias de manutenção.

Figura 7: Planta industrial metalúrgica, localizada no estado de São Paulo - Brasil



Fonte: Autora.

O Brasil gasta cerca de 3,29\$/per capita com eficiência energética, enquanto a Alemanha, investe aproximadamente 318,49 \$/per capita. Uma disparidade muito grande refletida diretamente no seu parque industrial e na sua cadeia produtiva. (ACEEE, 2016).

A implementação de projetos de eficiência energética permite, além da redução dos custos com energia elétrica, a modernização do parque industrial, aumento de eficiência de aparelhos, modernização dos processos produtivos, redução de gastos com manutenção e vantagens competitivas de mercado.

Uma pesquisa realizada em parceria com o Ministério de Minas e Energia, analisou 1.167 plantas industriais de diversos segmentos, como alumínio, celulose e papel, cerâmica, siderúrgica e alimentos, projetou que apenas com a mudança de gestão de energia em processos produtivos, poderia obter-se cerca de 40% na redução de consumo, dentre esses processos, HVAC e iluminação apresentam as reduções mais significativas. (EPE, 2019).

#### 2.6.2. Eficiência Energética e o seu potencial

Quando se pensa na execução de um projeto de eficiência em uma planta, sempre leva-se em consideração dois potenciais que podem afirmar ou não a necessidade de implantação de um projeto, são eles o potencial técnico e o potencial econômico do projeto.

O potencial técnico sempre caminha para a análise de viabilidade técnica, ou seja, as necessidades e ganhos técnicos pela execução do projeto. Faz-se necessária a análise da real necessidade de substituição dos equipamentos, possíveis defeitos e danos que podem ser estendidos para o restante da linha, verificam-se também os ganhos técnicos que podem ser obtidos com a implementação de um projeto de eficiência energética, como o aumento da segurança das operações, maior confiabilidade dos aparelhos, automatização, e controles e indicadores obtidos em tempo real, além de possibilidades de aumento de produção e redução de mão de obra, ambos se enquadrando em potenciais técnicos e econômicos.

Já o potencial econômico está atrelado aos custos de implantação do projeto correlacionado com os ganhos através da implantação do mesmo, podendo observar esses ganhos tanto através da redução direta dos gastos com energia elétrica, como também através da redução das despesas com manutenção e mão de obra.

Além dos potenciais acima citados, tem-se tornado crescente a relevância do potencial ambiental, que é basicamente os ganhos ambientais atrelados a redução de energia obtida através da implantação do projeto, estipulados através dos fatores de emissão.



A implantação de um projeto de eficiência energética busca otimizar a utilização da energia e a redução do desperdício. Dentro do setor industrial, os sistemas de acionamento podem chegar a ser responsáveis por metade do consumo de energia elétrica, sendo que sua eficiência pode ser aumentada de diversas maneiras simples, como por exemplo a utilização de até mesmo um inversor de frequência, redução de potência de motores superdimensionados.

### 2.6.3. Soluções de Eficiência Energética

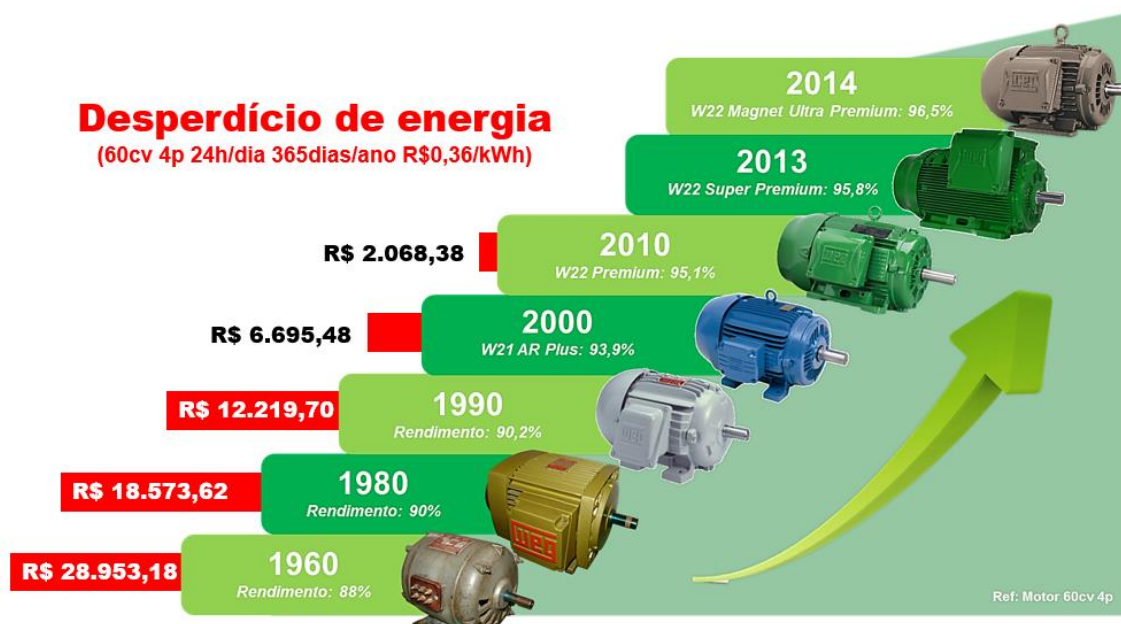
As soluções de eficiência energética disponíveis hoje no mercado, contemplam variados temas industriais, tais como compressores de ar, HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning), iluminação, motores, caldeiras, fator de potência, e outros.

