



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS SOBRAL
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

GERALDO CARLOS LINHARES DA SILVA

**MÉTODOS GERADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: ESTUDO DE CASO NA
COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO CEARÁ**

SOBRAL

2019

GERALDO CARLOS LINHARES DA SILVA

**MÉTODOS GERADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: ESTUDO DE CASO NA
COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOSTO DO CEARÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado ao Departamento de Engenharia
Elétrica, da Universidade Federal do Ceará,
como requisito parcial para obtenção do grau
Graduado em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Eber de Castro Diniz.

SOBRAL

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S58m Silva, Geraldo Carlos Linhares.
MÉTODOS GERADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: ESTUDO DE CASO NA COMPANHIA
DE ÁGUA E ESGOSTO DO CEARÁ / Geraldo Carlos Linhares Silva. – 2019.
76 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Sobral,
Curso de Engenharia Elétrica, Sobral, 2019.
Orientação: Prof. Dr. Eber de Castro Diniz.

1. Eficiência Energética. 2. Energia. 3. Conservação. I. Título.

CDD 621.3

GERALDO CARLOS LINHARES DA SILVA

**MÉTODOS GERADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: ESTUDO DE CASO NA
COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO CEARÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Eber de Castro Diniz.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Orientador: Eber de Castro Diniz. (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Marcus Rogério de Castro
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng.º Francisco Marcos Pedrosa Rodrigues da Costa
Engenheiro Eletricista

Dedico este trabalho a Deus.

Aos meus pais, Geraldo Carlos da Silva e Regina Lúcia Linhares da Silva, e a meus irmãos Samara Linhares Carlos e Valdir Alves Linhares Neto.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, e com ele as oportunidades diárias de me tornar um ser humano melhor. Em seguida, aos meus pais, Geraldo e Regina, que apesar de toda e qualquer dificuldade sempre me apoiaram e me proporcionaram o melhor. E agradecer por me criarem, educarem e me fazerem ser o homem que me tornei. Bem como meus irmãos e toda minha família.

Ao Prof. Dr. Eber de Castro Diniz, pela excelente orientação, e por sempre se preocupar verdadeiramente com saúde e bem-estar dos alunos. E assim a todos meus professores e mentores que de alguma forma contribuíram em minha formação.

A minha amiga, mentora e guia Larissa Haddad, pela lealdade de sempre. Os meus eternos amigos Marcos Pedrosa, Vitor Santiago, Leonardo Filho, Solon Dias, Fábio Torres, Eli Sales, Régis Filho, Francisco Vinicius, Allyson Oliveira, Francisco Davi, Lara Costa, Juliana Mourão e Bruna Valentim.

A todos os demais amigos, colegas, professores, e diversos profissionais dos inúmeros setores que compõe a Universidade Federal do Ceará e demais instituições por onde estudei, e complementei minha formação.

A todos da Empresa CAGECE – Unidade de Sobral, bem como a todos os seus colaboradores, em especial a amiga e técnica Viviane Torres e ao supervisor de Eletromecânica Marcos Venício, dois grandes mentores e amigos. Também ao colega e grande amigo Lucas Couto pelo apoio e companheirismo.

Por fim, em especial agradecer minha noiva Carla Juliana, pelo apoio incondicional nessa etapa da minha vida, sendo minha grande incentivadora e me dando força contra as dificuldades ao longo dessa jornada, enxergando junto comigo o caminho que ninguém mais consegue ver.

“Não é o mais forte que sobrevive, nem o mais inteligente, mas o que melhor se adapta às mudanças.”

Charles Darwin

RESUMO

Assuntos que dizem respeito ao tema eficiência energética e energias renováveis, tem sido cada vez mais abordado e difundido dentro das diversas vertentes da engenharia elétrica e em áreas afins da tecnologia como um todo. E isso se dá devido as adversidades climáticas em âmbito mundial vividas nos últimos anos, o que acarretou diminuição no volume dos reservatórios, dentre outras complicações ambientais. Outro fator primordial para alavancagem desses temas, vem sendo o crescimento populacional e avanços tecnológicos também levam a uma grande demanda de energia, fazendo com que o setor elétrico se volte a um melhor aproveitamento energético em escala residencial, comercial e industrial. Este estudo tem como objetivo realizar a análise de eficiência energética unindo os pontos de vistas teóricos, técnicos e econômicos para gerar medidas de redução dos desperdícios de energia. Diversas práticas são hoje difundidas no mercado com tais fins, sendo que aqui observou-se de maneira aprofundada a correção do fator de potência, a implementação de motores de alto rendimento, a readequação da iluminação e a possível instalação de um sistema fotovoltaico. Para tanto, aplicou-se um estudo de caso, na companhia CAGECE, realizando-se análises dos históricos energéticos das unidades consumidoras, levantamento da carga instalada, análise dos motores instalados nas unidades. Onde foi observada a viabilidade de todas as aplicações citadas acima, como no caso do sistema fotovoltaico, devido principalmente pela ótima localização geográfica para este fim, ademais, podem ser utilizadas separadamente ou mesmo de forma conjunta, apesar de apresentarem escalas econômicas e *paybacks* variados.

Palavras-chave: Eficiência Energética. Unidade Consumidora. Readequação da Iluminação. Fator de Potência. Fontes Alternativas. Motores Elétricos. Sistema Fotovoltaico

ABSTRACT

Everything related to energy efficiency and renewable energies has been increasingly addressed and disseminated within the various aspects of electrical engineering and related areas of technology as a whole. Moreover, this is due to the climatic adversities worldwide in recent years, which has led to a decrease in the volumes of reservoirs, among other environmental complications. Another key factor to leverage issues has been the population growth and technological advances are again a great demand for energy, making of the electric sector return to a better energy use in residential, commercial and industrial scale. The objective of this study is to carry out the energy efficiency analysis combining the theoretical, technical and economic points of view to generate measures to reduce energy waste. A huge number of practices are now available in the market with such purposes, and here the power factor correction, the implementation of high-efficiency motors, the adjustment of lighting and the possible installation of a photovoltaic system were here observed in an in-depth way. For that, a case study, on the CAGECE Company, where was applied, analyzing the energy history of the consumer units, surveying the installed load, analyzing the motors installed in the units. The feasibility of all the aforementioned applications in which it was verified, as well, in the case of the photovoltaic system, due mainly to the excellent geographic location for this purpose, however, and they can be used separately or even together, although they presented economic and miscellaneous paybacks.

Keywords: Energy Efficiency. Consumer Unit. Lighting Adjustment. Power Factor. Alternative Sources. Electric Motors. Photovoltaic System.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Energia armazenada para regiões Sudeste e Centro-Oeste.....	18
Figura 2	– Plataforma no Site da WEG para simulação econômica da troca de motores.	23
Figura 3	– Triângulo das potências.....	24
Figura 4	– Constituição de um sistema fotovoltaico autônomo.....	30
Figura 5	– Constituição de um sistema fotovoltaico ligado à rede.....	32
Figura 6	– Imagem da plataforma do Software ‘PVWatts’ para incluir a localização.....	36
Figura 7	– Imagem do Software ‘PVWatts’ indicando a localização mais próxima.....	37
Figura 8	– Inclusão dos dados do sistema fotovoltaico no Software ‘PVWatts’.....	37
Figura 9	– Imagem do Software ‘PVWatts’ indicando os resultados de geração.....	38
Figura 10	– Método de abatimento do consumo a partir da geração fotovoltaica.....	39
Figura 11	– Dados de placa do motor.....	41
Figura 12	– Instalação do motor na Cidade de Hidrolândia.....	42
Figura 13	– Consumo mensal referente a unidade de Hidrolândia.....	42
Figura 14	– Potência reativa excedente referente a unidade consumidora de Hidrolândia.	43
Figura 15	– Fator de potência da unidade de Hidrolândia.....	43
Figura 16	– Imagem de como os painéis devem ser dispostos.....	52
Figura 17	– Potencial anual de produção de energia fotovoltaica em Hidrolândia.....	54
Figura 18	– Motor utilizado na unidade de Frecheirinha.....	58
Figura 19	– Motor utilizado para captação de água em Frecheirinha.....	58
Figura 20	– Dados de placa de um dos motores (60 CV).....	59
Figura 21	– Consumo mensal para unidade de Frecheirinha.....	59
Figura 22	– Potência reativa excedente para unidade de Frecheirinha.....	60
Figura 23	– Fator de Potência para unidade de Frecheirinha.....	61
Figura 24	– Potencial anual de produção de energia fotovoltaica em Frecheirinha.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Subdivisões do Grupo A.....	40
Tabela 2 – Subdivisões do Grupo B.....	40
Tabela 3 – Potência reativa excedente para UC de Hidrolândia.....	45
Tabela 4 – Resultado para substituição de motor de 50 CV.....	46
Tabela 5 – Quantia de lâmpadas fluorescentes da instalação.....	47
Tabela 6 – Comparação entre consumo de fluorescentes e Leds.....	48
Tabela 7 – Quantia de lâmpadas fluorescentes da instalação.....	48
Tabela 8 – Tabela das especificações técnicas do painel fotovoltaico.....	49
Tabela 9 – Tabela das especificações técnicas do inversor de frequência.....	50
Tabela 10 – Tabela das condições exigidas para o funcionamento do sistema fotovoltaico.....	52
Tabela 11 – Tabela de Custos para Implantação do Sistema Fotovoltaico na unidade de Hidrolândia.....	53
Tabela 12 – Economia gerada pelo sistema fotovoltaico em cada mês na unidade consumidora de Hidrolândia.....	55
Tabela 13 – Tabela indicando o Payback do investimento fotovoltaico na unidade consumidora de Hidrolândia.....	56
Tabela 14 – Tabela indicando a quantidade e potência dos motores na UC de Frecheirinha.....	57
Tabela 15 – Potência reativa excedente e valor pago para UC de Frecheirinha.....	61
Tabela 16 – Substituição dos motores de 15 CV.....	62
Tabela 17 – Substituição dos motores de 50 CV, 60 CV e 7,5 CV.....	62
Tabela 18 – Quantia de lâmpadas fluorescentes da instalação de Frecheirinha.....	63
Tabela 19 – Comparação entre consumo de fluorescentes e Leds para Frecheirinha.....	63

Tabela 20 – Tabela das condições exigidas para o funcionamento correto do sistema fotovoltaico.....	66
Tabela 21 – Tabela de Custos para Implantação do Sistema Fotovoltaico na unidade de Frecheirinha.....	67
Tabela 22 – Economia gerada pelo sistema fotovoltaico em cada mês na unidade consumidora de Frecheirinha.....	69
Tabela 23 – Tabela indicando o Payback do investimento fotovoltaico na unidade consumidora de Frecheirinha.....	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará.
CC	Corrente Contínua
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS	Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
FP	Fator de Potência
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
PUCPR	Pontifícia Universidade Católica do Paraná
PWM	Pulse Width Modulation (Modulação de Largura de Pulso)
SIBI	Sistema Integrado de Bibliotecas
TIR	Taxa Interna de Retorno
VPL	Valor Presente Líquido

LISTA DE SÍMBOLOS

\$	Dólar
%	Porcentagem
©	Copyright
®	Marca Registrada
W	Watts
Wp	Watts de Pico
A	Amperes
V	Volts
Hz	Hertz
H	Hora
Min	Minutos
kW	Quilowatts
°C	Graus Celsius
%	Porcentagem
kWh	Quilowatts-hora
MWh	Megawatts-hora
M	Metro
m²	Metros Quadrados
Mm	Milímetro
CV	Cavalo-vapor
VA	Volt Ampere
kVA	Quilo Volt Ampere
VA_r	Volt Ampere Reativo
kVA_r	Quilo Volt Apere Reativo
R\$	Reais
Kg	Quilogramas
°	Graus
η	Rendimento

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivos do trabalho	16
1.2	Estrutura do trabalho	16
2	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM MOTORES ELÉTRICOS	17
2.1	Adequação da Potência do Motor	18
2.1.1	<i>Utilização de Controladores de Velocidade</i>	19
2.1.2	<i>Utilização de Motores de Alto Rendimento</i>	20
2.1.2.1	<i>Economia Obtida</i>	21
3	CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA E READEQUAÇÃO DE ILUMINAÇÃO PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	24
3.1	Correção do Fator de Potência	25
3.2	Readequação de Iluminação	26
4	IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO	27
4.1	Princípio de Funcionamento das Células Fotovoltaicas	28
4.2	Tipos de Sistemas Fotovoltaicos	28
4.2.1	<i>Sistemas Isolados (Autônomos)</i>	28
4.2.2	<i>Sistemas Híbridos</i>	30
4.2.3	<i>Sistemas Conectados à Rede</i>	30
4.3	Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos	31
4.3.1	<i>Dimensionamento de Um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede</i>	31
4.4	Orçamento e Cálculo Econômico da Implantação com a Utilização do Software PVWatts	35
4.5	Considerações Gerais acerca da Instalação e Manutenção do Sistema Fotovoltaico	38
5	ESTUDO DE CASO	39
5.1	Descrição do local de projeto	39
5.2	Unidade consumidora de Hidrolândia	40
5.2.1	<i>Correção do Fator de Potência</i>	43
5.2.2	<i>Substituição de motores</i>	45
5.2.3	<i>Readequação de iluminação</i>	46
5.2.4	<i>Instalação de um Sistema Fotovoltaico</i>	48

5.2.5	<i>Considerações Gerais Acerca da Unidade Consumidora de Hidrolândia</i>	56
5.3	Unidade consumidora de Frecheirinha	56
5.3.1	<i>Correção do Fator de Potência</i>	60
5.3.2	<i>Substituição de motores</i>	60
5.3.3	<i>Readequação de iluminação</i>	62
5.3.4	<i>Instalação de um Sistema Fotovoltaico</i>	63
5.3.5	<i>Considerações Gerais Acerca da Unidade Consumidora de Frecheirinha</i>	70
5.3.6	<i>Observações Técnicas a Respeito do Sistema Fotovoltaico</i>	70
6	CONCLUSÕES	71
6.1	Trabalhos Futuros	71
7	REFERÊNCIAS	72

1 INTRODUÇÃO

O aumento crescente do consumo de energia elétrica e a necessidade de sua utilização de maneira eficiente exigem uma maior oferta de energia no mercado bem como promovem a necessidade de técnicas de uso eficiente (COGO, 1996). As aplicações de normas e certificações energéticas que visam à diminuição do custo de operação já estão sendo implantadas no mundo.

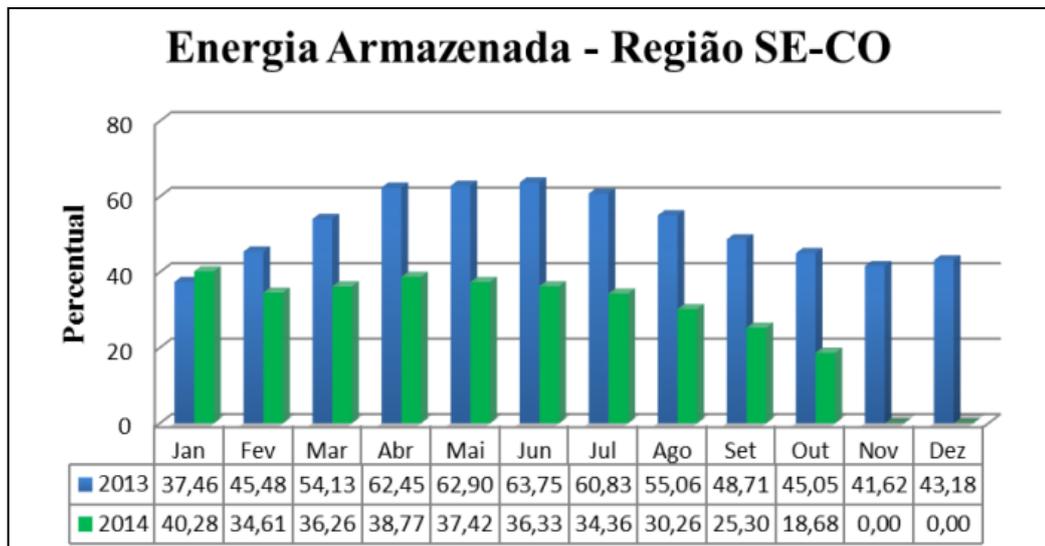
No Brasil, o governo Federal criou o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), com objetivo de promover o uso eficiente da energia elétrica, a partir da diminuição de consumo e demanda de energia elétrica (Weg, 2014). Foram traçados planos de redução para os setores industriais, residenciais e comerciais.

No ano de 2001 aconteceu uma crise energética, onde 20% do consumo de eletricidade foi reduzido, uma vez que isso não fosse colocado em prática a conta de energia era aumentada. Caso o usuário consumisse cerca de 100 kWh por mês não era necessário aderir à redução de consumo, caso contrário a redução era obrigatória (CABRERA, 2013). Tem-se ainda que as contas de energia superiores a 200 kWh/mês pagavam 50% do valor da conta para o excedente (CABRERA, 2013).

Após avanços tecnológicos, em 2011 criou-se a certificação de gestão energética, a ISO 5001, enfatizando o combate ao desperdício de energia e proporcionando política de conscientização para o uso racional de energia (MICERINO, 2012). No ano de 2014, houve também uma crise hídrica no Brasil afetando diretamente as hidroelétricas, desta maneira alguns reservatórios estão abaixo das condições esperadas, o que obriga a redução do consumo ou aumento da eficiência energética para evitar desperdício de energia elétrica (PELIZARI, 2009). A partir da Figura 1, é possível enxergar a diminuição da energia armazenada para região Sudeste e Centro-Oeste.

A seguir, ainda de acordo com a Figura 1, existe uma diminuição no percentual de energia armazenada, ocasionada pela crise hídrica, com isso as termoeletricas estão sendo acionadas e conseqüentemente as tarifas de energia estão aumentando, essa tarifação depende diretamente do combustível que é usado pela usina térmica (GARCIA, 2005). Para o Brasil, aproximadamente 80% da energia elétrica é consumida por indústrias, residências e comércios, sendo a esfera industrial responsável pela maior parte do consumo, cerca de 46%.

Figura 1 – Energia armazenada para regiões Sudeste e Centro-Oeste.



Fonte: ONS, 2014.

Logo, o uso eficiente da energia elétrica é indispensável na indústria, possibilitando a minimização no consumo de energia e consequentemente redução de custos, outro benefício é o aumento da produtividade derivado do melhor aproveitamento da energia elétrica. A eficiência energética tem pilares voltados para melhor desempenho de produção para determinados setores com o menor consumo de energia (CORREIA; RODRIGUES, 2015). Para o ramo industrial, os setores e parâmetros que podem ser diretamente afetadas com os procedimentos de eficiência energética são:

- Refrigeração;
- Motores Elétricos;
- Iluminação;
- Fator de potência.

As vantagens de se utilizar eficiência energética são:

- Economia de energia;
- Qualidade de energia elétrica;
- Economia monetária;
- Aumento de produtividade.

1.1 Objetivos do trabalho

O presente trabalho tem como objetivo o estudo acerca da viabilidade de metodologias que levam ao aumento da eficiência energética, bem como o estudo dessas aplicações na CAGECE, por exemplo, a partir da substituição de motores antigos em operação por motores de auto rendimento. O estudo é realizado a partir de dados coletados por telemedição e analisados por meio dos softwares *Excel/Matlab* para duas unidades consumidoras: Hidrolândia e Frecheirinha. As análises são realizadas para quatro situações: A primeira apresenta a correção de reativo excedente, a segunda apresenta a eficiência energética a partir da substituição de motores e a terceira, a readequação da iluminação. Foram verificadas, economia de energia mensal e para um período de seis meses, bem como economia monetária mensal e retorno de investimento, com base no *payback* simples.

