



Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Ciências e Tecnologia
Unidade Acadêmica de Engenharia Química
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química



TESE DE DOUTORADO

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM SISTEMA DE PRODUÇÃO
DE ÁGUA POTÁVEL COM MEMBRANA DE MICROFILTRAÇÃO ACIONADO
POR ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

RÚBIA RAFAELA FERREIRA RIBEIRO

CAMPINA GRANDE, PB
SETEMBRO, 2014

Rúbia Rafaela Ferreira Ribeiro

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM SISTEMA DE PRODUÇÃO
DE ÁGUA POTÁVEL COM MEMBRANA DE MICROFILTRAÇÃO ACIONADO
POR ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

Tese de Doutorado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Química da Universidade
Federal de Campina Grande.

Orientador: Prof. Kepler Borges França (Ph.D)

Campina Grande, PB
Setembro, 2014

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

R484e

Ribeiro, Rúbia Rafaela Ferreira.

Estudo da eficiência energética de um sistema de produção de água potável com membrana de microfiltração acionado por energia solar fotovoltaica / Rúbia Rafaela Ferreira Ribeiro.– Campina Grande, 2017.

101 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2014.

"Orientação: Prof. Dr. Kepler Borges França".

Referências.

1. Energia Solar. 2. Microfiltração. 3. Potencial Solarimétrico. I. França, Kepler Borges. II. Título.


CDU 620.92(043)

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM SISTEMA DE PRODUÇÃO
DE ÁGUA POTÁVEL COM MEMBRANA DE MICROFILTRAÇÃO ACIONADO
POR ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

Rúbia Rafaela Ferreira Ribeiro

Tese de Doutorado em Engenharia Química

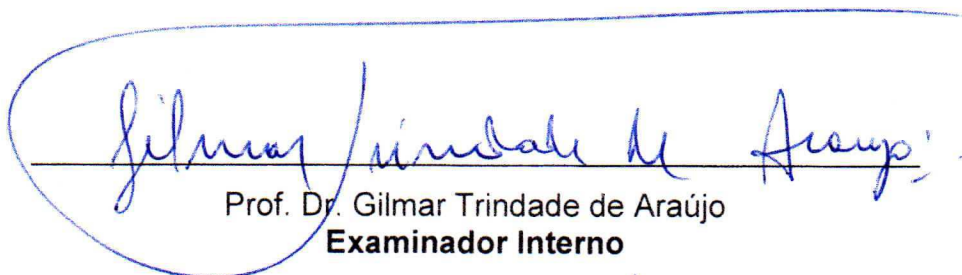
BANCA EXAMINADORA



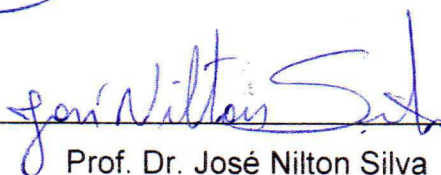
Prof. Kepler Borgès França (Ph.D)
Orientador



Prof. Dr. Fernando Fernandes Vieira
Examinador Externo



Prof. Dr. Gilmar Trindade de Araújo
Examinador Interno



Prof. Dr. José Nilton Silva
Examinador Externo



Prof. Dr. Vimário Simões Silva
Examinador Externo

Campina Grande, PB
Setembro, 2014

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus queridos pais, Jailton e Josinete, pela dedicação e amor a mim conferido e pelo incondicional apoio na realização dos meus projetos.

AGRADECIMENTOS

A **Deus**, expressão maior de sabedoria, que me concedeu o dom da vida e me permitiu chegar até aqui.

A **Minha Mãe** e ao **Meu Pai**, maiores incentivadores da minha busca pelo conhecimento, a quem devo tudo o que sou e conquistei.

Aos meus **Irmãos**, meus eternos companheiros.

A todos meus **Familiares** e **Amigos** que contribuíram de forma direta ou indireta para a conclusão desta etapa de minha vida.

Ao meu **Orientador**, Prof. Kepler Borges França, pela paciência e dedicação durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos companheiros do **LABDES** pelo companheirismo e amizade.

A Coordenação do **Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química** pela atenção.

A **CAPES** pelo suporte financeiro.

RESUMO

Este trabalho trata do estudo da eficiência energética de um sistema de tratamento de água via membrana de microfiltração acionado por energia solar fotovoltaica. Inicialmente foi realizada a caracterização do sistema, através de sua operação com disponibilidade de potência elétrica variável, sendo verificado seu perfil de funcionamento a partir da avaliação dos parâmetros: vazão do permeado, recuperação do sistema e remoção de cor e turbidez. A avaliação do sistema permitiu caracterizar o efeito da disponibilidade de potência elétrica e da pressão de operação do sistema na quantidade e qualidade da água potável produzida. A partir da caracterização do sistema e utilizando dados do potencial solarimétrico da região Campina Grande – PB para o período de Setembro/2013 à Agosto/2014, realizamos a perspectiva de produção de água purificada em função da oferta de energia solar disponibilizada para o período especificado. Posteriormente, avaliou-se o funcionamento do sistema operando efetivamente com energia solar fotovoltaica, o qual atingiu uma produção média de 298,8 L/dia, com uma pressão média de operação de 1,9 kgf/cm²; o qual corresponde a estimativa de produção prevista de acordo com a energia solar oferta ao longo do dia. Por fim, considerando a perspectiva de produção água purificada, estimamos a quantidade de pessoas beneficiadas através da operação do sistema, a qual corresponde a uma média de 645 pessoas.

PALAVRAS-CHAVE: energia solar, microfiltração, potencial solarimétrico.

ABSTRACT

This work deals with the study of the energy efficiency of a water system via microfiltration membrane driven by solar photovoltaics. Initially the system characterization was carried out through its operating with variable availability of electric power, being checked your profile operation from the evaluation of the parameters: permeate flow, system recovery and removal of color and turbidity. The evaluation of the system allowed us to characterize the effect of the availability of electric power and operating pressure of the system in the quantity and quality of drinking water produced. From the characterization of the system and using data solarimetric potential region of Campina Grande - PB for the period September/2013 to August/2014, we held the prospect of producing purified water depending on the supply of solar energy available for the specified period . Subsequently, we assessed the functioning of the system operating effectively with solar photovoltaics, which reached an average production of 298,8 L/day, with an average operating pressure of 1,9 kgf/cm²; which corresponds to estimated production predicted from solar energy supply throughout the day. Finally, considering the perspective of producing purified water estimate the number of people served by the operation of the system, which corresponds to an average of 645 people.

KEYWORDS: solar energy, microfiltration, solarimetric potential.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

A	Área da Membrana (m^2)
ΔC	Gradiente Concentração (mol/L)
J	Fluxo Permeado
∇P	Gradiente de Pressão
C_i	Concentração Molar do Solute (mol/L)
C_a	Concentração da Solução de Alimentação (mg/L)
C_c	Concentração do Concentrado (mg/L)
C_p	Concentração do Permeado (mg/L)
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
d	Dia
FV	Fotovoltaico
h	Hora
I	Corrente Elétrica
J_i	Fluxo Mássico do Solute (g/cm^2min)
J_p	Fluxo do Permeado (L/m^2h)
J_w	Fluxo de Solvente (L/cm^2min);
K_i	Coeficiente de Transferência de Massa do Solute
K_w	Coeficiente de Transferência de Massa do Solvente
L	Litro
LABDES Laboratório de Referência em Dessalinização	
mg	Miligrama
min	Minuto
P_a	Pressão de Alimentação (kgf/cm^2)
P_c	Pressão do Concentrado (kgf/cm^2)
P_p	Pressão do Permeado (kgf/cm^2)
Q_a	Vazão de Alimentação (m^3/h)
Q_p	Vazão do Permeado (m^3/h)
Q_c	Vazão do Concentrado Total (m^3/h)

RS	Rejeição de Sais (%)
r	Recuperação do Sistema (%)
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
V	Tensão (volt)
P _{ot}	Potência (watt)

SÍMBOLOS GREGOS

u_i	Carga Elétrica do Íon i (kgf.L/cm ² .mol.K)
$\Delta\pi$	Gradiente de Pressão Osmótica (kgf/cm ²)
π	Pressão Osmótica (kgf/cm ²)
κ	Condutividade Elétrica
η_b	Eficiência da Bomba (%)
η_m	Eficiência do Motor (%)

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Representação Esquemática da Separação com Membranas	8
Figura 2.2: Representação Esquemática da Seção Transversal dos Diferentes Tipos de Morfologia de Membranas	9
Figura 2.3: Principais Características dos Processos que Utilizam Diferença de Pressão como Força Motriz.	15
Figura 3.1: Tipos de Radiação	23
Figura 3.2: Configuração Básica de Sistemas Fotovoltaicos	26
Figura 3.3: Diagrama de Sistemas Fotovoltaicos em Função da Carga Utilizada	27
Figura 3.4: Modelos de Módulos Fotovoltaicos	29
Figura 3.5: Circuito Equivalente da Célula Solar (Modelo Ideal)	30
Figura 3.6: Circuito Equivalente da Célula Solar (Modelo Real)	30
Figura 3.7: Fatores que Influenciam a Curva Característica dos Módulos Fotovoltaicos	31
Figura 3.8: Curva Característica $I \times V$, com Definição do FF, e a Curva de Potência do Módulo	32
Figura 3.9: Arranjo Série dos Módulos	33
Figura 3.10: Arranjo Paralelo dos Módulos	33
Figura 4.1: Fluxograma de Execução de Atividades	44
Figura 4.2: Sistema de Geração de Energia para Etapa I	45
Figura 4.3: Sistema de Geração de Energia para Etapa III	46
Figura 4.4: Sistema Experimental de Tratamento de Água	47
Figura 4.5: Sistema Experimental de Tratamento de Água	48
Figura 4.6: Conversor CC-CA	51
Figura 4.7: Esquema do Módulo de Microfiltração	54
Figura 4.8: Sistema de Aquisição de Dados (FieldLogger)	55
Figura 5.1: Variação da vazão do permeado em função da pressão (teórica e prática)	59
Figura 5.2: Variação da vazão do permeado em função da potência de entrada do motor	62

Figura 5.3: Variação da vazão do permeado em função da rotação do motor	63
Figura 5.4: Variação da vazão do permeado em função da pressão de operação	64
Figura 5.5: Variação da recuperação do sistema em função da potência	65
Figura 5.6: Variação da recuperação do sistema em função da pressão de operação	66
Figura 5.7: Perfil de Irradiância Diária (14 de Março de 2014)	68
Figura 5.8: Perfil de Irradiância Diária (30 de Janeiro de 2014)	68
Figura 5.9: Perfil de Irradiância Diária (14 de Março de 2014)	68
Figura 5.10: Perfil de Irradiância Diária (26 de Julho de 2014)	69
Figura 5.11.a: Perfil de Irradiância Solar Média (Setembro de 2013)	70
Figura 5.11.b: Perfil de Irradiância Solar Média (Outubro de 2013)	70
Figura 5.11.c: Perfil de Irradiância Solar Média (Novembro de 2013)	70
Figura 5.11.d: Perfil de Irradiância Solar Média (Dezembro de 2013)	70
Figura 5.11.e: Perfil de Irradiância Solar Média (Janeiro de 2014)	70
Figura 5.11.f: Perfil de Irradiância Solar Média (Fevereiro de 2014)	70
Figura 5.11.g: Perfil de Irradiância Solar Média (Março de 2014)	71
Figura 5.11.h: Perfil de Irradiância Solar Média (Abril de 2014)	71
Figura 5.11.i: Perfil de Irradiância Solar Média (Maio de 2014)	71
Figura 5.11.j: Perfil de Irradiância Solar Média (Junho de 2014)	71
Figura 5.11.k: Perfil de Irradiância Solar Média (Julho de 2014)	71
Figura 5.11.l: Perfil de Irradiância Solar Média (Agosto de 2014)	71
Figura 5.12: Percentual de Irradiância Solar Média	72
Figura 5.13: Produção de água tratada ao longo dos meses para o painel de 130 W	78
Figura 5.14: Produção de água tratada ao longo dos meses para o painel de 210 W	78
Figura 5.15: Perfil de Irradiação Solar (Dia 01)	80
Figura 5.16: Variação da potência elétrica disponibilizada pelo painel solar fotovoltaico (Dia 01)	81
Figura 5.17: Variação da pressão de operação do sistema (Dia 01)	81
Figura 5.18: Variação da vazão do permeado do sistema (Dia 01)	81

Figura 5.19: Perfil de Irradiação Solar (Dia 02)	84
Figura 5.20: Variação da potência elétrica disponibilizada pelo painel solar fotovoltaico (Dia 02)	84
Figura 5.21: Variação da pressão de operação do sistema (Dia 02)	84
Figura 5.22: Variação da vazão do permeado do sistema (Dia 02)	85
Figura 5.23: Perfil de Irradiação Solar (Dia 03)	87
Figura 5.24: Variação da potência elétrica disponibilizada pelo painel solar fotovoltaico (Dia 03)	88
Figura 5.25: Variação da pressão de operação do sistema (Dia 03)	88
Figura 5.26: Variação da vazão do permeado do sistema (Dia 03)	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Processos de Separação por Membranas	11
Tabela 4.1: Especificações do Painel Solar	49
Tabela 4.2: Especificações do Motor CA <i>WEG</i>	52
Tabela 4.3: Especificações da Bomba <i>PROCON</i>	53
Tabela 4.4: Especificações da Membrana de Microfiltração (PAM)	54
Tabela 5.1: Características da Água de Alimentação	58
Tabela 5.2: Remoção de turbidez do sistema de tratamento de água	60
Tabela 5.3: Remoção de cor do sistema de tratamento de água	61
Tabela 5.4: Horas de irradiação solar média mensal	74
Tabela 5.5: Especificações dos painéis fotovoltaicos	75
Tabela 5.6: Potência fornecida pelos painéis a partir da irradiação média ofertada	75
Tabela 5.7: Produção de Água Permeada	76
Tabela 5.8: Vazão do Permeado para o Dia 1	83
Tabela 5.9: Vazão do Permeado para o Dia 2	86
Tabela 5.10: Produção de Água Permeada	90
Tabela 5.11: Estimativa de Ampliação do Sistema de Tratamento de Água	92

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivo	3
1.1.2 Objetivos Específicos	4
2 SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA	5
2.1 A Água	5
2.2 Processos de Separação por Membranas	7
2.3 Parâmetros que Caracterizam as Membranas Poliméricas	12
2.4 Processos que Utilizam o Gradiente de Pressão como Força Motriz	13
2.4.1 O Processo de Microfiltração	15
2.5 Parâmetros de Desempenho de um Processo de Microfiltração	16
2.5.1 Fluxo Permeado	16
2.5.2 Fluxo do Concentrado	18
2.5.3 Recuperação	19
2.5.4 Consumo de Energia	19
2.6 A Microfiltração Aplicada ao Tratamento de Água	20
3 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	22
3.1 Radiação Solar	22
3.2 Disponibilidade Solar	24
3.3 Energia Solar	25
3.4 Configurações Básicas de Sistemas Fotovoltaicos	26
3.5 Componentes Básicos de Sistemas Fotovoltaicos	28
3.5.1 Módulo Fotovoltaico	28
3.5.2 Baterias	34
3.5.3 Controladores de Carga	35
3.5.4 Inversores	35
3.6 Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos	36
3.6.1 Avaliação do Recurso Solar	37
3.6.2 Estimativa da Curva de Carga	38

3.6.3 Escolha da Configuração	38
3.6.4 Dimensionamento do Sistema de Armazenamento	39
3.6.5 Dimensionamento da Geração Fotovoltaica	39
3.6.6 Especificação dos Demais Componentes Básicos	40
3.6.7 Projeto Elétrico	40
3.7 Energia Solar para Sistemas de Tratamento de Água	41
4 METODOLOGIA	43
4.1 Metodologia Proposta	44
4.1.1 Etapa I	44
4.1.2 Etapa II	45
4.1.3 Etapa III	46
4.1.4. Etapa IV	47
4.2 Sistema Experimental	47
4.2.1. Elementos do Sistema de Tratamento de Água	48
4.2.1.1 Painel Solar Fotovoltaico	48
4.2.1.2 Sistema de Conversão de Energia	50
4.2.1.3 Motor	51
4.2.1.4 Bomba	52
4.2.1.5 Membranas de Microfiltração	53
4.2.2 Sistema de Aquisição de Dados	55
4.3 Procedimento Experimental	56
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	58
5.1 Caracterização do Sistema de Tratamento de Água	58
5.2 Estudo da Oferta de Energia Solar da Região de Campina Grande	67
5.3 Estimativa de Produção de Água Tratada em Função da Oferta de Energia Solar Disponibilizada	73
5.4 Desempenho do Sistema de Tratamento de Água Acionado por Energia Solar Fotovoltaica	79
5.5 Estimativa de Utilização da Água Produzida para o Abastecimento Humano	89

5.6 Estimativa de Ampliação do Sistema de Tratamento	91
6 CONCLUSÕES	94
7 PERSPECTIVAS	95
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96
ANEXOS	101

1. INTRODUÇÃO

A água constitui um bem essencial à vida e a manutenção do equilíbrio ambiental, sendo caracterizada como um recurso indispensável a sobrevivência de toda e qualquer espécie que habita nosso planeta, fato este que justifica a busca permanente de meios que visam a conservação e/ou aproveitamento dos recursos hídricos.

Considerando o modo de vida da sociedade contemporânea, onde o uso da tecnologia é cada vez mais presente e a utilização dos recursos energéticos tornou-se tão essencial quanto o uso dos recursos hídricos, não se imagina o exercício da plena cidadania sem que a água e a energia estejam presentes (RIBEIRO, 2009).

A problemática da disponibilidade hídrica tem aumentado ao longo dos anos principalmente devido à poluição provocada pelo ser humano. Segundo Tundisi (2003), a complexidade dos usos múltiplos da água pelo homem aumentou e produziu enorme conjunto de degradação e poluição, o que contribui consideravelmente na diminuição da disponibilidade de água e produz inúmeros problemas de escassez hídrica em muitas regiões e países.

Estes recursos não apresentam uma distribuição uniforme no globo terrestre o que ocasiona a busca por um uso racional dos recursos hídricos e energéticos a fim de gerar grandes benefícios ambientais e sociais e garantir um consumo sustentável.

A disponibilidade de recursos hídricos além de problemática sob o ponto de vista quantitativo é ainda mais preocupante quanto trata-se do aspecto qualitativo. Dispor de água em quantidade suficiente não corresponde necessariamente a oferta de água de boa qualidade a fim de atender aos padrões de potabilidade necessários ao consumo humano.

Paralelamente ao problema da escassez hídrica, em regiões isoladas, a escassez energética ou até mesmo a indisponibilidade deste recurso em sua totalidade leva a busca de soluções alternativas que visam atender essa demanda.

Diante da interação existente entre estes recursos, o estudo do tratamento de água via processos de separação por membranas associado aos sistemas de geração de energia solar fotovoltaica, apresenta-se como uma alternativa bastante promissora no campo da gestão ambiental.

O volume hídrico total na superfície terrestre não está se reduzindo, porque não há perdas no ciclo de evaporação e precipitação, o que caracteriza a escassez é a poluição e a distribuição irregular. Cerca de 25% da população mundial não tem acesso a água doce com qualidade e/ou quantidade satisfatória. Mais de 80 países encontram-se com graves problemas de água. Num futuro próximo, mesmo os países que nos dias de hoje não enfrentam o problema da escassez de água vão-se deparar com essa realidade (KARAGIANNIS & SOLDATOS, 2008).

Com o objetivo de tratar a água de forma a torná-la apta para o consumo, os processos de separação com membranas (PSM) estão cada vez mais consolidados e o que tornaram uma das opções mais econômicas da atualidade na busca de uma solução para a escassez de água potável. Sua principal vantagem consiste na concentração e/ou separação de soluções, sem alterar o estado físico ou a necessidade de utilização de produtos químicos (MULDER, 1996).

O processo de microfiltração (MF) atua basicamente na remoção de sólidos suspensos e contaminantes biológicos trabalhando com baixas pressões, o que ocasiona um consumo reduzido de energia podendo obter graus de recuperação em torno de 95% (BYRNE, 2002). Considerando o baixo consumo energético, a associação aos sistemas de geração solar fotovoltaica de pequeno porte se mostra compatível e bastante eficiente.

A energia captada do Sol é uma das tecnologias mais importantes para o desenvolvimento sustentável. As vantagens da captação de energia através de sistemas fotovoltaicos são a descentralização da geração, ficando acessível a qualquer comunidade em qualquer local, por mais remoto que seja. A facilidade e baixo custo da instalação, transmissão e manutenção, juntamente com a longa duração e estabilidade de um sistema adequadamente projetado, proporcionam grande satisfação e retorno do investimento ao usuário. Em resumo, o sistema

passa a gerar energia, de forma confiável, sem a necessidade de controle humano ou insumos.

Em virtude das vantagens apresentadas, a tecnologia fotovoltaica torna-se viável para a utilização em sistemas de tratamento de água, especialmente em locais sem acesso a rede elétrica. A incidência de radiação solar influencia diretamente na energia entregue ao sistema, e conseqüentemente, na quantidade de água produzida. A operação de sistemas com tais características visa garantir o suprimento de água potável a comunidades com problemas de escassez hídrica.

Esta técnica de produção de água potável, fazendo uso dos processos de separação com membranas de microfiltração e painéis fotovoltaicos para geração de energia, é bastante conveniente para especialmente para regiões isoladas do norte/nordeste do Brasil, a qual oferece condições climáticas favoráveis ao uso da geração solar fotovoltaica e dispõe de um potencial hídrico o qual requer tratamento prévio a fim de atingir os padrões de potabilidade necessários ao consumo humano. Dentro deste contexto buscamos o desenvolvimento de um sistema de tratamento de água via tecnologia de membrana de baixo consumo energético acionado por um sistema de geração de energia solar fotovoltaica.

1.1. Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo principal estudar o desempenho de um sistema para produção de água potável com membranas de microfiltração alimentado por energia solar fotovoltaica sem acumuladores.

1.2. Objetivos Específicos

- (a) Caracterizar o sistema de tratamento quanto à produção de água tratada com membrana de microfiltração;
- (b) Estudar a oferta do potencial da radiação solar da região;
- (c) Estimar a produção do sistema de tratamento de água em função da oferta do potencial solar disponibilizado;
- (d) Avaliar a funcionalidade do sistema submetido a oferta variável de energia elétrica;
- (e) Estimar a utilização da água produzida visando o abastecimento humano.

2. SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA

2.1 A Água

A água é um dos constituintes mais abundantes e característicos do nosso planeta, além de tratar-se de um recurso natural essencial para a sobrevivência de todas as espécies que habitam a Terra.

A ameaça da falta de água, em níveis que podem até mesmo inviabilizar a nossa existência, pode parecer exagero, mas não é. Os efeitos na qualidade e na quantidade da água disponível, relacionados com o rápido crescimento da população mundial e com a concentração dessa população em megalópoles já são evidentes em várias partes do mundo (MME, 2005).

Na natureza a água nunca é encontrada quimicamente pura e sim com gases dissolvidos e sais minerais de diversos tipos, em maior ou menor concentração. A composição da água depende naturalmente dos seus constituintes e das características do compartimento onde se encontra (superficial ou subterrânea).

Atualmente, a população em geral tem direcionado sua atenção aos aspectos ambientais, dentre os quais, talvez o mais preocupante, seja os recursos hídricos. Problemas relacionados à falta de água já fazem parte do cotidiano de muitas pessoas. O comprometimento da disponibilidade de água é causado principalmente por usos inadequados, bem como pela deterioração de sua qualidade ocasionada principalmente pelo descarte de efluentes tratados inadequadamente ou simplesmente não-tratados (GIACOBBO *et al.*, 2011).

Uma das principais causas da diminuição da disponibilidade de água potável no planeta está no crescente aumento do consumo, do desperdício e da poluição das águas superficiais e subterrâneas por esgotos domésticos e resíduos tóxicos provenientes da indústria e da agricultura, o que evidencia a necessidade do uso de tecnologias que visam tratar a água de modo a torná-la apta ao consumo.

Segundo o Relatório das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos no Mundo, gestões equivocadas, recursos limitados e mudanças climáticas têm trazido sérios problemas com relação à água: um quinto da população do planeta não possui acesso à água potável e 40% não dispõe de condições sanitárias básicas. Até 2025, dois bilhões e setecentos milhões de pessoas vão sofrer severamente com a falta de água. Esse fato tem levado ao desenvolvimento de novas técnicas de utilização, tratamento e recuperação dos recursos hídricos, onde se incluem os PSM, que vêm ganhando espaço como técnica de separação viável e segura. Esses processos utilizam uma membrana para promover a separação (OLIVEIRA, 2007).

A tecnologia convencional de tratamento de água geralmente envolve coagulação com sais de ferro ou alumínio, sedimentação, filtração e desinfecção final com cloro, ou seja, o tratamento consiste numa combinação de filtração/desinfecção (SCHNEIDER e TSUTIYA, 2001). No caso da remoção de material particulado e coloidal por filtros convencionais, seja por retenção física, adsorção, sedimentação ou floculação, não apresentam barreiras absolutas para as partículas. Além disso, sua eficiência é limitada devido ao acúmulo de material no seu interior, necessitando de ciclos de retrolavagem em períodos muito curtos (FRANÇA, 2006).

No início da década de sessenta surge uma nova classe de processos de separação, em escala industrial, que utilizam membranas como barreiras seletivas. As membranas são capazes de restringir total ou parcialmente, o transporte de uma ou várias espécies químicas presentes na corrente a ser tratada. Inúmeras vantagens fizeram com que os PSM adquirissem “*status*” de processo comercial, tais como economia de energia, alta seletividade, separação de termolábeis e simplicidade operacional.

Dentre os PSM mais utilizados no tratamento de águas estão: microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF), osmose reversa (OR) e eletrodialise (ED) (SCHNEIDER & TSUTIYA, 2001). Estas tecnologias vêm sendo utilizadas nos mais diversos setores da atividade industrial, abrangendo desde a indústria química, alimentícia, farmacêutica, médica até a biotecnologia.

Recentemente a Microfiltração (MF) começou a ser utilizada na purificação de águas superficiais visando a produção de água potável, o que poderá ser o grande mercado da MF no futuro (HABERT *et al*, 2006).

Dentro deste contexto consideramos os processos de separação com membranas (PSM) uma alternativa bastante eficaz e atrativa no tratamento de água haja vista o seu baixo custo e sua alta eficiência na remoção de impurezas.

2.2 Processos de Separação com Membranas

Os processos de separação com membranas tem conquistado um espaço importante como técnica de separação viável e segura. Sendo utilizada nos mais diversos setores, as quais incluem indústria química, área médica, biotecnologia, indústria alimentícia e farmacêutica e tratamento de águas. As membranas de microfiltração ocupam um lugar de destaque no mercado de membranas com aplicações na esterilização de águas, filtração do ar, entre outras (LUCAS, 2009).