Em alguns prédios comerciais, por exemplo, projetos de iluminação e HVAC são os mais comuns, podendo reduzir energia tanto pela substituição de lâmpadas fluorescentes (mais usuais), como também pela combinação de redução de ganhos térmicos do prédio, utilizando tecnologias de refrigeração mais eficientes e um melhor controle do sistema. Poole e Geller (1997).

Já para o parque industrial brasileiro, pode-se mapear muitas outras soluções de eficiência energética, como por exemplo, um projeto executado por um grupo de eficiência energética brasileiro, que realizou a troca de 13 compressores parafusos, totalizando uma potência total instalada de 2.963kW, totalizando um consumo mensal de energia de 2.162.990kWh por apenas 2 compressores centrífugos com potência total de 2.056kW, com um consumo mensal de energia de 1.500.880 kWh, obtendo cerca de 31% de redução no consumo de energia elétrica. (Comerc ESCO, 2020).

Há também grandes economias através da troca de motores, onde apenas a atualização do equipamento apresenta resultados que atingem cerca de 55% de redução de consumo, isso porque com o passar dos anos, os o rendimento dos motores elétricos vão decaindo, sem contar no ganho de tecnologia para aumentar sua eficiência, por exemplo motores em meados do século XX necessitavam de cerca de 29 kg para cada kW de potência gerada, enquanto atualmente chegamos a mesma potência com aproximadamente 6kg, como podemos ver logo abaixo na figura 8.m

Figura 8: Evolução Tecnológica dos motores



Fonte: WEG (2018)

Estudos estimam que a indústria brasileira poderia economizar aproximadamente R\$ 4 bilhões por ano somente com a adoção de soluções de eficiência energética, o que seria equivalente a 16,33 milhões de MWh, aproximadamente 18% de toda a geração da usina de Itaipu. Essa economia corresponde a 6 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, que deixariam de ser emitidas. A Agência Internacional de Energia (AIA) apontou em estudo que de 200 a 2016 o consumo global de energia foi reduzido em 12% somente através de projetos de eficiência energética.

É aqui importante salientar também, que a medida em que se tem redução dos consumos de energia, temos também a redução de pressão sobre o setor elétrico, prevenindo questões de saturação do sistema e eventos de desabastecimento do sistema elétrico em cadeia.

## 2.7. Iluminação e Eficiência Energética

### 2.7.1. LED e Redução de Consumo

Segundo Poole (1997) entre as edificações comerciais, residenciais e públicas, a iluminação é o maior uso final da energia elétrica, representando cerca de 60% do consumo total. Isso por

que no Brasil é comum o uso de lâmpadas fluorescentes, de vapor metálico e de sódio, e também halogênas.

Tais lâmpadas são muitas vezes ineficientes e de baixa qualidade, não só por conta do equipamento em si, mas pela sua forma de uso como a utilização de luminárias sem refletores, sujas ou até mesmo mal colocadas, limitando a emissão de luz ao ambiente. Além disso, a maior parte dos consumidores adquirem lâmpadas tomando como base seu consumo de potência (Watts), ao invés de considerar o nível de iluminação (lux), tornando necessária a utilização de várias lâmpadas para atingir a iluminação necessária ou adequada a um dado ambiente, gerando dessa forma perda de eficiência. (AMAN et al., 2013).

Temos hoje no mercado as lâmpadas de Light Emitter Diode (Diodo Emissor de Luz -LED), que é uma espécie de condutor, preenchidos com gases e revestidos com diferentes materiais de fósforo (VIANA et al., 2012). Com tamanhos reduzidos, o LED oferece uma série de vantagens com seu desenvolvimento tecnológico, tornando-se a melhor alternativa para substituição às lâmpadas convencionais.

Dentre os benefícios da utilização dos LEDs, pode-se destacar a sua longa durabilidade (obtendo até 50.000 horas de funcionamento), alta eficiência luminosa, alta resistência a impactos, variedade de cores, pouca dissipação de calor, não gera radiação ultravioleta e infravermelha, baixo consumo de energia e devido ao seu tamanho reduzido pode ser utilizada em diversos locais, além é claro, dos seus benefícios ambientais.

Diferentemente das lâmpadas fluorescentes que utilizam mercúrio em sua composição, o LED é produzido com materiais atóxicos ao meio ambiente, apresentando facilidades de descarte final do resíduo, além de apresentar uma maior durabilidade, demandando menos trocas e reduzindo dessa forma os resíduos gerados.