1.2 Estrutura do trabalho

Este trabalho é constituído de quatro capítulos, onde o primeiro enfatiza as buscas por meios que proporcionem a eficiência energética para consumidores, como meio de racionalização de consumo de energia. O capítulo dois aborda os principais parâmetros para realizar a substituição de motores enfatizando também conceitos sobre rendimento de motor. O capítulo três aborda os resultados obtidos para as duas situações de análise e por fim têm-se as conclusões.

2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM MOTORES ELÉTRICOS

O motor elétrico é a máquina responsável por converter energia elétrica em energia mecânica. Este tipo de máquina é muito presente nas mais diversas formas de uso, podendo ser encontrado com diversos tamanhos e potências, podendo assim ser utilizado para uma infinidade de funções em vários tipos de cargas. Outro fator que faz com que o motor elétrico venha a ser tão comum em diversos ambientes é o fato de o mesmo apresentar um caráter construtivo simples, bom rendimento e baixo custo.

Os tipos de motores existentes atualmente são os seguintes:

Motor de Corrente Contínua – é interessante utilizar motores CC quando se necessita de um controle de velocidade rigoroso. São mais caros quando comparados aos outros tipos devido a maior complexidade mecânica. Um hardware adicional é requerido para sua partida, porém esse hardware é mais simples e mais barato que um inversor de frequência. O controle de velocidade é feito controlando-se a corrente de enrolamento de campo, que se encontra em um estator de polos salientes.

Motores Síncronos – Consiste em uma máquina cuja rotação do rotor ocorre em sincronismo com a velocidade do campo magnético girante da mesma, que por sua vez é determinada pela frequência da rede elétrica que alimenta a máquina. Este tipo de máquina dificilmente é encontrado em funcionamento no setor industrial. Geralmente sua maior utilização é como forma de geradores, transformando energia mecânica em energia elétrica. Porém quando utilizados como motor, os mesmos geralmente são aplicados em sistemas que requerem menores rotações e maiores potências. São constituídos geralmente de um enrolamento de campo CC no rotor e enrolamentos de corrente alternada no estator.

Motor de Indução – O motor de indução é em qualquer potência, dentre os tipos de motores citados, o mais comum no setor industrial. É um tipo de motor simples, barato e bastante robusto, entretanto dependendo da potência requer a utilização de componentes adicionais. Motores de indução pequenos podem ser acionados diretamente, com o aumento da potência requerem partida estrela-triângulo ou mesmo inversores de frequência. Os motores de indução de alta potência são os mais baratos quando comparados com os outros tipos. A máquina de indução pode funcionar tanto como gerador quanto como motor, porém quando funcionando como gerador as características apresentadas por essas máquinas não são satisfatórias, sendo utilizadas assim, extensivamente como motor.

Mesmo sendo os motores de indução consideravelmente eficientes, os mesmos apresentam grande preocupação para o ramo da eficiência energética, tanto pela grande

quantidade encontrada em atuação, quanto pelo seu mau uso. Por ser o tipo de motor mais utilizado, o estudo foi realizado visando a substituição de motores de indução, tendo em vista sua grande aplicação na indústria.

De acordo com MICERINO (2012) quase 70% da energia consumida no Brasil passa por motores elétricos. Logo torna-se fundamental analisar as ações que podem ser levadas em conta para encontrar melhorias na eficiência energética no que se diz respeito aos motores elétricos. As medidas de eficiência energética que normalmente são consideradas são a adequação da potência do motor à carga, o uso de acionadores e o uso de motores de alto rendimento.

2.1 Adequação da Potência do Motor

É muito comum encontrar o chamado motor sobredimensionado, ou seja, motores acionando cargas muito inferiores à sua capacidade nominal, acarretando em baixos fatores de potência e rendimentos, contribuindo para a sua aplicação ineficiente.

Um motor superdimensionado consome muito mais energia do que um motor com a potência correta porque trabalha em uma condição muito diferente da qual foi projetado para trabalhar, funcionando de forma ineficiente. Se além de estar sobredimensionado, este motor elétrico ainda for um motor que não apresenta alto rendimento este desperdício é ainda maior. O motor elétrico deve trabalhar utilizando entre 75% e 100% de sua potência nominal para ter a melhor eficiência. De acordo com WEG (2016), nos casos em que se faz a adequação de potência obtém-se economias de até 14% no consumo de energia.

Para que fique explícito o quão importante é o correto dimensionamento de um motor, MICERINO (2012) realizou a mudança de um motor de 100 CV com uma carga de apenas 25% (rendimento 81,1%, tempo de operação anual 2500 horas) por um motor de 25 CV com uma carga de 100% (rendimento 90,1%, tempo de operação anual 2500 horas). Ao realizar esta substituição, o mesmo consegue se poupar cerca de 6000kWh em um ano, além de obter através da substituição desses motores, um retorno de investimento em cerca de 11 meses. Torna-se então evidente a importância de se realizar a correta seleção do motor elétrico.

Os critérios mais utilizados para o correto dimensionamento de um motor elétrico são a potência eficaz, o conjugado máximo do motor, conjugados nominal e de partida, tempo de aceleração e potência disponível.

Tendo em vista que os motores superdimensionados são um problema para o consumo de energia de uma unidade consumidora, deve-se então analisar as possíveis soluções. Como já foi dito, uma das saídas é a substituição de um motor superdimensionado por outro de menor potência, porém pode-se recorrer à aplicação da eletrônica de potência utilizando acionadores eletrônicos.

Quando se resolve substituir um motor por outro de potência adequada à necessidade instalada, deve-se realizar um estudo de viabilidade econômica de troca imediata deste motor ou se deve esperar o mesmo vir a queimar para uma posterior substituição. O motor deve ser trocado imediatamente se a economia gerada com a extinção das perdas ao longo da vida útil restante do motor for suficiente para pagar o motor novo. De acordo com BORTONI *et al.*, (2007) o cálculo para averiguar esta viabilidade é realizado através da Eq. (1).

$$C_{novo} = T_R * E \quad (1)$$

Onde ‘C_{novo}’ é o custo de aquisição do motor novo, ‘T_R’ é a vida útil restante para o motor e ‘E’ é a economia anual obtida pela instalação do motor melhor dimensionado, obtido através da Eq. (2).

$$E = 0,745 * P_N * \frac{n_t}{n_N} * \frac{(n_s - n_t)}{(n_s - n_N)} * H * TE * \left(\frac{100}{\eta_{velho}} - \frac{100}{\eta_{novo}} \right) \quad (2)$$

Onde, ‘P_N’ é a potência nominal do motor em CV, ‘H’ é o número de horas de operação por ano, ‘TE’ é a tarifa da energia local, ‘ η_{velho} ’ e ‘ η_{novo} ’ são respectivamente os rendimentos de operação do motor velho e do novo, ‘n_s’ é a velocidade de rotação síncrona, ‘n_t’ é a velocidade de rotação de trabalho e ‘n_N’ é a velocidade de rotação nominal da máquina.

Por outro lado, pode-se contar com a inclusão de controladores de velocidade para redução dos desperdícios de energia gerados através dos motores elétricos.

2.1.1 Utilização de Controladores de Velocidade

Pelo fato de o motor de indução ser o tipo de motor mais utilizado no setor industrial, a tomada de medidas que possam vir de alguma forma a trazer racionalização do uso de energia se faz essencial para o ramo da eficiência energética que estuda este tipo de equipamento. Algumas dessas medidas, como já citadas podem ser a substituição do motor ou a adequação do mesmo a sua carga nominal. Porém algumas medidas operativas podem vir a

trazer grande redução nos desperdícios ocasionados pelas partidas deste tipo de máquina e redução nos gastos com energia elétrica.

O inversor de frequência é composto por um circuito retificador, que converte a tensão CA de entrada para uma tensão CC, um filtro (barramento CC) indutivo e capacitivo com o objetivo de retirar ondulações CC ainda presentes após o retificador e um inversor na saída. O inversor é composto por seis transistores de potência que permutam entre fechado e aberto, como modulação PWM, a fim de gerar a onda senoidal que é conectada ao motor. A frequência da alimentação do motor depende da configuração implementada na unidade de Controle microprocessada. Ao controlar a rotação do motor, é flexibilizada a produção da máquina que é acionada pelo motor de indução. Esse controle é capaz de gerar redução do conjugado da máquina, reduzindo assim a demanda de potência em máquinas sobredimensionadas.

A utilização desta medida operativa gera considerável economia de energia por realizar redução de perdas em motores de indução que constituem uma tão grande parcela da carga do sistema elétrico industrial do país. Outra medida operativa capaz de gerar redução do conjugado e da potência demandada no motor é a utilização do *softstarter*, que são equipamentos projetados especialmente para suavizar a partida de motores, reduzindo correntes de partida, quedas de tensões, torções bruscas, vibração e outros benefícios, mantendo a mesma frequência.

O funcionamento do *softstarter* é baseado em comandos microprocessados que, aliás, consomem pouca energia, controlando diretamente os tiristores que regulam a tensão encaminhada ao motor, e conseqüentemente, diminuem os altos conjugados de aceleração e protegem a rede elétrica.

A variação da velocidade promovida pelas medidas operativas citadas (*softstarter* e inversor de frequência) realiza, portanto, a otimização da potência consumida resultando em rendimentos elevados na operação, minimização de perdas e redução no consumo de energia.

2.1.2 Utilização de Motores de Alto Rendimento

Como já citado anteriormente os motores são equipamentos de conversão responsáveis por converter energia elétrica em energia mecânica. Porém este processo não se dá por uma conversão perfeita, pois em meio a sua execução ocorre o surgimento de algumas

perdas no interior da máquina, algumas dessas perdas são as perdas por efeito Joule no estator e no rotor, perdas no ferro, perdas por atrito e ventilação e perdas por dispersão.

Os motores de alto rendimento apresentam melhorias quando relacionados aos demais motores com o intuito de reduzir ou até mesmo eliminar algumas das perdas citadas anteriormente, estes tipos de motores aparecem como uma forte alternativa de economia de energia. Algumas destas melhorias são o aumento da quantidade de cobre nos enrolamentos do estator e o superdimensionamento das barras do rotor para diminuir as perdas por efeito Joule.

A diminuição da intensidade de campo magnético e utilização de chapas magnéticas de boa qualidade para reduzir as perdas no ferro e a corrente de magnetização, o emprego de rolamentos e ventiladores adequados para diminuir as perdas por atrito e ventilação, e finalmente a regularidade do entreferro, melhoria no isolamento e tratamento térmico das chapas do estator e do rotor para reduzir as perdas adicionais. Além de proporcionar uma redução considerável nas perdas, estes motores operam em uma temperatura mais baixa, obtendo assim uma maior vida útil, os mesmos ainda apresentam menos ruído e necessitam de menos manutenção.

Este tipo de motor, por apresentar as vantagens citadas, são mais caros que os motores standard ou outros, porém esse custo não é considerado exorbitante quando se relaciona os benefícios que estas máquinas podem vir a trazer na conservação de energia.

2.1.2.1 Economia Obtida

Através deste tópico irá se quantificar a economia de energia e o valor de retorno ao se realizar a substituição de motores convencionais por motores de alto rendimento. Para se calcular a economia de energia necessita-se conhecer o consumo em kWh de cada motor, sendo possível esse cálculo através da Eq. (3) e da Eq. (4).

$$C_{m1} = \frac{(P_{m1} * T_{m1})}{\eta_{m1}} \quad (3)$$

$$C_{AR} = \frac{(P_{AR} * T_{AR})}{\eta_{AR}} \quad (4)$$

Onde 'C_{m1}' e 'C_{AR}' são os consumos em kWh/mês do motor convencional e do motor de alto rendimento respectivamente, 'P_{m1}' e 'P_{AR}' são as potências em kW dos motores, 'T_{m1}' e 'T_{AR}' são os tempos em horas/mês de operação de cada um dos tipos de motores, e 'η_{m1}'

e ' η_{AR} ' são o rendimento em porcentagem do motor convencional e do motor de alto rendimento respectivamente.

Em seguida, ao ser conhecido o consumo de cada um deles, basta se realizar a subtração desses consumos, como mostra a Eq. (5).

$$Economia(kWh/mês) = C_{m1} * C_{AR} \quad (5)$$

Para se determinar o valor retornado através desta energia economizada devido a troca dos motores, se faz necessário conhecer o custo da energia, este cálculo é realizado como mostra a Eq. (6).

$$V_r = Economia(kWh/mês) * Custo da Energia (R\$/kWh) \quad (6)$$

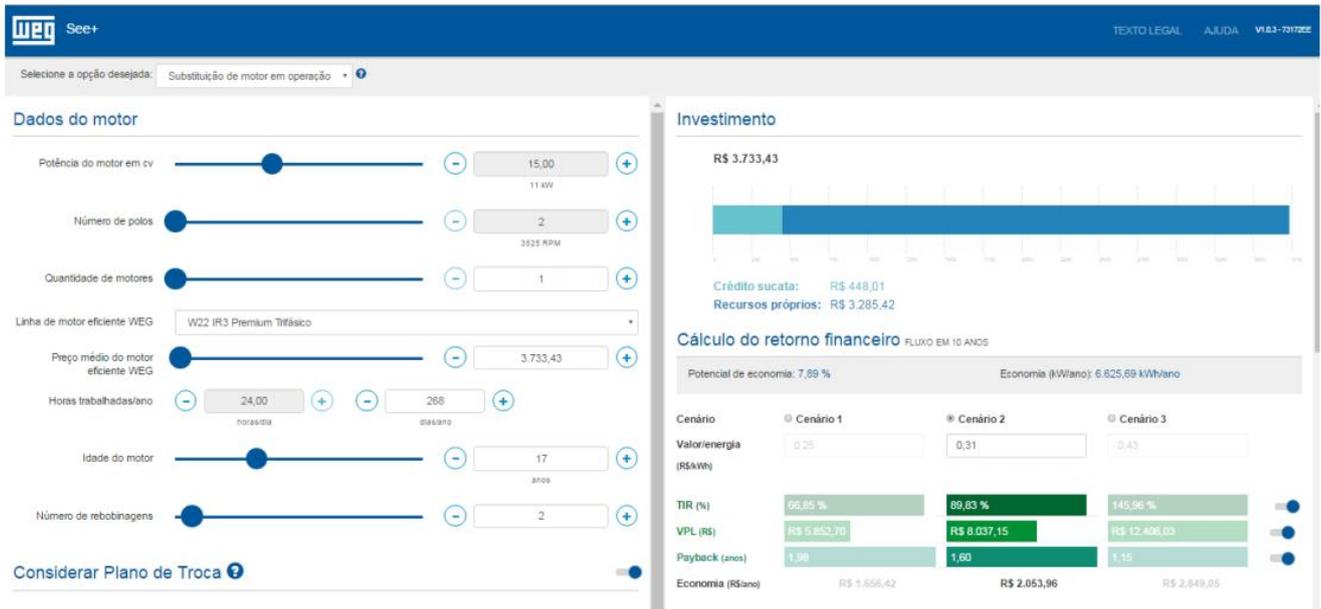
Onde V_r representa o valor de retorno ao se substituir os motores.

Para melhor exemplificar e tornar claro a eficácia dos motores de alto rendimento, de acordo com o estudo de caso realizado por ALMADA *et al.*, (2016), em uma fábrica de máquinas de costura, ao se substituir 25% dos motores com potência entre 75 e 150CV obteve-se um *Payback* em pouco mais de um ano e meio, 1,7 anos para ser mais exato. Já na substituição de 50% dos motores entre 5 e 50CV obteve-se um *Payback* de 2 anos.

Tendo em vista que este método de substituição de motores traz grandes melhorias tanto para a redução do consumo de energia, quanto economicamente, esta alternativa é, portanto, bastante viável para o meio industrial, podendo ressaltar que esta substituição pode ser ainda mais atrativa ao se levar em conta que algumas empresas recebem o motor antigo ao realizar a troca propiciando até 20% de desconto na aquisição do motor de alto rendimento. Muitas dessas empresas como no caso da WEG, têm em seus *sites* alguma plataforma de simulação de troca como na Figura 2.

Na plataforma em questão se informam os dados do motor desejado, como potência, número de polos, informa-se também o número de motores e a linha de eficiência desejada, em seguida o site retorna o investimento, e de acordo com a tarifa local informa o cálculo de retorno financeiro. Propiciando assim a realização de uma análise rápida do investimento em questão, e verifica o quão vantajoso será ou não a ação de substituição de motores, informando alguns fatores que comprovam a viabilidade do projeto de investimento, como o *Payback*, o valor presente líquido (VPL) e a taxa interna de retorno (TIR).

Figura 2 – Plataforma no Site da WEG para simulação econômica da troca de motores.



Fonte: Imagem da plataforma do site da WEG capturada pelo Autor.

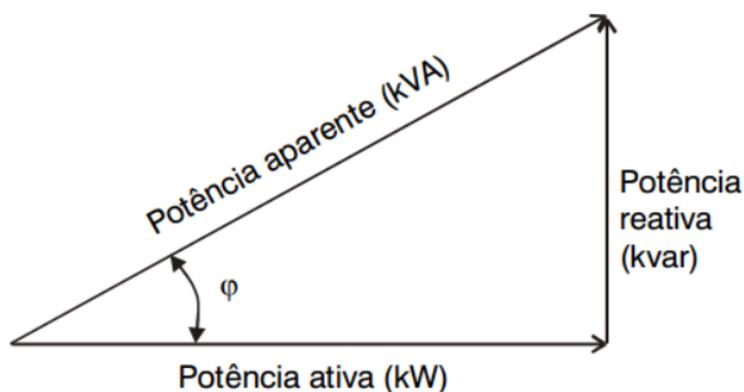
3 CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA E READEQUAÇÃO DA ILUMINAÇÃO

Ao se falar em eficiência energética, se fala em um consumo racional de energia, onde se visa manter as mesmas atividades que necessitam da energia, consumindo menos e gerando uma maior economia. Fala-se também de uma energia de qualidade, sem que haja algum tipo de perda. O fator de potência é um dos parâmetros utilizados para determinar a qualidade da energia elétrica.

O fator de potência (FP) é um índice que reflete como a energia está sendo utilizada, mostrando a relação entre a energia realmente útil (ativa – W) e a energia total (aparente – VA), fornecida pelo sistema elétrico. A razão entre a potência ativa e a potência aparente constitui o fator de potência mostrada na Eq. (7). O triângulo das potências, mostrado na Figura 3, mostra a relação entre as potências ativa, reativa e aparente.

$$FP = \frac{W}{VA} = \cos \varphi \quad (7)$$

Figura 3 – Triângulo das potências.



Fonte: WEG, (2016).

O fator de potência indica qual porcentagem da potência total fornecida (VA) é efetivamente utilizada como potência ativa (W). Dessa forma indica o grau de eficiência do uso dos sistemas elétricos, onde quando a razão entre a potência ativa e a potência aparente apresentar valores altos de fator de potência que correspondem a valores próximos a 1(um), indicam uso eficiente da energia elétrica e quando apresentar valores baixos, indicam o mau aproveitamento da energia elétrica.

As recomendações a respeito do fator de potência estão regidas na resolução N° 414 da ANEEL. Tal resolução fixa o valor de referência do fator de potência em 92% capacitivo ou indutivo dependendo da hora do dia, sendo este o valor mínimo que uma unidade consumidora pode apresentar em suas instalações elétricas.

3.1 Correção do Fator de Potência

Alguns equipamentos elétricos necessitam tanto de energia ativa, quanto de energia reativa para que seja possível seu ideal funcionamento, como no caso dos motores e transformadores, que necessitam da energia ativa, porém também solicitam energia reativa para criar o fluxo magnético necessário para seu funcionamento. Podem ser citados então como causa do baixo fator de potência além dos motores e transformadores operando com pequenas cargas ou quando são superdimensionados, a presença de um grande número de motores de pequena potência, máquinas de solda, lâmpadas fluorescentes, lâmpadas de vapor de mercúrio e vapor de sódio e outros.