A viabilidade do uso das técnicas dos processos com membranas tem como principais vantagens a economia de energia, a seletividade, a separação de compostos termolábeis (que se decompõem com o aquecimento) e a simplicidade de operação e escalonamento.

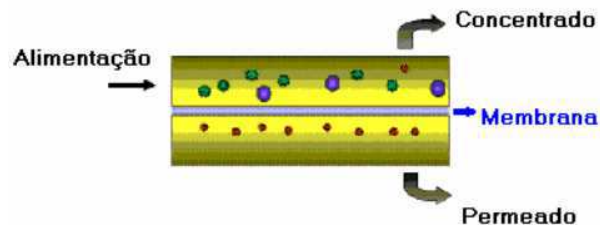
Dentro do contexto comercial as membranas sintéticas, em sua grande maioria, são provenientes de duas classes distintas de materiais: os materiais orgânicos e os materiais inorgânicos. Em virtude das vantagens pertinentes as membranas poliméricas, as quais compreendem principalmente baixo custo e maior versatilidade quanto as morfologias possíveis, essas apresentam um mercado mais amplo e difundido, sendo mais amplamente utilizadas.

Membranas poliméricas podem ser consideradas como uma barreira permeável ou semipermeável separando duas fases e restringindo total ou parcialmente o transporte de uma ou várias espécies químicas (solutos) presentes em solução. Após a passagem pela membrana, o líquido é chamado de permeado e o material retido de rejeito (SCHENEIDER E TSUTIYA, 2001). A Figura 2.1

apresenta a representação esquemática de um processo de separação por membranas.

Figura 2.1: Representação Esquemática da Separação com Membranas.

Fonte: (FRANÇA NETA, 2005)



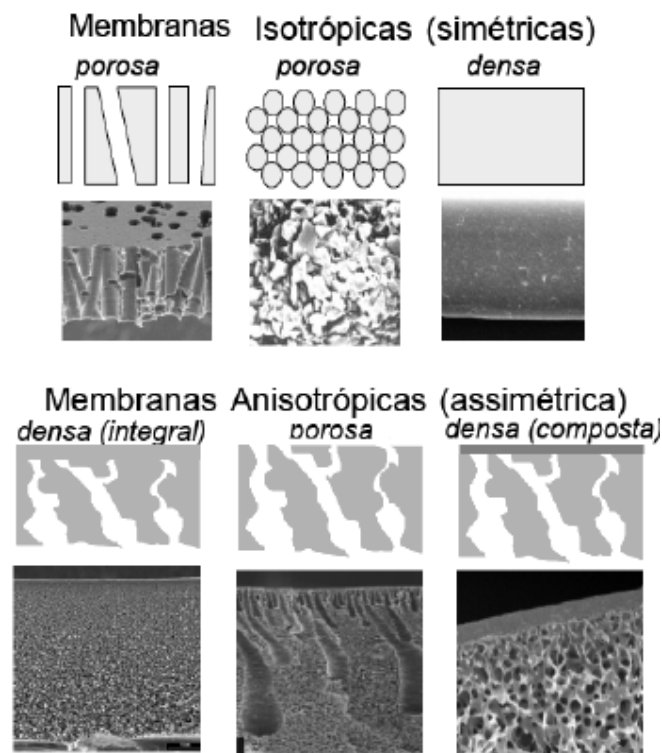
Desde os anos 50, quando foram desenvolvidas membranas de acetato de celulose para a osmose reversa, descobriu-se o potencial das membranas poliméricas no tratamento de águas. Algumas destas aplicações incluem dessalinização, abrandamento, remoção de matéria orgânica natural (MON), remoção de pesticidas, micro poluentes orgânicos metálicos e remoção de nitratos. Desde então, muitos processos têm sido propostos não somente para a dessalinização, mas também nos campos da ultra e microfiltração. Muitas companhias de abastecimento de água da Holanda, Inglaterra, Estados Unidos da América, Austrália, Países das Nações Árabes, Japão, etc., estão construindo várias instalações de filtração por membranas para a produção de água potável (RIBEIRO *et al*, 2002).

As membranas poliméricas podem ser classificadas segundo diversos critérios. Em relação a sua morfologia podem ser denominadas isotrópicas (simétricas), quando suas propriedades são constantes ao longo da seção transversal; ou anisotrópicas (assimétricas), quando a morfologia e, portanto, suas propriedades variam ao longo da seção transversal. A morfologia da membrana e a natureza do material que a constitui são algumas das características que vão definir o tipo de aplicação e a eficiência da separação. A Figura 2.2 ilustra a representação esquemática de membranas isotrópicas e anisotrópicas (BAKER, 2004).

As membranas simétricas podem ser classificadas em duas classes distintas as membranas densas (homogêneas) e as porosas (heterogêneas), sendo que as porosas apresentam porosidade uniforme ao longo da sua espessura. Por sua vez, as membranas assimétricas apresentam um gradiente de porosidade ao longo da sua espessura, podendo ser totalmente porosa ou formada por dupla camada constituída de uma parte densa, responsável pela seletividade, e outra porosa que funciona como suporte, as quais são chamadas de assimétricas integrais. Quando a camada superior da membrana e o suporte poroso são feitos por materiais diferentes, a membrana é denominada composta (LUCAS, 2009).

Figura 2.2: Representação Esquemática da Seção Transversal dos Diferentes Tipos de Morfologia de Membranas.

MORFOLOGIA DE MEMBRANAS SINTÉTICAS



Fonte: (BAKER, 2004)

Em processos que utilizam membranas porosas, a capacidade seletiva está diretamente associada à relação entre o tamanho das espécies presentes e o tamanho dos poros da membrana. Este é o caso de processos como a microfiltração

(MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF) e diálise (D). Além disso, as espécies presentes devem ser, na medida do possível, inertes em relação ao material que constitui a membrana. Para membranas porosas, em função do tipo de força motriz aplicada, o transporte das espécies através da membrana pode ser tanto convectivo como difusivo. No caso da microfiltração, ultrafiltração e nanofiltração, para os quais a força motriz é o gradiente de pressão através da membrana, o fluxo é fundamentalmente convectivo. Já no caso da diálise, a força motriz é o gradiente de concentração das espécies através da membrana e o fluxo permeado é de natureza difusiva. Neste caso as espécies se difundem, no meio em que se encontram, através dos poros da membrana (HABERT *et al.*, 2006).

Já nos processos que utilizam membranas densas a capacidade seletiva está relacionada com a afinidade das diferentes espécies com o material da membrana (etapa de natureza termodinâmica) e da difusão das espécies através do filme polimérico (etapa de natureza cinética). Os processos que apresentam tais características compreendem a osmose inversa (OI), a pervaporação (PV) e a permeação de gases (PG).

Os processos de separação por membranas envolvem, portanto, a separação de componentes de uma suspensão/solução através de membranas semipermeáveis especiais. Estes processos diferem entre si quanto ao tipo de membrana utilizada na separação, as condições de operação e a força motriz promotora do movimento. As forças motrizes podem ser de natureza distinta, tais como diferenças de potencial elétrico, de concentração, de pressão e de pressão de vapor.

Na Tabela 2.1 são apresentados os Processos de Separação com Membranas (PSM) comerciais, bem como suas principais características, força motriz e alguns exemplos típicos de aplicação.

Tabela 2.1: Processos de Separação por Membranas

Processo	Força Motriz	Material Retido	Material Permeado	Aplicações
Microfiltração (MF)	ΔP (0,5 – 2 atm)	Material em suspensão Bactérias. PM > 500.000 (0,01 μm)	Água e Sólidos Dissolvidos	Esterilização Bacteriana Clarificação de Vinhos e Cerveja Concentração de Células Oxigenação de Sangue
Ultrafiltração (UF)	ΔP (1 – 7 atm)	Coloides Macromoléculas PM > 5.000 (0,01 μm)	Água (solvente), Sais Solúveis de Baixo PM	Fracionamento/Concentração de Proteínas Recuperação de Pigmentos/Óleos
Nanofiltração (NF)	ΔP (5 – 25 atm)	Moléculas de Peso Molecular Médio 500 < PM < 2.000	Água, Sais e Moléculas de Baixo PM	Purificação de Enzimas Bioreatores a Membrana
Osmose Inversa (OI)	ΔP (15 – 80 atm)	Todo material solúvel em suspensão	Água (solvente)	Dessalinização de Águas Concentração de Sucos Desmineralização de Águas
Diálise (D)	ΔC	Moléculas de PM > 5.000	Íons e orgânicos de Baixo PM	Hemodiálise Rim Artificial Recuperação de NaOH
Eletrodialise (ED)	ΔE	Macroléculas e Compostos Iônicos	Íons	Concentração de Sol. Salinas Purificação de Águas
Permeação de Gases (PG)	$\Delta P \Rightarrow \Delta C$ (0,5 – 2 atm)	Gás menos permeável	Gás mais permeável	Recuperação de Hidrogênio Separação CO ₂ /CH ₄ Fracionamento do Ar
Pervaporação (PV)	Pressão de Vapor	Líquido menos permeável	Líquido mais permeável	Desidratação de Alcoóis Eliminação de VOC da Água

Fonte: (HABERT *et al.*, 2006)

As membranas podem ser fabricadas sob duas formas geométricas: planas ou cilíndricas. Na geometria cilíndrica são encontradas as membranas dos tipos tubular, capilar e de fibra oca. As membranas planas são acondicionadas em módulos de permeação do tipo placa/quadro e espiral. As membranas cilíndricas

darão origem aos módulos de fibra oca ou capilares e módulos tubulares (FRANÇA NETA, 2005).

2.3 Parâmetros que Caracterizam as Membranas Poliméricas

Alguns parâmetros que caracterizam as membranas são importantes para a determinação da sua aplicabilidade, ou seja, conhecer algumas características das membranas nos permite identificar que uso podemos dar as membranas. Dentre deste contexto podemos ter os seguintes parâmetros:

a. Porosidade

A porosidade é uma relação entre o volume dos poros e o volume da membrana. Esta pode ser relativa apenas à parte superficial da membrana (pele filtrante) ou ainda ser relativa a toda a membrana. Quanto maior a porosidade, menor será a resistência ao fluxo de solvente através da membrana. Uma maior porosidade superficial pode estar relacionada com um maior número de poros ou com um aumento em seus diâmetros médios (SCHULZ, 2005).

b. Espessura

Tanto as membranas densas como as porosas podem ser isotrópicas ou anisotrópicas, ou seja, podem ou não apresentar as mesmas características morfológicas ao longo de sua espessura. As membranas anisotrópicas se caracterizam por uma região superior muito fina ($\approx 1\mu\text{m}$) mais fechada (com poros ou não) chamada de “pele”, suportada em uma estrutura porosa que fornece resistência mecânica sem, entretanto, influenciar na separação ou no fluxo do permeado, e representa de 90-99% da espessura da membrana (BHAVE, 1991 *apud* LEAL, 2007). Quando ambas as regiões são constituídas por um único material, a membrana é do tipo anisotrópica integral. Caso materiais diferentes sejam empregados no preparo de cada região a membrana será do tipo anisotrópica composta (HABERT *et al*, 2006).

c. Diâmetro de Poros

A forma, tamanho e distribuição dos poros são parâmetros fundamentais na avaliação e caracterização das membranas porosas. O mecanismo de separação partículas/água é por exclusão de tamanho das partículas em suspensão na água. Desta forma, a aplicabilidade da membrana é função do diâmetro médio de poros da membrana (BHAVE, 1991, *apud* LEAL, 2007).

O tamanho de poros varia de tal modo que a determinação do tamanho médio destes poros é obtida a partir de uma curva de distribuição de tamanho de poros. A inclinação da curva de distribuição do tamanho dos poros está relacionada com a seletividade a membrana, ou seja, quanto mais íngreme a curva mais estreita será a distribuição de tamanho dos poros e, conseqüentemente, mais seletiva será a membrana (LEAL, 2007).

d. Permeabilidade

A permeabilidade permite quantificar o material que atravessa a membrana e depende das condições de operação e das características da solução a ser filtrada. Por exemplo, o aumento da temperatura eleva o fluxo permeado devido à redução da viscosidade da solução, além de promover o aumento da difusão através da membrana. Entretanto, o aumento de temperatura deve respeitar os limites de estabilidade da membrana e do produto. Geralmente para membranas poliméricas são utilizadas temperaturas variando de 30°C a 60°C (SCHULZ, 2005).

2.4 Processos que Utilizam o Gradiente de Pressão como Força Motriz

Os Processos de Separação por Membranas (PSM) que utilizam a diferença de pressão através da membrana como força motriz têm sido utilizados para concentrar, fracionar e purificar soluções diluídas, em particular soluções aquosas. Em função da natureza e do tipo de solutos e da presença ou não de partículas em suspensão, membranas com diferentes tamanhos e distribuição de poros ou mesmo densas são empregadas, caracterizando os processos conhecidos como

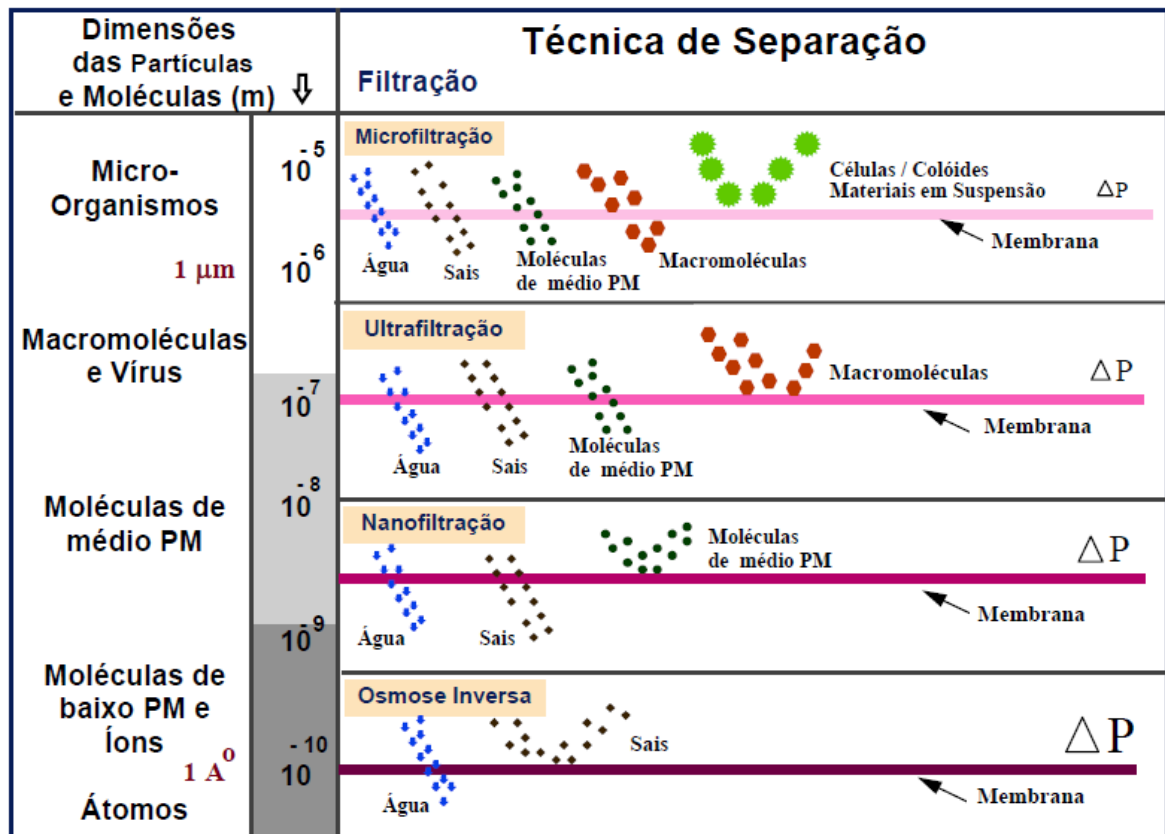
Microfiltração (MF), Ultrafiltração (UF) e Osmose Inversa (OI). A Nanofiltração (NF) é um nome de utilização mais recente, e define um processo com membranas capaz de efetuar separações de moléculas de massa molar média (entre 500 e 2.000 Dalton), situado-se entre o limite superior da ultrafiltração e o limite inferior da osmose inversa. Trata-se, portanto, de um processo que utiliza uma membrana “fechada” de ultrafiltração ou uma membrana “aberta” de osmose inversa (HABERT *et al.*, 2006).

Os processos que utilizam o gradiente de pressão como força motriz (MF, UF, NF e OI) podem ser caracterizados como uma extensão dos processos de filtração clássica que fazem uso, em função do tipo de método utilizado, de meios filtrantes (membranas) cada vez mais fechados, o que correspondem a poros cada vez menores. Membranas com poros menores oferecem uma maior resistência à transferência de massa, dessa forma para que seja possível obter fluxos permeados economicamente viáveis é aumentar a pressão de operação.

Em resumo, pode-se dizer que a MF, a UF, a NF e a OI são processos de separação por membranas, os quais diferem entre si na dimensão física do material retido pela membrana.

A Figura 2.3 apresenta as principais características dos PSM que utilizam a diferença de pressão como força motriz.

Figura 2.3: Principais Características dos Processos que Utilizam Diferença de Pressão como Força Motriz.



Fonte: (HABERT *et al.*, 2006)

2.4.1 O Processo de Microfiltração

Segundo Queiroz (2004), a microfiltração é um processo que utiliza o gradiente de pressão como força motriz, junto a uma superfície permeável (membrana) que visa garantir a separação de partículas. Neste caso, a membrana está sujeita a um gradiente de pressão para conduzir o solvente e as pequenas espécies através dos seus poros, enquanto as moléculas maiores ficam retidas. Assim, a vazão de alimentação é dividida em duas, a vazão do concentrado que será enriquecida de macromoléculas retidas e a vazão do permeado que será deficiente ou isenta de macromoléculas.

A microfiltração (MF) utiliza membranas porosas com poros na faixa entre 0,1 e 10 μm sendo, portanto, indicado para a retenção de materiais em suspensão e

emulsão. Como as membranas de MF são relativamente abertas, as pressões empregadas como força motriz para o transporte são pequenas, dificilmente ultrapassam 3 bar. Na microfiltração o solvente e todo o material solúvel permeia a membrana. Apenas o material em suspensão é retido (HABERT *et al.*, 2006).

Os contaminantes mais importantes removidos por membranas de microfiltração são: contaminantes biológicos, os quais incluem protozoários (*cryptosporidium*, giárdia, *microsporidium*), algas e cianofíceas (Microcystis), bactérias e vírus e contaminantes abióticos, os quais correspondem a turbidez, óxido de ferro e manganês particulados e sílica particulada (SCHNEIDER e TSUTIYA, 2001).

Na prática porém, o permeado nunca é uma solução estéril, contendo sempre alguns microrganismos, mesmo que em baixo número. Como a sua operação não ocorre sob condições de assepsia, a retenção total da microbiota da água bruta criará condições para o estabelecimento de outra microbiota no permeado, que utilizará os componentes orgânicos que atravessaram a membrana como fonte de carbono e energia.

2.5 Parâmetros de Desempenho de um Processo de Microfiltração

2.5.1 Fluxo Permeado

Genericamente, para os processos que utilizam o gradiente de pressão como força motriz, o fluxo permeado é diretamente proporcional ao próprio gradiente de pressão, ou seja:

$$J = A \nabla P \quad (2.1)$$

Onde:

J – fluxo permeado;

A – constante de proporcionalidade que depende das características da membrana e da solução a ser processada;

∇P – gradiente de pressão através da membrana.

O parâmetro A pode apresentar uma forte dependência com as condições operacionais do sistema e com as propriedades da membrana. Considerando o transporte de massa numa única direção (direção z , transversal à membrana), o fluxo permeado é dado por:

$$J = A (dP/dz) = A (\Delta P/\Delta z) \quad (2.2)$$

Para o caso de membranas porosas, considerando que a membrana possa ser aproximada por uma matriz contendo poros cilíndricos passantes, o fluxo de solvente pode ser calculado com o auxílio da equação de *Hagen-Poiseuille* (escoamento em tubos) representada pela equação (HABERT, 2006):

$$J_v = \frac{\varepsilon r^2}{8\eta\tau} \frac{\Delta P}{\Delta z} = L_p \cdot \Delta P \quad (2.3)$$

Onde:

ε – porosidade superficial da membrana;

r – raio médio dos poros da membrana;

η – viscosidade do solvente ou da solução que permeia através dos poros da membrana;

τ – tortuosidade dos poros;

∇z – espessura da membrana;

L_p – permeabilidade da membrana ao solvente ou a solução e depende tanto das características da membrana como do fluido que a permeia.

Considerando que a permeabilidade da membrana pode ser entendida como uma medida da facilidade que a membrana oferece a passagem de um dado solvente, temos que o inverso da permeabilidade é uma medida de resistência (R) que o meio oferece ao fluxo/transporte desse solvente. Dessa forma, a equação (2.3) pode ser expressa por:

$$J_v = \frac{1}{\eta R} \Delta P \quad (2.4)$$

2.5.2 Fluxo do Concentrado

O fluxo de soluto ou fluxo de concentrado, J_i , pode ser calculado a partir da Lei de *Fick* (HABERT, 2006), sendo representado pela seguinte equação:

$$J_i = J_v C_i^m - D_i \frac{dC_i}{dz} \quad (2.5)$$

Onde, neste caso:

C_i^m – concentração média do soluto entre os dois lados da membrana;

D_i – coeficiente de difusão do soluto na fase líquida, no interior dos poros;

C_i – variação de soluto ao longo da espessura da membrana.

Na equação de fluxo do concentrado o primeiro termo está relacionado a contribuição convectiva, ou seja, representa a quantidade de soluto que atravessa a membrana, por unidade de área e de tempo, devido ao fluxo do próprio solvente. Já o segundo termo está relacionado a contribuição difusiva, ou seja, a quantidade de soluto que atravessa a membrana devido a existência de um gradiente de concentração ao longo da membrana. Para os processos com membranas onde a força motriz é o gradiente de pressão, temos que a contribuição difusiva é ao fluxo de soluto é desprezível comparada a parcela convectiva.

2.5.3 Recuperação

A recuperação do sistema $r(\%)$ refere-se à razão da água convertida em água purificada ou permeada Q_p , e depende de vários fatores, como a formação de incrustações na superfície das membranas, pressão de operação e a qualidade do permeado. Esta recuperação do sistema é dada pela seguinte expressão (BYRNE, 2002):

$$r(\%) = \left(\frac{Q_p}{Q_a} \right) \cdot 100 \quad (2.6)$$

Onde:

r - nível de recuperação do sistema;

Q_p - vazão do permeado (m^3/h);

Q_a - vazão da alimentação (m^3/h).

A produção de água potável é diretamente proporcional ao gradiente pressão aplicado ao meio. Quanto maior a pressão de operação maior a recuperação e conseqüentemente maior tendência de formação de incrustações na superfície da membrana, o que resulta em um aumento no gradiente de pressão no interior da membrana e redução de permeabilidade e qualidade de água.

2.5.4 Consumo de Energia

O custo de energia elétrica para operação de membranas é o elemento mais importante dos custos de operação e manutenção de sistemas de tratamento de água, operadas com membranas convencionais.

Na prática, para os sistemas de tratamento de água que estudamos, o consumo de energia é dado pela razão entre a potência consumida pela bomba e a vazão do permeado (OLIVEIRA, 2002). Dada por:

$$E_p = \frac{P_{ot}}{Q_p} \quad (2.7)$$

Onde, neste caso:

E_p – consumo de energia prático (Wh/m³);

P_{ot} – potência ativa consumida pelo sistema (W);

Q_p – vazão do permeado (m³/h).

A potência ativa consumida pelo sistema é dada por:

$$P_{ot} = V \cdot I \quad (2.8)$$

Na qual:

V – tensão elétrica (V);

I – corrente elétrica (A).

2.6 A Microfiltração Aplicada ao Tratamento de Água

As previsões referentes a disponibilidade de água para o presente milênio são extremamente pessimistas. Em função disso, governos e entidades privadas vêm propondo uma série de ações visando minimizar o desperdício e preservar os seus mananciais (SURERUS *et al.*, 2012). Além disso, a sociedade também tem buscado aprimorar as técnicas de tratamento de águas com o objetivo de reduzir os danos ambientais e possibilitando a reutilização da água tratada em usos urbanos potáveis e não potáveis.

Processos de produção de água para consumo humano e industrial por membranas poliméricas tem se expandido consideravelmente nos últimos anos. Recentes aplicações no campo da água potável envolvem a Microfiltração (MF), a Ultrafiltração (UF) e os processos de membranas a baixas pressões (RIBEIRO, 2002).

Águas naturais aplicáveis a processo de filtração por membranas têm sido classificadas em função dos problemas de qualidades a serem resolvidos:

- Águas com turbidez variável e problemas de contaminação microbiológica;
- Águas com pouca turbidez e cor;
- Águas duras;
- Águas contaminadas com micropoluentes específicos (pesticidas, solventes clorados, etc.) que podem ocorrer em algumas das situações acima;
- Águas superficiais que apresentem todos os problemas de poluição citados anteriormente e com variabilidade na composição no tempo e no espaço.

Na primeira categoria os problemas de contaminação estão relacionados com partículas, o que permite o uso das membranas de microfiltração e ultrafiltração pela sua capacidade para clarificar e desinfetar a água.

No caso de águas duras e/ou águas coloridas, os processos adequados de membranas são respectivamente a nanofiltração e a ultrafiltração com baixo peso molecular de corte. Assim, nas três primeiras categorias de águas citadas anteriormente, os processos de membranas são suficientes para a potabilização da água (RIBEIRO, 2002).

No processo de microfiltração (MF) o solvente e todo o material solúvel permeiam a membrana. Por outro lado, o processo retém todos os materiais em suspensão e na forma de micro emulsão, bem como 99,99% dos microrganismos (vírus e bactérias) presentes na água de alimentação, fornecendo um microfiltrado sanitizado e isento de sólidos (SURERUS *et al.*, 2012).

Neste contexto buscamos o desenvolvimento de um sistema de tratamento de água que utiliza o processo de microfiltração (MF), o qual garante a obtenção de água potável, tendo como diferencial o acionamento do subsistema hidráulico através da tecnologia solar fotovoltaica.

3. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

3.1 Radiação Solar

A radiação solar é radiação eletromagnética que se propaga a uma velocidade de 300.000 km/s, podendo-se observar aspectos ondulatórios e corpusculares. Além das condições atmosféricas (nebulosidade, umidade relativa do ar etc.), a disponibilidade de radiação solar, também denominada energia total incidente sobre a superfície terrestre, depende da latitude local e da posição no tempo (hora do dia e dia do ano).