Considerando uma casa com 10 lâmpadas incandescentes de 60 Watts, ligadas em uma média de 6 horas diárias, por um período de cinco anos, estas lâmpadas gastarão mais de 6.000 kWh, que substituída por uma lâmpada fluorescente de 15 W já teria seu consumo reduzido para 1.900 kWh, apresentando uma redução muito significativa, mas ainda assim um consumo superior aos 1.000 kWh produzidos por uma lâmpada LED utilizando apenas 8 Watts para emitir a mesma quantidade de luz. (ENERGIA LIMPA, 2009).

Figura 9: Iluminação em vapor metálico e iluminação em LED.



Fonte: PhotonLED (2020)

### 2.7.2. LED e o Meio Ambiente

A utilização de LED possibilita a redução de consumo, e consequentemente a redução de emissão de dióxido de carbono, em comparação as lâmpadas incandescentes o LED tem uma emissão de carbono 84% menor, contribuindo diretamente para a redução de danos ao meio ambiente.

Quanto ao descarte de resíduos, a NBR 10.004 (ABNT, 2004) define resíduos como: “Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornam inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível”. Para todos esses resíduos sólidos deve ser feita uma classificação onde se separam resíduos perigosos os quais necessitam de descartes específicos, dos resíduos não perigosos, que podem ser depositados em aterros sanitários convencionais.

As lâmpadas fluorescentes são compostas por componentes químicos altamente poluentes e tóxicos ao meio ambiente e, portanto, essas lâmpadas não podem ser descartadas diretamente

em aterros públicos necessitando de um processo desmontagem e separação, requerendo equipamentos caros e específicos para assim evitar os danos ambientais. (Santos, T.S et al., 2015)

Anualmente, só no Brasil, são descarregados na natureza perto de 3,5 toneladas de mercúrio contidas nas 85 milhões de lâmpadas descartadas nos aterros públicos, que vêm, sistematicamente, contaminando o ar em nosso meio ambiente. (CETRIC, 2012).

O Brasil é o quarto país que mais consome lâmpada fluorescente no mundo. O descarte é realizado por empresas que recebem estas lâmpadas e encaminham para reciclagem em empresas específicas. (SEBBEN, 2012).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) estabeleceu a obrigatoriedade de implantação de sistemas de logística reversa para lâmpadas fluorescentes, responsabilizando os fabricantes e distribuidores pelo descarte final (SILVA, 2013). Na prática, ninguém quer arcar com os custos deste descarte. O valor da reciclagem é quase 30 a 40% o custo de uma lâmpada nova. (SEBBEN, 2012).

O estudo de Laruccia et al. (2011) abordou a decisão do consumidor sobre a eliminação de lâmpadas fluorescentes usadas, em São Paulo. Os autores verificaram que, a maioria das pessoas descartava lâmpadas fluorescentes no lixo orgânico, mas admitiam que o local adequado para isto fosse a reciclagem ou coleta seletiva. Também afirmam que o maior obstáculo para descarte de lâmpadas é a ignorância da população sobre a disposição de lâmpadas, julgando não ter encontrado alternativas para descarte adequado no Brasil. As lâmpadas incandescentes convencionais são produzidas a partir de vidro e metal e, portanto, não contêm materiais prejudiciais ao meio ambiente, porém, elas não devem ser jogadas em lixos para reciclagem de vidros, pois o tipo de vidro usado na produção de lâmpadas é diferente dos vidros convencionais. Um problema é que a vida útil das lâmpadas incandescentes é menor se comparada com as lâmpadas de LED ou fluorescentes, o que gera uma quantidade grande de resíduos a serem descartados nos aterros. No caso das lâmpadas LED, 98% dos materiais em sua composição são recicláveis e não contêm metais pesados, como o mercúrio, em sua produção, sendo menos agressivas ao homem. (ECYCLE, 2012).

### 3. ESTUDO DE CASO

#### 3.1. Memorial de Cálculos:

Realizou-se um levantamento luminotécnico na planta. Esse levantamento consiste na contabilização de todas as luminárias e lâmpadas instaladas atualmente, bem como suas especificações técnicas contendo, principalmente, os valores de potência e a averiguação da existência de reatores.

##### 3.1.1. Potência por Lâmpada com Reatores

Reatores são equipamentos auxiliares necessários para o acendimento de lâmpadas de descarga (fluorescentes ou HID - High Intensity Discharge). Servem para limitar a corrente e adequar as tensões ao perfeito funcionamento das lâmpadas. Quando identificada a presença de reatores sua potência é aumentada, por nomenclatura, em 10%. Seguindo a seguinte formula:

$$Pot_{Lamp.total} = Pot_{nominal} \times 1,1$$

$Pot_{Lamp.total}$  = Potência total da lâmpada com reator acoplado [Watt];

$Pot_{nominal}$  = Potência nominal da lâmpada sem o reator [Watt].