Baixos valores do fator de potência ocasionados por algumas das situações citadas anteriormente, podem resultar no aumento da corrente nas redes de distribuição de energia, podendo vir a afetar as subestações, as linhas tanto de distribuição quanto de transmissão trazendo instabilidade para o sistema elétrico, podendo vir a causar perdas na rede, queda de tensão, interrupção do funcionamento, redução da capacidade de fornecimento e redução da conservação de energia.

Portanto, ao observar as inúmeras avarias que podem vir a ser causadas pelo baixo fator de potência, verifica-se a importância de implantação de medidas corretivas para tal problema, quando este existir. Algumas medidas que podem ser tomadas para corrigir o fator de potência são o desligamento de transformadores e motores que funcionam em vazio, utilização de reatores de alto fator de potência para lâmpadas que necessitem de reatores, redimensionamento de motores superdimensionados, realocação de cargas, instalação de motores síncronos, aumento do consumo de energia ativa e instalação de banco de capacitores.

Dentre as alternativas citadas a prática mais comum para a correção do fator de potência baixo é a implantação dos bancos de capacitores, que são instalados de modo a fazer circular a energia reativa necessária para alguns equipamentos o mais próximo da carga, reduzindo a circulação destes reativos na rede elétrica. O motor síncrono citado nas alternativas anteriores também gera energia reativa capacitiva para a correção do fator de potência, porém um fator limitante para sua utilização é seu alto custo de aquisição.

Estes capacitores podem ser instalados junto ao equipamento ou em um setor que se deseja melhorar o fator de potência, ou ainda junto ao quadro de distribuição para atender toda a unidade consumidora.

Porém a implantação de banco capacitores pode vir a trazer problemas ao invés de solucionar a situação de determinada unidade consumidora, em casos de fator de potência baixo é aconselhável a implantação dos bancos de capacitores somente quando esse baixo fator de potência se der por conta do deslocamento angular entre as componentes fundamentais de tensão e corrente. Quando o baixo fator de potência for ocasionado por conta da presença de harmônicos na rede o correto é se instalar filtros passivos ou ativos. Isso será levado em consideração no estudo de caso presente neste trabalho.

3.2 Readequação da Iluminação

Com o avanço acelerado da tecnologia nos últimos anos, a qualidade e eficiência de alguns equipamentos específicos e de menor porte, passou a fazer uma considerável diferença no que diz respeito ao aumento da eficiência energética de um sistema. Os fabricantes de dispositivos voltados a iluminação de ambientes, como lâmpadas, equipamentos auxiliares ao seu acionamento e inerentes aos sistemas de iluminação, vem fornecendo aos consumidores uma leva cada vez maior e mais eficiente de produtos.

A substituição de alguns dos equipamentos desses sistemas, mesmo que de maneira parcial, muitas vezes chega a proporcionar até 70% de economia na conta de energia, sem falar que a qualidade do atendimento aumenta e passa a suprir melhor os seus usuários. Ponde tal processo permite correções nos níveis de iluminância do local, previstos em norma.

Dessa forma, a readequação da iluminação, ou *Reftrofit* de iluminação, que nada mais é do a mudança nos componentes do sistema elétrico em questão, afim de obter um aumento na eficiência do mesmo, vem ganhando espaço do mercado, o que faz com que os consumidores cada vez mais fazem o requerimento desse serviço, porém as condições da instalação elétrica e da edificação como um todo, devem passar por um cuidadoso estudo, para que não ocorra a designação de alterações fora do padrão ou simplesmente inadequadas ao sistema elétrico em questão.

Além do que, diversos aspectos devem ser levados em consideração e de fato calculados, como, custos de instalação de um novo sistema, manutenção do mesmo e impactos ao longo prazo. O que faz com a readequação da iluminação não seja uma simples troca de equipamentos.

4 IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

A problemática de grande demanda de energia mostrada no capítulo anterior, abre espaço para a geração de energia elétrica por meio de fontes alternativas, como por exemplo, a geração através da biomassa, a eólica e a fotovoltaica. Das fontes alternativas citadas anteriormente a que mais se destaca, tanto pelo custo de implantação, quanto pela manutenção e por ser uma das que causa menos danos ao meio ambiente é a fotovoltaica.

Para MARINOSKI (2004) a tecnologia fotovoltaica é um caminho ideal para a geração de energia, através de uma fonte inesgotável e não poluente, oferecendo economia nas contas de energia através da produção de energia limpa, sustentável e amigável ao meio ambiente, o sistema fotovoltaico está cada vez mais sendo utilizado por países desenvolvidos, não somente para uso residencial, mas também em edificações comerciais e industriais.

A geração fotovoltaica distribuída, normalmente ocorre próximo à carga, evitando os custos com a transmissão em alta tensão. As células solares produzem energia em corrente contínua, e um inversor é necessário para transformar a tensão e frequência em corrente alternada, sem emissão de gases poluentes ou ruídos e com uma baixa necessidade de manutenção.

O Brasil possui alguns pontos favoráveis para a implantação de energia proveniente do sol, pois o seu território abrange regiões que apresentam climas tropicais, que trazem para as mesmas, condições propícias para implantação deste tipo de geração. Algumas dessas regiões apresentam um período de inverno bem curto, o que torna ainda mais eficiente a geração fotovoltaica ao longo do ano.

Ao se instalar a tecnologia fotovoltaica conectada à rede elétrica, o cliente reduz o valor pago em sua conta mensal, descontando toda a energia introduzida na rede elétrica proveniente da geração fotovoltaica do seu empreendimento. Desta forma a energia fotovoltaica é considerada um importante método de eficiência energética porque é uma energia mais barata do que a energia que compramos da distribuidora, além de ser necessário disponibilizar menos energia para a região em que tal tecnologia está implantada, trazendo assim benefícios ao meio ambiente, por ser um método de obtenção de energia que causa bem menos impactos ambientais.

4.1 Princípio de Funcionamento das Células Fotovoltaicas

Quando se fala em geração fotovoltaica, refere-se à transformação direta da luz em energia elétrica e, para isso, recorre-se a células solares. Neste processo, são utilizados materiais semicondutores como o silício, o arsenieto de gálio, telurieto de cádmio ou disselenieto de cobre e índio. A célula de silício cristalina é a mais comum.

Hoje, cerca de 95% de todas as células solares existentes no mundo são de silício. Numa quantidade próxima do oxigênio, é o segundo elemento químico mais frequentemente utilizado na Terra de acordo com SANTOS (2011). O silício apresenta uma disponibilidade quase ilimitada, no entanto não existe como um elemento químico, existindo somente associado à areia de sílica.

A obtenção de energia através da célula fotovoltaica ocorre da seguinte forma. A célula fotovoltaica é feita de um material semicondutor, esse material é composto por duas camadas com cargas opostas, os elétrons e as lacunas, e por uma camada de condução, ao se incidir a luz do sol, os fótons presentes na luz fazem com que os elétrons saltem para a camada de condução, deixando uma lacuna livre para ser preenchida por outro elétron, esse efeito se repete e é neste movimento dos elétrons e lacunas que a energia elétrica é coletada pelos condutores da célula fotovoltaica.

Estas células fotovoltaicas são agrupadas, formando os módulos fotovoltaicos, estes módulos serão responsáveis por suportar as condições adversas em que serão submetidas, como fortes ventos e chuvas. O conjunto destes módulos fotovoltaicos formam os painéis fotovoltaicos.

4.2 Tipos de Sistemas Fotovoltaicos

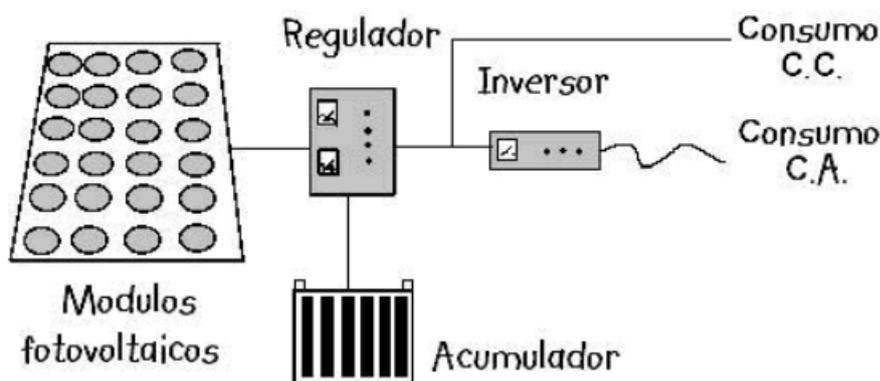
De acordo com a necessidade, localização e arranjo de seus componentes, os sistemas fotovoltaicos podem ser divididos em três tipos: isolados ou autônomos, híbridos e conectados à rede.

4.2.1 Sistemas Isolados (Autônomos)

É o sistema fotovoltaico que não está conectado à rede elétrica, logo este sistema funciona necessitando ou não de um sistema de armazenamento, utilizando-se na maioria das

vezes as baterias para realizar o armazenamento. Este tipo de sistema se revela de grande importância, principalmente em áreas que não existe fornecimento de energia através da rede pública de distribuição, seja por dificuldade de acesso ou por questões econômicas. Tal sistema possui uma configuração característica, que pode ser vista na Figura 4.

Figura 4 – Constituição de um sistema fotovoltaico autônomo.



Fonte: Santos, 2011.

De acordo com ALMADA (2016), dentre os sistemas isolados existem muitas configurações possíveis, como:

- Carga CC sem Armazenamento - Neste caso, a energia elétrica é usada no momento da geração por equipamentos que operam em corrente contínua. Um exemplo deste uso é em sistemas de bombeamento de água com bombas com motor de corrente contínua. Em alguns casos, o sistema pode incorporar um seguidor do ponto de máxima potência, de forma a otimizar o funcionamento da bomba.
- Carga CC com Armazenamento - Este é o caso em que se deseja usar equipamentos elétricos, em corrente contínua, independentemente de haver ou não geração fotovoltaica simultânea. Para que isto seja possível, a energia elétrica deve ser armazenada em baterias. Exemplos comuns são iluminação, rádio, televisão, sistemas de comunicação etc.
- Carga CA com Armazenamento - Para alimentação de equipamentos que operem em corrente alternada é necessário que se utilize um inversor. É comum sistemas deste tipo incorporarem um seguidor do ponto de máxima potência, que pode estar embutido no

próprio inversor. Um caso típico de aplicação destes sistemas é no atendimento de residências isoladas que façam uso de eletrodomésticos convencionais.

- Carga CA sem Armazenamento - Da mesma forma como apresentado para cargas CC, pode-se usar equipamentos que operem em corrente alternada sem o uso de baterias, bastando, para tanto, a introdução de um inversor entre o arranjo fotovoltaico e o equipamento a ser usado. Um exemplo deste uso é quando se deseja utilizar bombas com motores convencionais em sistemas Fotovoltaicos.

4.2.2 Sistemas Híbridos

Os sistemas híbridos são aqueles em que, estando desconectados da rede elétrica, existe mais de uma forma de geração de energia, como por exemplo, gerador a diesel, turbinas eólicas e módulos fotovoltaicos. Estes sistemas são mais complexos e necessitam de algum tipo de controle capaz de integrar os vários geradores, de forma a otimizar a operação para o usuário. Utilizam-se sistemas híbridos para o atendimento a cargas de corrente alternada.

4.2.3 Sistemas Conectados à Rede

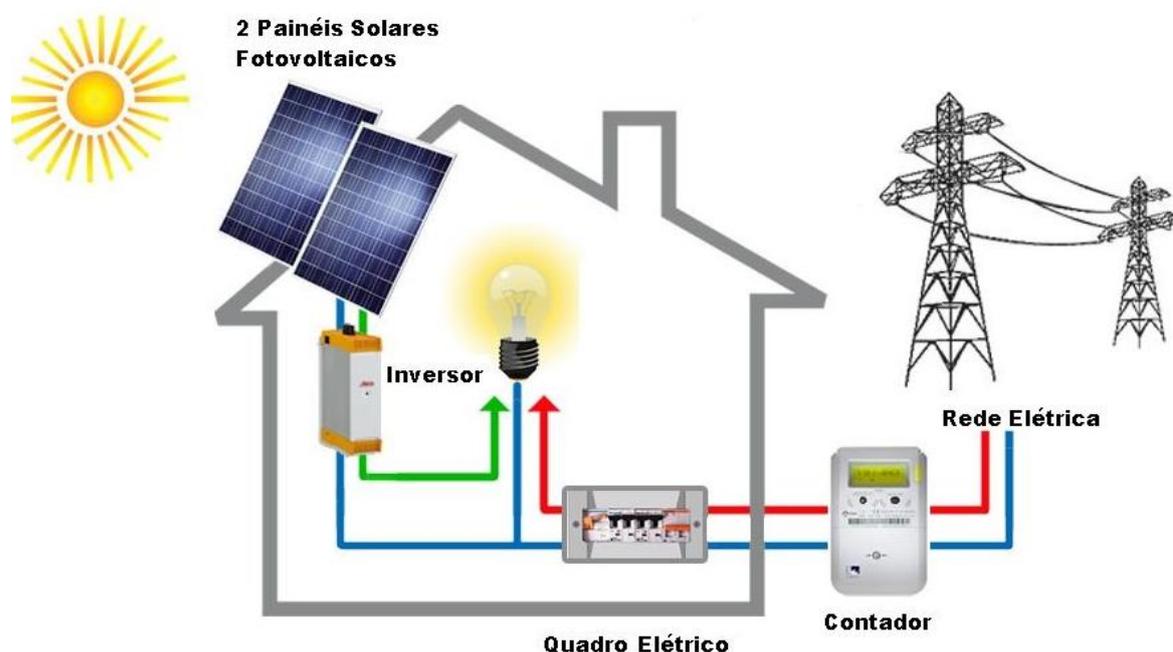
Este tipo de sistema utiliza a rede de distribuição de eletricidade como acumulador de energia, uma vez que toda a energia gerada pelo sistema fotovoltaico é injetada na rede elétrica.

O sistema fotovoltaico ligado à rede é normalmente constituído de um gerador fotovoltaico (painel fotovoltaico), dispositivos de proteção, cabos, inversor e aparelho de medida. Este aparelho de medida, na maioria dos casos para este tipo de sistema, tem a tecnologia bidirecional, onde o medidor tanto coleta informações da quantidade de energia injetada na rede, quanto a consumida pela unidade consumidora da rede da distribuidora. É indispensável que se utilize um inversor que deve satisfazer as exigências de qualidade e segurança para que não degrade a qualidade do sistema no qual se interliga o arranjo fotovoltaico. O qual pode ser observado na Figura 5.

Esse sistema permite que a energia gerada pela unidade consumidora com micro ou minigeração seja injetada na rede da distribuidora, a qual funcionará como uma bateria, armazenando esse excedente até o momento em que a unidade consumidora necessite de

energia proveniente da distribuidora, caso a energia gerada em um mês seja maior do que a consumida. A energia excedente gerada pode ser utilizada como crédito em energia na próxima fatura, esse crédito excedente expirará somente 60 meses após a data do faturamento segundo ANEEL (2014). O consumidor ainda pode utilizar esses créditos para outras unidades consumidoras, desde que ambas as propriedades sejam no nome do mesmo proprietário.

Figura 5 – Constituição de um sistema fotovoltaico ligado à rede.



Fonte: Santos, 2011.

4.3 Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos

Será realizado ao longo deste tópico o dimensionamento apenas do sistema fotovoltaico ligado à rede, tanto pelos benefícios e possibilidades que este método proporciona como também pelo menor custo de aquisição em qualquer que seja a escala, por não se utilizar acumuladores de alto custo, como as baterias.

4.3.1 Dimensionamento de Um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

Para se dimensionar um sistema fotovoltaico devem-se levar em conta alguns requisitos básicos necessários para sua implantação, como por exemplo, a localização geográfica verificando o azimute, longitude e latitude, o espaço disponível para implantação dos módulos e as condições ambientais como temperatura e ventos.

Deve-se ainda levar em conta as especificações do fabricante tanto para os painéis quanto para os inversores, além da verificação da disponibilidade financeira para aquisição do sistema. Em um dimensionamento de um sistema fotovoltaico, o primeiro passo a se tomar é estimar a potência instalada e a área disponível para instalação. Feito isso o procedimento seguinte é a escolha do painel solar e do inversor, lembrando que ambos os aparelhos devem manter uma compatibilidade.

Deve se levar em conta a eficiência e o tipo da célula solar, se ele é policristalino, monocristalino ou de película fina, pois quanto mais eficiente for esta célula menor será a área ocupada por kW produzido. De acordo com ALMADA (2016) os cálculos para realização do dimensionamento de um sistema fotovoltaico são apresentados a seguir. Através da Eq. (8) se chega à potência de pico do sistema, ao se obtê-la, determina-se então o número de equipamentos do sistema por meio da Eq. (9).

$$P_s = \frac{\text{Energia Consumida}}{hr * D} \quad (8)$$

Onde o 'hr' é referente às horas de sol pleno da região em que se deseja instalar, o 'Ps' é a potência do sistema e o 'D' se refere ao número de dias do mês.

Em seguida se determina o número inicial de módulos solares, lembrando que este número estará sujeito a mudanças posteriores ao longo do dimensionamento.

$$n = \frac{P_s}{P_m} \quad (9)$$

Onde o 'n' se refere ao número de módulos e o 'Pm' é a potência do módulo escolhido pelo projetista.

Em seguida se realizam as correções para temperaturas extremas de acordo com as propriedades características de cada painel como mostra a Eq. (10).

$$V_{mpp}(T) = V_{mpp} * [1 - \alpha(T - 25)] \quad (10)$$

Onde o ' α ' é o coeficiente de temperatura da tensão do módulo escolhido, ' V_{mpp} ' é a tensão de máxima potência e ' T ' é a temperatura. Este procedimento deve ser repetido para as temperaturas de 70° e -10°C, caracterizando as temperaturas extremas. Também com a temperatura de -10°C deve ser realizado a seguinte medida.

$$V_{voc}(T) = V_{voc} * [1 - \alpha(T - 25)] \quad (11)$$

Onde ‘ V_{voc} ’ corresponde a tensão de circuito aberto do painel. O passo seguinte é a verificação do número máximo e mínimo de painéis ligados em série por meio da Eq. (12), Eq. (13) e Eq. (14).

$$N_{\min(mpp)} = \frac{V_{mpp_min}(inversor)}{V_{mpp}(70^{\circ}C)(módulo)} \quad (12)$$

$$N_{\max(mpp)} = \frac{V_{mpp_max}(inversor)}{V_{mpp}(-10^{\circ}C)(módulo)} \quad (13)$$

$$N_{\max} = \frac{V_{dc_max}(inversor)}{V_{voc}(-10^{\circ}C)(módulo)} \quad (14)$$

Nas equações acima o ‘ V_{mpp_max} ’ e o ‘ V_{mpp_min} ’ se referem a máxima e mínima tensão do ponto de máxima potência do inversor respectivamente, o ‘ $V_{mpp}(70^{\circ}C)$ ’ e o ‘ $V_{mpp}(-10^{\circ}C)$ ’ se referem as tensões de máxima potência calculadas no passo anterior para as temperaturas de $70^{\circ}C$ e $-10^{\circ}C$ através da Eq.(10). Já o ‘ V_{dc_max} ’ da Eq. (14) se refere à tensão máxima de entrada do inversor e o ‘ $V_{voc}(-10^{\circ}C)$ ’ se refere a tensão de circuito aberto para $-10^{\circ}C$ calculada no passo anterior por meio da Eq.(11).

Através destes cálculos será obtido um intervalo de valores entre os resultados máximos e mínimos encontrados, o valor a ser utilizado de painéis em série será determinado pelo projetista de acordo com a configuração que o projeto deve manter e sem ultrapassar os limites determinados nesta etapa.