Os níveis de radiação solar em um plano horizontal na superfície da Terra, conseqüentemente potencial de energia disponível, podem ser determinados apenas de forma aproximada, devido, principalmente, à inclinação de seu eixo de rotação em relação ao plano da órbita em torno do Sol.

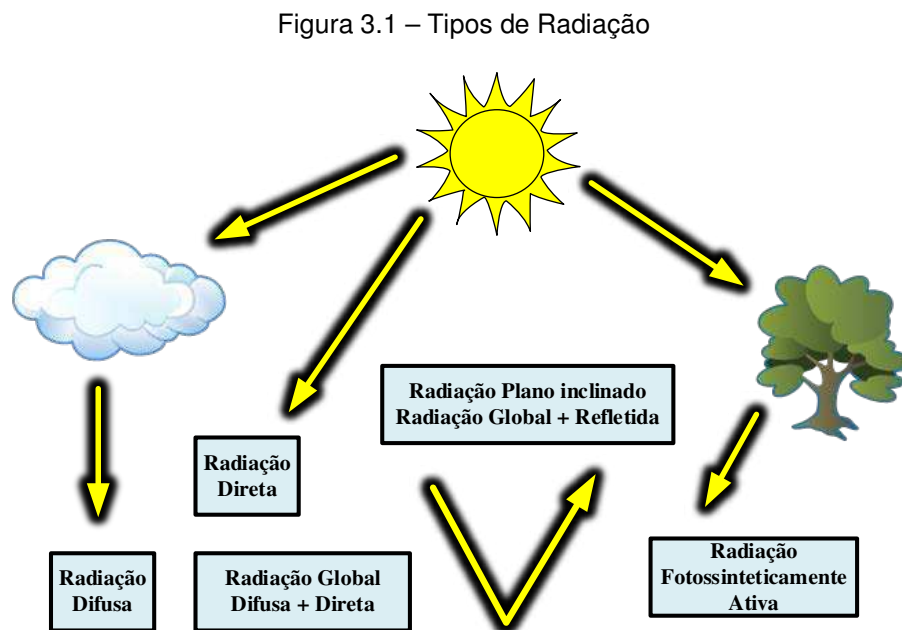
A radiação solar pode ser dividida nos seguintes segmentos:

- Radiação direta: consiste na irradiância incidente numa superfície horizontal que não sofreu nenhum processo radiativo na atmosfera;
- Radiação difusa: consiste na irradiância incidente numa superfície horizontal decorrente do espalhamento por constituintes atmosféricos (moléculas, material particulado, nuvens etc.), responsável pela iluminação de áreas que não recebem iluminação direta do sol;
- Radiação global: consiste na totalidade da irradiância incidente numa superfície horizontal, isto é, a somatória das radiações direta e difusa;
- Radiação solar na faixa espectral fotossinteticamente ativa (PAR): é a radiação que compreende a faixa espectral da radiação solar de comprimento de onda de 0,4 à 0,7 mm. Apresenta grande importância em estudos sobre taxa de crescimento vegetal e fotossintética por ser a

radiação que excita as moléculas de clorofila das plantas, iniciando o fluxo de energia durante o processo de fotossíntese.

- Radiação do plano inclinado: trata-se da média anual da radiação solar diária incidente sobre um plano com inclinação igual à latitude do pixel em consideração. Essa radiação não leva em conta a topografia local.

A Figura 3.1 apresenta os tipos de radiação existentes.



Fonte: PEREIRA,2014

De toda a radiação solar que chega às camadas superiores da atmosfera, apenas uma fração atinge a superfície terrestre, devido à reflexão e absorção dos raios solares pela atmosfera. Esta fração que atinge o solo é constituída por um componente direta (ou de feixe) e por uma componente difusa (CRESESB, 2005).

A medição da radiação solar, tanto a componente direta como a componente difusa na superfície terrestre, é importante para os estudos das influências das condições climáticas e atmosféricas. Com um histórico dessas medidas, pode-se

viabilizar a instalações de sistemas térmicos e fotovoltaicos em uma determinada região garantindo o máximo aproveitamento ao longo do ano onde, as variações da intensidade da radiação solar sofrem significativas alterações.

3.2 Disponibilidade Solar

A energia solar que atinge a atmosfera a cada ano é de $1,52 \times 10^{18}$ kWh, e o consumo primário anual de energia no mundo em 2010 ficou em torno de $1,40 \times 10^{14}$ kWh. Isso significa que um aproveitamento de apenas 0,01% da radiação solar seria suficiente para suprir toda a demanda energética mundial. Esses números resumem o interesse na energia solar (OLIVARES *et al*, 2012).

As preocupações ambientais globais, a crescente demanda de energia e o constante desenvolvimento e aperfeiçoamento de novas tecnologias estão impulsionando o incremento da utilização de energias renováveis, tornando-as cada vez mais atraentes neste século XXI. A energia solar é a mais abundante, inesgotável e limpa de todos os recursos energéticos renováveis até a presente data (PARIDA *et al*, 2011).

Com o avanço da utilização da energia solar, a previsão da radiação solar na superfície do planeta também cresce em importância no gerenciamento de sistemas de geração e distribuição de eletricidade (MARTINS *et al*, 2011).

O Brasil, por ter sua maior parte localizada na região intertropical, possui grande potencial para aproveitamento de energia solar durante todo o ano (PEREIRA *et al*, 2006). Existe um grande leque de possibilidades a médio e longo prazos para aproveitamento dessa abundante forma de energia renovável, que vai desde pequenos sistemas fotovoltaicos autônomos até as grandes centrais que empregam energia solar concentrada. No entanto essa energia ainda tem uma participação incipiente na matriz energética brasileira. Apenas a energia solar térmica para aquecimento de água tem despertado interesse no mercado nacional. Logo, existe uma lacuna quanto à adaptação do Brasil a essas fontes de energia renováveis em detrimento do desenvolvimento sustentável (PALMIRO *et al*, 2013).

3.3 Energia Solar

Quase todas as fontes de energia – hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis e energia dos oceanos – são formas indiretas de energia solar. Além disso, a radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e para geração de potência mecânica ou elétrica. Pode ainda ser convertida diretamente em energia elétrica, através de efeitos sobre determinados materiais, entre os quais se destacam o termoelétrico e o fotovoltaico (ANEEL, 2002).

A conversão direta de energia solar em energia elétrica ocorre através de efeitos da radiação sobre determinados materiais, particularmente os semicondutores. Uma forma de conversão bastante difundida é a que utiliza o efeito fotoelétrico, na qual os fótons contidos na luz solar são convertidos em energia elétrica, através do uso de células solares.

A geração de energia elétrica através da luz solar dar-se através do uso de captadores denominados células solares ou fotovoltaicas. As células fotovoltaicas são fabricadas, na sua grande maioria, usando o silício (Si) e podendo ser constituída de cristais monocristalinos, policristalinos ou de silício amorfo. Pela baixa tensão e corrente de saída em uma célula fotovoltaica, agrupam-se várias células formando um módulo ou painel (CRESESB, 2005).

Os módulos são encapsulados com materiais que garantem rigidez mecânica que protegem as células contra danos e condições climáticas, e evitam que a umidade do ar atinja os contatos elétricos e conduzem bem o calor, para reduzir a temperatura de trabalho das células.

Um sistema fotovoltaico não precisa exclusivamente do brilho do sol para operar. Ele também gera eletricidade em dias nublados, mas a quantidade de energia gerada depende da densidade das nuvens e pode ser consideravelmente menor, tornando o sistema antieconômico (MARTINS, 2011).

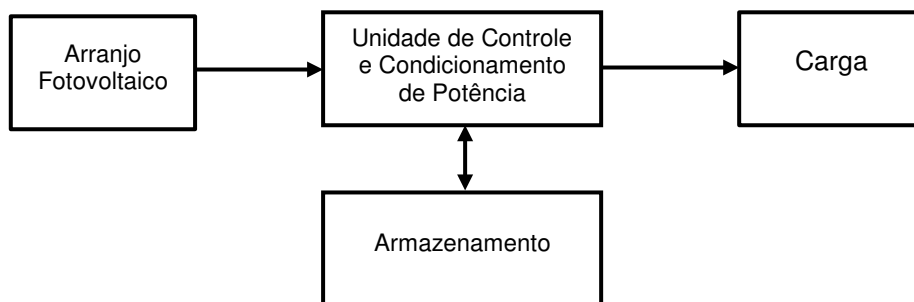
3.4 Configurações Básicas de Sistemas Fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos são classificados em três categorias principais: isolados, híbridos ou conectados a rede elétrica, os quais são utilizados de acordo com a aplicação e/ou disponibilidade de recursos energéticos.

Sistemas autônomos, não conectados à rede elétrica, podem ou não apresentar fontes de energia complementares à geração fotovoltaica. Quando a configuração não se restringe à geração fotovoltaica, temos os sistemas híbridos. Se o sistema é puramente fotovoltaico, então ele é chamado de sistema isolado (CRESESB, 1999).

A (Figura 3.2) mostra o esquema de um sistema fotovoltaico básico.

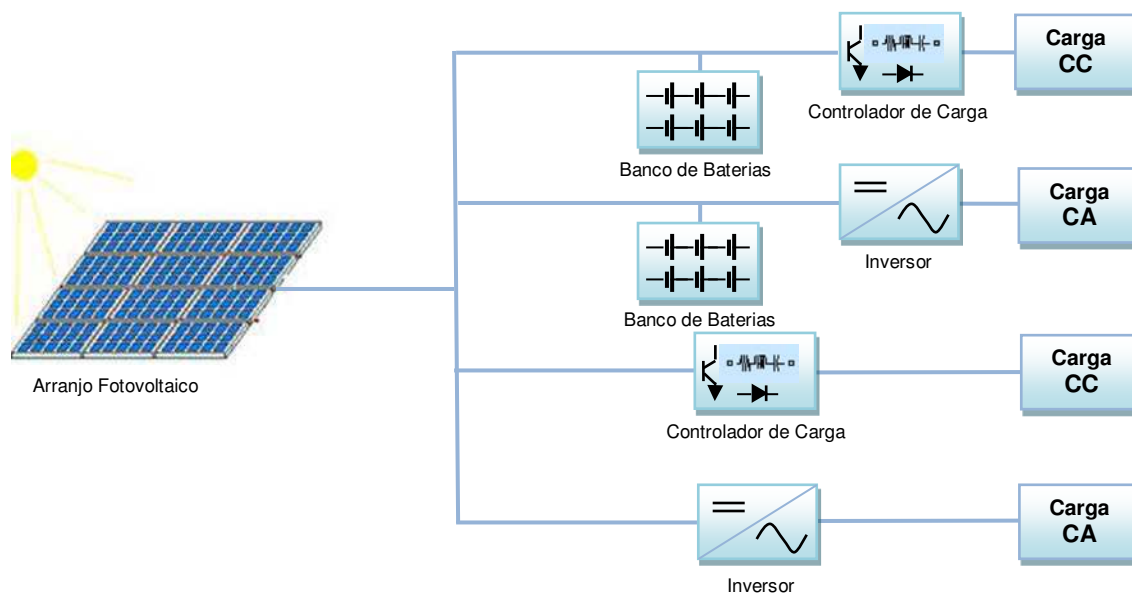
Figura 3.2 – Configuração Básica de Sistemas Fotovoltaicos



Em alguns sistemas é possível operar sem o armazenamento de energia. Nestes casos, a oferta de energia define o ponto de operação. Desta forma, para o sistema em estudo a energia captada é convertida para instantaneamente para realização do processo de microfiltração da água.

Os sistemas isolados apresentam quatro configurações possíveis para o acoplamento com a carga, sendo estas mostradas na (Figura 3.3) e descritas a seguir.

Figura 3.3 – Diagrama de Sistemas Fotovoltaicos em Função da Carga Utilizada



- Carga CC com Armazenamento: a energia elétrica é utilizada independente de haver ou não geração fotovoltaica simultânea fornecendo energia a equipamentos elétricos que operam em corrente contínua. É comum o uso de controlador de carga de modo a proteger as baterias de danos por sobrecarga ou descarga profunda.
- Carga CC sem Armazenamento: a energia elétrica é utilizada no momento da geração por equipamentos que operam em corrente contínua. Para este caso utiliza-se um circuito de controle a fim de evitar eventuais sobrecargas ao sistema.
- Carga CA com Armazenamento: a energia elétrica é utilizada independente de haver geração fotovoltaica simultânea, sendo aplicada a equipamentos que operam em corrente alternada. Para isto, é necessária a utilização de um inversor entre os painéis e a carga, além de um seguidor de máxima potência que pode estar embutido no próprio inversor.
- Carga CA sem Armazenamento: a energia elétrica é utilizada no momento da geração por equipamentos que operam em corrente alternada sem o

uso de baterias, necessitando, para tanto, a introdução de um inversor entre o arranjo fotovoltaico e o equipamento a ser utilizado a fim de converter a corrente contínua proveniente dos painéis em corrente alternada necessária a carga.

3.5 Componentes Básicos de Sistemas Fotovoltaicos

Os componentes básicos dos sistemas fotovoltaicos compreendem o agrupamento de módulos fotovoltaicos e os demais equipamentos relativamente convencionais destinados a transformação ou armazenamento da energia elétrica para que esta possa ser utilizada pela carga.

De acordo com a Figura 3.2 os sistemas fotovoltaicos são compostos por três elementos básicos: o arranjo de módulos fotovoltaicos, o subsistema de condicionamento de potência, o qual converte a saída do arranjo em potência útil, e as baterias, que armazenam a energia elétrica.

A célula solar que está localizada no módulo é o dispositivo mais importante de todo o sistema, sendo responsável pela conversão de energia solar em energia elétrica. Já o subsistema de condicionamento de potência compreende: controlador de carga, inversor, conversor e seguidor de máxima potência (CRESESB, 1999).

3.5.1 Módulo Fotovoltaico

O módulo fotovoltaico corresponde a unidade básica de todo o sistema, sendo composto por células conectadas em arranjos produzindo tensão e corrente suficientes para a utilização da energia.

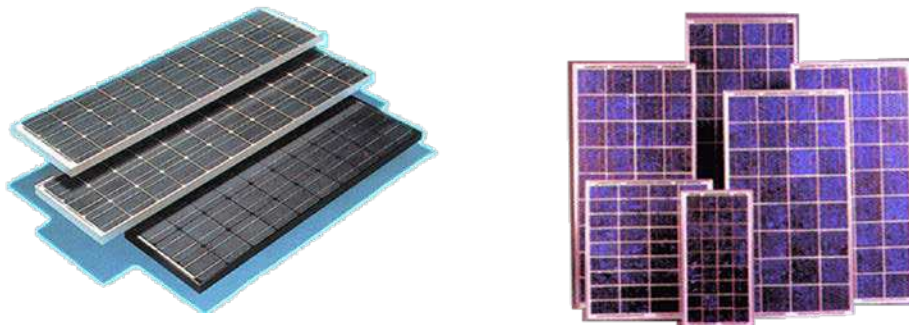
Montado a partir de conjunto de células "wafer" de silício, texturizadas, laminadas e tratadas com materiais específicos que aumentam sua absorção e vida útil. Geram tensões e correntes que são condicionadas às ligações em paralelo ou em série, das células. A parte frontal dos módulos é revestida com resina ou vidro temperado de alta transparência com resistência a tempestade, neve, granizo, salinidade, umidade e poeira. Os painéis costumemente são fornecidos

emoldurados em perfil de alumínio e contém terminais de conexão. A energia proveniente do painel é em corrente contínua e pode alimentar diretamente equipamentos que utilizam esta propriedade e carregar baterias.

Pelas características típicas das células: corrente máxima em torno de 3 Ampères e tensão em torno de 0,7 Volts, ou seja, baixa tensão e corrente de saída em uma célula fotovoltaica, agrupam-se várias células formando um módulo. O arranjo das células nos módulos pode ser feito conectando-as em série, em paralelo ou misto (CRESESB, 2005).

O módulo fotovoltaico é a menor unidade do ponto de vista comercial. Cada módulo mede cerca de 50 cm de largura e 1 metro de comprimento, como mostra a (Figura 3.4), produzindo de 12 a 15 Volts de tensão e potência de até 50 Watts, dependendo da insolação.

Figura 3.4 – Modelos de Módulos Fotovoltaicos



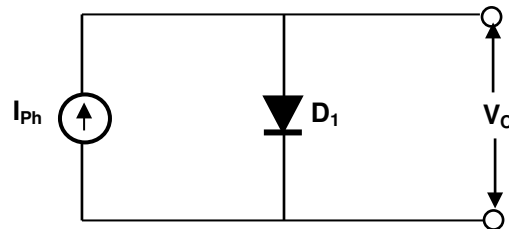
a) Célula Fotovoltaica

A conversão de energia solar em energia elétrica é obtida utilizando-se um material semicondutor como elemento transformador, conhecido como célula fotovoltaica ou célula solar.

As células fotovoltaicas são fabricadas, na sua grande maioria, usando o silício (Si) e podendo ser constituída de cristais monocristalinos, policristalinos ou de silício amorfo.

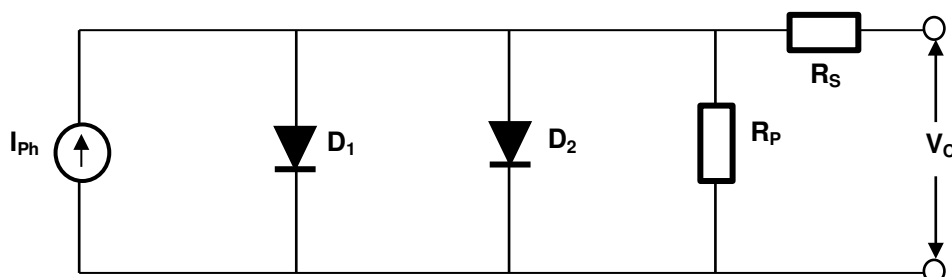
O comportamento elétrico da célula fotovoltaica pode ser descrito através de um circuito elétrico equivalente, composto de uma fonte de corrente (fotocorrente) e um diodo em paralelo conforme mostra a (Figura 3.5). Entretanto, em um modelo real a célula apresenta perdas. Algumas dessas perdas são representadas através de resistências inseridas no modelo elétrico da célula ideal (RIFFEL, 2005).

Figura 3.5 – Circuito Equivalente da Célula Solar (Modelo Ideal)



A (Figura 3.6) ilustra o modelo elétrico real da célula fotovoltaica, onde a resistência em série, R_S , descreve a queda de tensão devido as perdas ôhmicas do material semicondutor; e a resistência em paralelo, R_P , descreve as perdas que surgem principalmente devido a perturbações elétricas entre as partes da frente e de trás da célula, assim como devido a perturbações pontuais na zona de transição PN. Adicionalmente, um diodo D_2 pode ser ligado em paralelo para considerar as perdas de recombinação na camada de carga espacial.

Figura 3.6 – Circuito Equivalente da Célula Solar (Modelo Real)



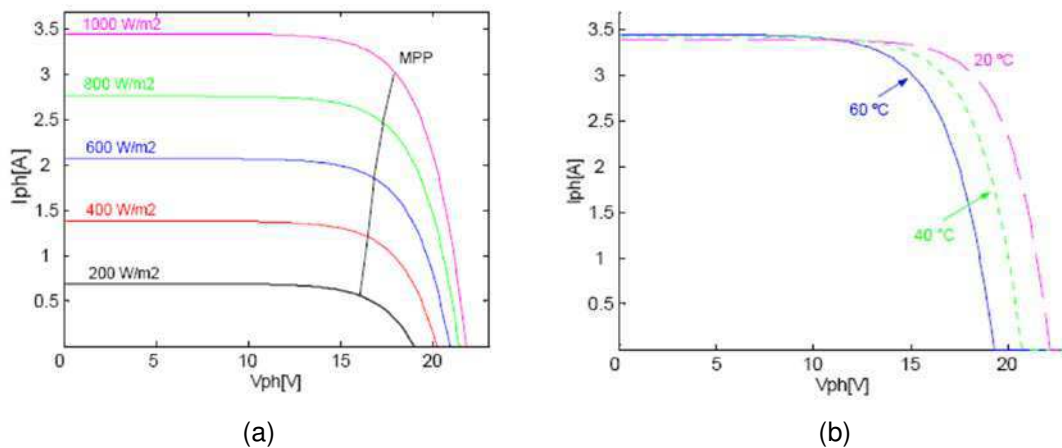
b) Características Elétricas dos Módulos

Os módulos fotovoltaicos normalmente operam em condições diferentes da condição padrão, tendo suas principais grandezas elétricas alteradas com variações da radiação e da temperatura. Sendo estas variações decorrentes de mudanças climáticas do ambiente.

A radiação solar incidente em uma célula fotovoltaica provoca o aparecimento de uma fotocorrente, I_{ph} , que é diretamente proporcional a essa radiação, conforme mostra a (Figura 3.7.a). Do mesmo modo se comporta a corrente de curto-circuito da célula, I_{CC} , se os efeitos da resistência R_S forem desprezados (RIFFEL, 2005).

A temperatura também provoca uma diminuição da banda de energia do material semiconductor, resultando em um acréscimo da fotocorrente gerada, I_{ph} , de aproximadamente 0,1%. Entretanto, a tensão de circuito aberto, V_{oc} , decresce a uma taxa de 0,3% por °C, resultando que a potência gerada diminui em 1% a cada 2,7K de elevação da temperatura (GOETZBERGER *et al.*, 1998), conforme ilustra a (Figura 3.7.b).

Figura 3.7 – Fatores que Influenciam a Curva Característica dos Módulos Fotovoltaicos



Fonte: (RIFFEL, 2005)

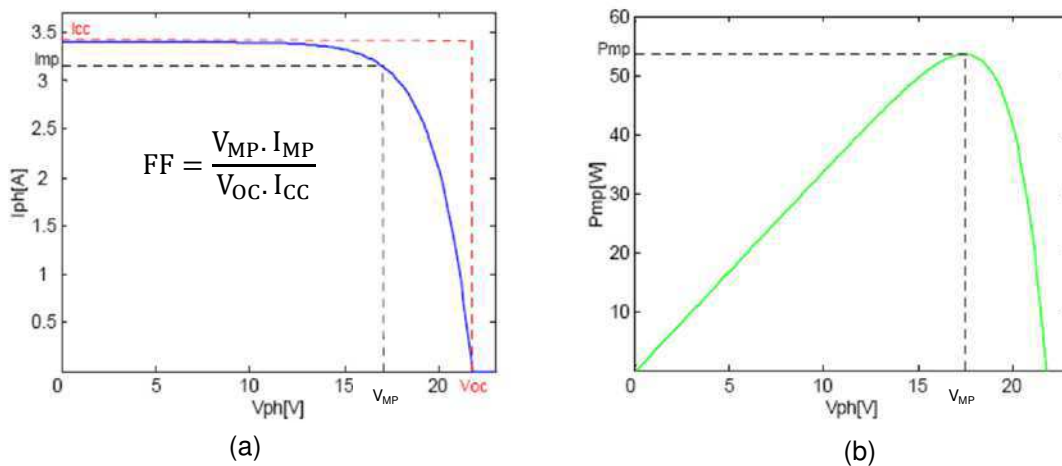
Os principais parâmetros de especificação de uma célula solar são:

- A corrente de curto-circuito, I_{CC} ;
- A tensão de circuito aberto, V_{oc} ,

- A tensão e corrente de máxima potência, respectivamente, V_{MP} e I_{MP} ;
- O fator de forma (FF);
- A eficiência (η).

O fator de forma é uma grandeza que expressa quanto a curva característica se aproxima de um retângulo no diagrama $I \times V$. Estando alguns desses parâmetros mostrados na (Figura 3.8).

Figura 3.8 – Curva Característica $I \times V$, com Definição do FF, e a Curva de Potência do Módulo



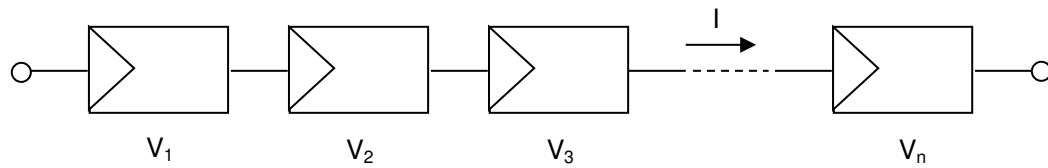
Fonte: (RIFFEL, 2005)

c) Arranjo dos Módulos

Os módulos, assim como as células em um módulo, podem ser conectados em ligações série e/ou paralelo, dependendo da potência e tensão desejadas.

A conexão em série dos dispositivos fotovoltaicos é feita mediante a ligação de um terminal positivo de um módulo ao terminal negativo de outro, e assim por diante. Conforme mostra a (Figura 3.9).

Figura 3.9 – Arranjo Série dos Módulos



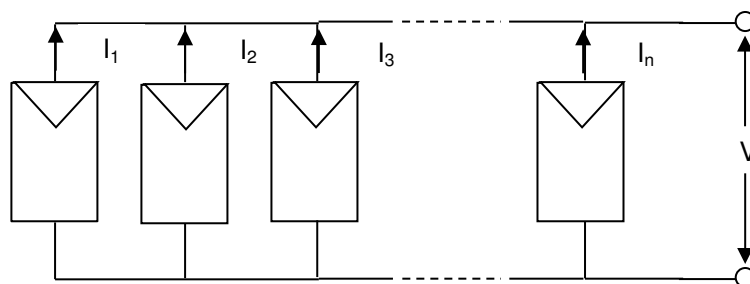
No arranjo série (isto é idêntico para células, módulos e painéis) as tensões são adicionadas e a corrente é a mesma em todos módulos, ou seja:

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n$$

Já a conexão em paralelo de dispositivos fotovoltaicos é feita mediante a ligação de terminais positivos unidos e terminais negativos também unidos. Conforme mostra a (Figura 3.10).

Figura 3.10 – Arranjo Paralelo dos Módulos



O arranjo em paralelo permite obter-se uma corrente resultante correspondente à soma de todos os valores de corrente de cada uma das células individuais, sendo a tensão na carga a mesma de qualquer uma das células, ou seja:

$$V = V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

Ao assumir-se as correntes e tensões individuais iguais para os arranjos série e paralelo, significa considerar-se módulos idênticos sob as mesmas condições de radiação e temperatura.

3.5.2 Baterias

As baterias, também denominadas de acumuladores de carga, são conhecidas por ser uma conveniente forma de armazenamento de energia.

A mais simples unidade de operação de uma bateria é a chamada célula eletroquímica. Dependendo do tipo de célula utilizada as baterias podem ser classificadas em recarregáveis e não-recarregáveis.

As células primárias compõem as baterias que podem ser utilizadas uma única vez (não-recarregáveis), as quais são geralmente empregadas como fontes de energia de baixa potência. Já as células secundárias compõem as baterias recarregáveis, ou seja, aquelas que podem ser carregadas com o auxílio de uma fonte de tensão ou de corrente e reutilizadas várias vezes, utilizadas na maioria das aplicações por longos períodos.