##### 3.1.2. Potência por Luminária

Algumas luminárias mais antigas, como por exemplo as luminárias tubulares T5, podem ter mais de uma lâmpada acoplada em seus espelhos, por isso, faz-se necessário o cálculo da potência total por luminária, tal como:

$$Pot_{Luminária} = Pot_{Lamp.total} \times N_{Lâmpadas}$$

$Pot_{Luminária}$  = Potência total da luminária [Watt];

$Pot_{Lamp.total}$  = Potência da lâmpada que compõe a luminária, podendo ter reator acoplado ou não [Watts];

$N_{Lâmpadas}$  = Número de lâmpadas acopladas na luminária.

### 3.1.3. Potência Total do Sistema

$$Pot_{total} = Pot_{Luminária} \times N_{Luminárias}$$

$Pot_{total}$  = Potência total do sistema de iluminação [Watt];

$Pot_{Luminária}$  = Potência total da luminária [Watt];

$N_{Luminárias}$  = Número de luminárias instaladas.

## 3.2. Cálculo de Eficiência do Sistema

### 3.2.1. Período de Operação

Para métodos de comparação e cálculos de eficiência, toma-se como base a quantidade de horas de funcionamento mensal. Desse modo considerou-se:

Horas de funcionamento por dia ( $H_{dia}$ ) = 12, 16, 18 e 24 horas.

Dias de funcionamento por mês ( $D_{mês}$ ) = 27 dias;

Desse modo:

$$H_{mês} = H_{dia} \times Dia_{mês}$$

É fundamental observar aqui, que a quantidade de horas de funcionamento mensal pode variar de acordo com os departamentos da planta, como por exemplo: banheiros, salas de reunião, salas de máquina e outros.

### 3.2.2. Consumo mensal

O consumo mensal é a base essencial para os cálculos de economia, tanto financeira como energética.

$$C = \frac{Pot_{total} \times H_{mês}}{1000}$$

$C$  = Consumo total [kWh];

$Pot_{total}$  = Potência total do sistema de iluminação [Watt];

$H_{mês}$  = Horas de funcionamento mensal [horas];

### 3.3. Dados obtidos:

Para a contabilização das luminárias e lâmpadas realizou-se um estudo em campo. Através desse estudo e das considerações acima citadas, obtivemos os seguintes dados tabelados abaixo:

Tabela 3: Sistema atual de iluminação da planta

Altura	Item	Local	Lâmpada / luminária	Potência lâmpada + reato r [W]	Total de luminárias	Lâmpadas / luminárias	Total de lâmpadas	Potência total [W]	Período de operação [h/dia]	Período de operação [dias/mês]	Período de operação [h/mês]	Consumo mensal [kWh/mês]
5	1	ETA/ Laboratorios/ Galpão/ Banheiros/ Salas	Fluorescente T5 54W 120 cm	59,4	1397	2	2794	1659 63,6	16	27	432	71696, 275
3 -7	2	Corredor/Portaria/Poso/Guarita	Fluorescente Compacta 15W	16,5	75	1	75	1237, 5	12	27	324	400,95
3	3	Vestiários/Adm	Fluorescente 16W	17,6	5	2	10	176	12	27	324	57
3	4	Vestiários/Adm	Fluorescente 23W	25,3	26	2	52	1.316	12	27	324	426
3	5	Vestiários/Adm	Fluorescente 28W	30,8	215	2	430	13.24	12	27	324	4.291
3	6	Vestiários/Adm	Fluorescente 32W	35,2	228	2	456	16.05	12	27	324	5.201
3	8	Galpão 2	Fluorescente dupla 20W 60 cm	24	4	2	8	192	24	27	648	124
3	9	Sala Escritorios	Fluorescente dupla 60 cm	22	5	2	10	220	12	27	324	71
3	10	Sala Faxina	Fluorescente Tubular 21W	23,1	1	2	2	46	12	27	324	15
6	11	Industrial - Processos	Lâmpada PL -23W	25,3	28	1	28	708	18	27	486	344
3	12	Salas/Vestiários/Garagem	Dicroicas 3W	3,3	10	1	10	33	12	27	324	11
3	13	Garagem	Poste com 2 Petalas Vapor Metalico	275	4	2	8	2.200	12	27	324	713
8	14	Áreas externas	Poste lampada de Vapor de Sodio	440	443	1	443	194.9 2	12	27	324	63.154
5	15	Galpão Docas	Refletores 400W	440	37	1	37	16.28	12	27	324	5.275
12	16	Barracão	Refletores Parede	275	4	1	4	1.100	15	27	405	446
10	17	Galpões	Vapor sodio	275	686	1	686	188.6 5	16	27	432	81.497
TOTAL							5.053	602.3				233.7

Fonte: Autora (2020)

### 3.4. Substituição proposta:



Tomando como base as instalações já existentes, bem como o local e sua utilidade, a altura (devido às interferências nos fluxos luminosos), e a mesma quantidade de horas em uso, apresenta-se como melhor alternativa a substituição simples (mantendo a mesma quantidade) das luminárias e lâmpadas atuais por um sistema de iluminação LED, conforme tabela abaixo:

Tabela 4: Sistema de iluminação proposto

Item	Descrição	Fluxo luminoso [Lm]	Potência [W]	Eficiência luminosa [Lm/W]	Qtd	Potência total [W]	Consumo mensal [kWh/mês]
1	BN300P LED92/840 PSD WB L1150 WH	9200	69	133,33333	2794	192786	83283,552
2	DN391B LED11/840 PSD D150 WH GM	1100	11,5	95,652174	75	862,5	279,45
3	RC263B LED20S/840 PSD MIN WH	2000	15	133,33333	10	150	48,6
4	RC263B LED20S/840 PSD MIN WH	2000	15	133,33333	52	780	252,72
5	RC263B LED40S/840 PSD SLIM WH	4000	28	142,85714	430	12040	3900,96
6	RC263B LED34S/840 PSD SLIM WH	3400	24	141,66667	456	10944	3545,856
7	WT198C LED19S/840 PSD L600	1900	15	126,66667	8	120	77,76
8	RC263B LED20S/840 PSD MIN WH	2000	15	133,33333	10	150	48,6
9	WT198C LED40S/840 PSD L1200	4000	29	137,93103	2	58	18,792
10	DN391B LED11/840 PSD D150 WH GM	1100	11,5	95,652174	28	322	156,492
11	LAMPADA LED DIRECIONAL LEMR113.5-25WF	250	3,5	71,428571	10	35	11,34
12	BRP371 A LED117-5S2/NW 100W DME NEMA7P	11700	100	117	8	800	259,2
13	BRP492 A LED195-4S/NW 150W DW1 P7 0-10	19500	150	130	443	66450	21529,8
14	BVP382 LED195/NW 150W 220-240V SWB GM	19500	150	130	37	5550	1798,2
15	BVP381 LED130/NW 100W 220-240V SWB GM	13000	100	130	4	400	162
16	BN300P LED145/840 PSD WB L1700 WH	14500	103	140,7767	686	70658	30524,256
<b>TOTAL</b>					<b>5.053</b>	<b>362.106</b>	<b>145.898</b>

Fonte: Autora (2020)

A substituição proposta tomou como base as luminárias Philips, empresa referência no setor luminotécnico, oferecendo máxima eficiência para reduções de consumo e melhorias significativas para o ambiente, no que diz respeito aos fluxos luminosos (Lux).

Saliento aqui que a finalidade desse estudo não se refere ao cálculo de Lux, por isso, os cálculos não serão aqui descritos.

### 3.5. Economia de Consumo

Para o cálculo da economia de consumo, partimos do princípio básico:

$$E_c = C_{atual} - C_{proposto}$$

$E_c$  = Economia de Consumo [kWh/mês];

$C_{atual}$  = Consumo Atual [kWh/mês];

$C_{proposto}$  = Consumo Proposto [kWh/mês].

Desse modo obtemos os seguintes dados:

Tabela 5: Comparação de consumos

Item	Atual	Consumo mensal [kWh/mês]	Proposto	Consumo mensal [kWh/mês]	Economia [kWh/mês]
1	Fluorescente T5 54W 120 cm	71696,28	BN300P LED92/840 PSD WB L1150 WH	83283,55	-11587,28
2	Fluorescente Compacta 15W	400,95	DN391B LED11/840 PSD D150 WH GM	279,45	121,50
3	Fluorescente 16W	57,02	RC263B LED20S/840 PSD MIN WH	48,60	8,42
4	Fluorescente 23W	426,25	RC263B LED20S/840 PSD MIN WH	252,72	173,53
5	Fluorescente 28W	4291,06	RC263B LED40S/840 PSD SLIM WH	3900,96	390,10
6	Fluorescente 32W	5200,59	RC263B LED34S/840 PSD SLIM WH	3545,86	1654,73
8	Fluorescente dupla 20W 60 cm	124,42	WT198C LED19S/840 PSD L600	77,76	46,66
9	Fluorescente dupla 60 cm	71,28	RC263B LED20S/840 PSD MIN WH	48,60	22,68
10	Fluorescente Tubular 21W	14,97	WT198C LED40S/840 PSD L1200	18,79	-3,82
11	Lampada PL -23W	344,28	DN391B LED11/840 PSD D150 WH GM	156,49	187,79
12	Dicroicas 3W	10,69	LAMPADA LED DIRECIONAL LEMR113.5-25WF	11,34	-0,65
13	Poste com 2 Petalas Vapor Metalico	712,80	BRP371 A LED117-5S2/NW 100W DME NEMA7P	259,20	453,60
14	Poste lampada de Vapor de Sodio	63154,08	BRP492 A LED195-4S/NW 150W DW1 P7 0-10	21529,80	41624,28
15	Refletores 400W	5274,72	BVP382 LED195/NW 150W 220-240V SWB GM	1798,20	3476,52
16	Refletores Parede	445,50	BVP381 LED130/NW 100W 220-240V SWB GM	162,00	283,50
17	Vapor sodio	81496,80	BN300P LED145/840 PSD WB L1700 WH	30524,26	50972,54
<b>Total</b>		<b>233721,69</b>	<b>Total</b>	<b>145897,58</b>	<b>87824,11</b>

Fonte: Autora (2020)

Sendo assim, temos:

$$E_c = C_{atual} - C_{proposto}$$

$$E_c = 233721,69 - 145897,58$$

$$E_c = 87824,11 \text{ kWh/mês}$$

### 3.6. Economia de Carbono

Para a conversão de inventários corporativos, utiliza-se o fator médio de emissão do Sistema Interligado Nacional do Brasil, estimando dessa forma a quantidade de CO<sub>2</sub> associada a geração de energia elétrica no país.