O próximo procedimento é determinar o número de fileiras de painéis em série que o projeto irá necessitar, para este cálculo se faz necessário aplicar a Eq. (15).

$$f = \frac{n}{N_o} \quad (15)$$

Onde, ‘ f ’ se refere ao número de fileiras, ‘ n ’ é o número de módulos já calculados na Eq. (9) e o ‘ N_o ’ se refere ao número inicial de módulos ligados em série já determinado através da Eq. (12), Eq. (13) e Eq. (14). E em seguida realiza-se a correção do número final de módulos em série por meio da Eq. (16).

$$N_f = \frac{n}{f} \quad (16)$$

O passo seguinte é a correção para o número final de módulos a serem utilizados por meio da Eq. (17).

$$n_f = N_f * f \quad (17)$$

Tendo feito tal procedimento deve-se então calcular a nova potência do sistema fotovoltaico após a mudança no número de módulos utilizados, este cálculo é realizado de acordo com a Eq. (18).

$$P_{Corrigida} = n_f * P_m \quad (18)$$

Na Eq. (18) o 'n_f' é o número corrigido de módulos a serem utilizados e o 'P_m' é a potência do módulo escolhido.

Ao realizar os procedimentos relacionados aos módulos deve-se então determinar o número de inversores necessários para o projeto através da Eq. (19).

$$N_i = \frac{P_{Corrigida}}{P_i} \quad (19)$$

Na Eq. (19) o 'N_i' se refere ao número de inversores a serem utilizados, e o 'P_i' é o valor da potência do inversor escolhido pelo projetista, porém existem diversos tipos de inversores no mercado, com potências variadas, podendo ser escolhido um inversor que suporte toda a instalação.

Realizado o dimensionamento dos equipamentos o projeto deve atender algumas condições vistas nas Eq. (20), Eq. (21), Eq. (22), Eq. (23) e Eq. (24).

$$V_{mpp}(70^\circ C)(painel) \geq V_{mpp_min}(inversor) \quad (20)$$

$$V_{mpp}(-10^\circ C)(painel) \leq V_{mpp_max}(inversor) \quad (21)$$

$$V_{Voc}(-10^\circ C)(painel) \leq V_{dc_max}(inversor) \quad (22)$$

$$\frac{f}{n_i} * I_{mpp_max}(modulo) \leq I_{dc_max}(inversor) \quad (23)$$

$$0,7 < FDI < 1,2 \quad \rightarrow \quad 0,7 < \frac{N_i * P_i}{n_f * P_m} < 1,2 \quad (24)$$

Sendo então atendidas todas as condições o projeto o próximo passo é a verificação da área disponível para a instalação do número de equipamentos dimensionados e apresentação da configuração do posicionamento desses equipamentos. Caso as condições acima não sejam atendidas, deve ser realizada a substituição do módulo e/ou inversor e todos os cálculos devem ser refeitos a partir dos dados referentes aos novos equipamentos escolhidos.

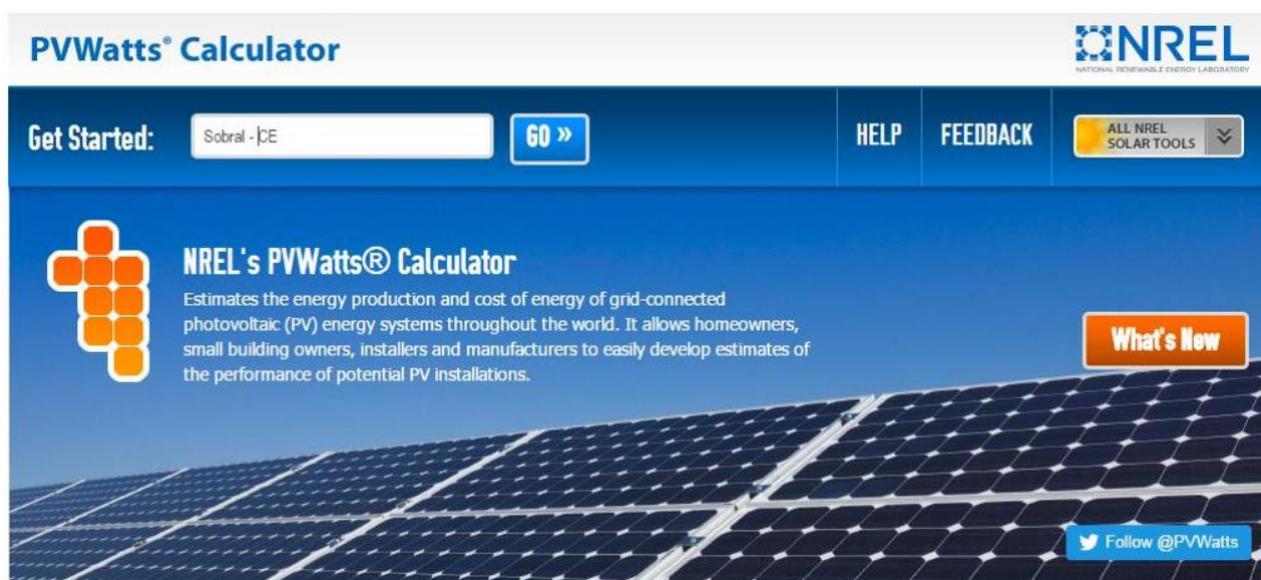
4.4 Orçamento e Cálculo Econômico da Implantação com a Utilização do Software PVWatts

O orçamento de um sistema fotovoltaico só poderá ser finalizado, após serem realizados os cálculos de dimensionamento, onde ao término do mesmo se saberá a quantidade real de módulos fotovoltaicos e de inversores a serem utilizados, podendo então calcular o preço de custo de implantação do empreendimento, sendo a aquisição dos módulos fotovoltaicos e dos inversores responsáveis por em média 65% do valor total da implantação do sistema. Onde, em média os outros 35% restantes são destinados para mão de obra, cabeamento, suportes, projeto, frete e etc.

Para realizar o cálculo de produção do empreendimento fotovoltaico, podem-se utilizar inúmeros *softwares* disponíveis gratuitamente, como por exemplo, o *PVWatts* disponível em < <http://pvwatts.nrel.gov/> >, um *software* fácil de ser trabalhado e com resultados satisfatórios, o mesmo calcula a energia gerada em cada mês do ano utilizando os dados contidos no próprio *software* para qualquer localização dentro do Brasil.

Ao acessar o site acima surgirá a plataforma inicial onde se informa a localização do empreendimento. Como pode ser observado a seguir, na Figura 6.

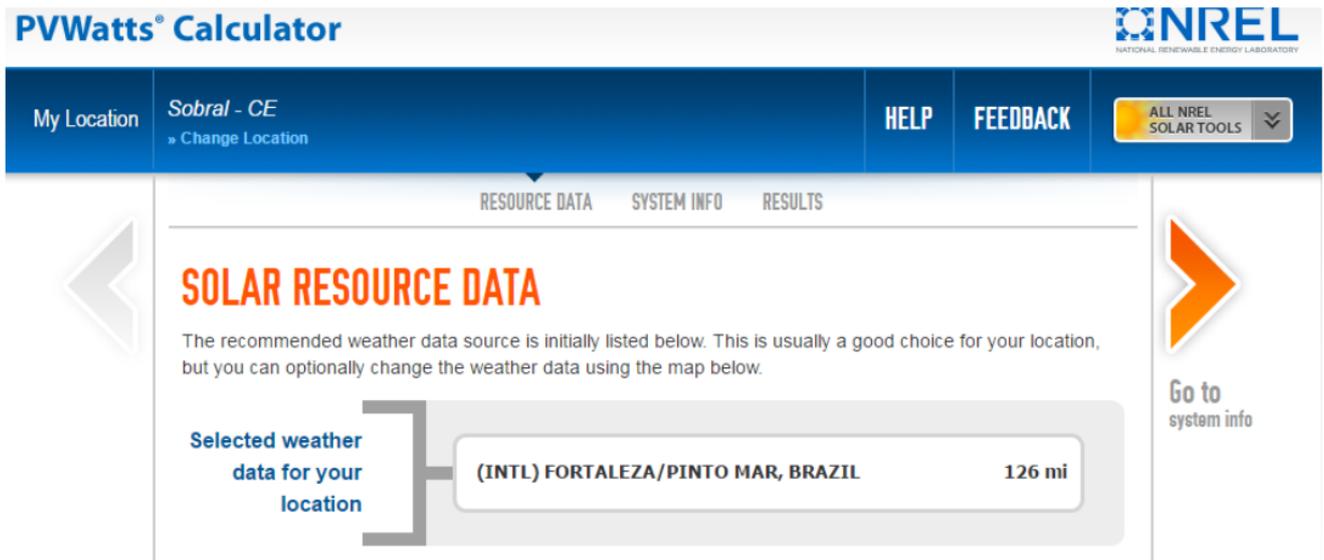
Figura 6 – Imagem da plataforma do Software ‘PVWatts’ para incluir a localização.



Fonte: Imagem da plataforma do software PVWatts capturada pelo Autor.

Em seguida o *software* irá indicar o local mais próximo em que o mesmo tem os dados necessários coletados.

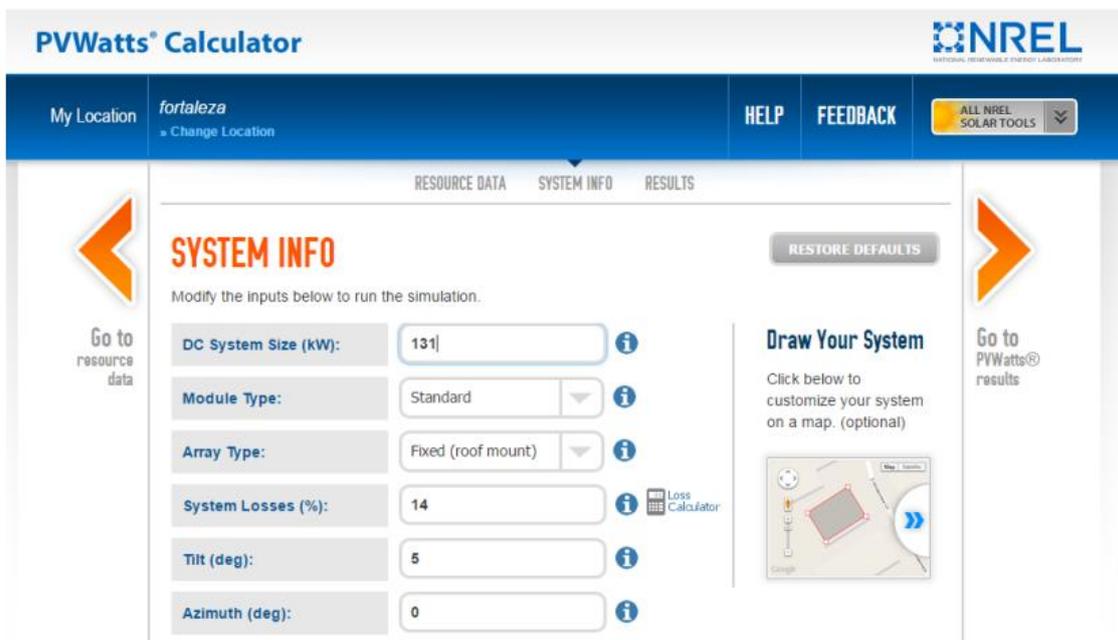
Figura 7 – Imagem do Software ‘PVWatts’ indicando a localização mais próxima.



Fonte: Imagem da plataforma do software PVWatts capturada pelo Autor.

No passo seguinte terá de ser informado respectivamente a potência instalada em kW do sistema fotovoltaico, o tipo do módulo utilizado, especificar se o módulo é fixo ou se realiza algum tipo de movimento em alguma direção, disponibilizar ainda as perdas do sistema, em seguida disponibilizar o ângulo que os painéis montados fazem com o local de montagem e por fim o azimute do local de implantação.

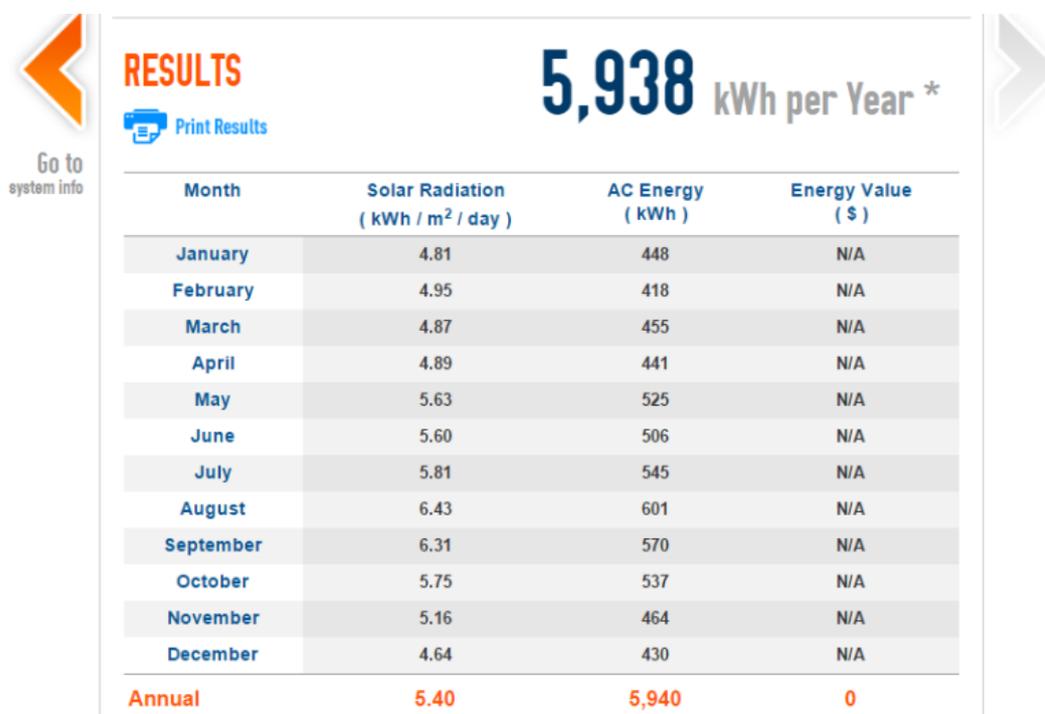
Figura 8 – Inclusão dos dados do sistema fotovoltaico no Software ‘PVWatts’.



Fonte: Imagem da plataforma do software PVWatts capturada pelo Autor.

Ao prosseguir o *software* apresenta os resultados de geração mensais e anual. É apresentado a energia gerada em kWh e também a radiação solar dada em kWh/m²/dia em cada mês do ano.

Figura 9 – Imagem do Software ‘PVWatts’ indicando os resultados de geração.



Month	Solar Radiation (kWh / m ² / day)	AC Energy (kWh)	Energy Value (\$)
January	4.81	448	N/A
February	4.95	418	N/A
March	4.87	455	N/A
April	4.89	441	N/A
May	5.63	525	N/A
June	5.60	506	N/A
July	5.81	545	N/A
August	6.43	601	N/A
September	6.31	570	N/A
October	5.75	537	N/A
November	5.16	464	N/A
December	4.64	430	N/A
Annual	5.40	5,940	0

Fonte: Imagem da plataforma do software PVWatts capturada pelo Autor.

De posse dos resultados, verifica-se a economia gerada pela implantação do sistema fotovoltaico, fazendo a subtração do consumo em cada mês do valor gerado no sistema indicado no *software*.

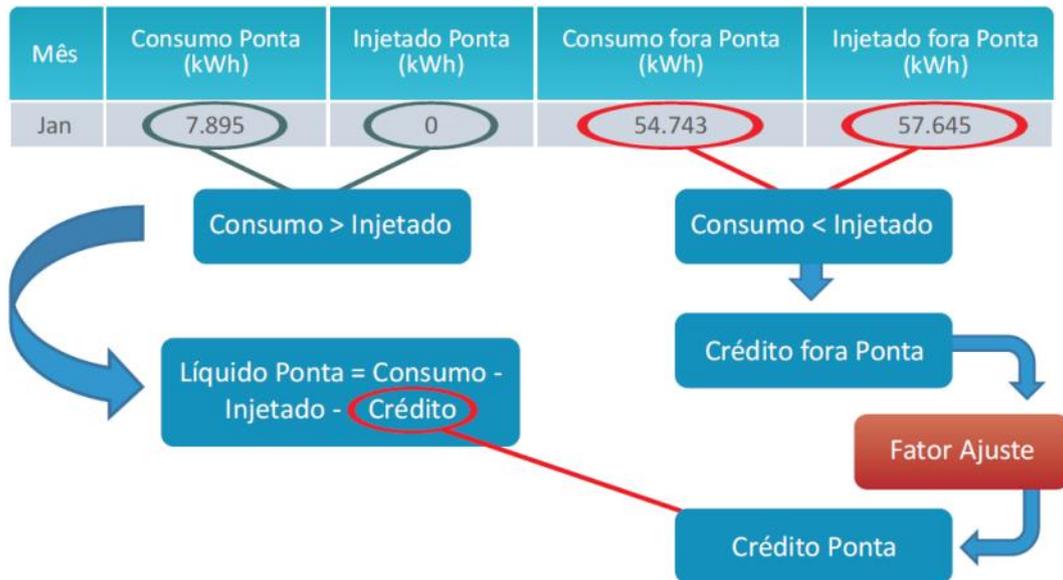
Segundo ANEEL (2014), para as unidades consumidoras que dispõem de tarifa horosazonal, a energia injetada deve ser utilizada para abater o consumo mensal no mesmo período (ponta ou fora ponta). Caso haja sobra, esse saldo será utilizado para reduzir o consumo no outro posto tarifário, após a aplicação de um fator de ajuste. A Figura 10 demonstra como é realizado este abatimento a partir da energia gerada.

O fator de ajuste mencionado é calculado através da razão entre o valor da tarifa no horário fora de ponta e o valor da tarifa no horário de ponta.

O valor injetado corresponde à energia gerada pela unidade consumidora, e no caso da geração fotovoltaica, não há geração na hora de ponta por não haver radiação solar durante este período, compreendido entre as 17:30 às 20:30. Por esse método então se disponibiliza o crédito excedente gerado durante todo o período fora ponta para subtrair o consumo durante a

hora de ponta, reduzindo ainda mais o faturamento de energia, que tende a ser bem mais caro na hora de ponta.

Figura 10 – Método de abatimento do consumo a partir da geração fotovoltaica.



Fonte: ANEEL, 2014.

4.5 Considerações Gerais acerca da Instalação e Manutenção do Sistema Fotovoltaico

Através dos cálculos realizados de dimensionamento, na Seção 5.3, e da disposição das células, observada no Software PVWatts, a inclinação nos painéis é de 5°. E os mesmos, estarão dispostos em série e em paralelo, de modo que possam ser acomodados no teto do recinto abastecido. No estudo de caso das seções subsequentes serão avaliados conceitos técnicos de projeto, como área ocupada pelos painéis, verificação da rede elétrica local, afim de garantir um total suporte da mesma, para com a injeção de energia proveniente da geração fotovoltaica.

Quanto a manutenção do sistema, de acordo com o laboratório Nacional de Energias Renováveis (LNER), dos Estados Unidos. A manutenção do Sistema fotovoltaica deve ser efetuada no mínimo anualmente em regiões com chuvas periódicas e com as quatro estações bem definidas. Já em regiões próximas a linha do equador, onde chove pouco e tem muita incidência de poeira, se faz necessária a manutenção de seis em seis meses. Segundo o laboratório, a grande maioria dos painéis demanda apenas uma limpeza a base de água, como manutenção base, que pode ser realizada por qualquer indivíduo se realizada na altura do chão, quando não, deve ser realizada por pessoas com equipamento e o treinamento apropriado.

5 ESTUDO DE CASO

5.1 Descrição do local de projeto

O presente trabalho tem como finalidade o estudo da substituição de motores antigos em operação por motores de auto rendimento com finalidade de diminuir o consumo de energia elétrica e conseqüentemente os gastos monetários, outros métodos também foram aqui verificados. O estudo foi realizado na empresa CAGECE – Unidade Sobral e pode ser dividido em duas unidades de tratamento, a de Hidrolândia e Frecheirinha, que correspondem a duas cidades da região norte do estado do Ceará. Em conjunto a esse estudo tem-se a inclusão da readequação da iluminação, para viabilizar ainda mais a economia de energia em tempo considerável. Para realização do estudo foi realizado um levantamento de dados para se identificar as principais problemáticas a serem solucionadas.