Nas instalações fotovoltaicas pode-se utilizar a energia captada pelos painéis diretamente, que é a forma de melhor aproveitamento desta energia, como é o caso do sistema em estudo. No entanto, é interessante observar que a potência fornecida à carga é variável de acordo com a hora do dia (potencial de insolação), nebulosidade, clima, etc.

A maioria dos sistemas fotovoltaicos tende a operar por vários dias ou semanas sem adequado recarregamento das baterias, em virtude da falta de energia solar, o que ocasiona a redução de sua vida útil.

Os fatores determinantes para a não utilização de baterias em sistemas de tratamento de água, a exemplo dos processos de separação por membranas, são o elevado custo e a reduzida vida útil das baterias, além da necessidade de manutenção periódica, operação em ambientes de temperatura controlada, controle de sobrecargas e sobredescargas.

3.5.3 Controladores de Carga

A função principal dos controladores de carga é facilitar a máxima transferência de energia do arranjo fotovoltaico para a bateria e protegê-la contra cargas e descargas excessivas, aumentando, conseqüentemente, a sua vida útil.

Um controlador ideal para a aplicação fotovoltaica deve, além de satisfazer os seus objetivos básicos, gerenciar a carga de acordo com a disponibilidade de energia solar, necessitando para tal, possuir uma informação confiável do estado de carga da bateria em um dado instante. Espera-se, ainda, dos controladores boa estabilidade térmica e baixo consumo.

3.5.4 Inversores

Os inversores, também chamados de conversores, são elementos cuja finalidade é adaptar as características da corrente gerada à demanda total ou parcial do sistema.

Os inversores usam um mecanismo de chaveamento para alternar o fluxo de corrente entre as direções positiva e negativa. Transistores de potência, retificadores controlados de silício (SCRs) e, mais recentemente, os IGBTs (*Insulated Gats Bipolar Transistor*) são tipicamente usados como chaves semicondutoras.

Em determinadas aplicações que operam em corrente contínua, não é possível fazer coincidir as tensões proporcionadas pelo acumulador com a solicitada por todos os elementos de consumo. Neste caso a melhor solução é a utilização de um conversor de tensão CC-CC.

Em outras aplicações, as quais incluem elementos que trabalham em corrente alternada, é necessário a presença de um inversor que transforme a corrente contínua, proveniente dos painéis, em corrente alternada.

Um inversor caracteriza-se, principalmente, pela tensão de entrada, que deve se adaptar a do gerador, a potência máxima que pode proporcionar e a eficiência.

Esta última se define como a relação entre a potência elétrica entregue a carga (potência de saída) e a potência elétrica extraída do gerador (potência de entrada).

Para especificar um inversor, é necessário considerar tanto a tensão de entrada quanto a tensão de saída. Além disso, todas as exigências que a carga fará ao inversor devem ser observadas, não somente em relação à potência, mas também variações de tensão, frequência e forma de onda (CRESESB, 1999).

A eficiência do inversor varia em função da potência consumida pela carga. É necessário conhecer essa variação, sobretudo se a carga em corrente alternada é variável, a fim de que o ponto de operação do equipamento se ajuste o melhor possível a um valor médio especificado. Pode-se considerar a eficiência de 70% da carga como um parâmetro aceitável de eficiência do inversor. Porém, deve-se projetar um inversor visando alcançar eficiência superior a 90%.

É necessária uma eficiência elevada, pois, caso contrário, se terá que aumentar desnecessariamente o número de painéis para alimentar a carga.

Outros aspectos importantes que devem possuir os inversores são a adequada proteção contra curtos-circuitos e sobrecargas.

A escolha do inversor a ser utilizado deve ser feita considerando, obviamente, as características da carga de trabalho, a qual definirá a necessidade de equipamentos mais ou menos complexos.

3.6 Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos

O projeto de um sistema fotovoltaico é o “casamento” entre a energia fornecida pelo Sol ao sistema e a demanda de energia da carga. O critério para o dimensionamento pode ser: custo da energia gerada, confiabilidade, eficiência ou uma combinação destes fatores.

O dimensionamento de um sistema fotovoltaico deve considerar a robustez e facilidade de instalação e manutenção, tendo em vista que, na maioria dos casos, eles serão utilizados em locais remotos e inóspitos. Também devem ser

consideradas as perdas relativas aos componentes (condutores, diodos de bloqueio, proteções, etc.).

Para o projeto de sistemas fotovoltaicos alguns fatores são de grande importância para a garantia de um dimensionamento eficiente, os quais destacam-se os dados meteorológicos e a estimativa da curva de carga, além dos componentes necessários à operação segura e confiável do sistema.

As principais etapas do projeto de um sistema fotovoltaico são:

- Avaliação do recurso solar;
- Estimativa da curva de carga;
- Escolha da configuração;
- Dimensionamento do sistema de armazenamento;
- Dimensionamento da geração fotovoltaica;
- Especificação dos demais componentes (controladores de carga e dispositivos de condicionamento de potência);
- Projeto elétrico.

3.6.1 Avaliação do Recurso Solar

Nesta fase do projeto busca-se quantificar a radiação global incidente sobre o painel fotovoltaico de forma a podermos calcular a energia gerada.

Os dados de radiação solar podem estar especificados em termos de fluxo de potência (valores instantâneos) ou energia (com diversos períodos de integração) por unidade de área. A forma mais comum de apresentação dos dados de radiação é através de valores médios mensais para a energia acumulada ao longo de um dia.

Uma forma bastante conveniente de se expressar o valor acumulado de energia solar ao longo do dia é através do número de horas de sol pleno. Esta grandeza reflete o número de horas em que a radiação solar deve permanecer constante e igual a 1 kW/m^2 (1.000 W/m^2) de forma que a energia resultante seja equivalente à demanda acumulada para o dia e local em questão (CRESESB, 1999).

Os métodos de tratamento de dados utilizam modelos que tentam, com o máximo de fidelidade, estimar as grandezas cuja medição é mais complexa ou dispendiosa, ou aproveitar uma grande base dados disponíveis.

3.6.2 Estimativa da Curva de Carga

Para o dimensionamento do sistema de geração precisamos analisar a demanda de energia pela carga. O objetivo desta análise é construir, com a maior fidelidade possível, uma curva de carga, identificando as possíveis sazonalidades. O levantamento preciso da curva de carga pode implicar uma redução significativa do custo do sistema e prevenir contra efeitos de possíveis variações localizadas no comportamento da carga.

A forma mais comum de se especificar uma carga é através do seu consumo diário de energia. É comum utilizar-se o valor de consumo correspondente a dias em que a relação “consumo/disponibilidade de energia solar” é máxima. O consumo é expresso em Ampères-Hora (Ah), ou em casos de sistemas que dispõe de seguidores de máxima potência, é mais conveniente utilizar o Watts-Hora (Wh). (CRESESB, 2005).

Outro fator importante na avaliação da carga é a determinação dos valores extremos de consumo (mínimo e máximo), para que os componentes possam ser dimensionados segundo as condições críticas de operação. Tensão nominal e características adicionais sobre os equipamentos (CA ou CC, eficiências, etc.) completam a especificação da carga.

3.6.3 Escolha da Configuração

Esta etapa compreende a definição da configuração do sistema de geração fotovoltaica, os quais baseiam-se nas características da carga e na disponibilidade de recursos energéticos; sendo definidas como: sistemas autônomos ou interconectados à rede elétrica, CA ou CC, com ou sem armazenamento, etc.

3.6.4 Dimensionamento do Sistema de Armazenamento

Baterias são, na atualidade, o meio mais difundido de armazenamento de energia elétrica. O processo de dimensionamento de um banco de baterias é iterativo. O projetista oscila entre a escolha do modelo (tecnologia, capacidade, etc.) e o cálculo do número de unidades necessárias para um dado sistema, considerando aspectos como vida útil, confiabilidade e custo.

Os parâmetros mais importantes para o dimensionamento do banco de baterias são a eficiência, a máxima profundidade de descarga (para ciclos diários e ciclos esporádicos) e a autonomia do sistema.

3.6.5 Dimensionamento da Geração Fotovoltaica

De posse dos dados meteorológicos de relevância e da expectativa de demanda de energia para o sistema, pode-se estabelecer o dimensionamento dos painéis fotovoltaicos. Assim como para as baterias, nesta etapa temos um processo iterativo, onde o projetista oscila entre a escolha do modelo e o cálculo do número de unidades necessárias para o sistema (CRESESB, 2005).

A escolha do tipo e do número de módulos fotovoltaicos a serem utilizados depende de uma série de fatores, dentre eles:

- Tensão nominal do sistema;
- Curva característica IxV do módulo;
- Custo da área disponível para instalação;
- Degradação da performance em função da temperatura ambiente e tempo de vida módulos;
- Custo e expectativa de vida para o módulo.

Os parâmetros mais importantes para o dimensionamento são:

- Consumo calculado para a carga;
- Radiação solar global no plano do módulo;
- Eficiência do banco de baterias;
- Perdas causadas por componentes adicionais;

- Valores típicos de corrente que corresponde ao ponto de máxima potência;
- Tensão de operação.

3.6.6 Especificação dos Demais Componentes Básicos

Esta etapa compreende a especificação de controladores de carga e dispositivos de condicionamento de potência (inversores ou conversores). Estes componentes, que integram-se ao sistema em função da aplicação e/ou configuração, precisam de uma correta especificação para uma boa operação.

Componentes especificados corretamente e apenas com as funções realmente necessárias reduzem a complexidade e o custo e aumentam a confiabilidade do sistema.

Controladores de Carga: o valor máximo de corrente e a tensão de operação são os parâmetros mínimos para a especificação.

Inversores e Conversores: os parâmetros básicos são a tensão de entrada, a potência nominal e as características de saída.

3.6.7 Projeto Elétrico

Para o projeto elétrico os fatores mais importantes são:

- Interconexão dos diversos componentes do sistema de forma eficiente, evitando perdas de energia;
- Obtenção de um projeto seguro, sob o ponto de vista elétrico, considerando a segurança do sistema e do usuário;
- Verificação da obediência aos códigos locais para instalações elétricas.

Estes aspectos incluem desde a escolha dos condutores até o dimensionamento/especificação de dispositivos de proteção.

3.7 Energia Solar e Recursos Hídricos

A interação entre recursos hídricos e sistemas fotovoltaicos tem sido aplicada e desenvolvida em diversas áreas do conhecimento, dentre as que ganham maior destaque estão a irrigação, dessalinização, tratamento de esgoto e abastecimento de água.

Desde que os sistemas PV foram inventados, sistemas de bombeamento fotovoltaico já foram implementados nas principais regiões remotas do mundo como fonte de energia alternativa (SHORT *et al.*, 2003). Muitas regiões do planeta são áreas remotas de natureza rural ou de difícil acesso e, conseqüentemente, não possuem linhas de distribuição de energia elétrica em muitas partes das vilas, fazendas ou comunidades ribeirinhas. As fontes naturais de energias renováveis, como a eólica, a hídrica e a solar, estão disponíveis a todos, o que torna o bombeamento de água movida a um sistema PV o mais rentável em aplicações nas áreas de pequena escala (MEAH *et al.*, 2008).

Em comparação com os sistemas tradicionais, muitas vantagens são atribuídas aos sistemas fotovoltaicos de bombeamento de água para abastecimento: a viabilização do desenvolvimento em regiões remotas, onde o custo da eletrificação pela rede convencional é demasiadamente alto com relação ao retorno financeiro do investimento; a regulação da oferta de energia em períodos de estiagem; a diminuição da dependência do mercado de petróleo; e a redução das emissões de gases poluentes à atmosfera, como estabelece a Conferência de Kyoto. Os motores a Diesel ou gás propano exigem não apenas combustíveis caros; eles também geram ruído e poluição do ar em muitas áreas intocadas pelo homem. Sistemas solares são amigos do ambiente, de baixa manutenção, e não têm custo de combustível (PEREIRA *et al.*, 1997).

O estudo do acoplamento da tecnologia fotovoltaica com métodos de dessalinização teve um aumento significativo nas últimas décadas (QTAISHAT *et al.*, 2013). A utilização da energia solar para sistemas de tratamento de água é bastante difundida para os processos com membrana que utilizam a dessalinização via osmose inversa como método de separação. Essa é uma combinação já consolidada e bastante atrativa, a qual constitui uma excelente opção para o

fornecimento de água dessalinizada em pequenas comunidades remotas que têm acesso ao mar ou à água salobra.

O sistema utilizado nesta pesquisa busca o uso da energia solar fotovoltaica aplicada ao tratamento de água via membrana de microfiltração, o que corresponde a uma combinação inovadora e com perspectivas bastante promissoras, considerando que para sistemas desse tipo o consumo energético pode ser bem menor quando comparado a sistemas que utilizam a osmose inversa como mecanismo de tratamento de água haja vista os níveis de pressão de operação utilizados. Além disso, a microfiltração visa o tratamento de águas doces, porém contaminadas por microrganismo, material em suspensão, presença de cor e/ou turbidez; o que abrange uma gama bastante vasta de fonte hídrica de captação de água de alimentação para o sistema.

Considerando que a escassez hídrica para fins de potabilidade se configura pela indisponibilidade do recurso água em condições aceitáveis para o consumo humano, temos o processo de microfiltração como um mecanismo bastante eficiente e consolidado, o qual garante a retenção de todos os materiais em suspensão e na forma de micro emulsão, bem como remoção de 99,99% dos microrganismos (vírus e bactérias) presentes na água de alimentação; fornecendo um microfiltrado sanitizado e isento de sólidos (SURERUS *et al.*, 2012).

Outro diferencial desta pesquisa seria o desenvolvimento de um sistema que não utiliza o armazenamento de energia (baterias), fazendo uso do recurso solar instantaneamente a sua captação.

4. METODOLOGIA

Este capítulo trata da descrição dos materiais e métodos aplicados ao desenvolvimento da parte experimental desta pesquisa.

Este trabalho foi realizado no Laboratório de Referência em Dessalinização (LABDES) em conjunto com o Laboratório de Eletrônica Industrial e Acionamento de Máquinas (LEIAM), ambos da Universidade Federal de Campina Grande e com o Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul.

Esta pesquisa trata-se do estudo de um sistema de tratamento de água via membrana de microfiltração acionado por um sistema de geração de energia solar fotovoltaica.

Na fase inicial foi feita a caracterização do sistema de tratamento de água sob o aspecto de consumo de energia e produção de água purificada, para isso utilizamos como fonte de geração de energia a rede elétrica convencional, o qual nos permitiu a verificação do seu desempenho submetido a diferentes níveis de energia ofertada.

Posteriormente, com os dados de caracterização do sistema e a oferta de energia solar da região podemos prever os níveis de produção de água em função da disponibilidade de energia solar.

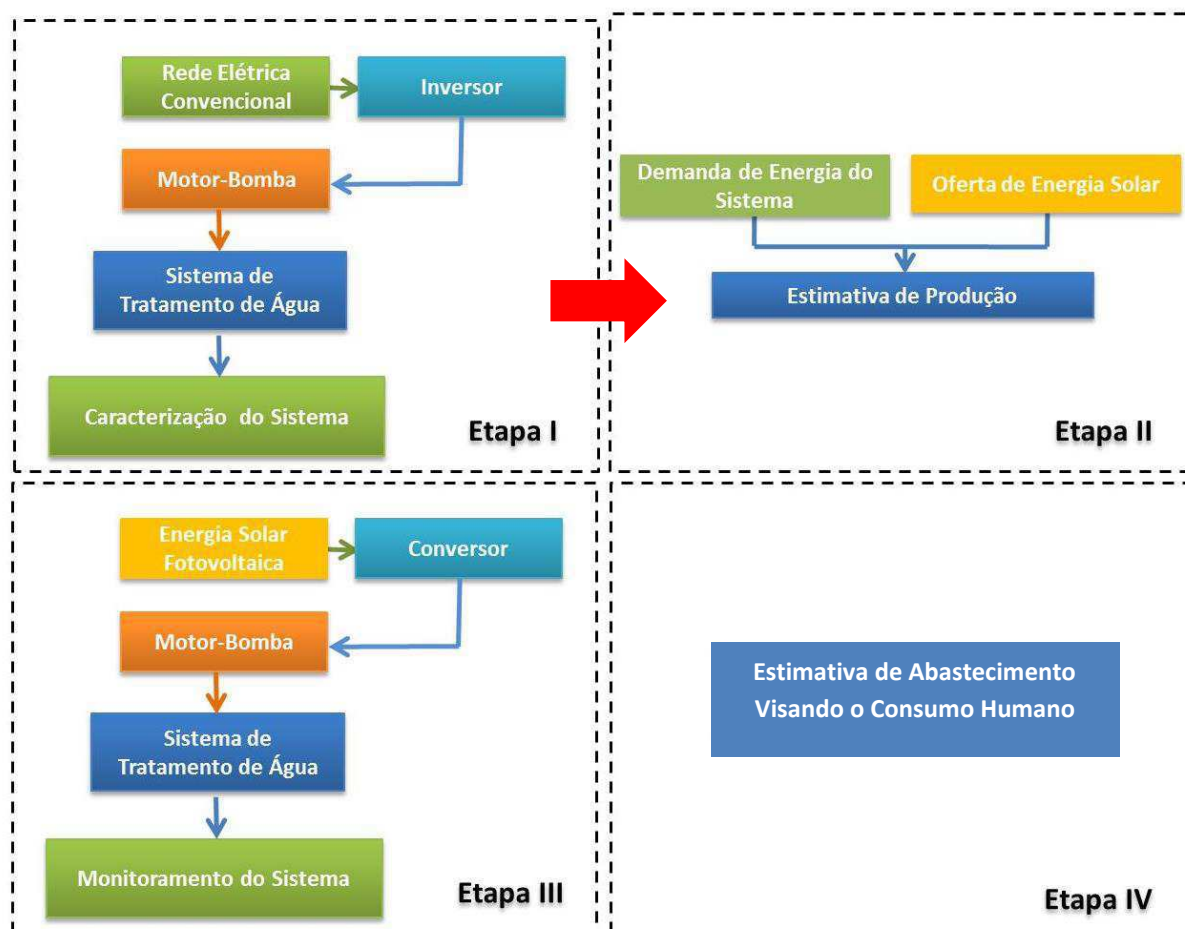
Na fase final da parte experimental desta pesquisa foi realizada a operação do sistema fazendo uso efetivamente da geração solar fotovoltaica, o que nos permitiu verificar a funcionalidade do mesmo operando com demanda variável de energia.

Por fim, verificando a perspectiva de ampliação do sistema de tratamento de água através utilização de um conjunto de painéis fotovoltaicos, bem como a utilização de elementos de membrana com área de permeação maiores que os utilizados neste projeto.

4.1. Metodologia Proposta

O fluxograma ilustrado na Figura 4.1 mostra as etapas realizadas durante o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa.

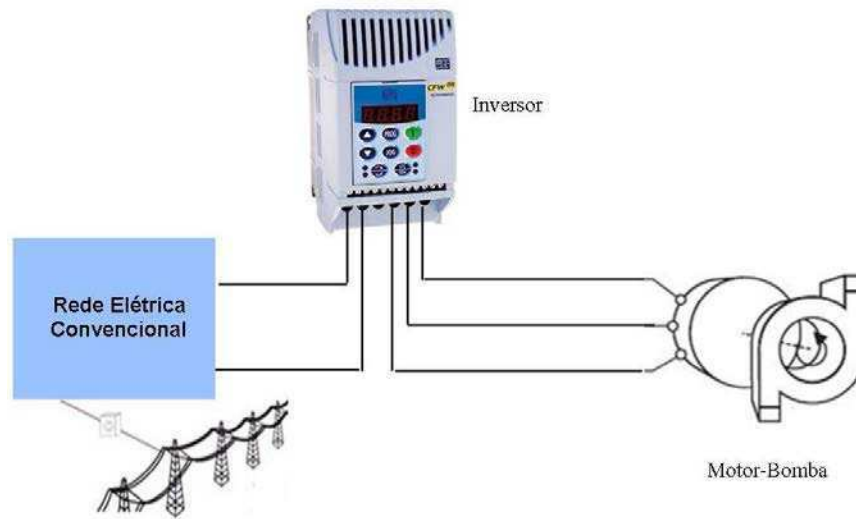
Figura 4.1 – Fluxograma de Execução de Atividades



4.1.1. Etapa I

Na etapa I o sistema de tratamento de água foi operado utilizando como fonte de energia a rede elétrica convencional, dessa forma o sistema de geração de energia esteve configurado de acordo com a Figura 4.2.

Figura 4.2 – Sistema de Geração de Energia para Etapa I



Nesta etapa para adequarmos a energia proveniente da rede elétrica (monofásica) ao sistema de bombeamento de água (trifásico), utilizamos um inversor comercial o qual fez a adequação do sinal elétrico de alimentação ao sistema motor-bomba (carga).

Esta etapa permitiu a caracterização do sistema de tratamento de água mediante análise do seu funcionamento submetido a diferentes níveis de velocidade e energia disponibilizada, o que nos permitiu obter curvas de produção de água potável em função da potência elétrica entregue a carga, da velocidade do motor e da pressão de operação do sistema. Além disso, verificamos a capacidade de remoção de cor e turbidez para o sistema de microfiltração utilizado.

4.1.2. Etapa II

Na etapa II, com os dados de produção quantitativa do sistema, obtidos na etapa I e utilizando dados do potencial de irradiação solar, podemos obter a produção de água do sistema em função da oferta de irradiação solar.

O estudo da oferta de energia solar foi realizado mediante análise estatística dos níveis de radiação, o qual permitiu identificar as faixas de radiação solar que

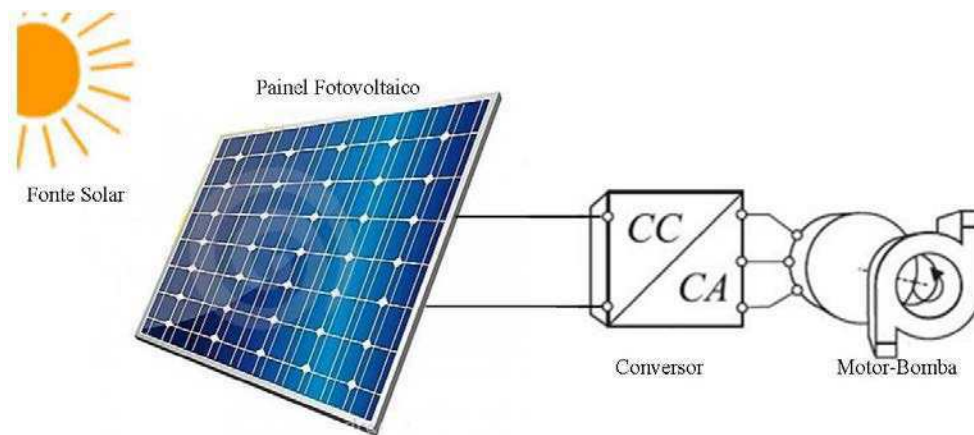
apresentam períodos contínuos máximos e, dessa forma, a partir do arranjo fotovoltaico utilizado prever a quantidade de água potável produzida.

Os dados de irradiação solar utilizados nesta pesquisa referem-se ao período de um ano, especificamente de *Setembro/2013 à Agosto/2014*, para a região de Campina Grande – PB.

4.1.3. Etapa III

Na etapa III o sistema de tratamento de água foi operado utilizando como fonte de energia a própria energia solar fotovoltaica, dessa forma o sistema de geração de energia esteve configurado de acordo com a Figura 4.3.

Figura 4.3 – Sistema de Geração de Energia para Etapa III



Esta etapa permitiu verificar o funcionamento do sistema operando efetivamente com uma fonte solar fotovoltaica, para tanto utilizamos um conversor CC/CA, desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, a fim de adequar a energia proveniente do painel

solar, que apresenta características contínuas, a necessidade do sistema de bombeamento de água, que opera a partir da oferta de energia alternada e trifásica.

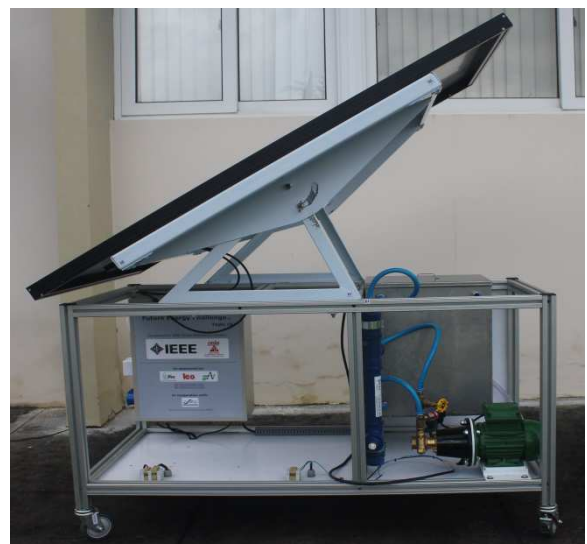
4.1.4. Etapa IV

Na etapa IV, com os dados obtidos quanto a produção de água em função da oferta solar disponibilizada e considerando a finalidade do sistema de tratamento em estudo, estimamos o quantitativo de pessoas que poderiam ser beneficiadas através do sistema de tratamento em estudo.