O fator médio é calculado mensalmente, com base na média das emissões da geração a partir do levantamento de todas as usinas que estão gerando energia no país.

Para quantificar as emissões de CO<sub>2</sub> do consumo de energia elétrica, foram identificados todos os equipamentos ligados na energia elétrica utilizadas para a realização desse projeto. As informações da potência dos equipamentos foram obtidas junto aos mesmos. Para que fosse viável o cálculo das emissões de dióxido de carbono, foi necessário fazer a conversão de potência (W) para kilowatts hora/dia (kWh/dia). Utilizou-se então a seguinte formula: O fator de emissão utilizado para os cálculos de emissão de dióxido de carbono foi obtido a partir do site de Mudanças Climáticas do Ministério da Ciência e Tecnologia (“Fatores de Emissão de CO<sub>2</sub> para utilizações que necessitam do fator médio de emissão do Sistema Interligado Nacional do Brasil, como, por exemplo, inventários corporativos”. (BRASIL, 2010).

Utiliza-se, portanto, a seguinte formula:

$$TCO_2 = E_c \times F_{\text{emissão mensal}}$$

Considerando os dados disponibilizados no site governamental de Mudanças Climáticas do Ministério da Ciência e Tecnologia temos os seguintes fatores de emissão, bem como o valor médio de correção:

Tabela 6: Fator de emissão médio

FATOR DE EMISSÃO MÉDIO (T CO <sub>2</sub> /MWH) - MENSAL												
Mês	jan/19	fev/19	mar/19	abr/19	mai/19	jun/19	jul/19	ago/19	set/19	out/19	nov/19	dez/19
Fator de emissão	0,3540	0,5573	0,5075	0,5095	0,4794	0,4175	0,5914	0,5312	0,5606	0,5370	0,5720	0,5997
Fator correção	0,137	0,137	0,137	0,137	0,137	0,137	0,137	0,137	0,137	0,137	0,137	0,137
Fator Médio	0,2455	0,34715	0,32225	0,32325	0,3082	0,27725	0,3642	0,3341	0,3488	0,337	0,3545	0,36835

Fonte: adaptado, MCTI (2020)

Desse modo obtemos as seguintes economias:

Tabela 7: Economia de CO2

Mês	jan/19	fev/19	mar/19	abr/19	mai/19	jun/19	jul/19	ago/19	set/19	out/19	nov/19	dez/19
Ecomia TCO2	21,561	30,488	28,301	28,389	27,067	24,349	31,986	29,342	30,633	29,597	31,134	32,350
Total TCO2												345,197

Fonte: Autora (2020)

Portanto, através de apenas um projeto de retrofit do sistema de iluminação, é possível economizar ao ano 678,072 toneladas de dióxido de carbono.

Considerando ainda estudos que ressaltam que a cada tonelada de emissão de Gás Carbônico (CO<sub>2</sub>) é necessário o plantio de 7,14 árvores para que o planeta não sofra os danos causados por esta emissão. Temos então o equivalente a 2.464,70 árvores poupadas.

### 3.7. Economia Financeira

Apenas para efeitos de curiosidade: Considerando o custo unitário de energia elétrica vigente de **R\$0,320/kWh**, equivalente ao somatório da Tarifa de Energia - Fora Ponta ou do Preço de Energia Contratado, conforme o caso, e a Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição – Fora Ponta. Temos que:

$$E_f = 87824,11 \times 0,320 = 27975,72$$

Através do projeto de retrofit, apenas do sistema de iluminação, obtêm-se nesse caso uma economia mensal de R\$ 27.975,72

#### 3.7.1. Payback de projeto

Considerando os preços estimados e aproximados dos equipamentos, conforme tabela 8, logo abaixo, podemos realizar o cálculo de payback simples de projeto.