Os consumidores de energia elétrica podem ser descritos por vários critérios, dentre eles nível de tensão que são atendidos, sendo grupo A ou B com subdivisões cada um, os consumidores grupo A e B com suas características são apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1 – Subdivisões do Grupo A.

GRUPO A	
Subdivisões	Tensão de Fornecimento
A1	$\geq 230KV$
A2	88 kV a 138 kV
A3	69 kV
A3a	30 kV a 44 kV
A4	2,3 kV a 25 kV
AS	Subterrâneo

Fonte: Aneel, 2010.

Tabela 2 – Subdivisões do Grupo B.

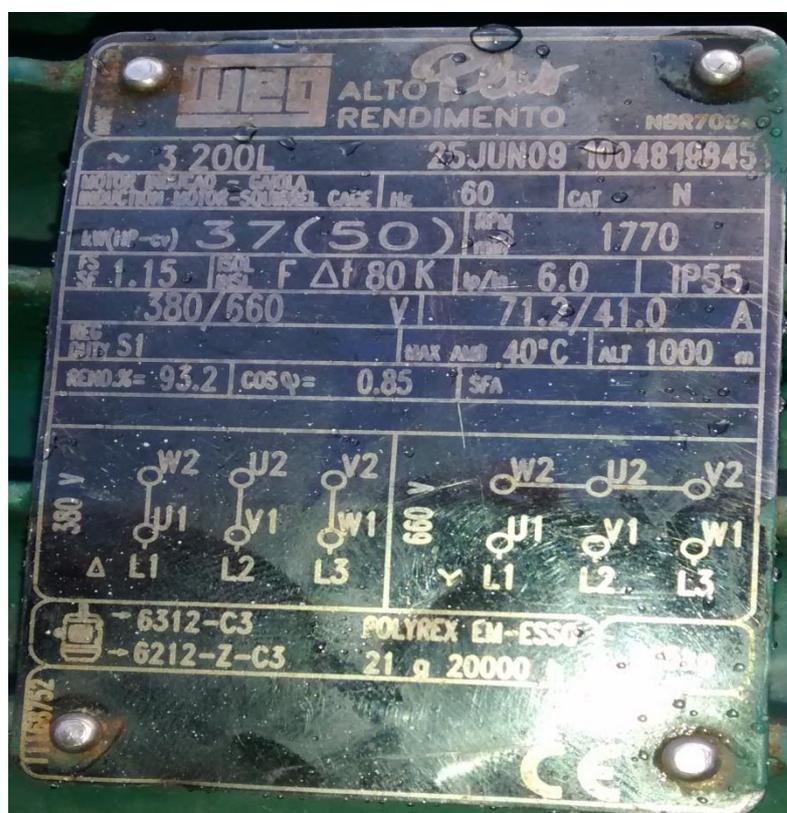
GRUPO B	
Subdivisões	Unidade Consumidora
B1	Residencial
B2	Rural
B3	Demais Classes
B4	Iluminação Pública

Fonte: Aneel, 2010.

5.2 Unidade consumidora de Hidrolândia

A unidade consumidora localiza-se na zona rural da cidade de Hidrolândia, na vila Santa Tereza do Alípio, onde se encontra o reservatório que é encarregado pelo abastecimento de água da região, a unidade consumidora referida é responsável por captar a água do reservatório e remeter a mesma até a estação de tratamento por intermédio de dutos da adutora. A carga instalada na unidade é constituída por apenas um motor de 50CV acoplado a uma bomba, os dados de placa do motor são apresentados na Figura 11 abaixo.

Figura 11 – Dados de placa do motor.



Fonte: A autoria própria, 2018

De acordo com a Figura 11, o motor é de auto rendimento, chegando a um valor de 93,2% e fator de potência de 0,85. Sua potência nominal é de 50 CV o que equivale a 37 kW, a instalação do motor pode ser conferida na Figura 12 adiante.

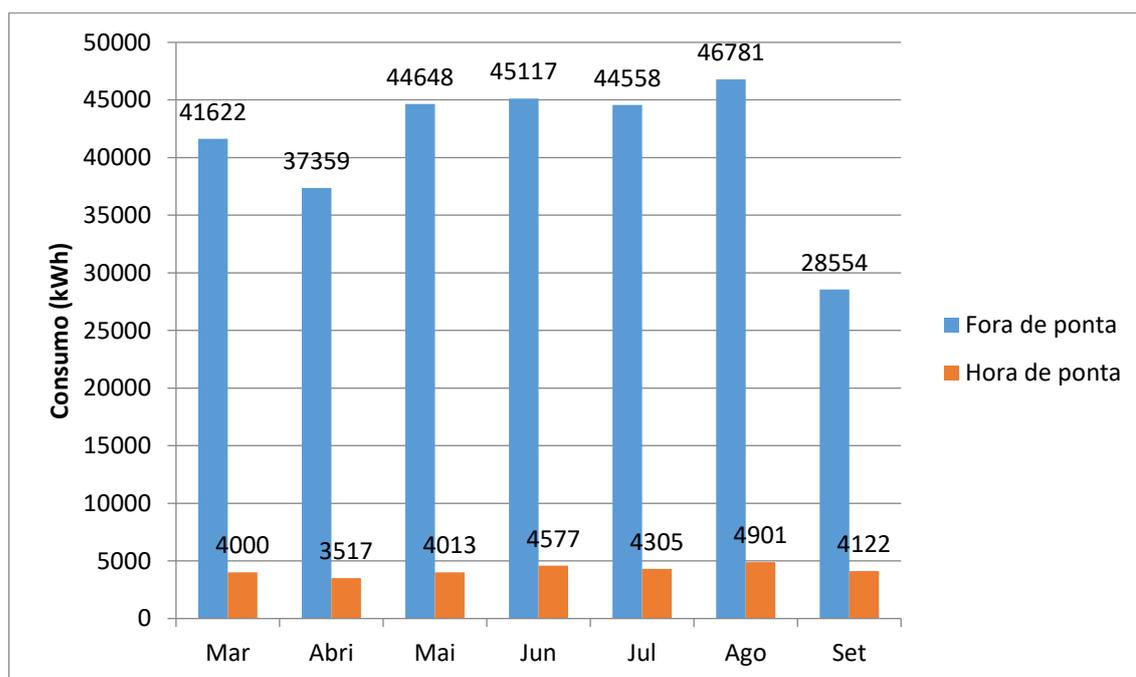
Figura 12 – Instalação do motor na Cidade de Hidrolândia.



Fonte: Aatoria própria, 2018.

Com base na tele medição de dados, foi possível a obtenção do consumo de energia durante sete meses, o mesmo é identificado pelo gráfico da Figura 13.

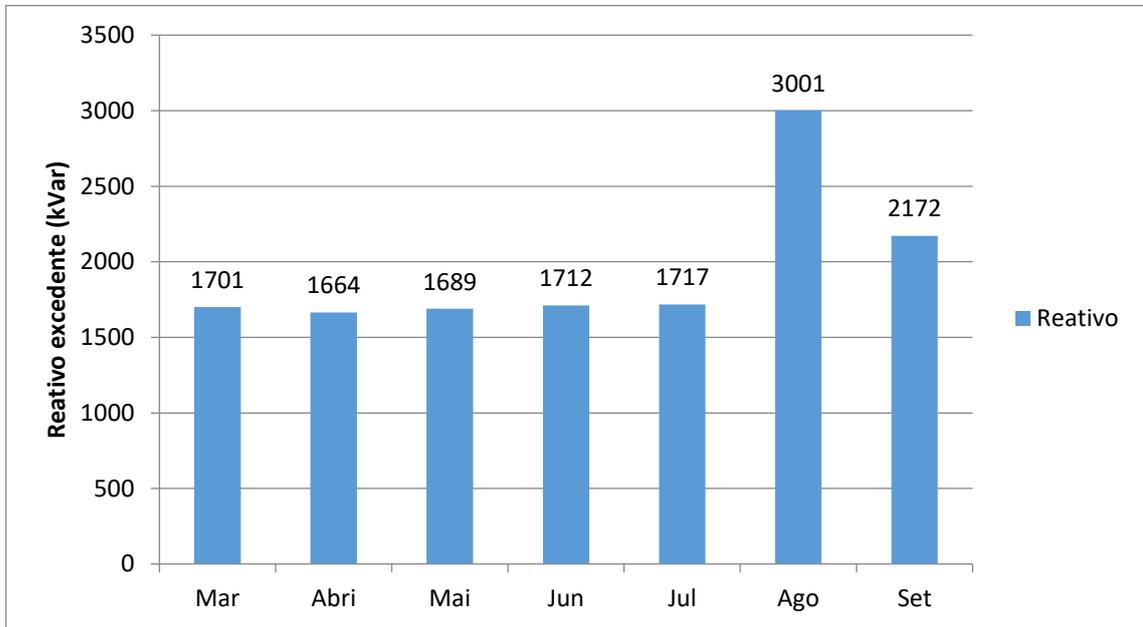
Figura 13 – Consumo mensal referente a unidade de Hidrolândia.



Fonte: Aatoria própria, 2018.

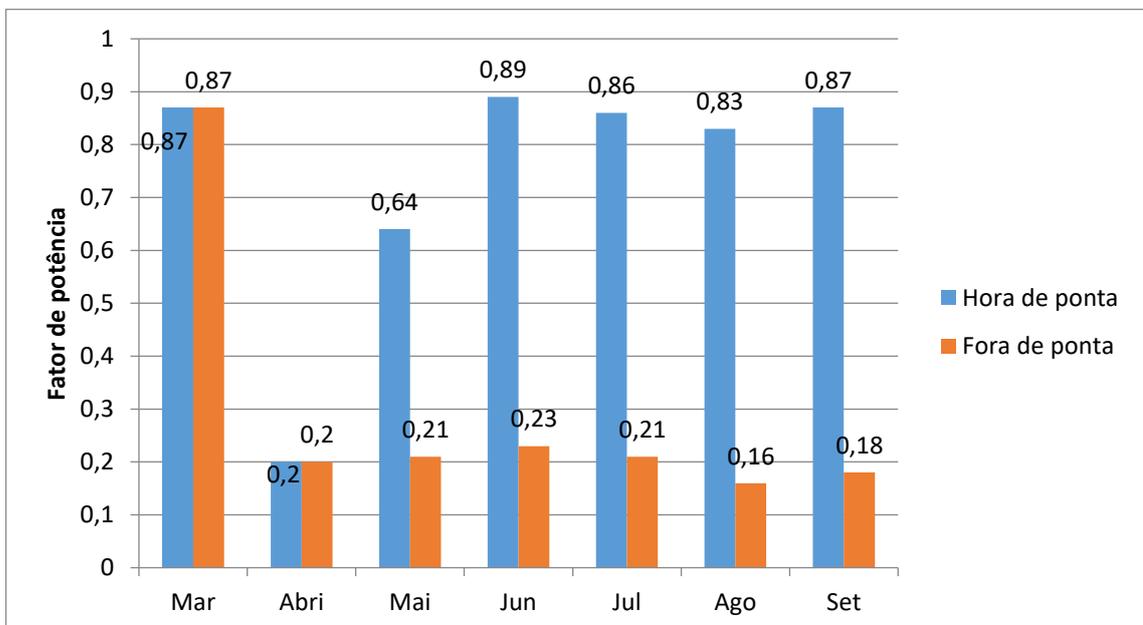
Foram obtidos também os dados de potência reativa excedente e fator de potência, conforme Figuras 14 e 15 respectivamente.

Figura 14 – Potência reativa excedente referente a unidade consumidora de Hidrolândia.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Figura 15 – Fator de potência da unidade de Hidrolândia.



Fonte: Autoria própria, 2018.

5.2.1 Correção do Fator de Potência

Com base nos gráficos obtidos, as análises podem ser realizadas. A priori, optou-se por realizar a correção do Fator de Potência (FP). Pelo triângulo das potências tem-se que:

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{W}{VA} = \cos\varphi \quad (7)$$

O fator de potência indica a energia que está sendo usada, relacionando a energia ativa (W) a que é realmente útil e a energia aparente (VA) que é a total, estabelecendo a porcentagem de potência total que é de fato empregada como potência ativa, valores próximos de um tornam o sistema mais eficiente.

Baixo fator de potência provoca consequências como:

- Sobrecarga do circuito;
- Flutuação de tensão;
- Sobredimensionamento do sistema;
- Aumento da conta de energia elétrica;
- Aumento da espessura dos cabos de distribuição;
- Perdas na transmissão.

As causas de baixo fator de potência podem ser citadas:

- Máquina de solda;
- Transformador operando a vazio;
- Cargas não lineares;
- Motores a vazio;
- Forno a arco.

Portanto, baixo fator de potência ocasiona baixo rendimento do sistema, o ideal é que se apliquem medidas corretivas com finalidade de evitar tais problemáticas, dentre as soluções mais comuns para correção de FP utiliza-se banco de capacitores, os mesmos são instalados de modo a fazer circular a energia reativa necessária para alguns equipamentos o mais próximo da carga, reduzindo a circulação destes reativos na rede elétrica. Estes capacitores podem ser instalados junto ao equipamento.

Assim como foi mencionado no Capítulo 3, deve-se considerar a queda do fator de potência causada por uma possível distorção harmônica, porém no sistema analisado neste estudo de caso, não são observados componentes causadores de distorções harmônicas, como chaves estáticas ou componentes eletrônicos capazes de causar uma variação significativa no fator de potência, em nenhuma das estações em questão.

Para correção do FP é preciso diminuir a quantidade de potência reativa excedente, para tal:

$$RE = \frac{P_{REM}}{Q_d} \quad (25)$$

Sendo:

RE, quantidade de reativo excedente;

P_{REM} , Potência reativa excedente média;

Q_d , Quantidade de dias.

Sabendo que o valor médio de potência reativa excedente é de 1.950,857 kVAr, aplicando o valor em (25), tem-se um valor de 65,28 kVAr, o que equivale a um banco de capacitor ligado em delta com potência de 65,28 kVAr ou 1320,8 μ F.

Posteriormente, calcula-se o valor do investimento e seu retorno, para tal, faz-se uso das tarifas de energia elétrica para os meses estudados, de acordo com a Tabela 3, vista a seguir.

Tabela 3 – Potência reativa excedente para UC de Hidrolândia.

Mês	Tarifa (R\$)	Excedente (kVAr)	Valor pago (R\$)
Março	0,3332	1701	566,77
Abril	0,3412	1664	567,75
Maio	0,3778	1689	638,10
Junho	0,3897	1712	667,16
Julho	0,3815	1717	655,03
Agosto	0,3672	3001	1101,96
Setembro	0,3517	2172	763,89
Total		13656	4960,69

Fonte: Autoria própria, 2018.

De acordo com WEG (2018), o valor necessário para instalar o banco de capacitor na instalação é de 8.500 reais, sabendo que a viabilidade de implantação é calculada pela Eq. (26) adiante, a mesma pode ser calculada.

$$V = 0,17698 * P \quad (26)$$

Sendo:

V, Viabilidade de implantação;

P, Preço do banco de capacitor.

Com base nos valores calculados na Tabela 3 e preço do fabricante o valor da instalação é de 1.504,33 reais. O valor pago por excesso de reativo, também calculado na Tabela 3, equivale a sete meses, para cálculo anual basta multiplicar o valor somado dos 6 primeiros meses por dois, obtendo 8.393,60 reais, com a implantação do banco de capacitor esse valor extra anual não será mais cobrado na conta de energia, o que torna atrativo a instalação.

5.2.2 Substituição de motores

A substituição de motores é tida como atrativo para empresas, uma vez que motores velhos contribuem diretamente para o alto consumo de energia elétrica, logo o ideal é que motores com rebobinações e baixo rendimento possam ser substituídos. Em alguns casos, dispositivos de acionamento como *soft-starter* são utilizadas para auxiliar partidas e evitar desperdício de energia. Para a referida unidade estudada, o resultado geral como TIR, VPL, viabilidade econômica e *payback* para um motor 50 CV, são apresentados na Tabela 4 abaixo.

Tabela 4 – Resultado para substituição de motor de 50 CV.

TIR (%)	41,11
VPL (\$)	14898,34
Economia (kWh/ano)	16461,11
Economia (R\$/ano)	5102,94
Potencial de economia (%)	6,10

Fonte: Autoria própria, 2018.

De acordo com WEG (2018), o valor para o motor presente na instalação é de 10.186,67 reais. Com base nos estudos de consumo de energia e economia é possível se calcular o retorno de investimento do sistema, em diversos estudos esse retorno pode ser calculado

através destes parâmetros: Taxa Interna de Retorno (TIR), retorno de investimento ou *payback* e Valor Presente Líquido (VPL). A análise é realizada através do valor investido para comprar os equipamentos e o valor economizado, para cada um dos meios de retorno citados acima.

No caso do *payback* o cálculo é realizado através do valor investido e economizado, logo:

$$Pb = \frac{V_i}{V_e} \quad (27)$$

Sendo:

V_i o valor investido;

V_e o valor economizado.

Fazendo uso da Eq. (27), o *payback* para substituição do motor é de dois anos e meio. Mais à frente os resultados para substituição de motor e iluminação em conjunto serão apresentados. Com base no valor investido e no valor economizado anualmente, o retorno de investimento para substituição do motor é de 2,5 anos, ou seja, tempo razoável.

Vale ressaltar que os cálculos foram realizados, para motores de mesma categoria, com índices semelhantes, como potência, fator de serviço e fator de potência, sendo apenas a mudança de rendimento considerada aqui.

5.2.3 Readequação da iluminação

Com finalidade de obter mais economia no consumo inclui-se uma readequação da iluminação para a Unidade Consumidora de Hidrolândia, a quantidade de lâmpadas da instalação é citada na Tabela 5.

Tabela 5 – Quantidade de lâmpadas fluorescentes da instalação.

Modelo	Quantidade	Potência	Led equivalente
T5	12	20 W	9 W
T8	14	25 W	10 W

Fonte: Autoria própria, 2018.

Sabendo os dados de funcionalidade do local, pode-se calcular o valor de consumo mensal e anual através da Eq. (27).

$$C = \frac{(P \cdot qh \cdot qd)}{1000} \quad (28)$$

Sendo:

C, consumo de energia elétrica em kWh;

P, potência em W;

qd, Quantidade de horas funcionando;

qd, Quantidade de dias funcionando.

A tabela 6 mostra a comparação do consumo mensal para lâmpadas fluorescentes e para LED, com base no valor médio do consumo de energia para os seis meses estudados, assim é possível evidenciar o consumo para um mês e estimar com margem de erro de 10% para o ano, portanto.

Tabela 6 – Comparação entre consumo de fluorescentes e Leds.

Consumo mensal (kWh)	Consumo Led (kWh)	Economia mensal (kWh)	Economia mensal (R\$)
66,96 (T5)	30,13	36,82	12,95
97, 65 (T8)	39,06	58,59	20,60

Fonte: Autoria própria, 2018.

A economia anual de kWh e reais é exibida na Tabela 7.

Tabela 7 – Quantia de lâmpadas fluorescentes da instalação.

Modelo	Economia anual (kWh)	Economia anual (R\$)
T5	441,84	155,39
T8	703,08	247,27
Total	1144,92	402,66

Fonte: Autoria própria, 2018.

Portanto, analisando as Tabelas 6 e 7 e conferindo a tabela de preços de PHILIPS (2018), o valor a ser investido para substituir as 26 lâmpadas é de 230 reais, aplicando esses valores na Eq. (27), o retorno de investimento ocorre em meio ano. Unindo substituição de motor com a readequação de iluminação, a economia anual de energia é de 5505,6 reais com tempo de um ano e nove meses para retorno de investimento, passado esse período a unidade consumidora passa a lucrar esse valor economizado. Logo, observa-se que a readequação da iluminação da estação compensa e é atrativa sua execução.