4.2. Sistema Experimental

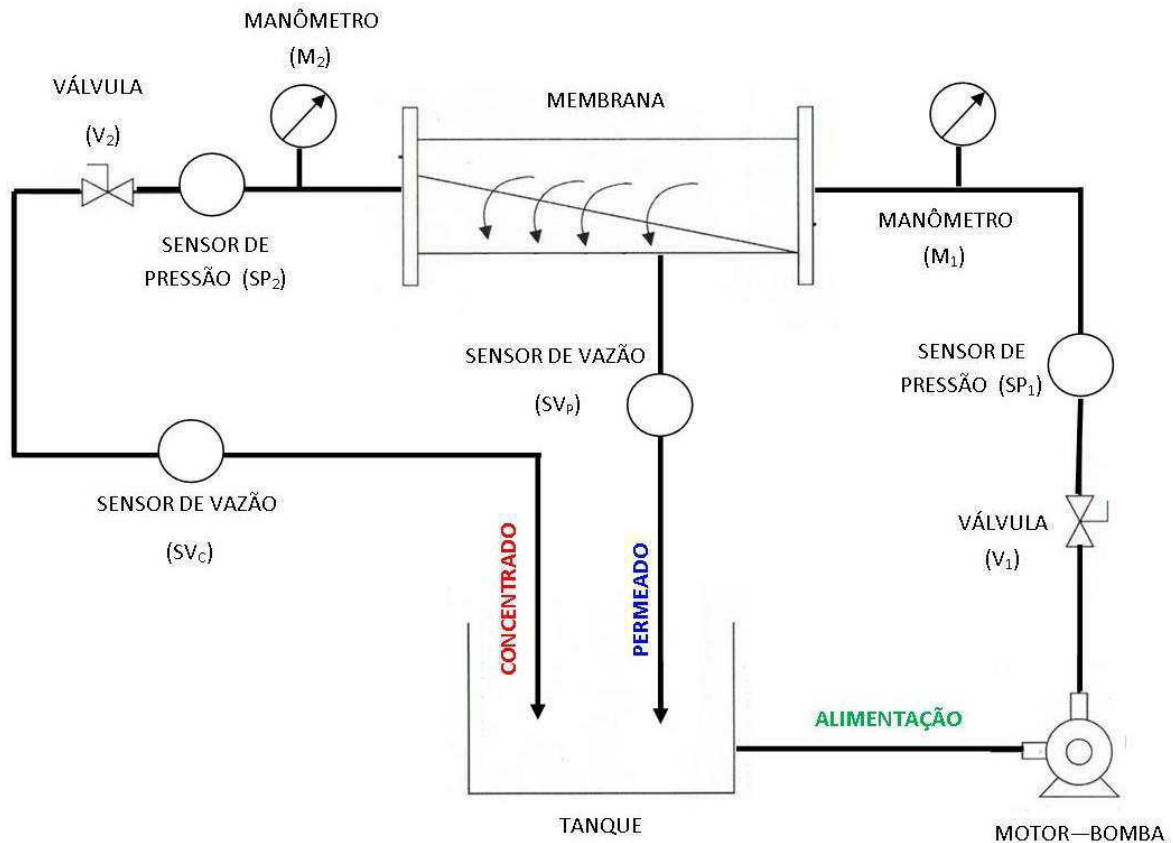
A Figura 4.4 apresenta o sistema de tratamento de água utilizado nesta pesquisa. O qual é constituído basicamente de um reservatório de água, um sistema motor-bomba, uma membrana de microfiltração com área de permeação de 0,5 m², válvulas e manômetros de controle analógicos, sensores de pressão e vazão, sistema de monitoramento e o sistema de geração de energia.

Figura 4.4 – Sistema Experimental de Tratamento de Água



O sistema de geração de energia foi operado de dois modos diferentes, conforme descrito nas etapas I e III. Já o sistema de tratamento de água esteve configurado de acordo com a Figura 4.5:

Figura 4.5 – Sistema Experimental de Tratamento de Água



4.2.1. Elementos do Sistema de Tratamento de Água

4.2.1.1 Painel Solar Fotovoltaico

O gerador fotovoltaico é o elemento responsável pela conversão de radiação solar em eletricidade. A ABNT (NBR 10889/TB-328) define o módulo fotovoltaico como sendo o “menor conjunto ambientalmente protegido de células solares interligadas, com o objetivo de gerar energia elétrica em corrente contínua”.

Para o sistema em questão faz-se uso de um único painel solar com potência máxima de 210 W, cujas especificações são descritas na tabela a seguir.

Tabela 4.1 – Especificações do Painel Solar

Especificações do Painel Solar	
Modelo KD210GX-LPU	
Desempenho Elétrico sob Condições de Teste Padrão (Para Irradiação de 1000 W/m² e Temperatura de 25°C)	
Máxima Potência (P_{MAX})	210 W (+5W/-0W)
Tensão de Máxima Potência (V_{MPP})	26.6 V
Corrente Máxima Potência (I_{MPP})	7.9 A
Voltagem de Circuito Aberto (V_{CA})	33.2 V
Corrente de Curto-Circuito (I_{CC})	8.58 A
Coefficiente de Temperatura da Corrente	5.15x10 ⁻³ A/°C
Coefficiente de Temperatura da Tensão	- 1.20x10 ⁻¹ V/°C
Comprimento	1500 mm
Largura	990 mm
Espessura	46 mm
Peso	18 Kg
Desempenho Elétrico a 800 W/m² (Temperatura Nominal de Funcionamento da Célula: 49.7°C)	
Máxima Potência (P_{MAX})	149 W
Tensão de Máxima Potência (V_{MPP})	23.6 V
Corrente Máxima Potência (I_{MPP})	6.32 A
Voltagem de Circuito Aberto (V_{CA})	30.0 V
Corrente de Curto-Circuito (I_{CC})	6.62 A

Fonte: Kyocera Solar

Neste sistema é utilizado um motor de indução trifásico de potência nominal 0.16 HP, o que corresponde a aproximadamente 124 W. Considerando o rendimento do gerador fotovoltaico, as taxas de irradiação solar, condições climáticas e utilizando-se um sistema de controle adequado é possível alimentar este motor utilizando um único painel solar fotovoltaico de modo a fornecer condições suficientemente necessárias para sua operação de modo eficiente.

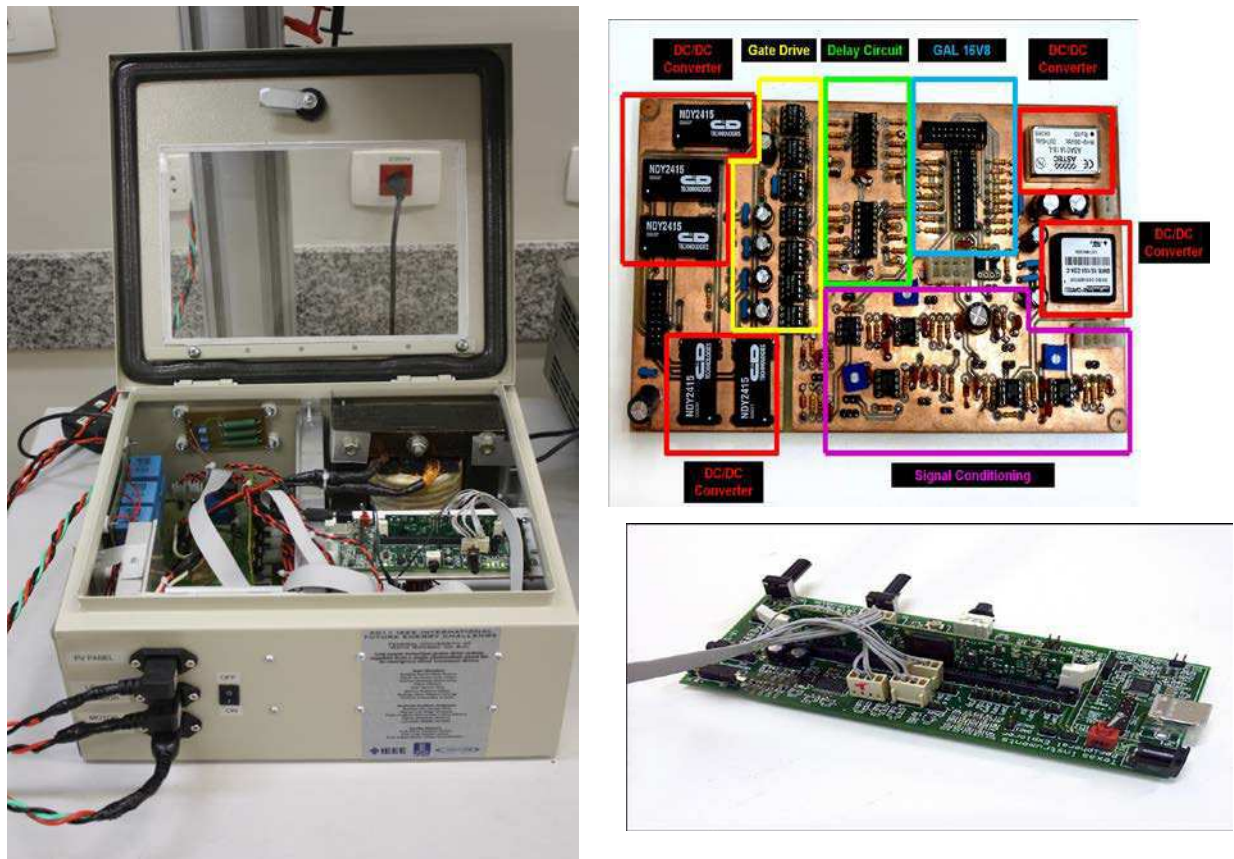
4.2.1.2 Sistema de Conversão de Energia

De acordo com o modo de operação do sistema, utilizamos sistemas distintos para adequação do sinal elétrico disponibilizado e o necessário ao acionamento do sistema motor-bomba.

Para a Etapa I, onde a fonte de energia foi a rede elétrica convencional utilizamos um inversor comercial da marca WEG, Série CFW – 08, o qual é mostrado na Figura 4.2. Sua função é basicamente converter o sinal monofásico alternado da rede elétrica em sinal trifásico alternado necessário ao acionamento do motor.

Para a Etapa III, onde a fonte de energia foi o painel solar fotovoltaico utilizamos o conversor CC/CA desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, o qual é mostrado na Figura 4.6 e tem como função adequar o sinal contínuo proveniente do painel solar fotovoltaico em sinal trifásico alternado necessário ao acionamento do motor-bomba responsável pelo bombeamento de água do sistema.

Figura 4.6 – Conversor CC-CA



4.2.1.3 Motor

No sistema de purificação em estudo o motor de indução é o dispositivo responsável por transformar a energia elétrica de alimentação do sistema em energia mecânica capaz de realizar o deslocamento do fluido sob pressão para o interior da membrana de microfiltração.

Para o acionamento da bomba foi utilizado um motor *WEG*, modelo W22 Premium, trifásico de indução, de 0,16 HP, cujas características são descritas na (Tabela 4.2). Este motor é acoplado a uma bomba de alta pressão, os quais alimentam o sistema de microfiltração.

O motor de indução é o tipo de motor elétrico mais utilizado e difundido, tanto para motorização de sistemas, quanto para processos industriais. Sua principal vantagem é a eliminação do atrito de todos os contatos elétricos deslizantes e uma

construção bastante simples, o que possibilitou sua construção a um custo ainda mais baixo, sendo que estas máquinas são fabricadas para grande variedade de aplicações, desde alguns watts até muitos megawatts. Além de ser robusto em termos de operação, proporcionando vantagens econômicas consideráveis tanto na aquisição, quanto na manutenção (CAD, 2000).

Tabela 4.2 – Especificações do Motor CA WEG

Especificações do Motor	
Modelo	WEG – W22 Premium
Carcaça	71
Potência	0,16 HP
Tensão Nominal	220/380V
Pólos	4
Conjugado	0,669 Nm
Frequência	60 Hz
RPM	1715
Corrente Nominal	0,734/0,425 ^a
Corrente a Vazio	0,600/0,347 ^a
Rendimento	66%
Fator de Potência	0,65
Isolamento	F
Ruído	47dB(A)
I_p/I_n	4,7



4.2.1.4 Bomba

Para a alimentação do sistema foi utilizada uma bomba de alta-pressão da marca *PROCON*, cujas características estão descritas na (Tabela 4.3).

A bomba é o dispositivo responsável por promover a circulação de água no interior do sistema, através da conversão de energia de uma fonte motriz (motor elétrico) em velocidade ou energia cinética, e posteriormente em energia de pressão do fluido em circulação.

No sistema em estudo faz-se uso de uma bomba de deslocamento positivo, também chamada de bomba de alta pressão, a qual permite a circulação do fluido sob pressão suficiente, entre 0,5 e 5 kgf/cm², para que ocorra o processo de microfiltração.

As especificações técnicas da bomba utilizada são descritas na tabela 4.3.



Tabela 4.3 – Especificações da Bomba *PROCON*

Especificações da Bomba	
Material	Bronze
Capacidade	15 a 140 gph
Velocidade Nominal	1.725 rpm
Pressão Máxima	250 psi
Rotação	Sentido Horário
Peso Seco	2.40 lbs

Fonte: PROCON Pumps

4.2.1.5. Membranas de Microfiltração

O sistema de tratamento de água utiliza uma membrana de microfiltração, a qual constitui um método eficiente para esterilização de fluidos, realizando a remoção de 99,99% dos microrganismos (vírus e bactérias) e sólidos suspensos do fluido; tendo como principal mecanismo de separação a exclusão por tamanho molecular.

Para que haja o processo de purificação da água, de modo a torná-la apta ao consumo humano, o sistema é equipado com um módulo de microfiltração da PAM Membranas Seletivas, cujas características são descritas na tabela 4.4. O módulo utilizado é composto por membranas poliméricas de polieterimida (PEI) apresentando geometria cilíndrica do tipo fibra oca e camada seletiva externa.

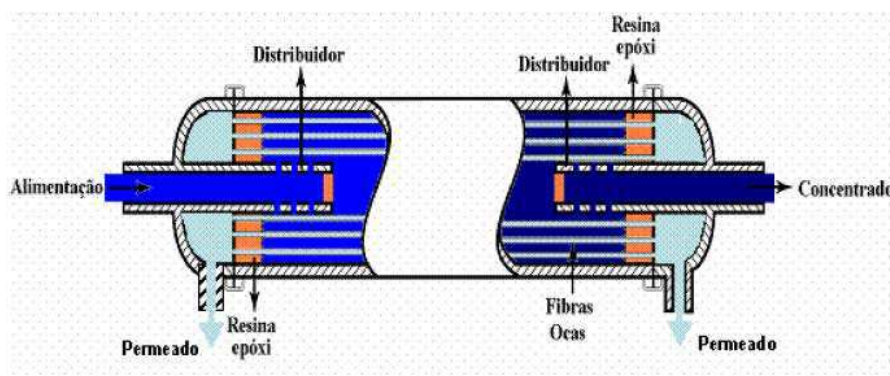
Tabela 4.4 – Especificações da Membrana de Microfiltração

Propriedades do Módulo	
Processo	Microfiltração
Comprimento Útil (mm)	420
Diâmetro Externo (mm)	50
Empacotamento (m²/m³)	800
Área de Filtração (m²)	0,5
Permeabilidade (LPH/m²bar)	
Material de Construção	PVC
Conexão	BSP Fêmea de 1/2"
Sentido de Filtração	Fora para dentro da fibra
Pressurização	Carcaça
Pressão de Operação	Depende do fluido
Pressão Máxima de Operação (kgf/cm²)	4,0
Temperatura Máxima de Operação (°C)	55

Fonte: PAM Membranas Seletivas

O esquema do módulo, bem como a correta disposição dos fluxos, é mostrado na Figura 4.7.

Figura 4.7 – Esquema do Módulo de Microfiltração



A água de alimentação a ser tratada escoar pela carcaça do módulo, enquanto o permeado microfiltrado escoar pelo interior das fibras e a filtração ocorre de fora para dentro das fibras, conforme pode ser observado no esquema acima. A pressão de operação do sistema deve ser entre 0,5 e 2,0 kgf/cm², conforme recomendação do fabricante, no entanto o módulo suporta pressões de até 4,0 kgf/cm². O diâmetro externo das fibras varia entre 0,9 e 1,0 mm e o tamanho médio dos poros na superfície externa das fibras é de 0,4µm.

4.2.3. Sistema de Aquisição de Dados

Para a aquisição dos dados experimentais do sistema de geração de energia e do sistema de tratamento de água foi utilizado um FieldLogger, da marca Novus, mostrado na Figura 4.8.

Figura 4.8 – Sistema de Aquisição de Dados (FieldLogger)



O FieldLogger consiste em um módulo de leitura e registro de variáveis analógicas e digitais, com grande resolução e velocidade. Dispõe de oito entradas analógicas configuráveis por software para sinais de tensão, corrente, termopares,

entre outros, duas entradas a relé e oito portas digitais individualmente configuráveis como entrada ou saída. Além de 128 canais para cálculo de grandezas das variáveis medidas.

É possível realizar a configuração e coleta de dados a partir de uma interface remota (computador, pendrive, etc), como também localmente a partir da IHM (Interface Homem Máquina) do equipamento, o qual dispõe de um display que é acoplado ao dispositivo. O software configurador do FieldLogger é de simples manipulação, permitindo alterações nas configurações do sistema de modo rápido, via ethernet, USB ou RS485, além de monitoramento on-line, coleta de registro e exportação em diversos formatos.

Os sensores utilizados para aquisição de dados são:

- Sensores de Pressão: responsáveis pelo monitoramento das pressões de entrada (SP_1) e de saída (SP_2) da membrana;
- Sensores de Vazão: responsáveis pelo monitoramento das vazões do permeado (SV_P) e do concentrado (SV_C);
- Sensores de Voltagem: responsáveis pelo monitoramento dos sinais elétricos do sistema (tensão e corrente do motor).

Além dos sensores digitais, utilizamos manômetros analógicos, responsáveis pelo monitoramento da pressão de entrada (M_1) e de saída (M_2) da membrana.

Para obtenção da vazão de alimentação do sistema utilizamos o recurso do FieldLogger que permite o uso de operações matemáticas para cálculo da referida variável.

4.3. Procedimento Experimental

O sistema de tratamento de água foi avaliado utilizando como água de alimentação uma água com presença de sólidos suspenso e elevada cor e turbidez, proveniente de uma cisterna.

A capacidade de produção do permeado e do concentrado foi obtida por meio dos sensores de vazão presentes no sistema. O sistema de aquisição de dados forneceu, ainda, valores de pressão na alimentação e na saída da membrana e níveis de tensão e corrente no motor através dos sensores de pressão e de voltagem, respectivamente.

A amostragem de dados foi realizada na faixa de 1 a 15 segundos, sendo estes dados armazenados no FieldLogger e posteriormente coletados via interface USB e armazenados em um computador.

Para todos os ensaios de caracterização do sistema o ajuste da pressão de operação foi realizado através da válvula (V_2), estando sempre posicionada de modo a oferecer a pressão necessária para geração do permeado microfiltrado. Para o ajuste de potência e velocidade de rotação do motor, na Etapa I, utilizamos os recursos de programação do próprio inversor.

Para a operação do sistema operação efetivamente através da energia solar fotovoltaica o sistema foi operado continuamente durante o período de disponibilidade do recurso solar e a válvula foi mantida em uma posição fixa de modo a operar com a máxima pressão possível.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos neste trabalho de pesquisa, os quais foram distribuídos em quatro etapas distintas:

- Caracterização do sistema de tratamento de água;
- Estudo da disponibilidade da energia solar da região de Campina Grande;
- Estimativa de produção de água em função da oferta de energia solar disponibilizada;
- Avaliação do desempenho do sistema de tratamento de água acionado por energia solar fotovoltaica;
- Estimativa de pessoas beneficiadas em função da produção de água ofertada;
- Perspectiva de ampliação do sistema de tratamento de água.

5.1 Caracterização do Sistema de Tratamento de Água

Inicialmente, a fim de verificar a capacidade de permeação da membrana de microfiltração utilizada no sistema em estudo, realizamos um ensaio utilizando como água de alimentação uma amostra de água proveniente de uma cisterna e comparamos seus resultados com o especificado através do boletim da membrana (Anexo1).

A água de alimentação (água de cisterna) utilizada para o ensaio em questão apresenta as seguintes características:

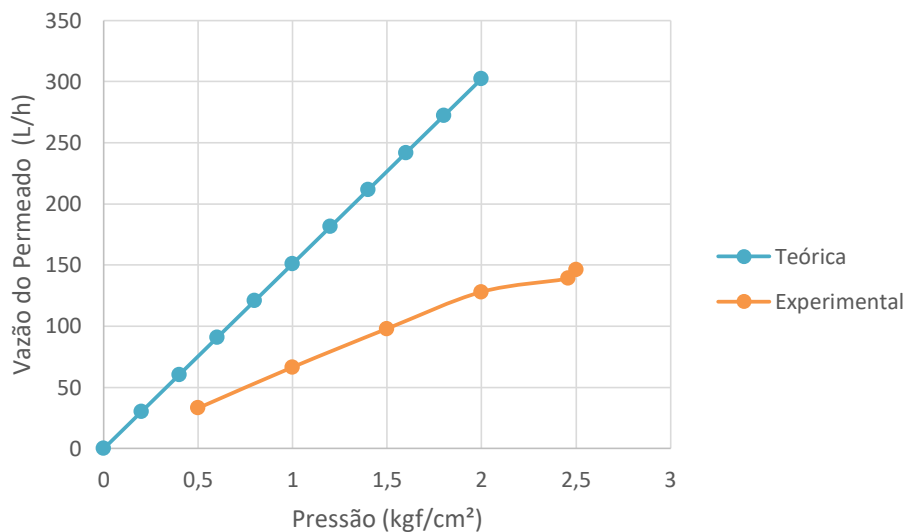
Tabela 5.1: Características da Água de Alimentação

Alimentação	
Turbidez (NTU)	1,68
Condutividade (μS)	1070
Cor	5

O sistema foi operado com uma variação de pressão de 0,5 kgf/cm² à 2,5 kgf/cm² e realizada leituras de vazão do permeado em função da pressão de operação.

Utilizando as especificações técnicas fornecidas pelo boletim da membrana, o qual fornece informações da área de filtração da mesma ($A = 0,5 \text{ m}^2$) e de sua capacidade de permeabilidade (dada pela equação $y = 302,2x$), utilizando como alimentação água previamente microfiltrada, podemos obter a curva teórica de variação da vazão do permeado em função da pressão de operação e compará-la com o resultado experimental, conforme é apresentado na Figura 5.1.

Figura 5.1: Variação da vazão do permeado em função da pressão (teórica e prática)



A partir das curvas apresentadas na Figura 5.1 observa-se que o desempenho da membrana para a solução problema apresenta uma tendência de linearidade até a pressão de 2,0 kgf/cm², já após esse valor verificamos que há uma tendência da produção torna-se constante.

A curva obtida experimentalmente apresenta, portanto, comportamento semelhante ao descrito para o elemento de membrana em estudo, ou seja, mostra que a produção de permeado aumenta linearmente com o aumento da pressão, na faixa de pressão em que recomenda-se a operação da membrana, que é de 0 à 2,0 kgf/cm². Já a redução nos níveis de produção de permeado observada na curva

experimental referem-se a condição da água de alimentação utilizada, a qual oferece uma resistência maior ao processo de permeação, considerando a presente de contaminantes na água de alimentação e diminui, portanto, a quantidade de permeado produzido.

O sistema foi avaliado ainda em sua capacidade de remoção de cor e turbidez em diferentes pressões de operação, os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 5.2 e 5.3.

Tabela 5.2: Remoção de turbidez do sistema de tratamento de água

Pressão (kgf/cm ²)	Turbidez		
	Alimentação (NTU)	Permeado (NTU)	Remoção (%)
0,5	1,68	0,29	82,74
1,0	3,95	0,20	93,49
1,5	4,76	0,31	94,94
2,0	1,46	0,26	82,19

A Tabela 5.2 mostra o percentual de remoção da turbidez presente no meio aquoso antes e após o processo de purificação com a membrana de microfiltração. Observa-se que há uma tendência no aumento da capacidade de remoção com a pressão de operação.

Para a pressão de 2,0 kgf/cm², pode-se observar que ocorreu uma diminuição no percentual de remoção da turbidez, a qual pode ser explicada em função do valor da turbidez na alimentação do sistema ser inferior as demais, essa condição de operação contribui com a velocidade da permeação durante o processo, a qual passa ser um vetor predominante diminuindo assim, o tempo de retenção e consequentemente carreando os componentes presentes na água de alimentação para o permeado.

Mesmo assim, a qualidade do permeado obtido para os ensaios realizados ficaram dentro dos padrões de potabilidade exigidos na Portaria 2.014/11 do Ministério da Saúde (Anexo 2) para águas pós-filtração ou pré-desinfecção.

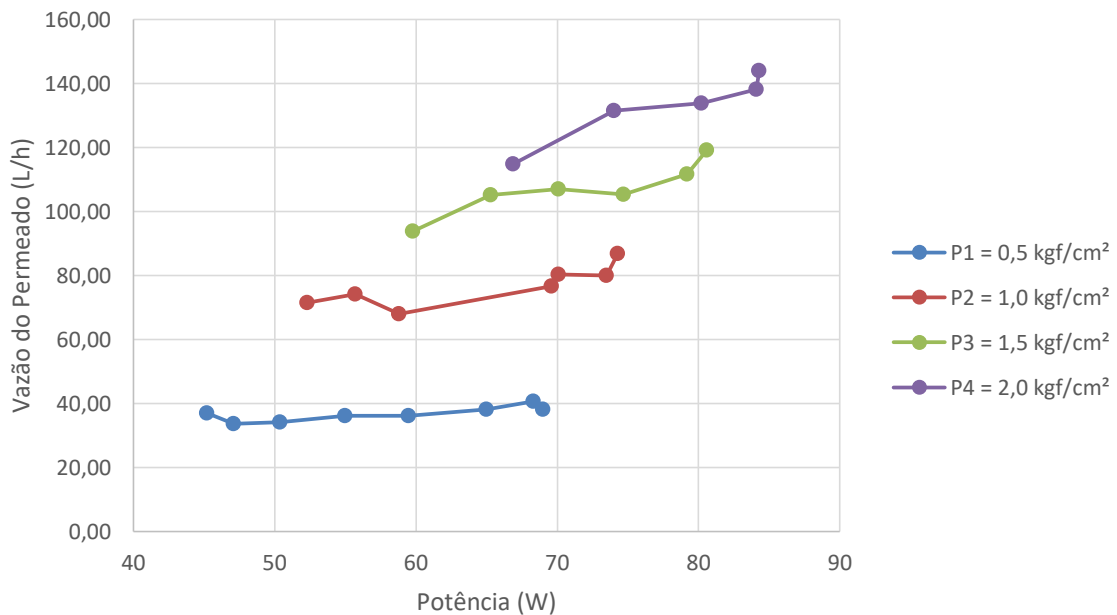
Tabela 5.3: Remoção de cor do sistema de tratamento de água

Pressão (kgf/cm ²)	Cor		
	Alimentação (UC)	Permeado (UC)	Remoção (%)
0,5	5	0	100
1,0	15	0	100
1,5	20	0	100
2,0	10	0	100

A Tabela 5.3 mostra que a membrana de microfiltração foi capaz de remover 100% da cor, independentemente da pressão de operação do sistema. Esse parâmetro é bastante importante, considerando que a presença de cor está associada a presença de contaminantes orgânicos, subprodutos industriais, etc, as quais correspondem a presença de contaminantes que afetariam a qualidade da água produzida.

A etapa de caracterização do sistema quanto ao seu funcionamento operando com variação da potência elétrica disponibilizada inicialmente avaliou a partida do motor, que ocorre com uma potência mínima de entrada de 40 W, o que corresponde a praticamente 1/3 da potência nominal do motor que é de 124 W, abaixo desse valor de potência elétrica disponibilizada não é possível realizar o acionamento do sistema motor-bomba.