Tabela 8: Valores dos equipamentos

Item	Descrição	Qtd	Valor unitário [R\$/unit]	Valor de equip total [R\$]
1	BN300P LED92/840 PSD WB L1150 WH	2794	470,65	42358,5
2	DN391B LED11/840 PSD D150 WH GM	75	305,93	22944,75
3	RC263B LED20S/840 PSD MIN WH	10	402,64	4026,4
4	RC263B LED20S/840 PSD MIN WH	52	402,64	20937,28
5	RC263B LED40S/840 PSD SLIM WH	430	570,24	245203,2
6	RC263B LED34S/840 PSD SLIM WH	456	562,3	256408,8
7	WT198C LED19S/840 PSD L600	8	254,28	2034,24
8	RC263B LED20S/840 PSD MIN WH	10	402,64	4026,4
9	WT198C LED40S/840 PSD L1200	2	254,28	508,56
10	DN391B LED11/840 PSD D150 WH GM	28	305,93	8566,04
11	LAMPADA LED DIRECIONAL LEMR113.5-25WF	10	18,56	185,6
12	BRP371 A LED117-5S2/NW 100W DME NEMA7P	8	937,02	7496,16
13	BRP492 A LED195-4S/NW 150W DW1 P7 0-10	443	1367,44	605775,92
14	BVP382 LED195/NW 150W 220-240V SWB GM	37	1191,93	44101,41
15	BVP381 LED130/NW 100W 220-240V SWB GM	4	866,24	3464,96
16	BN300P LED145/840 PSD WB L1700 WH	686	592,24	406276,64
TOTAL		5.053		R\$ 1.674.314,86

Fonte: Adaptado Philips (2020)

Portando para o cálculo de payback simples, considerando os investimentos em equipamentos no valor de R\$1.674.314,86 e a economia mensal no valor de R\$ 27.975,72 temos:

$$Payback_{simples} = \frac{\text{Valor do investimento}}{\text{Valor da economia}}$$

$$Payback_{simples} = \frac{1.674.314,86}{27.975,72}$$

$$Payback_{simples} = 59,8 \text{ meses}$$

Portanto o projeto passa a gerar o fluxo de caixa positivo a partir de aproximadamente 60 meses, ou seja 5 anos, isso sem considerar os custos referentes a manutenção do sistema atual.

## 4 CONCLUSÃO

Há alguns anos atrás as hidrelétricas eram consideradas fontes limpas de energia, no entanto com o decorrer dos anos e de uma série de pesquisas que foram e vêm sendo realizadas há uma crescente preocupação com relação a atual fonte de energia e seus impactos ambientais diretos e indiretos.

Diante de todos os estudos aqui citados e dessas pesquisas que vêm sendo realizadas dentro dos espaços acadêmicos e de campo, podemos levantar importantes considerações para o desenvolvimento da matriz energética brasileira. Dentre essas considerações podemos aferir que usinas hidrelétricas com menor área de barragens são menos poluentes que as com grandes áreas de alagamento, ou seja a utilização da correnteza para gerar energia torna-se uma forma mais segura e mais limpa de produção de energia, além de ser fundamental a correta e completa retirada das vegetações na área de represamento a fim de evitar o elevado volume de decomposição de matéria orgânica reduzindo assim a emissão dos GEEs.

É notório a necessidade que temos em relação as melhorias que ainda precisam ser realizadas dentro do parque energético brasileiro para que possamos pautar nosso desenvolvimento social e econômico em um desenvolvimento sustentável, onde possamos pautar a permanência desse nos pilares ambientais, sociais e econômicos com foco no progresso contínuo, tomando como aliado para as questões energéticas a eficiência do sistema.

Implantar soluções de eficiência energética nas unidades consumidoras públicas e privadas sendo elas residenciais, comerciais ou industriais, garante a curto e longo prazo significativas economias financeiras, aumento de vida útil de equipamentos, inovação do parque industrial e aumento de potencial competitivo, redução de impactos ambientais através de redução de consumo, como no caso do estudo de caso desenvolvido neste trabalho.

Através da troca simples das luminárias alcançamos números significativos de economia de energia elétrica, uma redução de 62% no consumo mensal dos equipamentos de iluminação, equivalentes à R\$ 27.975,72 na fatura de energia, sem contar os ganhos ambientais, aproximadamente 28,76 TCO<sub>2</sub> deixados de ser emitidos ao mês equivalentes ao plantio de 2464,7 árvores plantadas ao ano.

Conclui-se então, que a adoção das diversas medidas de eficiência energética pode nos permitir em um período de médio prazo cessar a expansão de matriz baseada em grandes usinas, dando lugar a fontes menos poluidoras e agressivas ao meio.

## REFERÊNCIAS

ABRACEEL. Operador Nacional do Sistema Elétrico. Disponível em: <https://abraceel.com.br/>. Acesso em: 18 ago. 2020.

AMAN, M.M.; JASMON, G.B.; MOKHLIS, H.; BAKAR, A.H.A. (2013) Analysis of the performance of domestic lighting lamps. *Energy Policy*, v. 52, p. 482-500.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS. Parque Industrial Brasileiro. 2013. Disponível em: <http://www.abimaq.org.br/>. Acesso em: 23 out. 2020.

BRASIL. OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. (org.). Sistema Interligado Nacional. 2020. Disponível em: <http://www.ons.org.br/>. Acesso em: 18 ago. 2020.

CETRIC. (2012) Central de tratamento e disposição de resíduos industriais e comerciais. Disponível em: <http://www.cetric.com.br/index.php?PG=opl>>. Acesso em: 19 ago. 2020.

CQNUMC (Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima. MCT (edição e tradução) Brasília, 1992.