5.2.4 Instalação de um Sistema Fotovoltaico

Sabendo das vantagens e ascensão da energia fotovoltaica, e da ótima localização geográfica da unidade consumidora, localizada num lugar aberto e sem sombreamentos a energia fotovoltaica torna-se bem atrativa para este caso. Será realizado então o cálculo de viabilidade de implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede da distribuidora.

Primeiramente foi estimada a média do consumo mensal a partir dos valores do consumo dos seis meses disponíveis para análise, onde se obteve um consumo médio de 46,7kWh. Em seguida através da Eq. (8) calcula-se a potência do sistema.

$$P_s = \frac{\text{Energia Consumida}}{hr * D} = \frac{46700k}{5 * 31} = 301,3kW \quad (8)$$

Depois de realizado tal procedimento, escolheu-se quais equipamentos a serem utilizados para o projeto através de uma pesquisa de marcas e modelos para identificar qual teria melhor custo benefício, foram escolhidos então um painel solar fotovoltaico de 260Wp fabricado pela Canadian Solar e um inversor de 20kW fabricado pela Fronius. As especificações técnicas deste painel estão apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 – Tabela das especificações técnicas do painel fotovoltaico.

Especificações Técnicas do Painel escolhido	Valores
Tolerância	0/5 Watts
Tensão de Máxima Potência (Vm)	30,4 Volts
Corrente de Máxima Potência (Im)	8,56 Amps
Tensão de Circuito Aberto (Voc)	37,5 Volts
Corrente de curto circuito (Isc)	9,12 Amps
Tensão Máxima do sistema	1000 Volts
Eficiência do Painel	16,16%
Coeficiente de Temperatura da Potência (Pm)	0,41%/°C
Coeficiente de Temperatura da corrente (Isc)	0,053%/°C
Coeficiente de temperatura da Tensão (Voc)	0,31%/°C
Temperatura Nominal de Operação da Célula (TNOC/NOCT) :	45 ± 2 °C
Dimensão :	(1,638 X 0,982 X 0,04) m
Código IP da Caixa de junção:	IP 67, 3Diodos
Número de Células e tipo:	60, Silício Policristalino
Peso do módulo:	18Kg
Vidro, tipo e espessura:	Vidro Temperado de Alta Transmissividade, liga de alumínio anodizado, Vidro Temperado 3,2mm.

Fonte: Dados retirados do Datasheet do fabricante do painel, 2018.

O inversor escolhido pertence à classe da tecnologia Grid Tie (Trabalha em sincronia com a rede) e pode ser instalado em área externa ou interna, o mesmo tem suas características técnicas apresentadas na tabela 9.

Tabela 9 – Tabela das especificações técnicas do inversor de frequência.

Especificações Técnicas do Inversor Escolhido			
Entrada		Saída	
Voltagem máxima de entrada	1000 Vcc	Potência nominal de saída	20000W
Faixa de Voltagem do MPP	(420 Vcc a 800Vcc)	Tensão de saída (faixa)	154Vca a 264Vca
Voltagem mínima de entrada	200 Vcc	Frequência de saída	60Hz
Voltagem para inicialização	200 Vcc	Corrente máxima de saída	31,9A
Corrente máxima de entrada	33A / 27A		
Outras Características			
Eficiência Máxima	98,10%	Temperatura de Operação	-25°C a +60°C
Consumo interno (noite)	<1W	Frequência de saída	60Hz
Dimensões	(0,510 x 0,225 x 0,725)m	Peso	43,4Kg

Fonte: Dados retirados do Datasheet do fabricante do inversor, 2018.

De acordo com ALMADA (2016), ao escolher quais equipamentos utilizar, calcula-se então o número inicial de módulos através da Eq. (9).

$$n = \frac{P_s}{P_m} = \frac{301300}{260} = 1158 \text{ módulos} \quad (9)$$

Em seguida através da Eq. (10) e Eq. (11) são realizadas as correções de dimensionamento para temperaturas extremas que são consideradas 70°C e -10°C.

$$V_{mpp}(T) = V_{mpp} * [1 - \alpha(T - 25)] \quad (10)$$

$$V_{mpp}(70^\circ C) = 30,4 * [1 - 0,0031(70 - 25)] = 26,16V$$

$$V_{mpp}(-10^\circ C) = 30,4 * [1 - 0,0031(-10 - 25)] = 33,7V$$

$$V_{voc}(T) = V_{voc} * [1 - \alpha(T - 25)] \quad (11)$$

$$V_{voc}(-10) = 37,5 * [1 - 0,0031(-10 - 25)] = 41,57V$$

Feito isso, se realiza o cálculo do número máximo e mínimo de painéis ligados em série através da Eq. (12), Eq. (13) e Eq. (14).

$$N_{\min(mpp)} = \frac{V_{mpp_min}(inversor)}{V_{mpp}(70^{\circ}C)(módulo)} = \frac{420}{26,16} = 16,05 \quad (12)$$

$$N_{\max(mpp)} = \frac{V_{mpp_max}(inversor)}{V_{mpp}(-10^{\circ}C)(módulo)} = \frac{800}{33,7} = 23,7 \quad (13)$$

$$N_{\max} = \frac{V_{dc_max}(inversor)}{V_{voc}(-10^{\circ}C)(módulo)} = \frac{1000}{41,57} = 24,05 \quad (14)$$

Utiliza-se então um número de 20 painéis ligados em série, pois tal número se encaixa no intervalo determinado. O passo seguinte é determinar o número de fileiras do projeto como visto na Eq. (15) e a correção do número final de módulos em série por fileiras através da Eq. (16).

$$f = \frac{n}{N_o} = \frac{1158}{20} = 58 \text{ fileiras} \quad (15)$$

$$N_f = \frac{n}{f} = \frac{1158}{58} = 20 \text{ módulos} \quad (16)$$

Em seguida realiza-se a correção do número final de módulos no projeto através da Eq. (17) e o cálculo da potência corrigida do sistema fotovoltaico para o novo número de módulos por meio da Eq. (18).

$$n_f = N_f * f = 20 * 58 = 1160 \text{ módulos} \quad (17)$$

$$P_{Corrigida} = n_f * P_m = 1160 * 260 = 301,6 \text{ kW} \quad (18)$$

Em seguida calcula-se o número de inversores necessários usando a Eq. (19).

$$N_i = \frac{P_{Corrigida}}{P_i} = \frac{301,6}{20} = 15 \text{ inversores} \quad (19)$$

De acordo com ALMADA (2016), após realizados tais procedimentos, utiliza-se as Eqs. (20), (21), (22), (23) e (24) para verificar se todas as condições necessárias para um correto funcionamento estão sendo atendidas. As 5 condições testadas podem ser conferidas na tabela abaixo.

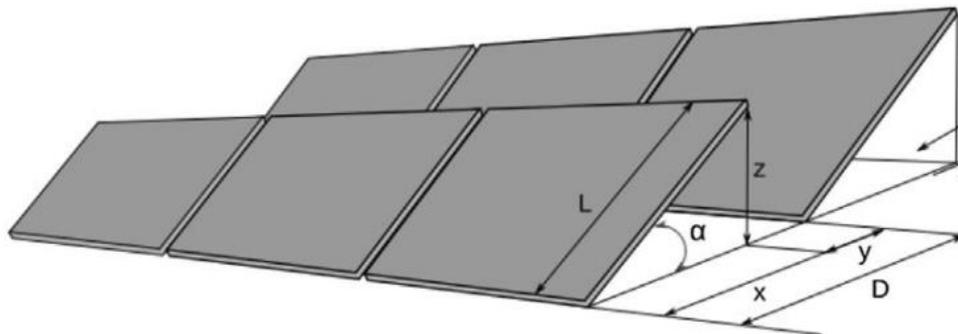
Tabela 10 – Tabela das condições exigidas para o funcionamento do sistema fotovoltaico.

	CONDIÇÃO	CÁLCULO	RESULTADO
1	$V_{mpp}(70^{\circ}C)(painel) \geq V_{mpp_min}(inversor)$	$20 * 26,16V \geq 420V \rightarrow 523,2V \geq 420V$	ATENDIDA
2	$V_{mpp}(-10^{\circ}C)(painel) \leq V_{mpp_max}(inversor)$	$20 * 33,7V \leq 800V \rightarrow 674V \leq 800V$	ATENDIDA
3	$V_{Voc}(-10^{\circ}C)(painel) \leq V_{dc_max}(inversor)$	$20 * 41,57V \leq 1000V \rightarrow 831,4V \leq 1000V$	ATENDIDA
4	$\frac{f}{ni} * I_{mpp_max}(modulo) \leq I_{dc_max}(inversor)$	$\frac{58}{15} * 8,5A \leq 33A \rightarrow 32,86A \leq 33A$	ATENDIDA
5	$0,7 < FDI < 1,2$	$0,7 < \frac{Ni * Pi}{nf * Pm} < 1,2 \rightarrow 0,7 < \frac{15 * 20000}{1160 * 260} < 1,2$ $\rightarrow 0,7 < FDI = 0,99 < 1,2$	ATENDIDA

Fonte: Próprio Autor, 2018.

Depois de realizados os procedimentos anteriores e verificado que todas as condições exigidas foram atendidas, parte-se para a verificação da área disponível para a instalação do número de equipamentos dimensionados. De acordo com a Tabela 8 com as especificações do painel as dimensões do mesmo são: 1,638 x 0,982 x 0,04. A Figura 16 mostra como os painéis devem ser enfileirados, sempre tomando um espaço de uma coluna para outra para que não haja sombreamento a partir do ângulo de inclinação dos painéis.

Figura 16 – Imagem de como os painéis devem ser dispostos.



Fonte: Ribeiro et al., 2015.

A letra 'L' indica a largura do painel escolhido, o 'α' representa o ângulo de inclinação do painel que é definido a partir da localização do projeto, para a região em que se pretende instalar o sistema fotovoltaico o ângulo utilizado deve ser 5°. A letra 'y' indica o espaçamento que deve existir entre uma coluna e outra para que não haja sombreamento de algum módulo, a letra 'x' indica a real largura que cada fileira irá ocupar após ser inclinada na

angulação definida e ‘z’ representa altura do painel após inclinado para que seja possível calcular a distância de espaçamento da coluna de painéis seguinte. Os cálculos são realizados através das seguintes equações.

$$x = \cos 5^\circ * Comprimento \quad (29)$$

$$x = \cos 5^\circ * 1,638 = 1,631m$$

$$z = \sin 5^\circ * Comprimento \quad (30)$$

$$z = \sin 5^\circ * 1,638 = 0,142m$$

$$y = z * 3,5 \quad (31)$$

$$y = 0,142 * 3,5 = 0,497m$$

$$\text{Área} = [N_f * (x + y)] * (f * Largura) \quad (32)$$

$$\text{Área} = [20 * (2,128)] * (58 * 0,982) = 2424m^2$$

Com isso, observa-se que o espaço que se tem para implementação dos painéis, que é de 30m², é suficiente para a instalação dos mesmos. Verificou-se também que a rede elétrica de distribuição presente no local é de média tensão, ou seja, a mesma suporta a injeção da energia gerada pelos painéis do sistema fotovoltaico. Depois de realizadas tais verificações, deve-se então calcular o valor a ser pago para implantação do sistema fotovoltaico. Como já dito anteriormente o custo de aquisição dos equipamentos do sistema fotovoltaico (painéis e inversores) valem 65% do custo total de implantação desse sistema. O orçamento foi feito a partir dos preços dos equipamentos escolhidos para o projeto e está disponível na Tabela 11.

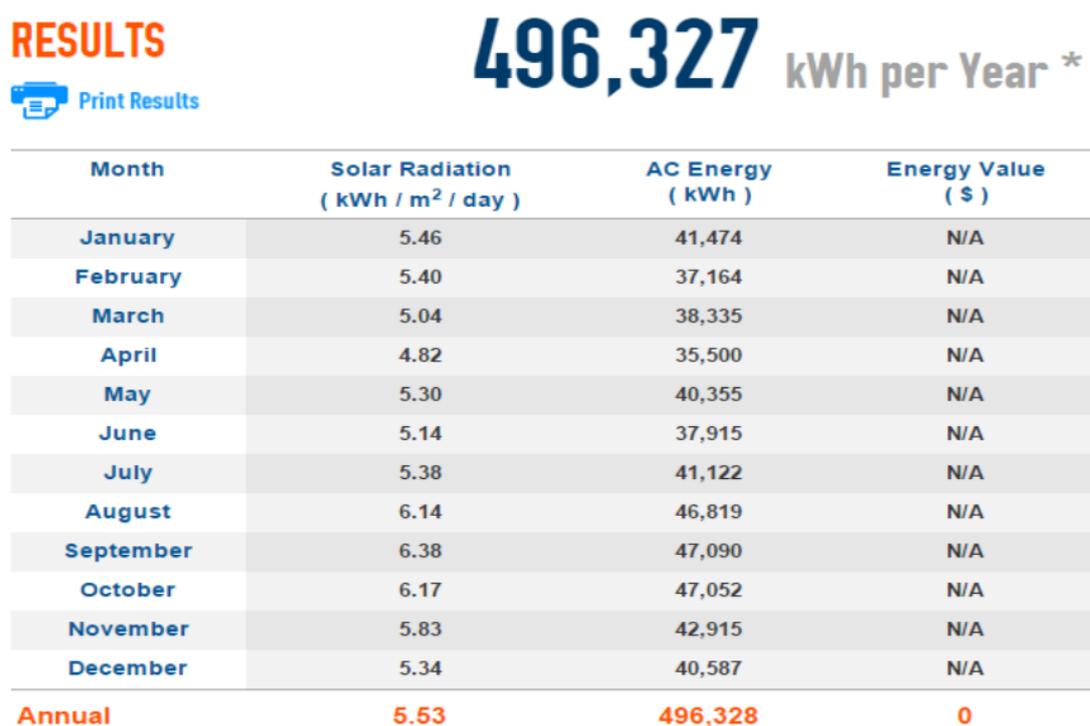
Tabela 11 – Tabela de Custos para Implantação do Sistema Fotovoltaico na unidade de Hidrolândia.

	Preço/Unidade (R\$)	Quantidade	Preço/Conjunto (R\$)
Painel (260W)	R\$ 959,00	1160	R\$ 1.112.440,00
Inversor (20000W)	R\$ 31.390,00	15	R\$ 470.850,00
65%			R\$ 1.593.290,00
Total (100%)			R\$ 2.435.830,77

Fonte: Próprio Autor, 2018.

Ao realizar o orçamento para implantação deste projeto, verifica-se então o cálculo de produção de energia do empreendimento fotovoltaico, para que seja possível analisar sua viabilidade econômica. Para tal procedimento será utilizado o *software PVWatts*, disponível em < <http://pvwatts.nrel.gov/> >. Ao informar a potência do sistema e todas as características do local na plataforma do *software*, foi verificado o potencial de produção visto na Figura 17.

Figura 17 – Potencial anual de produção de energia fotovoltaica em Hidrolândia.



Fonte: Imagem da plataforma do software PVWatts capturada pelo Autor.

A Figura 17 mostra o potencial de geração de energia fotovoltaica que o sistema projetado oferece. Podendo vir a gerar uma significativa redução no valor pago pela energia elétrica ao se aderir a um sistema conectado à rede da concessionária. Para verificar a viabilidade econômica da implantação desse sistema, coletou-se o valor do consumo dos seis meses nos quais foram disponibilizados através das telemedições e foram subtraídos do valor de potencial de geração referente a cada mês que o *software* indicou no cálculo de energia previsto, obtendo os valores de economia apresentados na Tabela 12, de acordo com o valor de tarifa de cada mês.

Tabela 12 – Economia gerada pelo sistema fotovoltaico em cada mês na unidade consumidora de Hidrolândia.

Mês	Valor pago pelo consumo antes da instalação	Valor pago pelo consumo após da instalação	Economia Mensal
Março	R\$ 21.200,08	R\$ 6.938,31	R\$ 14.261,77
Abril	R\$ 20.356,31	R\$ 5.897,87	R\$ 14.458,44
Maio	R\$ 24.292,34	R\$ 7.992,55	R\$ 16.299,79
Junho	R\$ 25.202,94	R\$ 9.737,79	R\$ 15.465,15
Julho	R\$ 24.912,16	R\$ 8.326,84	R\$ 16.585,33
Agosto	R\$ 26.337,85	R\$ 7.943,13	R\$ 18.394,72
Setembro	R\$ 23.716,95	R\$ 7.806,08	R\$ 15.910,87

Fonte: Autoria própria, 2018.

Resultando em uma economia semestral de R\$ 95.465,19, relacionando-se apenas os seis primeiros meses da tabela, sem levar em conta uma possível redução na demanda contratada, por não ser disponibilizado nas telemedições os dados de consumo do ano inteiro e apenas dos seis últimos meses, para se calcular a economia anual gerada pela implantação do sistema fotovoltaico, será feita uma aproximação, onde será multiplicado por dois o valor de economia semestral obtido através dos dados que são disponibilizados, obtendo então uma economia anual de aproximadamente R\$ 190.930,38.

O passo seguinte será verificar qual o tempo de retorno ou *Payback* obtido pela aquisição do sistema fotovoltaico. Para tal procedimento fora utilizado uma tabela de *Payback* referente à Tabela 12, onde o sinal negativo presente na coluna do fluxo de caixa indica o investimento inicial para aquisição do sistema, já calculado anteriormente.

O segundo valor da coluna de fluxo de caixa da Tabela 13 indica o valor de economia anual e os valores posteriores são obtidos ao considerar um reajuste anual de 10% em cima do valor de economia do ano anterior. Já os sinais negativos na coluna do *Payback* indicam que o valor do investimento ainda não foi atingido pela economia gerada, e a primeira linha em que o sinal negativo não aparece no valor, equivale ao tempo (em anos) de retorno do investimento.

Tabela 13 – Tabela indicando o Payback do investimento fotovoltaico na unidade consumidora de Hidrolândia.

		PAYBACK	
ANO	FLUXO DE CAIXA	FLUXO DE CX ACUMULADO	
0	-R\$ 2.435.830,77	-R\$ 2.435.830,77	
1	R\$ 190.930,38	-R\$ 2.244.900,39	
2	R\$ 210.023,42	-R\$ 2.034.876,97	
3	R\$ 231.025,76	-R\$ 1.803.851,22	
4	R\$ 254.128,33	-R\$ 1.549.722,88	
5	R\$ 279.541,17	-R\$ 1.270.181,71	
6	R\$ 307.495,28	-R\$ 962.686,43	
7	R\$ 338.244,81	-R\$ 624.441,62	
8	R\$ 372.069,29	-R\$ 252.372,32	
9	R\$ 409.276,22	R\$ 156.903,90	
10	R\$ 450.203,85	R\$ 607.107,75	
11	R\$ 495.224,23	R\$ 1.102.331,98	

Fonte: Autoria própria, 2018.

Observa-se que o tempo de retorno no *Payback* simples é de 9 anos, ou seja, passados 9 anos da aquisição do sistema fotovoltaico a unidade consumidora em questão irá lucrar com tal empreendimento, reduzindo consideravelmente o valor pago por energia elétrica para a concessionária. Portanto pode-se considerar viável a instalação de um sistema fotovoltaico para esta unidade consumidora, tendo em vista que o prazo de retorno obtido foi de em média 9 anos e sabendo que a vida útil dos equipamentos varia entre 25 e 30 anos, após esse período o sistema continua funcionando, porém tem uma queda de produção de em média 20%.

Com a análise dos dados obtidos, viu-se também que o sistema fotovoltaico em questão, encontra-se em uma região que possui baixo índice de chuvas e muita incidência de poeira, ou seja, se faz necessária manutenção dos painéis, de seis em seis meses, porém o custo da mesma não é levado em consideração, tendo em vista que a atividade pode ser realizada pela equipe de podas e reparos da CAGECE, que realiza atividades trimestrais nas estações de toda região norte do estado.