Posteriormente estabelecida a potência mínima de entrada, ou seja, a partida do motor, o funcionamento do sistema foi avaliado submetendo-o a diferentes condições operacionais. Inicialmente variamos a potência entregue a carga, a fim de observar o desempenho do sistema nessas condições. Para tanto estabelecemos pressões de operação fixas, $P_1 = 0,5 \text{ kgf/cm}^2$, $P_2 = 1,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_3 = 1,5 \text{ kgf/cm}^2$ e $P_4 = 2,0 \text{ kgf/cm}^2$, as quais foram mantidas através do ajuste da válvula de saída da membrana (V_2) e verificamos, conforme é apresentado na Figura 5.2, o comportamento da vazão do permeado em função da potência entregue a carga (sistema motor-bomba).

Figura 5.2: Variação da vazão do permeado em função da potência de entrada do motor

A partir dos resultados obtidos é possível observar que a pressão mínima de operação é conseguida com uma potência de entrada de 45 W e disponibiliza o permeado com uma vazão média de 35 L/h.

Com o aumento da pressão de operação verifica-se que as curvas de vazão de permeado tornam-se cada vez mais semelhantes e o sistema atinge sua produção máxima na pressão de 2,0 kgf/cm², o que corresponde a uma vazão média de 140 L/h.

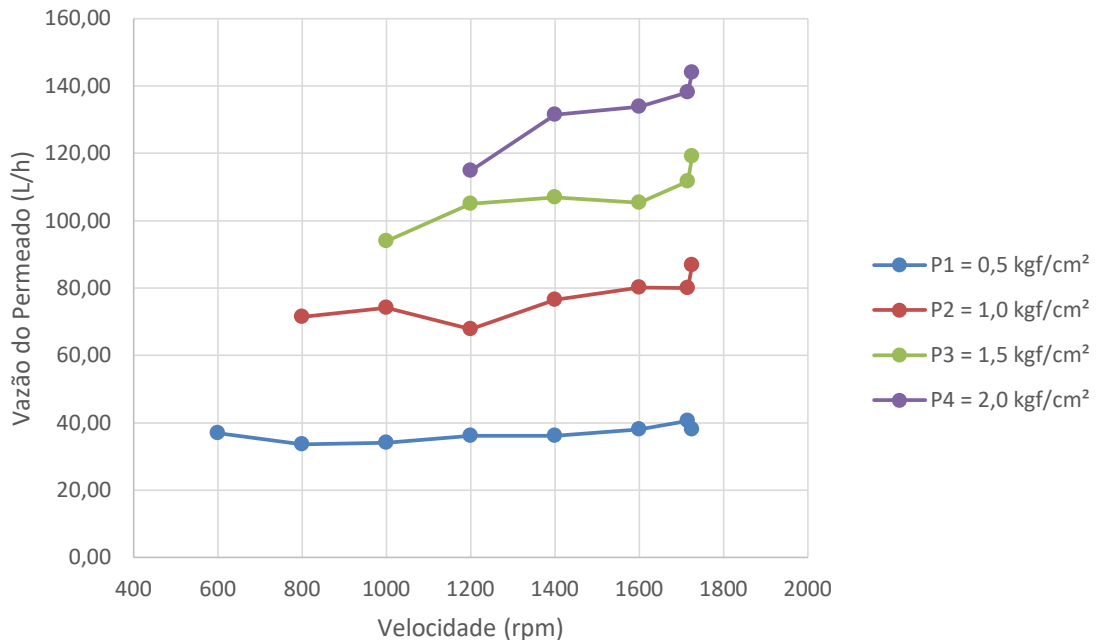
Evidentemente aplicada uma potência de entrada mais elevada e submetendo o sistema a uma pressão de operação mais alta é possível observar que a vazão do permeado tende a aumentar, dessa forma temos para a pressão P₁, vazão máxima de 40 L/h, para P₂, vazão máxima em torno de 90 L/h, para P₃, vazão máxima de 130 L/h e para P₄, vazão máxima em torno de 140 L/h.

Uma observação importante quanto ao funcionamento do sistema operando com variação da potência de entrada é que a pressão máxima de operação, P₄ = 2 kgf/cm², foi conseguida para valores de potência elétrica na faixa de 65 à 85 W, o que corresponde ao nível de tensão abaixo da condição nominal do motor que é de 124 W. Caso o sistema fosse operado com uma oferta de energia maior que o

estabelecido, o sistema atingiria um valor de pressão de operação superior a especificação da membrana de microfiltração utilizada.

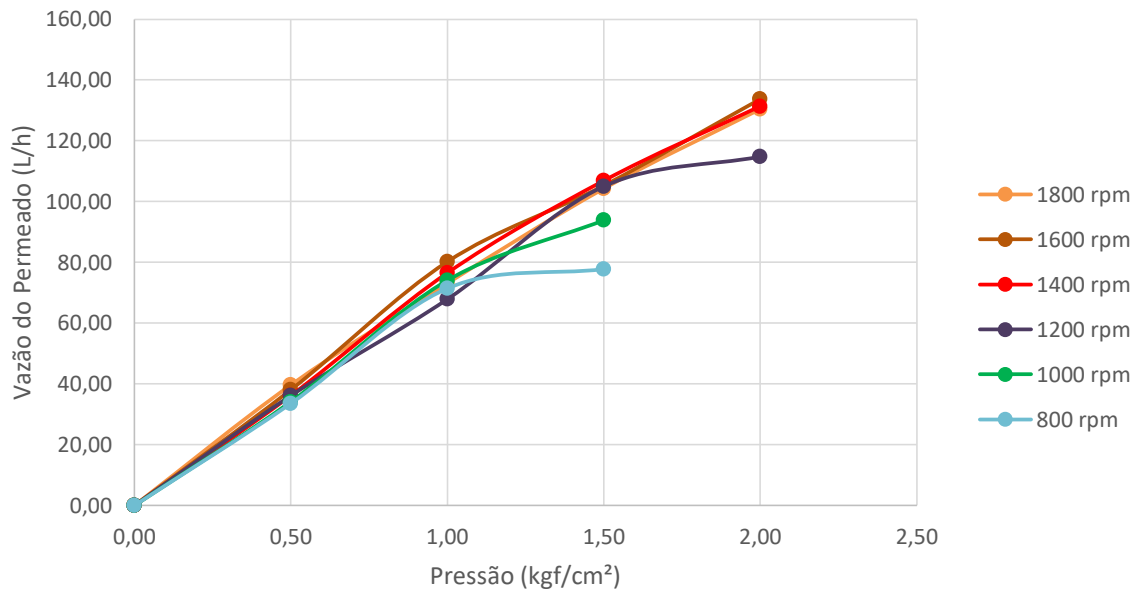
Na Figura 5.3 temos o comportamento da vazão do permeado em função da rotação do motor.

Figura 5.3: Variação da vazão do permeado em função da rotação do motor



A partir dos gráficos obtidos na Figura 5.3 é possível observar que na pressão P_1 a permeação se estabelece com uma rotação inicial do motor de 600 rpm, estendendo-se até a rotação máxima de 1.800 rpm. Para o estabelecimento de pressões mais elevadas exigisse mais do motor, ou seja, é necessário que o mesmo tenha uma rotação mais elevada. Este fato pode ser observado a partir do início das curvas de permeação obtidas para cada uma das pressões estabelecidas. O estabelecimento das pressões de operação tem relação direta com a velocidade do motor, pressões mais elevadas só são conseguidas quando o motor encontra-se em velocidades mais altas, conforme mostra as curvas apresentadas.

Na Figura 5.4 temos o comportamento da vazão do permeado em função da pressão de operação, para este ensaio fixamos a velocidade de rotação do motor nos seguintes valores: 800 rpm, 1.000 rpm, 1.200 rpm, 1.400 rpm 1.600 rpm e 1.800 rpm, e variamos a pressão de operação do sistema a partir do ajuste da válvula de saída (V_2) da membrana.

Figura 5.4: Variação da vazão do permeado em função da pressão de operação

A partir dos resultados obtidos a Figura 5.4 podemos observar que a vazão do permeado tem um comportamento praticamente linear, especialmente nas altas velocidades (1.400, 1.600 e 1.800 rpm), em função do aumento da pressão de operação.

Os resultados apresentados neste ensaio mostram que estabelecida a pressão de operação do sistema a vazão do permeado é praticamente a mesma, independente da velocidade de rotação do motor e conseqüentemente da potência entregue a carga. Esta é uma observação bastante importante tendo em vista a utilização do sistema submetido ao potencial solar fotovoltaico, o qual poderá opera com uma quantidade mínima de energia e gerar a mesma quantidade de permeado, independente da potência entregue a carga, dependendo apenas do estabelecimento da pressão de operação.

Evidentemente ao submetermos o sistema a velocidades mais elevadas, e conseqüentemente potências mais altas, é possível atingir níveis de pressões e vazão do permeado mais altos, conforme pode ser verificado a partir da Figura 5.4.

Para avaliação da recuperação do sistema utilizamos a Figura 5.5, a qual apresenta a recuperação do sistema em função da potência entregue a carga, estabelecida a pressão de operação do sistema; e a Figura e 5.6, que evidencia o

comportamento da recuperação do sistema em função da pressão de operação, estabelecida a velocidade de rotação do motor.

A partir dos resultados obtidos na Figura 5.5 é possível observar que a recuperação do sistema decai com o aumento da potência entregue a carga, independente da pressão de operação. Nos casos onde temos pressões mais elevadas, P_3 e P_4 , que correspondem, respectivamente, a 1,5 e 2,0 kgf/cm² faz-se necessário observar que inicialmente temos uma recuperação de 100%, tendo em vista que para atingirmos tais valores de pressão foi necessário manter inicialmente a válvula V_2 completamente fechada, haja vista a baixa potência entregue a carga. No entanto não consideramos uma alternativa interessante manter a válvula completamente fechada, visto que isto provocaria um acúmulo de material no interior das capilares da membrana e conseqüentemente a necessidade de limpeza física (lavagem pela carcaça e retrolavagem) e/ou química cada vez mais frequente.

Figura 5.5: Variação da recuperação do sistema em função da potência

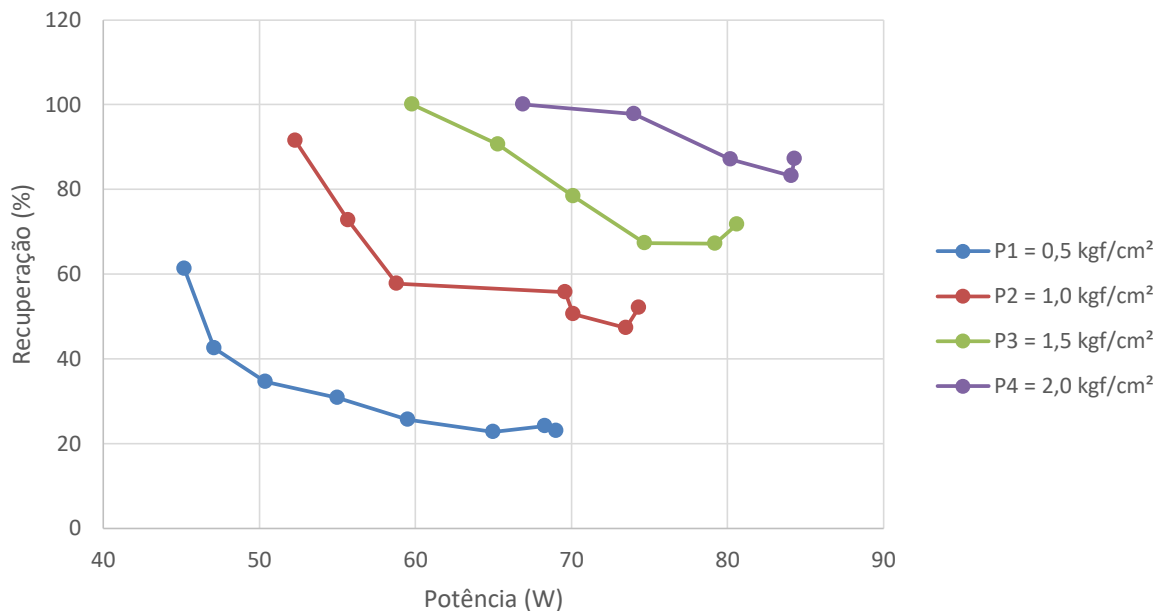
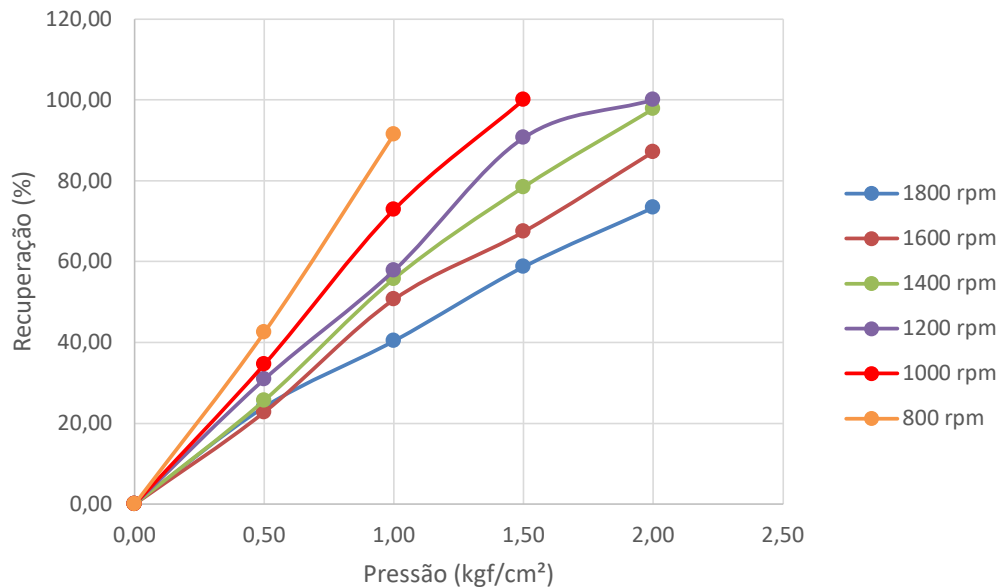


Figura 5.6: Variação da recuperação do sistema em função da pressão de operação

Já a partir dos resultados apresentados na Figura 5.6 é possível observar que em termos de recuperação o sistema é mais eficiente quando operado em baixa rotação, visto que para uma mesma pressão de operação as curvas de recuperação de baixa velocidade estão sempre acima das de alta velocidade. Considerando pontualmente o sistema operando na pressão de 1,0 kgf/cm² temos uma recuperação em torno de 40% na rotação de 1.800 rpm, enquanto que na rotação de 800 rpm a recuperação chega a ser maior de 90%. Esse efeito é verificado em toda a faixa de pressão que o sistema é operado, de modo que podemos observar tanto a partir do Figura 5.5 quanto da 5.6, que estabelecida a pressão de operação do sistema, através do ajuste da válvula de controle V_2 , o aumento da potência de entrada e da velocidade de rotação do motor não aumenta a recuperação e consequentemente, o rendimento do sistema, os quais sofrem influência apenas da pressão de operação.

5.2 Estudo da Oferta de Energia Solar da Região de Campina Grande

A coleta de dados referente ao potencial solarimétrico utilizados nesta etapa da pesquisa foi realizada no Laboratório de Eletrônica de Industrial e Acionamento de Máquinas (LEIAM) da Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica (UAEE) e definem o perfil de irradiação solar da região de Campina Grande – PB.

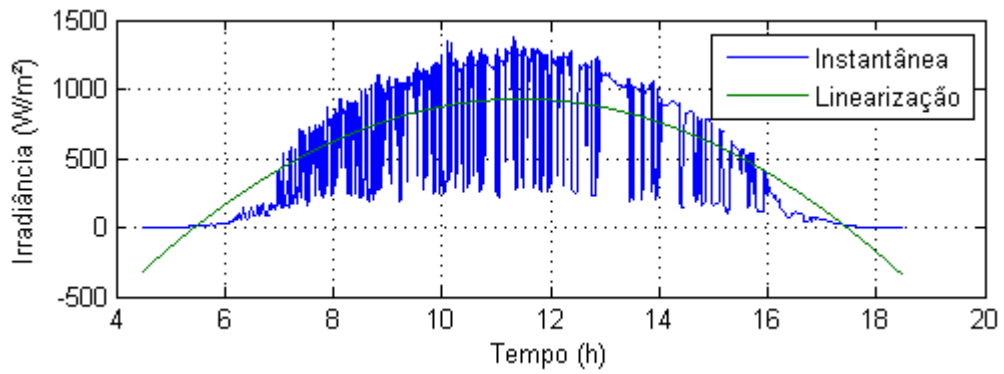
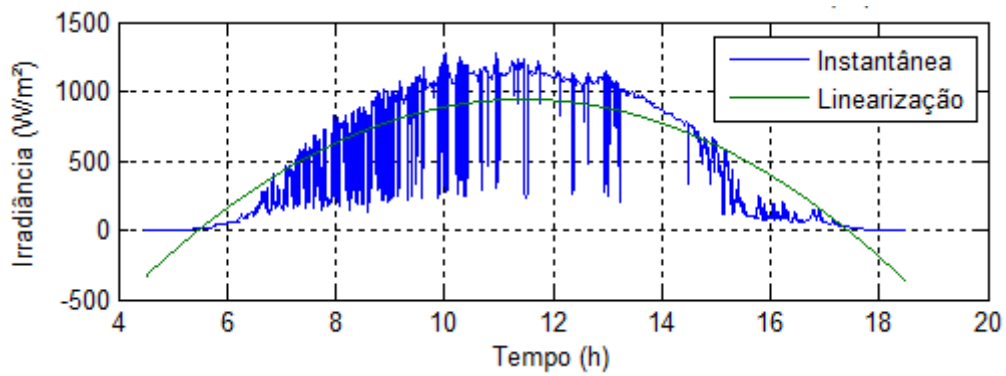
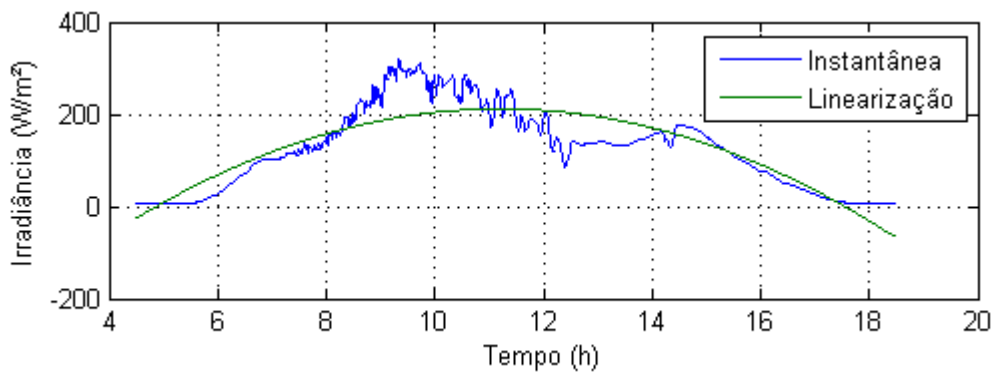
A coleta de dados foi feita diariamente, iniciando-se por volta das 4:30 horas e estendendo-se até às 18:30 horas, o que corresponde a um período médio de coleta de 14 horas diárias, com intervalo de um segundo entre leituras.

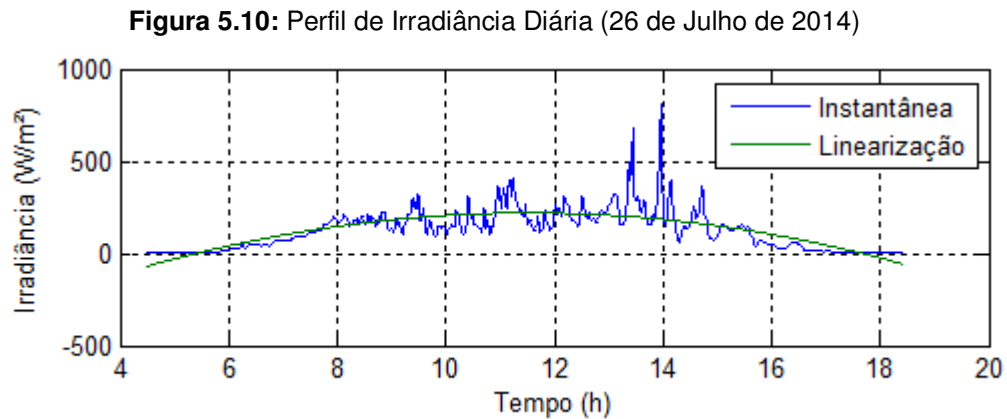
Os dados de irradiação solar utilizados nesta pesquisa referem-se ao período de um ano, especificamente de *Setembro/2013 à Agosto/2014*, para a região de Campina Grande – PB.

Os dados coletados, os quais correspondem ao período de um ano, nos fornece o perfil de irradiância solar de efetivamente 365 dias, no entanto, avaliar a funcionalidade do sistema de tratamento de água isoladamente para cada um dos dias coletados não nos fornece informações relevantes, haja vista que cada dia admite uma produção diária em função da oferta de energia solar disponibilizada e não nos permite comparações entre dias.

Dessa forma, optamos por avaliarmos a funcionalidade do sistema a partir da oferta de energia solar média ao longo dos meses, o que nos permite uma avaliação comparativa em função dos meses e nos fornece dados mais consistentes de produção ao longo do ano. Para tanto foram gerados os gráficos do perfil de irradiância solar para o melhor e o pior dia para cada um dos meses (Anexo 3), gráficos de irradiância solar média para cada um dos meses (Anexo 4) e gráficos de distribuição em horas de irradiância solar média mensal (Anexo 5).

De modo a ilustrar a distribuição de energia solar ao longo do dia apresentamos as Figuras 5.7, 5.8, 5.9 e 5.10, as quais apresentam o perfil de irradiância solar para alguns dos dias coletados.

Figura 5.7: Perfil de Irradiância Diária (14 de Março de 2014)**Figura 5.8:** Perfil de Irradiância Diária (30 de Janeiro de 2014)**Figura 5.9:** Perfil de Irradiância Diária (14 de Março de 2014)

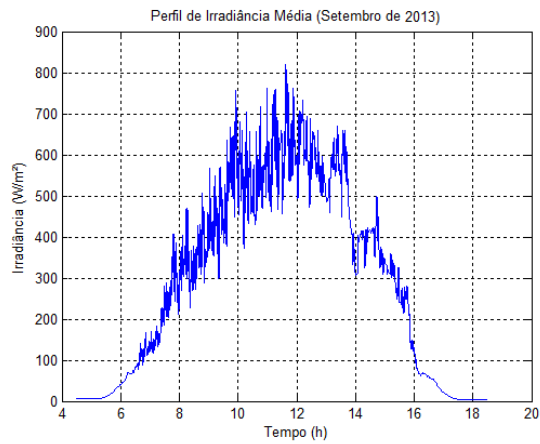


A partir dos gráficos apresentados é possível observar nas Figuras 5.7 e 5.8 uma distribuição de energia solar desejável, com altos valores de irradiância, o que corresponde a níveis de energia aceitáveis para uma operação eficiente de sistemas acionado por energia solar fotovoltaica sem baterias, de forma contrária nas Figuras 5.9 e 5.10 tem-se uma distribuição de energia solar pouco eficiente para o acionamento de energia solar fotovoltaica sem baterias, haja vista os baixos valores de irradiância disponibilizados ao longo do dia, o que não oferece condições mínimas para a operação o sistema.

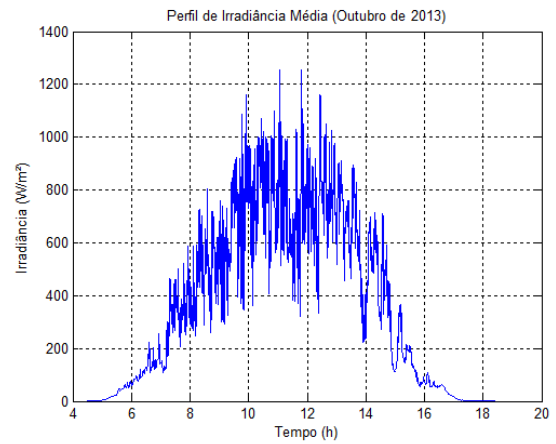
Nas Figura 5.11 (a), (b), (c), (d), (e), (f), (g), (h), (i), (j), (k) e (l) são apresentados os perfis de irradiação solar média dos meses de setembro/2013 à Agosto/2014.

A avaliação da distribuição de energia solar em meses é eficiente na medida em que é possível relacionar os resultados coletados em função da estação climática, das condições climatológicas ao longo do ano, ou seja, estabelece um critério comparativo para o universo de dados obtidos.

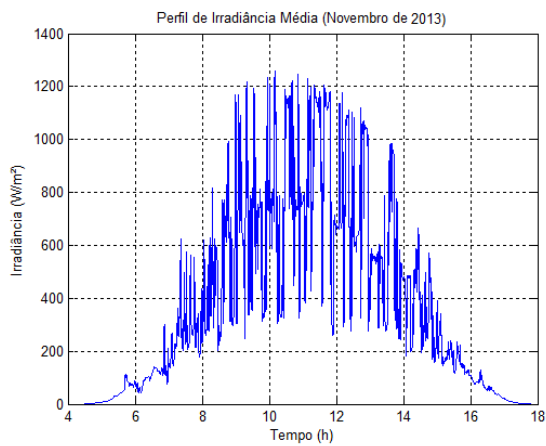
Os perfis de irradiação solar média mensal apresentados na Figura 5.11 permitem identificar, por exemplo, os meses que apresentam uma distribuição mais regular dos níveis de energia (Janeiro e Março), meses com oferta de energia mais reduzida (Junho e Julho), ou ainda os meses com menor regularidade de oferta de energia (Outubro e Novembro), características essas que estão fortemente relacionadas a estação do ano, ou seja, com o período climático em que ocorrem.