ECYCLE. (2012) Lâmpadas LED podem ser recicladas? Disponível em: <http://www.ecycle.com.br/component/content/article/49-lampadas/685-lampadas-led-podem-ser-recicladas.html>>. Acesso em: 25 ago. 2020.

ENERGIA LIMPA. (2009) A reinvenção da luz. *Revista Veja*. Edição 2145 – ano 42 – nº 52. 30 de dezembro de 2009. Disponível em: [http:// veja.abril.com.br/acervodigital/home.aspx](http://veja.abril.com.br/acervodigital/home.aspx)>. Acesso em: 20 ago 2020.

ENERGIA, Ministério de Minas e (org.). Balanço Energético Nacional. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2018. 62 p.

ENERGY STAR. (2010) Information on Compact Fluorescent Light Bulbs (CFLs) and Mercury. Energy Star Program: U.S. Department of Energy. Disponível em: <[http://www.energystar.gov/ia/partners/promotions/change\\_light/downloads/Fact\\_Sheet\\_Mercury.pdf](http://www.energystar.gov/ia/partners/promotions/change_light/downloads/Fact_Sheet_Mercury.pdf)> Acesso em: 20 ago. 2020.

Estudo sobre a viabilidade financeira na atualização tecnológica de uma planta fabril. Santa Catarina: Espacios, v. 38, n. 12, 2017

FEARNSIDE, P.M. 2008a. Hidrelétricas como "fábricas de metano": O papel dos reservatórios em áreas de floresta tropical na emissão de gases de efeito estufa.

FEARNSIDE, P.M. 2004c. Gases de efeito estufa em hidrelétricas da Amazônia. *Ciência Hoje* 211: 41-44

FEARNSIDE, P.M. 2004. Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: controversies provide a springboard for rethinking a supposedly "clean" energy source, *Climatic Change* 66(2-1): 1-8. Doi: 10.1023/B:CLIM.0000043174.0284 1.23

KEMENES, A. Estimativa das Emissões de gases de efeito estufa (CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>) pela Hidrelétrica de Balbina, Amazônia Central, Brasil. Tese – Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, Coordenação em Biologia Aquática e Pesca Interior, Manaus, 2006. 96 pg.

LARUCCIA, M.M.; NASCIMENTO, J.V.; DEGHI, G.J.; GARCIA, M.G. (2011) A Study of consumer behavior on recycling of fluorescent lamps in São Paulo, Brazil. *International Journal of Business Administration*, v. 2, n. 3, p. 101-112.

MCTI (Ministério da Ciência e Tecnologia)/CIMGC(Comissão Interministerial para Mudança Global do Clima). Cálculo dos Fatores de Emissão de CO<sub>2</sub> pela geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional do Brasil, 2007.

PEREIRA, Ferreira, Simone Estimativa de emissões de gases de efeito estufa em reservatórios de hidrelétricas utilizando técnicas de sensoriamento remoto /Simone Pereira Ferreira. — Porto Alegre, 2015



POOLE, Alan Douglas; GELLER, Howard. O Novo Mercado de Serviços de Eficiência Energética no Brasil. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Eficiência Energética, 1997. Disponível em: <http://www.ibase.org.br/~inee>. Acesso em: 24 out. 2020.

Raven, Peter H., George B. Johnson, Kenneth A. Mason, Jonathan B. Losos, and Susan R. Singer. Biogeochemical Cycles. In Biology, 1209-1214. 10th ed., AP ed. New York: McGraw-Hill, 2014.

ROSA, L.P.; SIKAR, B.M.; DOS SANTOS, M.A. & SIKAR, E.M. Emissões de dióxido de carbono e de metano pelos reservatórios hidrelétricos brasileiros. Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Relatórios de Referência. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós Graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE) Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), Brasília, DF. 2002.

SANTOS, Talia Simões dos; BATISTA, Marília Carone; POZZA, Simone Andréa; ROSSI, Luciana Savoi. Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas de LED e convencionais. Campinas: Unicamp, 2015.

## ANEXO A – Valores de $\lambda$ para usinas inflexíveis ou de baixo custo.

Tabela 1: Valores de lambda para as plantas de baixo custo de produção

Representatividade	$\lambda$
99,87% a 100,00%	1
99,50% a 99,87%	0,95
98,87% a 99,50%	0,9
97,98% a 98,87%	0,85
96,85% a 97,98%	0,8
95,47% a 96,85%	0,75
93,83% a 95,47%	0,7
91,94% a 93,83%	0,65
89,80% a 91,94%	0,6
87,41% a 89,80%	0,55
84,76% a 87,41%	0,5
81,86% a 84,76%	0,45
78,72% a 81,86%	0,4
75,32% a 78,72%	0,35
71,66% a 75,32%	0,3
67,76% a 71,66%	0,25
63,60% a 67,76%	0,2
59,20% a 63,60%	0,15
54,54% a 59,20%	0,1
50% a 54,54%	0,05
0% a 50%	0

Fonte: UNFCCC, 2015