5.2.5 Considerações Gerais Acerca da Unidade Consumidora de Hidrolândia

Foi possível observar então durante o estudo nesta unidade, dos métodos avaliados, a viabilidade de implantação de banco de capacitores para correção do fator de potência e a implantação do sistema fotovoltaico como fonte alternativa de energia, onde ambas visam redução de custos relacionados à energia.

Levando em conta o custo da implantação do banco de capacitores especificado que é em torno de R\$ 8.500,00 e o valor que deixa de ser pago por excedente reativo em um ano que é de R\$ 8.393,60. Considerou-se ainda o custo de aquisição do sistema fotovoltaico de R\$ 2.435.830,77, onde se deixará de pagar pelo consumo de energia um valor referente à R\$ 190.930,38 por ano. Somados os custos de aquisição se chegou a um valor de R\$ 2.441.830,77 e um valor de retorno anual de R\$ 199.323,98.

Observou-se através da análise realizada um *Payback* de menos de 9 anos, evidenciando a atratividade e a viabilidade de implantação de métodos que gerem eficiência energética, pois por meio dos mesmos se obtém energia limpa, redução de custos e ampliação dos lucros aumentando a competitividade da empresa que os adere.

5.3 Unidade consumidora de Frecheirinha

A unidade consumidora de Frecheirinha está localizada no Sítio Angicos, nas proximidades do reservatório que abastece a região, encontram-se nesse local, unidade de tratamento e envio para o reservatório geral da empresa CAGECE. Os motores presentes nessa unidade são especificados por meio da Tabela 14.

Tabela 14 – Tabela indicando a quantidade e potência dos motores na UC de Frecheirinha.

Quantidade	Potência (CV)
1	60
1	50
2	15
1	7,5

Fonte: Aatoria própria, 2018.

Alguns dos motores presentes na unidade consumidora de Frecheirinha podem ser identificados nas Figuras 18 e 19 respectivamente. O primeiro possui rendimento de 92,5% e fator de potência com valor de 0,85. Já o segundo tem rendimento de 92,5% e com fator de potência 0,9.

Figura 18 – Motor utilizado na unidade de Frecheirinha.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Figura 19 – Motor utilizado para captação de água em Frecheirinha.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Dados de placa são essenciais para qualquer estudo de eficiência energética, todos os motores possuem esses dados, para fins didáticos foram evidenciados apenas os dados do motor de 60 CV, conforme a Figura 20 a frente.

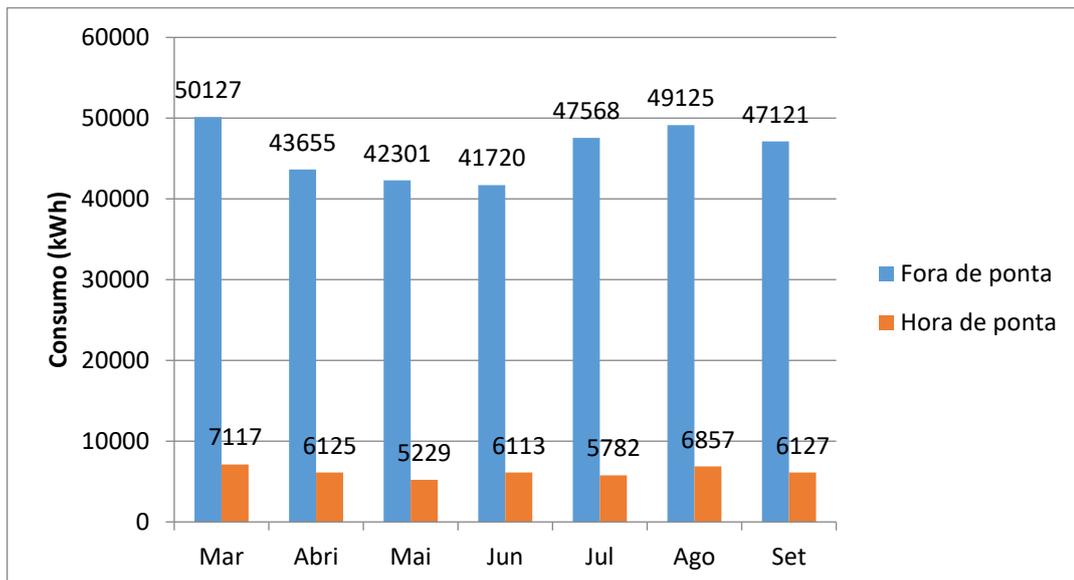
Figura 20 – Dados de placa de um dos motores (60 CV).



Fonte: Autoria própria, 2018.

Seguidamente, a partir do sistema de telemedição foi possível a coleta de dados de consumo para sete meses, apresentados no gráfico da Figura 21.

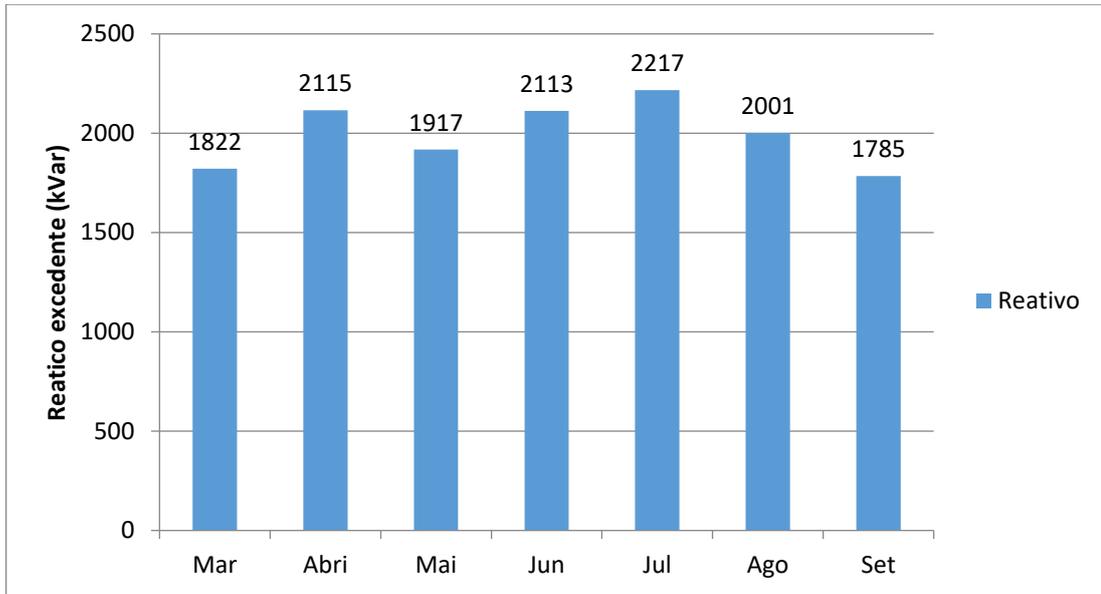
Figura 21 – Consumo mensal para unidade de Frecheirinha.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Computou-se também a potência reativa excedente, exposta na Figura 22.

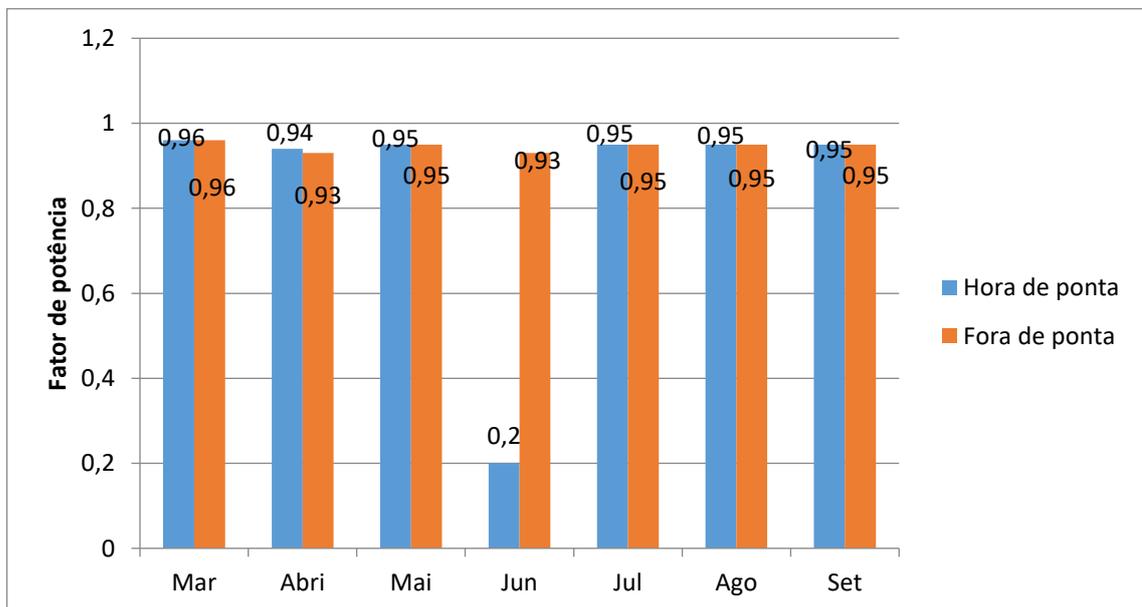
Figura 22 – Potência reativa excedente para unidade de Frecheirinha.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Por fim, o fator de potência é exibido no gráfico da Figura 23.

Figura 23 – Fator de Potência para unidade de Frecheirinha.



Fonte: Autoria própria, 2018.

5.3.1 Correção do Fator de Potência

A partir dos dados mostrados nos gráficos, pode-se iniciar a análise de eficiência energética para a unidade citada. Sabe-se que a mesma já possui banco de capacitor conectado nas suas instalações, mas mesmo assim existe a cobrança adicional por reativo excedente, ao se analisar os dados obtidos pela telemedição observa-se que existe um problema de desconexão desse bando de capacitor a noite fator esse que ocasiona a sua não atuação e conseqüentemente a cobrança de reativos. Baseando-se nessa análise uma solução viável seria a utilização de um dispositivo de atuação, como um relé temporizador onde se determina o horário de ligação do banco, para aquisição de tal é preciso um valor de 312 reais. A quantia paga pela quantidade de excedente mensal é calculada e exibida na Tabela 15.

Tabela 15 – Potência reativa excedente e valor pago para UC de Frecheirinha.

Mês	Tarifa (R\$)	Excedente (kVAr)	Valor pago (R\$)
Março	0,3332	1822	607,09
Abril	0,3412	2115	721,64
Maio	0,3778	1917	724,24
Junho	0,3897	2113	823,44
Julho	0,3815	2217	845,79
Agosto	0,3672	2001	734,77
Setembro	0,3517	1785	627,78
Total		1995,71	5.084,74

Fonte: Autoria própria, 2018.

Agora com o valor total de reativo pago para sete meses, basta multiplicar o valor de meio ano por dois e encontrar o valor total anual que é de 8.913,92 reais. Para saber quanto será o lucro com a implantação do relé temporizador, basta pegar o valor anual gasto e subtrair o valor do produto, o que traz valor de 8.601,92 reais de lucro.

5.3.2 Substituição de motores

A repartição de Frecheirinha tem um total de cinco motores com potências diferentes, portanto a análise foi feita para cada motor de forma isolada e em seguida somou-se

cada uma para apresentar o valor total. Logo, o estudo foi iniciado pela troca dos motores de 15 CV, os resultados são expostos na Tabela 16.

Tabela 16 – Substituição dos motores de 15 CV

TIR (%)	54
VPL (\$)	12857,43
Economia (kWh/ano)	12057,97
Economia (R\$/ano)	3737,97
Potencial de economia (%)	7,23

Fonte: Autoria própria, 2018.

Adiante, a mesma análise é realizada para os demais motores com potência nominal de 50 CV, 60 CV e 7,5 CV, os valores obtidos com a substituição são:

Tabela 17 – Substituição dos motores de 50 CV, 60 CV e 7,5 CV

	50 CV	60 CV	7,5 CV
TIR (%)	50,45	37,68	44,96
VPL (\$)	19729,85	19630,27	3020,26
Economia (kWh/ano)	19175,21	23167,47	3141,60
Economia (R\$/ano)	5944,31	7181,91	973,90
Potencial de economia (%)	7,04	7,02	7,38

Fonte: Autoria própria, 2018.

De posse das Tabelas 16 e 17, o valor total economizado com a substituição dos motores antigos em operação por novos é de 17838,09 reais. Fazendo uso da Eq. (27) e de acordo com o valor de investimento calculado foi de 58.884,95 reais o retorno de investimento é de três anos e dois meses.

Vale ressaltar, da mesma forma que foi observado para a estação de Hidrolândia, que os cálculos foram realizados, para motores de mesma categoria, com índices semelhantes, como potência, fator de serviço e fator de potência, sendo apenas a mudança de rendimento considerada aqui.

5.3.3 Readequação da iluminação

Para se conseguir ainda mais economia do consumo de energia elétrica, a substituição de lâmpadas dessa unidade também foi efetuada. O quantitativo de fluorescentes presentes é o seguinte:

Tabela 18 – Quantidade de lâmpadas fluorescentes da instalação de Frecheirinha.

Modelo	Quantidade	Potência	Led equivalente
T5	25	20 W	9 W
T8	22	25 W	10 W

Fonte: Autoria própria, 2018.

O valor de energia consumida pelas lâmpadas e a economia que se pode obter é evidenciada na Tabela 19.

Tabela 19 – Comparação entre consumo de fluorescentes e Leds para Frecheirinha

Consumo mensal (kWh)	Consumo Led (kWh)	Economia mensal (kWh)	Economia mensal (R\$)
139,5 (T5)	62,77	76,72	27
153,45 (T8)	61,38	92,07	32,5

Fonte: Autoria própria, 2018.

Baseado na Tabela 19 acima, a economia total por mês tem valor de 168,79 kWh totalizando um valor 168,79 kWh, correspondendo a 59,5 reais mensais. De acordo com o manual do fabricante de leds o valor do investimento para as 47 lâmpadas é de 1100 reais, fazendo uso da fórmula do *payback* o retorno do investimento é de um ano e cinco meses.

Juntando a substituição de motores com a readequação da iluminação, a economia em kWh é de 57.542,25, totalizando 17.827,59 reais com um *payback* de três anos. Dessa, observa-se que a readequação da iluminação da estação é bastante atrativa e sua execução é viável.

5.3.4 Instalação de um Sistema Fotovoltaico

Tendo como base os dados obtidos através das telemedições foi verificado um consumo consideravelmente elevado desta unidade consumidora. Se faz necessário então observar a possibilidade de implantação de uma fonte alternativa de energia. Pela boa localização geográfica, por estar situada em local de temperatura ambiente elevada e com uma grande área aberta, sem pontos de sombreamento, a energia fotovoltaica se torna bastante atrativa para esta unidade.

Será realizado então o a análise técnica e o cálculo de viabilidade econômica para implantação de um sistema fotovoltaico conectado a rede da distribuidora, por esse sistema apresentar os atrativos acima citados, e ainda apresentar boa vida útil e menores custos de aquisição e manutenção quando comparados a outros métodos de geração alternativa de energia como a eólica e a biomassa.

A partir dos dados de consumo foi retirada uma média de consumo mensal desta unidade entre os seis meses nos quais os dados foram disponibilizados, obtendo um consumo médio de 46,5 kWh. Em seguida através da Eq. (8) calcular a potência do sistema.

$$P_s = \frac{\text{Energia Consumida}}{hr * D} = \frac{46500k}{5 * 31} = 300kW \quad (8)$$

Depois de realizado tal procedimento, escolheu-se os mesmos equipamentos utilizados no estudo de caso da unidade consumidora anterior por terem apresentado de potência semelhantes e levando em conta o custo benefício que tais equipamentos apresentaram. Os painéis serão de 260 Wp fabricado pela Canadian Solar e os inversores de 20 kW fabricado pela Fronius. As especificações técnicas dos equipamentos escolhidos podem ser conferidas no estudo de caso anterior, tópico 6.2.4

Ao escolher quais equipamentos utilizar para o projeto, e seguindo os cálculos já citados por ALMADA (2016), calcula-se então o número inicial de módulos pela Eq. (9)

$$n = \frac{P_s}{P_m} = \frac{300000}{260} = 1154 \text{ módulos} \quad (9)$$

Em seguida através da Eq. (10) e Eq. (11) são realizadas as correções de dimensionamento para temperaturas extremas que são consideradas 70°C e -10°C.

$$V_{mpp}(T) = V_{mpp} * [1 - \alpha(T - 25)] \quad (10)$$

$$V_{mpp}(70^{\circ}C) = 30,4 * [1 - 0,0031(70 - 25)] = 26,16V$$

$$V_{mpp}(-10^{\circ}C) = 30,4 * [1 - 0,0031(-10 - 25)] = 33,7V$$

$$V_{voc}(T) = V_{voc} * [1 - \alpha(T - 25)] \quad (11)$$

$$V_{voc}(-10) = 37,5 * [1 - 0,0031(-10 - 25)] = 41,57V$$

Depois disso se realiza o cálculo do número máximo e mínimo de painéis ligados em série utilizando as Eq. (12), Eq. (13) e Eq. (14).

$$N_{\min(mpp)} = \frac{V_{mpp_min}(inversor)}{V_{mpp}(70^{\circ}C)(módulo)} = \frac{420}{26,16} = 16,05 \quad (12)$$

$$N_{\max(mpp)} = \frac{V_{mpp_max}(inversor)}{V_{mpp}(-10^{\circ}C)(módulo)} = \frac{800}{33,7} = 23,7 \quad (13)$$

$$N_{\max} = \frac{V_{dc_max}(inversor)}{V_{voc}(-10^{\circ}C)(módulo)} = \frac{1000}{41,57} = 24,05 \quad (14)$$

Utiliza-se então um número de 21 painéis ligados em série. O passo seguinte é determinar o número de fileiras do projeto por meio da Eq. (15) e a correção do número final de módulos em série por fileiras através da Eq. (16).

$$f = \frac{n}{N_o} = \frac{1154}{20} = 55 \text{ fileiras} \quad (15)$$

$$N_f = \frac{n}{f} = \frac{1154}{55} = 21 \text{ módulos} \quad (16)$$

Em seguida realiza-se a correção do número final de módulos no projeto utilizando a Eq. (17) e o cálculo da potência corrigida do sistema fotovoltaico para o novo número de módulos por meio da Eq. (18).

$$n_f = N_f * f = 20 * 55 = 1155 \text{ módulos} \quad (17)$$

$$P_{Corrigida} = n_f * P_m = 1155 * 260 = 300,3 \text{ kW} \quad (18)$$

Em seguida calcula-se o número de inversores necessários através da Eq. (19).

$$N_i = \frac{P_{Corrigida}}{P_i} = \frac{300,3}{20} = 15 \text{ inversores} \quad (19)$$

Segundo ALMADA (2016), passados estes procedimentos, utiliza-se as Eqs. (20), (21), (22), (23) e (24) para verificar se todas as 5 condições para um correto funcionamento estão sendo atendidas. Estas condições estão dispostas na Tabela 20.

Tabela 20 – Tabela das condições exigidas para o funcionamento correto do sistema fotovoltaico.