Figura 5.11: Perfil de Irradiância Solar Média

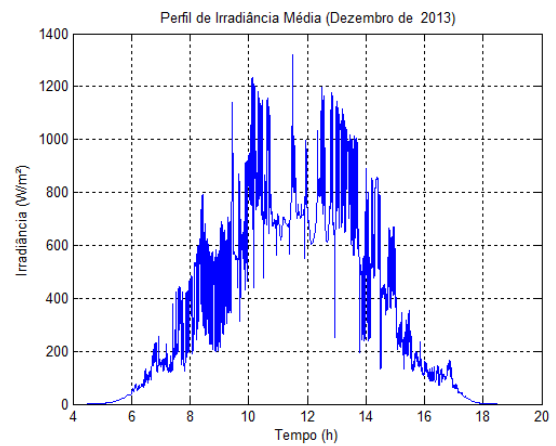
(a)



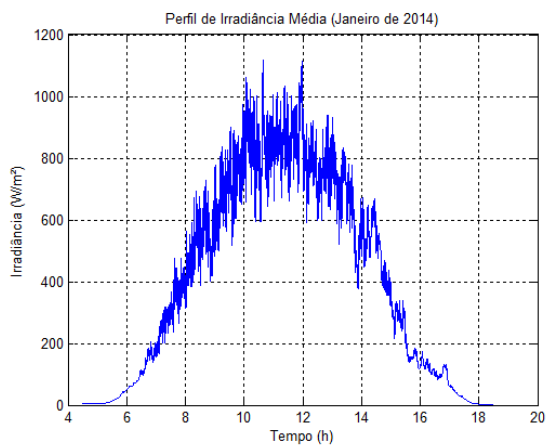
(b)



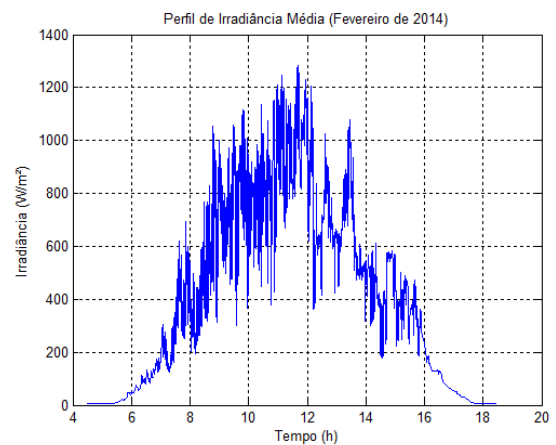
(c)



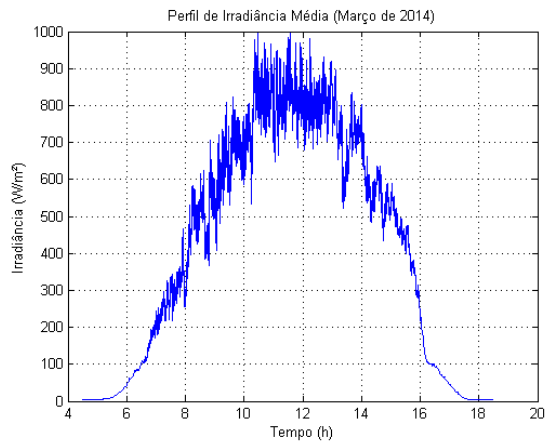
(d)



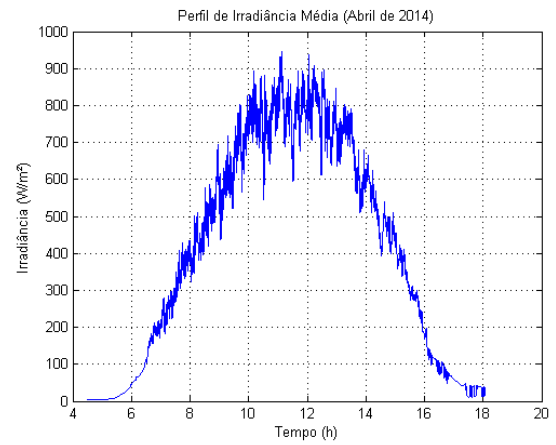
(e)



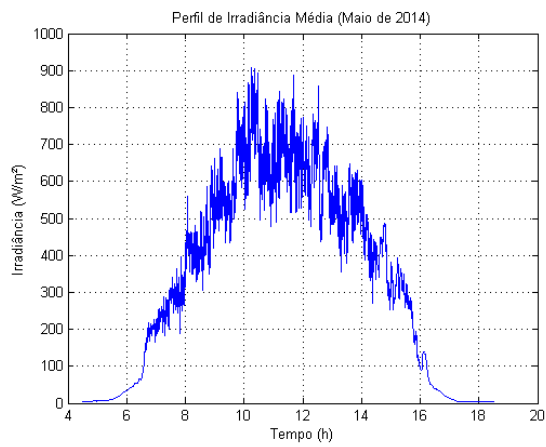
(f)



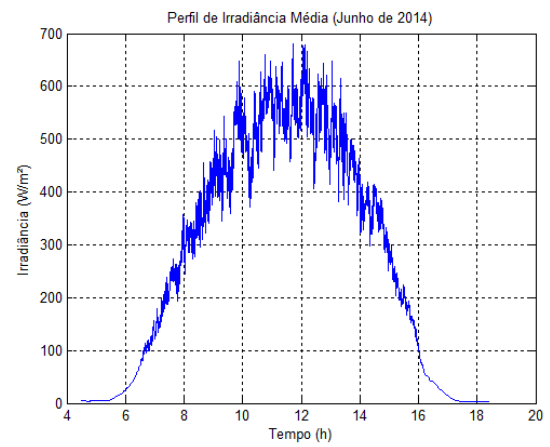
(g)



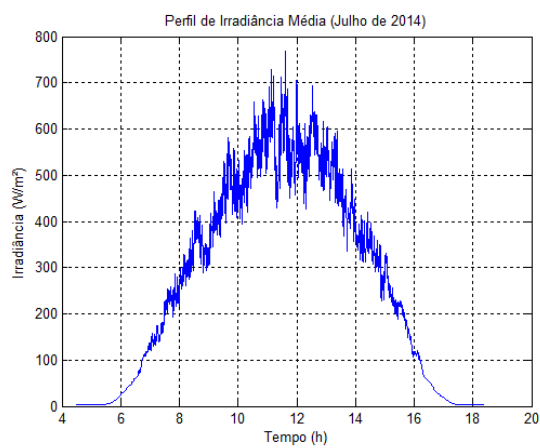
(h)



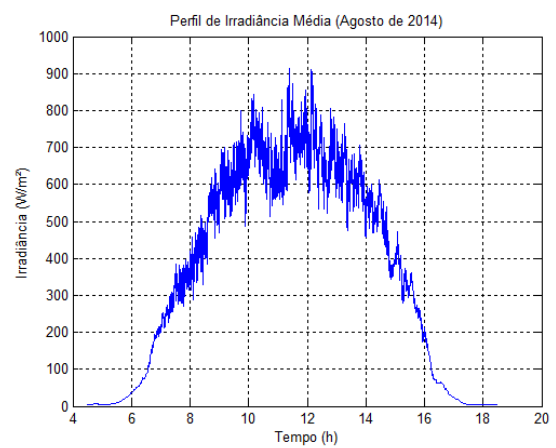
(i)



(j)



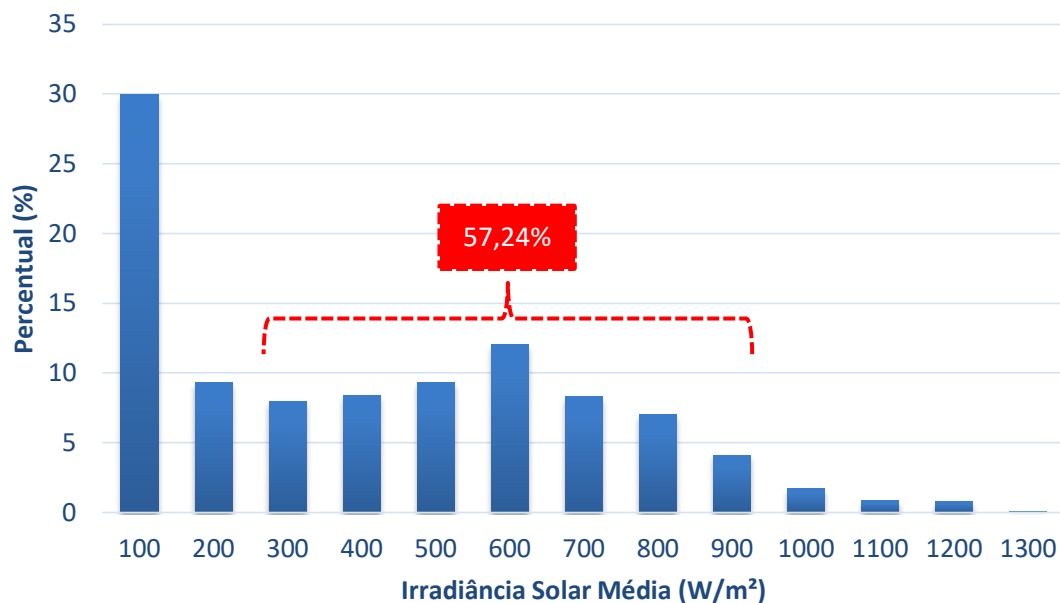
(k)



(l)

Para um estudo mais detalhado da disponibilidade de energia solar ofertada foram utilizadas a distribuição em horas de irradiância média mensal para níveis médios de irradiância solar na faixa de 100 a 1.300 W/m² em intervalos regulares de 100 W/m² (Anexo 5). Na Figura 5.12 temos essa distribuição em percentual de horas diárias para ao longo do ano.

Figura 5.12: Percentual de Irradiância Solar Média



A partir dos resultados apresentados na Figura 5.12 é possível observar que apesar do maior percentual de oferta de energia solar disponibilizada concentrar-se na faixa de 100 W/m², o que corresponde a praticamente 30% de toda a energia gerada, fazendo-se a soma cumulativa destes percentuais é possível verificar que a distribuição de energia para as faixas de irradiância solar entre 300 e 900 W/m² representam mais de 50% da irradiância total ofertada. Este é um dado bastante relevante considerando as especificações do sistema de geração de energia solar fotovoltaica proposto para o acionamento do sistema de tratamento de água em questão, o qual utilizando apenas um painel solar fotovoltaico necessita de uma oferta mínima de irradiância solar de 300 W/m².

5.3 Estimativa de Produção de Água Tratada em Função da Oferta de Energia Solar Disponibilizada

Para a estimativa de produção de água do sistema em função da oferta de energia solar disponibilizada foram consideradas as seguintes especificações:

- ✓ A definição do modelo de funcionamento do sistema;
 - ✓ A distribuição em horas de irradiância solar para os meses coletados;
 - ✓ A especificação do painel fotovoltaico utilizado.
- Modelo do Sistema de Tratamento de Água

As curvas obtidas na Figura 5.2 evidenciam o comportamento do sistema submetido a diferentes níveis de potência elétrica disponibilizada, estabelecida a pressão de operação do sistema, ou seja, a partir das curvas obtidas é possível verificar o funcionamento do sistema de tratamento de água operando com disponibilidade de potência elétrica variável. Considerando os resultados obtidos utilizamos a regressão que melhor se ajustou as curvas operacionais em duas condições distintas: para a pressão mínima (P_1) e para a pressão máxima (P_4) de operação do sistema.

As linhas de tendência que melhor se ajustaram as curvas experimentais nas pressões P_1 e P_4 foram polinomiais de segunda ordem dada pelas equações 5.1 e 5.2, respectivamente:

$$Q_P = 0,012P^2 - 1,2691P + 66,781, \text{ com } R^2 = 0,93 \quad (5.1)$$

$$Q_P = -0,0444P^2 + 8,138P - 230,39, \text{ com } R^2 = 0,92 \quad (5.2)$$

Onde:

Q_P : Vazão do permeado (L/h)

P : Potência elétrica disponibilizada ao sistema (W)

A partir das equações 5.1 e 5.2, dada a potência elétrica gerada pelo painel fotovoltaico é possível estabelecer a vazão do permeado disponibilizada pelo sistema.

- Distribuição em Horas da Irradiância Solar

A distribuição em horas da irradiância solar é apresentada na Tabela 5.4 e considera a média mensal dos meses de Setembro/2013 a Agosto/2014 para os níveis médios de irradiância solar na faixa de 100 a 1.300 W/m² em intervalos regulares de 100 W/m².

Tabela 5.4: Horas de irradiação solar média mensal

G* (W/m ²)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300
SET	4,629	0,943	1,078	1,994	1,719	2,372	1,096	0,183	0,004	-	-	-	-
OUT	4,521	1,492	0,600	1,088	0,842	1,546	1,042	1,192	0,783	0,621	0,133	0,050	0,013
NOV	3,592	1,783	1,533	1,129	0,775	0,771	0,946	1,154	0,221	0,258	0,388	0,704	0,083
DEZ	3,850	2,205	1,076	0,467	0,714	1,123	1,752	1,256	0,608	0,343	0,329	0,263	0,010
JAN	3,753	1,790	0,757	0,810	0,876	1,083	1,252	1,617	1,342	0,590	0,123	0,004	-
FEV	3,903	1,372	0,864	1,103	1,024	1,244	1,105	0,756	1,124	0,678	0,472	0,277	0,054
MAR	4,048	0,874	0,819	0,671	1,036	1,554	1,129	2,044	1,444	0,343	-	-	-
ABR	3,537	1,046	0,981	1,021	1,192	1,168	1,175	2,301	1,104	0,050	-	-	-
MAI	4,439	0,685	1,346	1,199	1,605	1,897	1,658	0,949	0,211	0,003	-	-	-
JUN	4,600	1,258	1,267	1,763	2,050	2,500	0,504	-	-	-	-	-	-
JUL	4,438	1,342	1,521	1,917	1,783	2,158	0,721	0,029	-	-	-	-	-
AGO	4,337	0,626	1,357	0,816	1,836	2,501	1,345	0,189	0,008	-	-	-	-

* Faixa Média de Irradiância Solar

Essa distribuição horária em níveis médio de irradiância solar é útil para estimativa de produção de energia solar fotovoltaica gerada (potência elétrica), já que a potência gerada pelo painel está diretamente ligada a irradiância solar disponibilizada.

- Especificação do Painel Solar Fotovoltaico

Para a estimativa da potência fornecida pelo ao sistema foram considerados dois modelos de painéis fotovoltaicos: o modelo KC 130 – TM e o modelo KD 210 GX – LPU, ambos da *Kyoscera Corporation*, cujas especificações básicas estão descritas na Tabelas 5.5.

Tabela 5.5: Especificações dos painéis fotovoltaicos

	Modelo KC130-TM	Modelo KD210GX-LPU
Potência nominal máxima de saída	130 W	210 W
Tensão nominal com circuito aberto	21,9 V	33,2 V
Tensão nominal máxima de saída	17,6 V	26,6 V
Corrente nominal máxima com curto circuito	8,02 A	8,58 A
Corrente nominal máxima de saída	7,39 A	7,90 A

Fonte: Adaptado de Kyoscera Corporation

De acordo com as especificações dos painéis fotovoltaicos (Anexo 6), é possível determinar a potência máxima fornecida ao sistema, as quais são mostradas na Tabela 5.7 para cada um dos modelos de painel considerados.

Tabela 5.6: Potência fornecida pelos painéis a partir da irradiação média ofertada

G (W/m ²)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1.000	1.100	1.200	1.300
KC 130	9,2	20,0	31,4	43,0	54,8	66,8	78,9	91,0	103,2	115,5	127,7	140,0	140,0
KD 210	14,9	32,3	50,6	69,4	88,6	107,9	127,4	147,0	166,8	186,5	206,4	226,2	226,2

* Faixa Média de Irradiância Solar

A partir dos níveis de energia gerados pelos painéis em questão é possível observar que para o painel de 130W a produção de água permeada tem início na faixa de radiação de 400 W/m², já para o painel de 210W a produção tem início na faixa de 300W/m², condições essas em que o sistema de geração solar fotovoltaica oferece a potência mínima de operação do sistema de tratamento de água, que é de 40 W.

De posse das Equações 5.1 e 5.2, que caracterizam o sistema de tratamento de água operando nas pressões mínima e máxima, da distribuição em horas de irradiância solar mensal e da produção de energia gerada pelos painéis é possível estabelecer a produção de água do sistema, conforme é mostrado na Tabela 5.7.

Tabela 5.7: Produção de Água Permeada

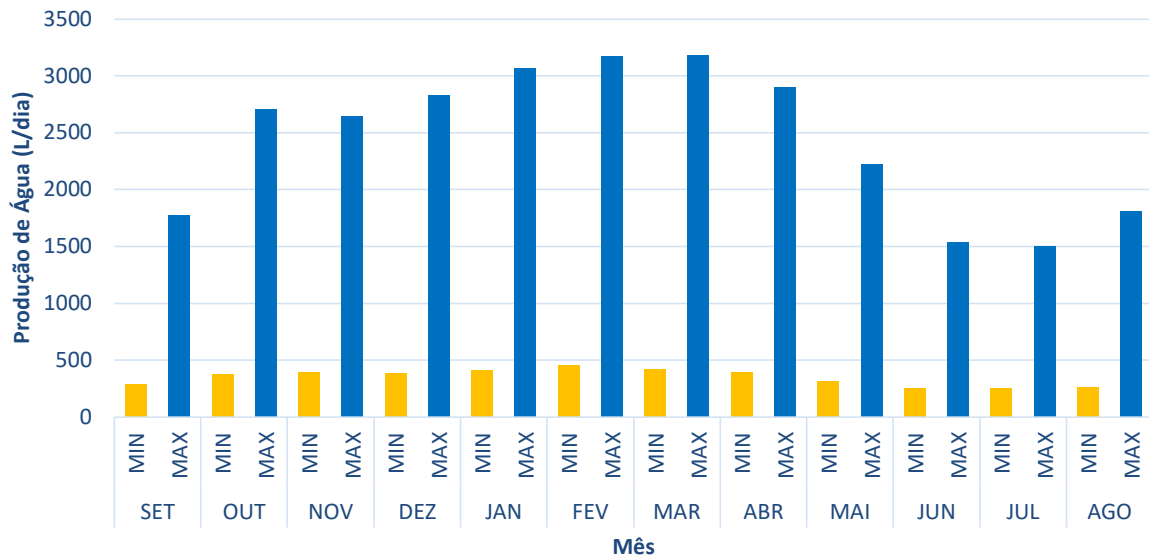
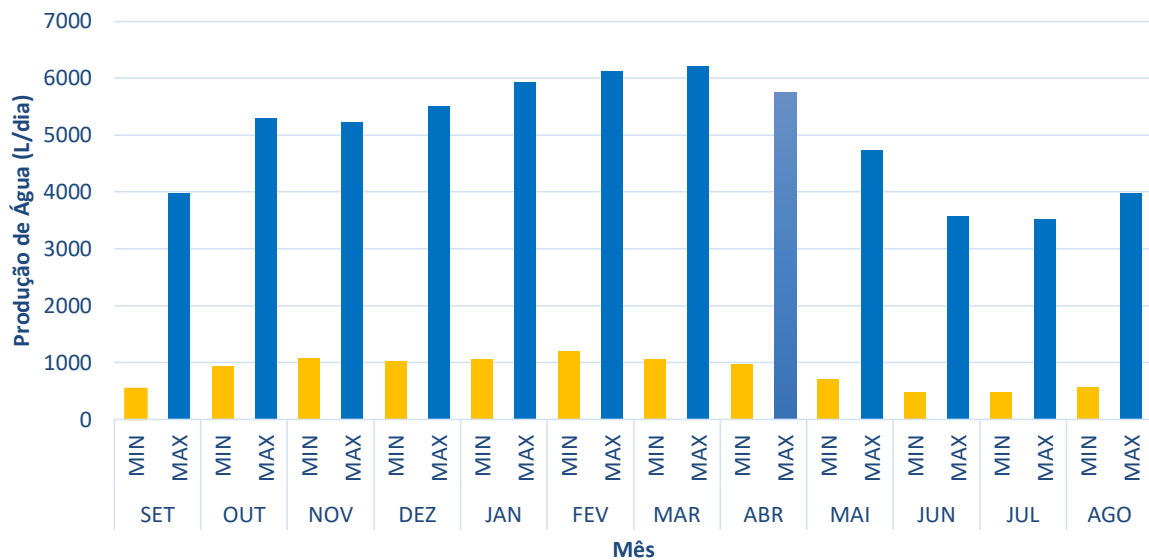
Mês	Produção de Permeado (L/dia)		
		KC 130	KD 210
Setembro	Q _{Pmin}	284,39	545,52
	Q _{Pmax}	1.776,15	3.975,91
Outubro	Q _{Pmin}	378,14	935,20
	Q _{Pmax}	2.704,61	5.298,32
Novembro	Q _{Pmin}	396,89	1.072,84
	Q _{Pmax}	2.645,24	5.223,56
Dezembro	Q _{Pmin}	384,85	1.022,47
	Q _{Pmax}	2.827,16	5.500,24
Janeiro	Q _{Pmin}	412,93	1.064,10
	Q _{Pmax}	3.066,02	5.935,15
Fevereiro	Q _{Pmin}	421,11	1.068,07
	Q _{Pmax}	3.172,54	6.125,40
Março	Q _{Pmin}	456,13	1.190,15
	Q _{Pmax}	3.178,54	6.198,16
	Q _{Pmin}	390,43	960,59

Abril	Q _{Pmax}	2.893,56	5.760,84
Maió	Q _{Pmin}	317,57	705,21
	Q _{Pmax}	2.222,74	4.729,11
Junho	Q _{Pmin}	255,15	475,76
	Q _{Pmax}	1.538,84	3.564,56
Julho	Q _{Pmin}	249,55	478,49
	Q _{Pmax}	1.498,72	3.515,51
Agosto	Q _{Pmin}	263,55	554,31
	Q _{Pmax}	1.807,99	3.978,00

Os resultados apresentados nesta etapa correspondem a perspectiva de produção de água tratada considerando a disponibilidade de energia solar e ao longo dos meses de Setembro/2013 à Agosto/2014. Considerando a utilização do painel solar de 130 W, os resultados apresentados indicam que o mês que ofereceu a maior produção de água em função da disponibilidade solar foi o mês de Março/2014 com uma produção mínima de 421,11 L/dia e uma produção máxima de 3.178,54 L/dia de água tratada, já o mês de menor produção corresponde ao mês de Julho/2014 com uma produção máxima de 1.498,72 L/dia e produção mínima de 249,55 L/dia.

Para o painel de 230 W essa característica se repetiu, o qual também apresentou níveis de produção mais altas para o mês de março/2014 e níveis de produção mais baixas para o mês de julho, no entanto, em função da maior disponibilidade de energia fornecida ao sistema os valores de produção diária foram praticamente o dobro do conseguido para o painel de 130 W.

Nos gráficos apresentados nas Figuras 5.13 e 5.14 temos o comportamento da produção de água ao longo dos meses de coleta de dados de radiação solar para cada um dos modelos de painéis propostos.

Figura 5.13: Produção de água tratada ao longo dos meses para o painel de 130 W**Figura 5.14:** Produção de água tratada ao longo dos meses para o painel de 210 W

A partir dos resultados apresentados em ambas as Figuras, é possível associar a produção de água permeado a característica climática de cada mês do período de coleta de dados.

Podemos verificar a sazonalidade dos resultados obtidos. Para a região em estudo o período de temperaturas mais altas e, conseqüentemente com maiores

taxas de irradiação solar tem início em setembro estendendo-se até abril, quando tem início o período chuvoso, o qual ocasiona uma redução nas taxas de irradiação solar, essa característica está diretamente relacionada a produção de água tratada, visto que o funcionamento do sistema em questão tem como fonte de energia a oferta de radiação solar ao longo dos dias e não utiliza sistema de armazenamento de energia (acumuladores de carga/ baterias).

Os meses que apresentam maiores valores de produção diária, correspondem a janeiro, fevereiro e março, os quais estão relacionados ao período de alta estação e reportam-se ao meses mais quentes do ano. Já os valores de produção diária mais reduzidos são atribuídos aos meses de junho, julho e agosto, os quais são efetivamente os meses que apresentam temperaturas mais baixas e estão relacionados ao período de estação chuvosa e conseqüentemente com taxas de insolação mais baixas.

Os meses os quais referem-se ao período de transição de estação climática, os quais correspondem a setembro e outubro para a transição inverno-verão, e abril e maio para a transição verão-inverno, apresentam valores médios de produção, o que pode ser justificado pela redução nas taxas de insolação e conseqüente diminuição na produção de água purificada.

5.4 Desempenho do Sistema de Tratamento de Água Acionado por Energia Solar Fotovoltaica

Os resultados apresentados nesta etapa correspondem a operação do sistema de tratamento de água utilizando como fonte de energia a geração solar fotovoltaica. A partir do universo de dados coletados selecionamos dois dias de funcionamento do sistema, os quais apresentam dados bastante representativos do sistema em estudo e serão identificados por:

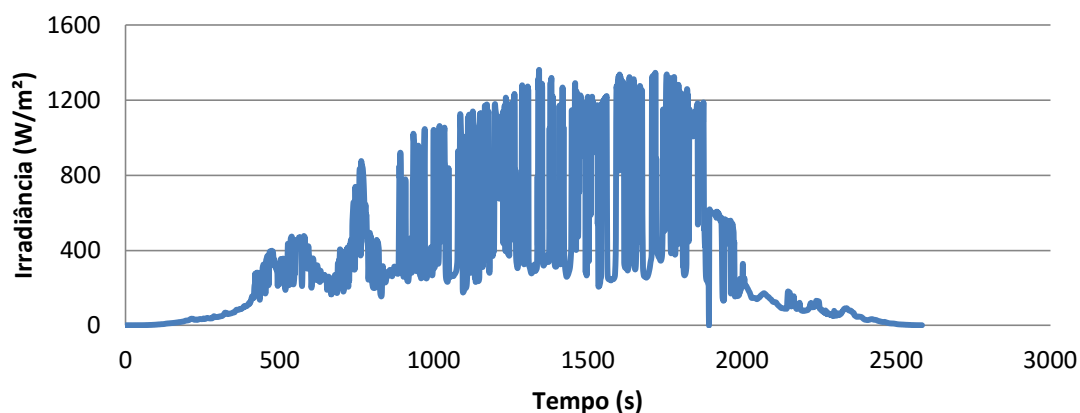
- Dia 1: Correspondente ao dia 20 de Setembro de 2013;
- Dia 2: Correspondente ao dia 23 de Setembro de 2013;
- Dia 3: Correspondente ao dia 24 de Setembro de 2013.

A operação do sistema de tratamento de água, em todos os dias de coletada de dados, foi realizada entre oito horas da manhã e dezessete horas da tarde, ocasionando um período médio de coleta de 9 horas diárias. Considerando o quantitativo de dados obtidos, já que o sistema de aquisição de dados fornece informação no intervalo de um segundo, o que corresponde a planilha de dados diário com 30.000 células, não seria interessante dispor de todo esse quantitativo de dados no corpo no trabalho, bem como no anexo, haja vista a dimensão das tabelas obtidas. Dessa forma, a análise dos dados será feita mediante obtenção de curvas de operação do sistema, as quais refletem o comportamento do sistema ao longo do dia e apresenta dados significativos do seu funcionamento.