	CONDIÇÃO	CÁLCULO	RESULTADO
1	$V_{mpp}(70^\circ C)(painel) \geq V_{mpp_min}(inversor)$	$21 * 26,16V \geq 420V \rightarrow 549,36V \geq 420V$	ATENDIDA
2	$V_{mpp}(-10^\circ C)(painel) \leq V_{mpp_max}(inversor)$	$21 * 33,7V \leq 800V \rightarrow 707V \leq 800V$	ATENDIDA
3	$V_{Voc}(-10^\circ C)(painel) \leq V_{dc_max}(inversor)$	$21 * 41,57V \leq 1000V \rightarrow 872,97V \leq 1000V$	ATENDIDA
4	$\frac{f}{ni} * I_{mpp_max}(modulo) \leq I_{dc_max}(inversor)$	$\frac{55}{15} * 8,5A \leq 33A \rightarrow 31,16A \leq 33A$	ATENDIDA
5	$0,7 < FDI < 1,2$	$0,7 < \frac{N_i * P_i}{n_f * P_m} < 1,2 \rightarrow 0,7 < \frac{15 * 20000}{1155 * 260} < 1,2$ $\rightarrow 0,7 < FDI = 0,999 < 1,2$	ATENDIDA

Fonte: Próprio Autor, 2018.

Depois de realizados os procedimentos anteriores e verificado que todas as condições exigidas foram atendidas, parte-se para a verificação da área disponível para a instalação do número de equipamentos dimensionados. As dimensões do painel sugerido para o projeto são (1,638 x 0,982 x 0,04). Os painéis devem ser enfileirados, sempre tomando um espaço de uma coluna para outra para que não haja sombreamento a partir do ângulo de inclinação dos painéis.

Os cálculos para verificar a área disponível são realizados por meio das Eqs.(29), (30), (31) e (32).

$$x = \cos 5^\circ * Comprimento \quad (29)$$

$$x = \cos 5^\circ * 1,638 = 1,631m$$

$$z = \sen 5^\circ * Comprimento \quad (30)$$

$$z = \sen 5^\circ * 1,638 = 0,142m$$

$$y = z * 3,5 \quad (31)$$

$$y = 0,142 * 3,5 = 0,497m$$

$$\text{Área} = [N_f * (x + y)] * (f * \text{Largura}) \quad (32)$$

$$\text{Área} = [21 * (2,128)] * (55 * 0,982) = 2414m^2$$

Ao verificar que a área disponível para a implantação, que é de 28m², é superior à área mínima a ser utilizada, e que a rede local é de média tensão, e portanto, suporta a injeção da energia pelos painéis, deve-se então calcular o valor a ser pago para implantação do sistema fotovoltaico, tendo em vista que o custo de aquisição dos equipamentos do sistema fotovoltaico (painéis e inversores) valem 65% do custo total de implantação desse sistema e os outros 35% são destinados aos gastos com transporte, condutores, mão de obra entre outros. O orçamento foi feito a partir dos preços dos equipamentos escolhidos para o projeto e foi disponibilizado na Tabela 21.

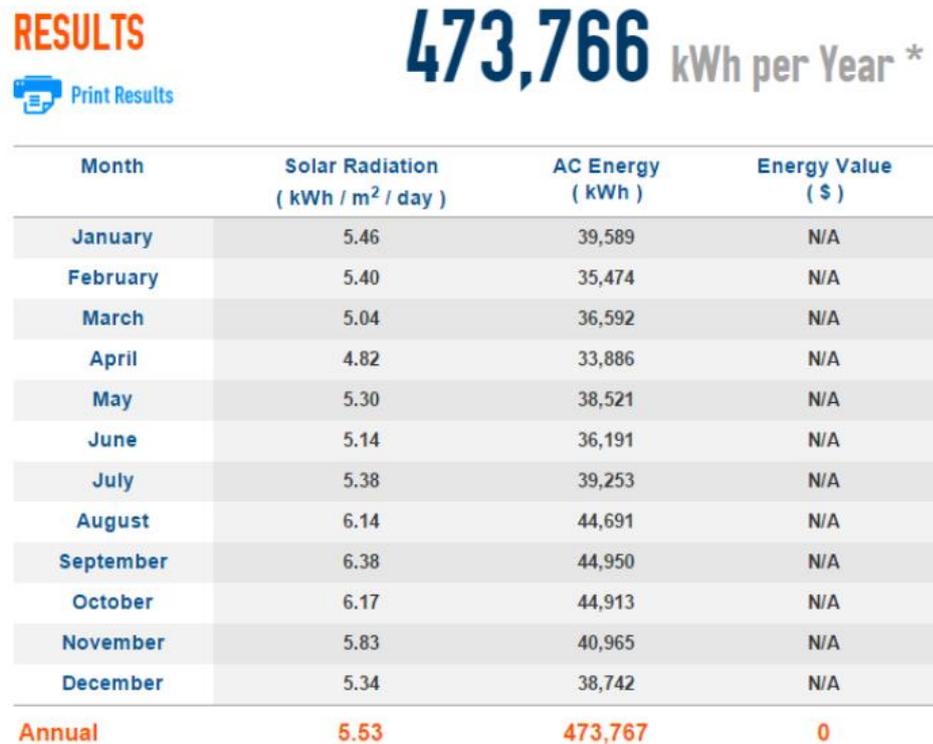
Tabela 21 – Tabela de Custos para Implantação do Sistema Fotovoltaico na unidade de Frecheirinha.

	Preço/Unidade (R\$)	Quantidade	Preço/Conjunto (R\$)
Painel (260W)	R\$ 959,00	1155	R\$ 1.107.645,00
Inversor (20000W)	R\$ 31.390,00	15	R\$ 470.850,00
65%			R\$ 1.578.495,00
Total (100%)			R\$ 2.428.453,85

Fonte: Catálogo Canadian, Catálogo WEG e Próprio Autor, 2018.

Depois de feito o orçamento para execução deste projeto, verifica-se o potencial de produção fotovoltaica do local do projeto para verificar a viabilidade econômica de implantação do mesmo. Para realização deste procedimento será utilizado novamente o *software PVWatts*. Ao informar a potência do sistema e algumas características do local na plataforma do *software*, foi verificado o seguinte potencial de produção.

Figura 24 – Potencial anual de produção de energia fotovoltaica em Frecheirinha



Fonte: Imagem da plataforma do software PVWatts capturada pelo Autor.

A Figura 24 apresenta o potencial de geração fotovoltaica ao longo do ano para o local em que se deseja implantar o sistema, onde se observa que é possível obter uma boa economia referente ao valor pago pelo consumo de energia, ao implantar um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica da concessionária. A tabela 15 apresenta a economia, onde foi coletado na mesma o valor de consumo dos sete meses nos quais foram disponibilizados pelas telemedições, e foi realizada a subtração dessa energia consumida pela energia que pode ser produzida neste local, fornecida pelo *software* utilizado, obtendo a economia em cada mês.

Tabela 22 – Economia gerada pelo sistema fotovoltaico em cada mês na unidade consumidora de Frecheirinha.

Mês	Valor pago pelo consumo antes da instalação	Valor pago pelo consumo após da instalação	Economia Mensal
Março	R\$ 26.857,99	R\$ 13.244,67	R\$ 13.613,32
Abril	R\$ 25.640,55	R\$ 11.839,46	R\$ 13.801,09
Maio	R\$ 26.404,54	R\$ 10.845,52	R\$ 15.559,02
Junho	R\$ 25.311,87	R\$ 10.549,92	R\$ 14.761,95
Julho	R\$ 27.068,84	R\$ 11.237,32	R\$ 15.831,52
Agosto	R\$ 28.483,46	R\$ 10.924,81	R\$ 17.558,65
Setembro	R\$ 26.627,88	R\$ 11.619,89	R\$ 14.415,31

Fonte: Autoria própria, 2018.

Resultando em uma economia semestral de R\$105.540,86. Pelo fato de não ter sido disponibilizado os dados de telemedição do ano todo, a análise foi realizada para apenas os seis primeiros meses mostrados na Tabela 22, onde para se chegar à economia anual gerada pela implantação do sistema fotovoltaico, será feita uma aproximação multiplicando o valor de economia semestral de R\$105.540,86 por dois, obtendo então uma economia anual de aproximadamente R\$211.081,72.

Em seguida para que se possa concluir a análise de viabilidade de implantação do sistema fotovoltaico foi realizado o estudo de retorno do investimento empregado para instalação do sistema. Para tal procedimento fora utilizado uma tabela de *Payback* referente à Tabela 22, onde o sinal negativo presente na coluna do no fluxo de caixa indica o investimento inicial para aquisição do sistema, já calculado anteriormente.

O segundo valor da coluna de fluxo de caixa da Tabela 23 indica o valor de economia anual e os valores posteriores são obtidos ao considerar um reajuste anual de 10% em cima do valor de economia do ano anterior. Já na coluna do fluxo de caixa acumulado os sinais negativos indicam que o valor do investimento feito para aquisição do sistema ainda não foi atingido pela economia gerada em cada ano, e na primeira linha em que o sinal negativo não aparece no valor do fluxo de caixa acumulado, equivale ao tempo (em anos) de retorno do investimento.

Tabela 23 – Tabela indicando o Payback do investimento fotovoltaico na unidade consumidora de Frecheirinha.

		PAYBACK SIMPLES	
ANO	FLUXO DE CAIXA	FLUXO DE CX ACUMULADO	
0	-R\$ 2.428.453,85	-R\$	2.428.453,85
1	R\$ 182.251,09	-R\$	2.246.202,76
2	R\$ 200.476,19	-R\$	2.045.726,57
3	R\$ 220.523,81	-R\$	1.825.202,76
4	R\$ 242.576,20	-R\$	1.582.626,56
5	R\$ 266.833,81	-R\$	1.315.792,75
6	R\$ 293.517,20	-R\$	1.022.275,55
7	R\$ 322.868,92	-R\$	699.406,63
8	R\$ 355.155,81	-R\$	344.250,83
9	R\$ 390.671,39	R\$	46.420,56
10	R\$ 429.738,53	R\$	476.159,09
11	R\$ 472.712,38	R\$	948.871,47

Fonte: Autoria própria, 2018.

Observa-se então a partir dos dados obtidos na Tabela 16, que para o empreendimento fotovoltaico em questão fora apresentado um *Payback* menor que 9 anos, ou seja, será reduzido o valor pago pelo consumo de energia elétrica de tal forma que em 9 anos o valor investido retornará apenas com a economia gerada. Podendo então confirmar a viabilidade de implantação de um sistema fotovoltaico com tais dimensões para esta unidade consumidora, pois a vida útil dos equipamentos fotovoltaicos escolhidos é em média 25 e 30 anos, e passado esse tempo estes equipamentos apenas reduzem a sua capacidade de produção em 20%, continuando a produzir energia.

De maneira análoga a estação de Hidrolândia, viu-se também que o sistema fotovoltaico em questão, encontra-se em uma região que possui baixo índice de chuvas e muita incidência de poeira, sendo assim, também se faz necessária manutenção dos painéis, de seis em seis meses, porém esse custo não é levado em consideração, também tendo em vista que a atividade pode ser realizada pela mesma equipe de podas e reparos da CAGECE, que realiza atividades trimestrais nas estações de toda região norte do estado.

5.3.5 Considerações Gerais Acerca da Unidade Consumidora de Frecheirinha

Ao longo do estudo realizado na unidade consumidora de Frecheirinha foi possível observar a viabilidade de implantação de alguns métodos de eficiência energética, dos métodos testados todos obtiveram uma boa perspectiva de retorno, com o intuito de evidenciar a viabilidade da implantação destes métodos nesta unidade a tabela abaixo irá apresentar o custo total de aquisição de todos os métodos estudados e o retorno simultâneo que os mesmos podem vir a gerar.

Foi levado em conta o custo de aquisição do sistema fotovoltaico que é de R\$ 2.428.453,85 e o valor que deixa de ser pago pelo consumo desta unidade com esta melhoria que é de R\$ 182.251,85 por ano.

Foi observado ainda a viabilidade de substituição dos motores presentes na unidade por motores de alto rendimento, e juntamente com a implementação da readequação da iluminação que totalizaram uma economia anual de R\$ 17.827,59.

Com a aquisição do temporizador que controla o acionamento dos capacitores obtém-se uma redução anual de R\$ 8.601,92 com um custo de aquisição do mesmo de apenas R\$ 312,00. Estas melhorias somam juntas um custo de R\$ 2.456.603,85 e um valor de retorno anual de R\$ 208.681,36.

Observou-se através da análise realizada um *Payback* de menos de 9 anos, evidenciando mais uma vez a atratividade e a viabilidade de implantação destes métodos que promovem a eficiência energética.

5.3.6 Observações Técnicas a Respeito do Sistema Fotovoltaico

Tendo em vista o tamanho e a potência do sistema fotovoltaico a ser instalado, o mesmo já se encaixaria na qualificação de Minigeração, por ser superior a 75kW, o que por sua vez iria demandar sua ligação a rede de média tensão, além de uma subestação própria para a Unidade Consumidora em questão.

Para uma análise mais detalhada, se faria necessário o projeto da subestação e seu orçamento, o que tornaria o presente estudo mais minucioso, porém, não é o objetivo aqui proposto.

6 CONCLUSÕES

Através do estudo acerca de métodos que gerem uma maior eficiência energética, e da possibilidade de implementação de energias renováveis aplicadas a mesma, sendo analisado especificamente um sistema de geração de energia fotovoltaica, pôde-se perceber o quanto a eficiência de uma Unidade Consumidora pode ser impactada positivamente com essas práticas. Além do resultado socioambiental, a economia acarretada por tais práticas se mostrou muito interessante, e com tempo de retorno bastante viável.

A partir da análise dos dados obtidos através da telemedição, verificou-se na Unidade de Hidrolândia que se faz necessária a instalação de um banco de capacitores, já no caso de Frecheirinha, o mesmo já existe, porém, necessita-se apenas de uma relé temporizador, para que o mesmo funcione de acordo com o funcionamento da estação.

O cálculo da readequação da iluminação foi baseado nos dias e horas de funcionamento do estabelecimento, sabendo as potências e quantidades de lâmpadas fluorescentes é possível estimar a parcela do consumo referente a iluminação e assim fazer o comparativo de economia ao se utilizar Leds. Pelos cálculos realizados a substituição agrega valores consideráveis de economia de energia elétrica. Nos dois casos das UCs, viu-se que as alterações são vantajosas, rápido retorno e de baixíssimo custo, o possibilita imediata aplicação.

Como os projetos referentes a energias renováveis encontram-se em constante crescimento e apoio de descontos de ICMS principalmente no estado do Ceará, os estudos para instalação desses sistemas surgem como fundamentais. Para ambos os casos, o Payback de 9 anos, mostra a rentabilidade a longo prazo dos projetos Vale ressaltar que esse trabalho teve como intuito mostrar apenas o retorno que o consumidor pode obter ao substituir os motores, corrigir o fator de potência, instalar um sistema fotovoltaico conectado à rede e a readequação da iluminação, portanto não se mostram cálculo de conexões bem como projetos elétricos.

6.1 Trabalhos futuros

Para enriquecer ainda mais o trabalho apresentado, poder-se-ia procurar kit de instalação mais barato para aumentar ainda mais a viabilidade econômica. Seria recomendado um estudo mais detalhado da readequação de iluminação, observar o desconto que ele representa mensalmente no consumo de energia para se calcular de forma direta no sistema fotovoltaico já que para o presente trabalho o mesmo foi calculado independente e depois subtraído do valor final da economia do SFCR. Por fim, o projeto e orçamento das subestações.

7 REFERÊNCIAS

COGO, J. R. Sá; OLIVEIRA, J. S. **Economia de energia em motores de indução trifásicos. Revista eletricidade moderna.** 1996.

PEREIRA, L. S; ALMADA, J. B; MARTINS, L. L. F; OLIVEIRA, A. I. Da S. **Análise da eficiência energética a partir da substituição de motores antigos em operação: Estudo de caso em uma indústria de borrachas.** Artigo científico. Induscon. 2016.

PROCEL. **“Manual de eficiência energética”.** Disponível em: www.procelinfo.com.br/publicações. Acesso em: 25/10/2018.

CABRERA, M. C. **“Análise da eficiência energética de motores monofásicos para aplicações residenciais”.** Trabalho de conclusão de curso. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2013.

Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). **“Balanço de energia”.** Disponível em: ons.org.br/oaginas/energia-agora/balanco-de-energia. Acesso em: 25/10/2018.

MICERINO, F. J. **“Impacto da utilização de motores de alto rendimento e sua aplicação no leilão de eficiência energética”.** Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2012.

PELIZARI, A. **“Um estudo da influência das configurações dos enrolamentos no desempenho de motores de indução monofásicos com capacitor de saída”.** Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2009.

GARCIA, A. G. P. **“Avaliação dos índices de eficiência energética para motores trifásicos de indução”.** Trabalho de conclusão de curso. Rio de Janeiro. 2005.

CORREIA, L. A. P; RODRIGUES, A. L. **“Eficiência energética de motores elétricos: Um estudo de caso em uma fábrica de óleo vegetal”.** Trabalho de conclusão de curso. Universidade Estadual do Maranhão. São Luis. 2015.

VILALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica: Conceitos e aplicações.** São Paulo, 1º edição. 2012.

ALMEIDA, M. P. **Qualificação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede.** Dissertação de mestrado. São Paulo. 2012.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Resolução normativa 414.** Disponível em: www.aneel.gov.br. Acesso em: 11/09/2018.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Atlas da energia solar 2015.** Disponível em: www.aneel.gov.br. Acesso em: 17/09/2018.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Atlas da energia solar 2016.** Disponível em: www.aneel.gov.br. Acesso em: 17/03/2018.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Índice da população Brasileira 2012**. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: 17/03/2018.

COSTA, C. B. L.; SILVA, M. G.; FERREIRA, J. M. D.; MELO, D. H. De A. P.; NETO, J. F. S. **Energia solar fotovoltaica como fonte de geração de energia complementar na indústria Paraibana: Um estudo de caso**. Artigo científico. S/D.

SILVA, R. G. Da. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico para atender uma demanda de iluminação**. Trabalho de conclusão de curso. Londrina. 2014.

CASTRO, R. M. G. **Introdução à energia fotovoltaica**. Instituto superior técnico. Artigo científico. Lisboa. 2007.

JÚNIOR, L. O. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede: Estudo de caso – 3kWp instalados no estacionamento da IEE-USP**. São Paulo. 2005.

ALMADA, J.B., MARTINS, L.L.F., OLIVEIRA, A.I.S., PEREIRA, L.S. **Análise da Eficiência Energética a Partir da Substituição de Motores Antigos em Operação: Estudo de Caso em Uma Indústria de Borrachas**. Artigo científico publicado em *International Conference on Industry Applications - INDUSCON*. Curitiba – PR. 2016.

ALMADA, J.B., MARTINS, L.L.F., OLIVEIRA, A.I.S., PEREIRA, L.S. **Eficiência Energética por Meio da Substituição de Motores Velhos em Operação: Estudo de Caso em Uma Indústria de Máquinas de Costura**. Artigo científico publicado em Congresso Brasileiro de Automática-CBA. Vitória – ES. 2016.

BORTONI, E.C., DIAS, M.V.X., GUARDIA, E.C., HADDAD, J., NOGUEIRA, F.J.H., NOGUEIRA, L.A.H., PIRANI, M.J., SANTOS, A.H.M., VENTURINI, O.J., YAMACHITA, R.A. **Eficiência energética. Teoria e Prática**. 1ª Ed. Itajubá-MG. 2007. 222p

MARINOSKI, L. *et al.* **Dimensionamento de Sistema Solar Fotovoltaico: Estudo de Caso do Edifício Sede do CREA-SC**. I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável. X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Paulo. 2004.

SANTOS, F.F. **Utilização da Energia Fotovoltaica Para a Eficiência Energética de Uma Moradia**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP. Portugal. 2011.

WEG. **Manual Para Correção do Fator de Potência**. Disponível em: <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-correcao-do-fator-de-potencia-958manualportugues-br.pdf>. Acessado em 06/09/2018.

WEG. **Redimensionamento de Motores**. Disponível em: <http://www.weg.net/eficienciaenergetica/redimensionamento-de-motores>. Acessado em 06/09/2018.

PHILIPS. **Catálogo de Lâmpadas e Luminárias Philips**. Disponível em: <http://www.lighting.philips.com.br/prof>. Acessado em 08/09/2018.