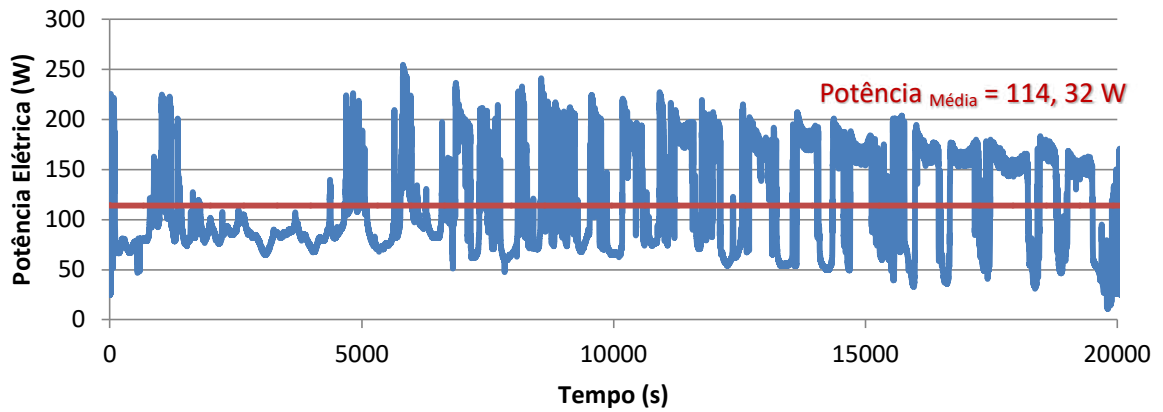
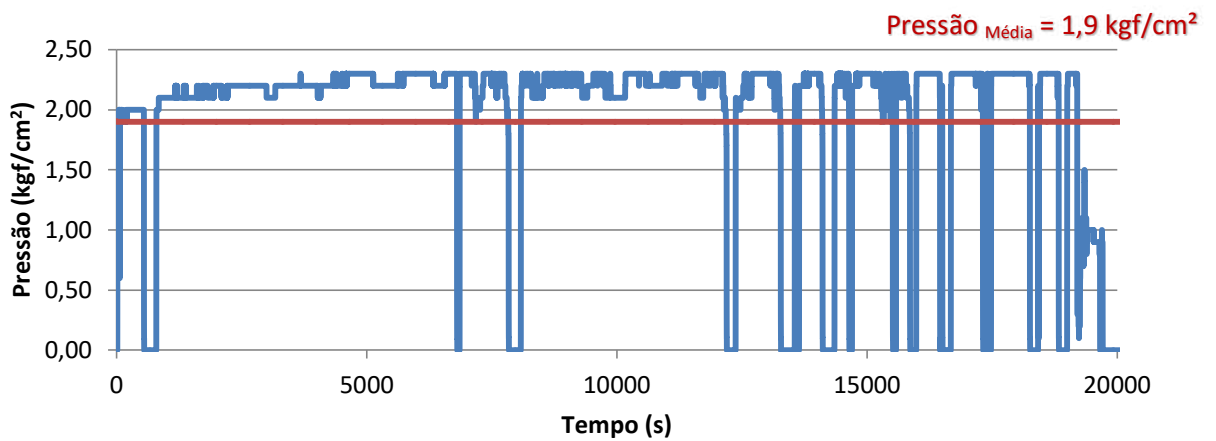
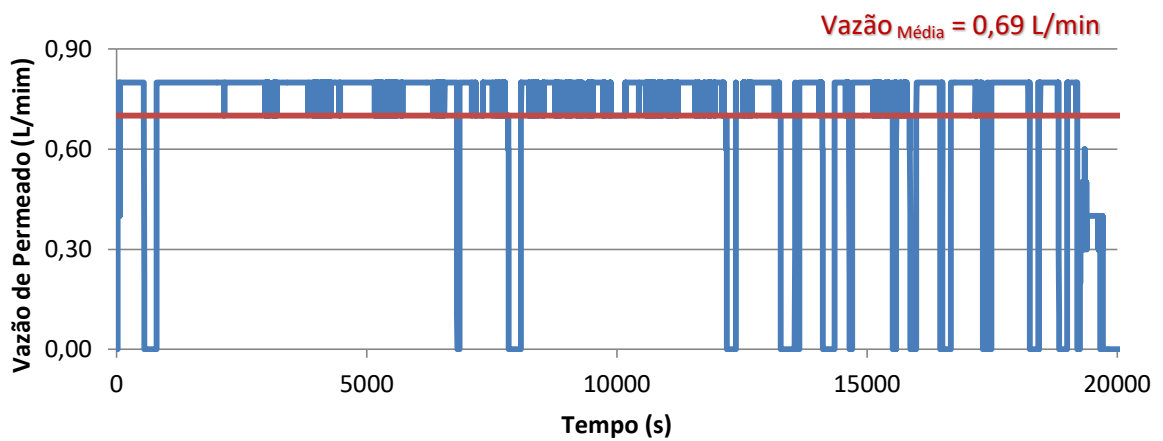
Para análise do funcionamento do sistema submetido a geração solar fotovoltaica utilizamos os gráficos de potência elétrica disponibilizada pelo painel solar, pressão de operação do sistema e produção de permeado durante em função do tempo.

Na Figura 5.15 temos o perfil de irradiação solar para o Dia 1, o qual corresponde um dia com disponibilidade de irradiância solar alta permitindo o funcionamento do sistema ao longo de todo o dia, com uma disponibilidade de potência elétrica bastante eficiente, conforme pode ser observado na Figura 5.16.

Figura 5.15: Perfil de Irradiação Solar (Dia 01)



As Figuras 5.16, 5.17 e 5.18 apresentam os resultados obtidos para potência elétrica disponibilizada pelo painel solar, pressão de operação do sistema e produção de permeado durante em função do tempo para o Dia 1.

Figura 5.16: Variação da potência elétrica disponibilizada pelo painel solar fotovoltaico (Dia 01)**Figura 5.17:** Variação da pressão de operação do sistema (Dia 01)**Figura 5.18:** Variação da vazão do permeado do sistema (Dia 01)

A análise da variação da potência elétrica produzida pelo painel solar fotovoltaico nos reporta a oferta de irradiação solar disponibilizada ao longo do dia, mostrada na Figura 5.15, e a capacidade do painel em converter a taxa de irradiação solar recebida, em energia elétrica necessária ao acionamento do sistema. A partir dos resultados apresentados é possível observar que este foi um dia de produção energia bastante eficiente, considerando que a média de potência elétrica gerada pelo painel ao longo do dia foi de 114,32 W, o que oferece condições suficientes para o acionamento do sistema e conseqüentemente o estabelecimento de uma pressão de operação suficiente para a geração de permeado conforme mostra a Figura 5.16.

É necessário observar que nesta etapa, a energia gerada pelos painéis passa pelo conversor CC-CA, o qual adequa o sinal disponibilizado a necessidade do sistema motor-bomba, dessa forma o sistema de bombeamento não recebe o sinal elétrico com todas variações ocorridas na geração. Este fato justifica o estabelecimento da pressão de operação do sistema, que apesar de sofrer algumas variáveis, mantém-se na maior parte do tempo na faixa de 2,0 kgf/cm², apresentando uma média de 1,9 kgf/cm², conforme apresenta Figura 5.17.

Já a análise conjunta dos resultados apresentados nas Figuras 5.17 e 5.18, nos permite observar que todas as variações de pressão sofridas pelo sistema são refletidas na geração de permeado, de modo que, todas as quedas de pressão do sistema, apesar de rápidas, ocasionam conseqüente queda na geração de permeado produzido.

Quanto ao quantitativo de permeado produzido é possível observar que este conseguiu manter-se em torno de 0,80 L/min ao longo da maior parte do dia, apresentando uma produção média de 0,69 L/min.

O início da coleta de dados para o Dia 1, teve início exatamente às 8 horas e 58 minutos estendendo-se até às 16 horas e 32 minutos, portanto a produção de água ocorre ao longo de 7 horas, o que corresponde a uma produção diária de 289,8 L/dia.

Considerando os dados de radiação solar coletados para o Dia 1, o intervalo de tempo em que o sistema foi operado e a potência máxima fornecida pelo painel temos a estimativa de produção do sistema considerando as equações 5.1 e 5.2, os

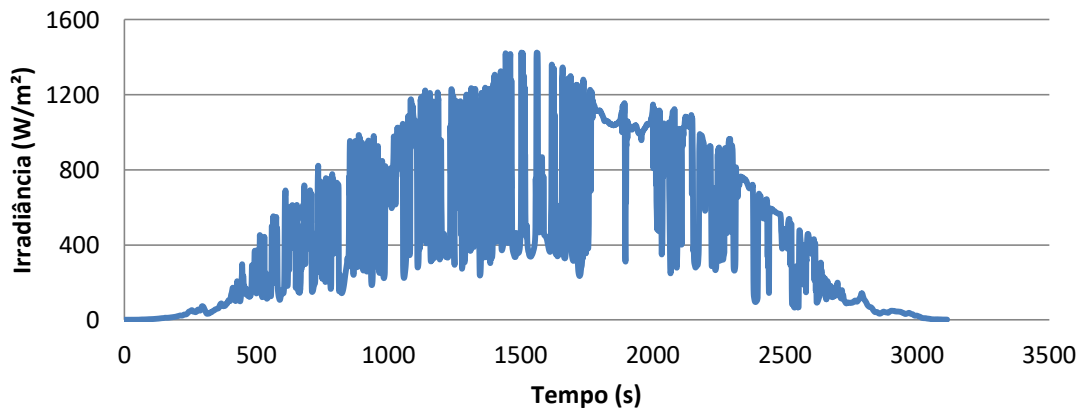
quais são apresentados na Tabela 5.8, juntamente com a produção de permeado obtida ao longo do dia.

Tabela 5.8: Vazão do Permeado para o Dia 1

Vazão do Permeado		
Teórica		Prática
Q_P Min	Q_P Max	Q_P Experimental
53,4 L/dia	372,5 L/dia	289,8 L/dia

Diante dos resultados obtidos é possível observar que o sistema atingiu uma produção aceitável considerando os valores mínimo e máximo esperados, evidentemente as variações de pressão ocasionadas ao longo do dia, as quais estão relacionadas a eventuais quedas na produção de energia solar fotovoltaica e conseqüentemente na geração de permeado do sistema de tratamento de água.

Para o Dia 2 o perfil de irradiação solar é apresentado na Figura 5.19 e assim como observado para o dia 1, apresenta uma disponibilidade de energia solar bastante eficiente para o funcionamento ao longo do dia em questão. Comparando o perfil de irradiação solar disponibilizado e a produção de potência elétrica gerada no painel solar fotovoltaico, podemos verificar a relação oferta de energia solar – geração de potência elétrica ao longo do período de funcionamento do sistema, o qual disponibilizou energia suficiente para geração de água purificada durante o que chamamos “dia solar”.

Figura 5.19: Perfil de Irradiação Solar (Dia 02)

Nas Figuras 5.20, 5.21 e 5.22 são apresentados as variações de potência elétrica disponibilizada pelo painel solar, pressão de operação e vazão de permeado do sistema para o Dia 2.

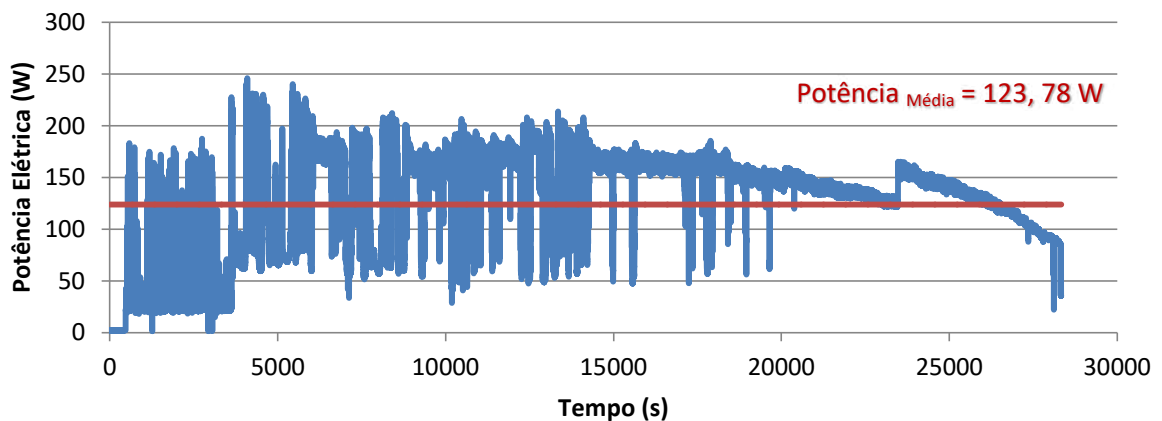
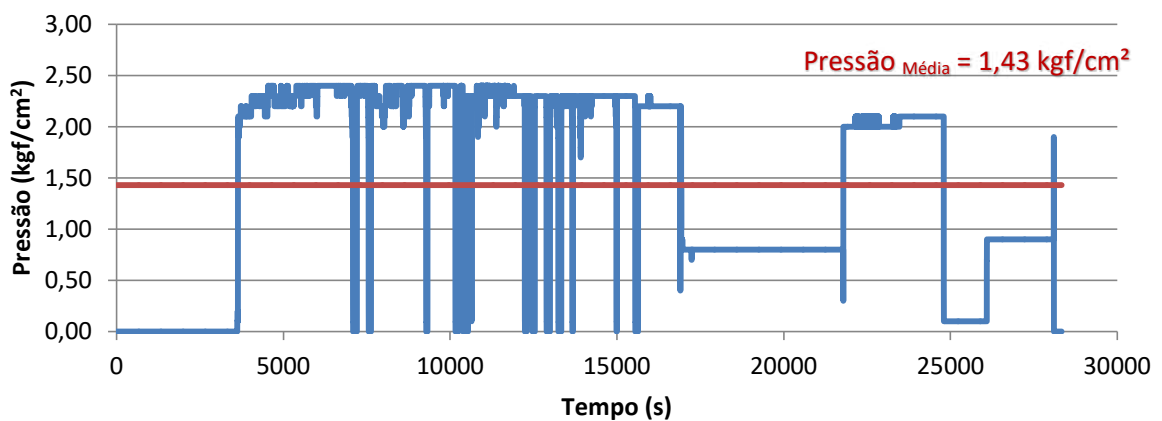
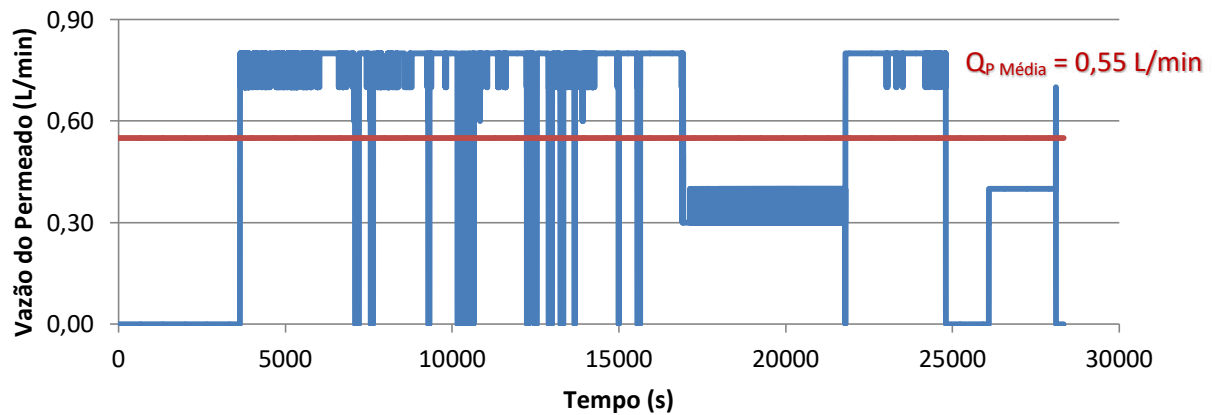
Figura 5.20: Variação da potência elétrica disponibilizada pelo painel solar fotovoltaico (Dia 02)**Figura 5.21:** Variação da pressão de operação do sistema (Dia 02)

Figura 5.22: Variação da vazão do permeado do sistema (Dia 02)

A partir dos resultados apresentados na Figura 5.20, é possível observar que o sistema de geração solar fotovoltaica realizou a conversão de energia solar – elétrica de forma bastante eficiente, gerando uma potência média ao longo do dia de 123,78 W, o qual permitiu ao sistema sua operação com um nível de pressão suficiente para a geração de permeado.

Diferentemente do ocorrido no Dia 01, a partida do motor e consequentemente o início da produção de permeado do sistema não ocorreu instantaneamente a efetiva disponibilidade de energia pelo painel. A partir dos resultados obtidos podemos observar que o estabelecimento da potência necessária a partida do motor ocorreu por volta do instante $t = 3.619$ s, praticamente uma hora após o início da captação solar. Associando este instante a geração fotovoltaica, podemos observar que o acionamento tem início após o estabelecimento de um pico de energia acima de 200 W e o estabelecimento de uma pressão de operação de pouco mais de $2,0 \text{ kgf/cm}^2$ a qual é mantida neste valor com eventuais quedas ao longo do dia.

Durante a operação do sistema para o dia em questão podemos observar que as variações de pressão foram mais frequentes e por períodos mais longos, o que ocasiona uma pressão média ao longo do dia de $1,43 \text{ kgf/cm}^2$.

As variações de pressão de operação sofridas ao longo do dia pelo sistema foram, evidentemente, refletidas na produção de permeado gerado o qual apresentou uma vazão média de 0,55 L/min.

O início da coleta de dados para o Dia 2, teve início exatamente às 8 horas e 34 minutos estendendo-se até às 16 horas e 33 minutos, portanto a produção de

água ocorre ao longo de 8 horas, o que corresponde a uma produção diária de 264,0 L/dia.

Considerando os dados de radiação solar coletados para o Dia 2, o intervalo de tempo em que o sistema foi operado e a potência máxima fornecida pelo painel temos a estimativa de produção do sistema considerando as equações 5.1 e 5.2, os quais são apresentados na Tabela 5.9, juntamente com a produção de permeado obtida ao longo do dia.

Tabela 5.9: Vazão do Permeado para o Dia 2

Vazão do Permeado		
Teórica		Prática
Q_P Min	Q_P Max	Q_P Experimental
67,2 L/dia	419,6 L/dia	264 L/dia

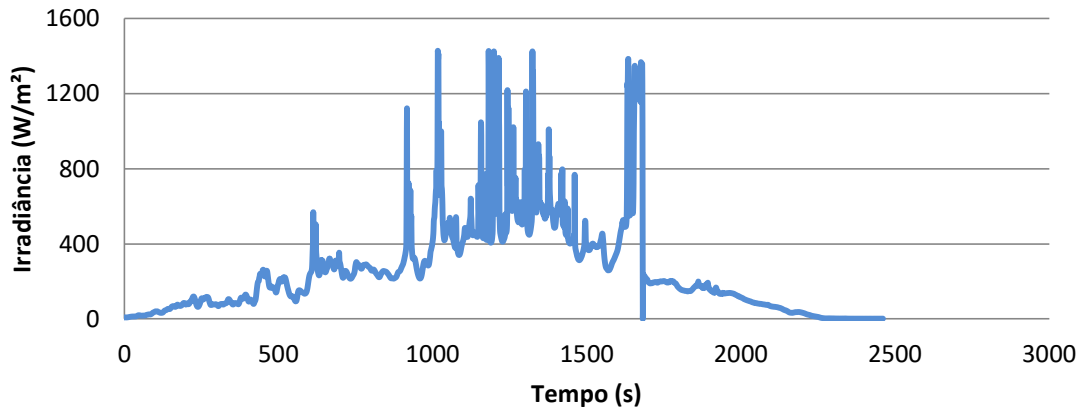
Diante dos resultados obtidos é possível observar que o sistema atingiu uma produção aceitável considerando os valores mínimo e máximo esperados, no entanto, o rendimento do sistema esteve um pouco abaixo do esperado, quando comparado com a operação do mesmo para o Dia 1.

Em função dos resultados apresentados podemos observar que as variações de pressão mais acentuadas e por períodos mais longos ocasionaram uma produção de permeado um pouco abaixo do esperado quando comparada com a vazão máxima esperada. No entanto, apesar de oferecer um rendimento menor quanto comparado ao Dia 1, a produção obtida está dentro do esperado considerando a oferta de energia disponibilizada ao longo do dia.

Por fim, analisamos o funcionamento do sistema para o Dia 3, o qual tem o seu perfil de irradiação solar ao longo do dia apresentado na Figura 5.23. Conforme ilustra o gráfico apresentado podemos observar que este foi um dia com disponibilidade de energia solar bastante reduzida, o que ocasiona a operação do sistema por um período de tempo bastante reduzido, tendo em vista os baixos valores de irradiância solar ofertados ao longo do dia.

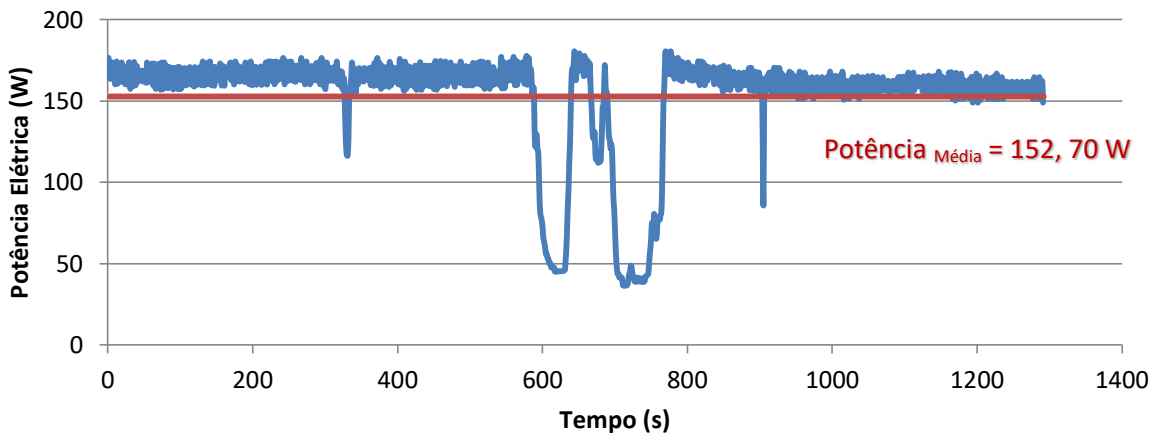
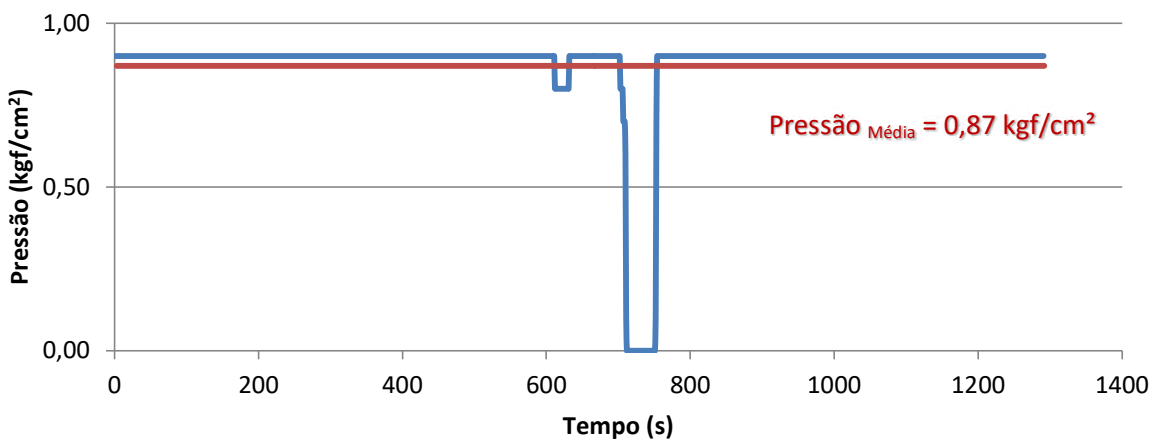
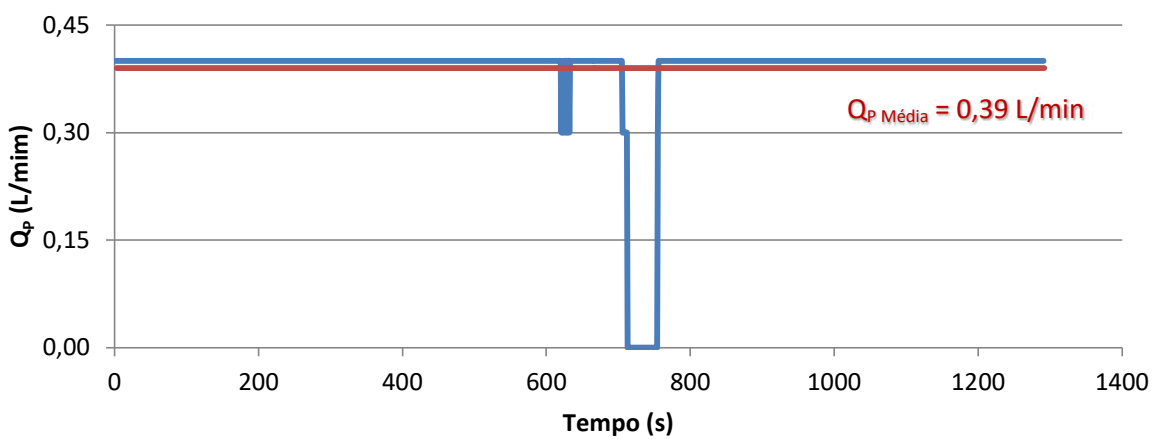
A ineficiência na disponibilidade solar reflete diretamente na produção de energia elétrica oferecida ao sistema pelo painel solar fotovoltaico, conforme podemos observar na Figura 5.24, a qual apresenta a potência elétrica gerado pelo painel.

Figura 5.23: Perfil de Irradiação Solar (Dia 03)



Este foi um dia com oferta de energia solar bastante reduzida, em função disso o sistema não conseguiu estabelecer seu funcionamento de modo contínuo ao longo do dia, haja vista a baixa taxa de insolação disponibilizada. Desse modo, optamos por reproduzir dados de funcionamento do sistema apenas para o intervalo em que o sistema efetivamente gerou permeado, o qual correspondeu a três horas de funcionamento. Neste caso, como os resultados referem-se apenas ao tempo em que houve produção de permeado e não avaliamos questões relacionadas ao início do acionamento do sistema.

Os seus resultados apresentados através das Figuras 5.24, 5.25 e 5.26, mostrando as variações de potência elétrica disponibilizada pelo painel solar, pressão de operação e vazão de permeado do sistema para o período onde houve geração de permeado.

Figura 5.24: Variação da potência elétrica disponibilizada pelo painel solar fotovoltaico (Dia 03)**Figura 5.25:** Variação da pressão de operação do sistema (Dia 03)**Figura 5.26:** Variação da vazão do permeado do sistema (Dia 03)

Em função dos resultados apresentados é possível observar que as variações de potência entregue ao sistema refletem-se de forma mais evidente no estabelecimento da pressão de operação do sistema e conseqüentemente na produção de permeado, quando estas ocorrem por um período mais longo de tempo. Para variações menores e mais rápidas, como ocorre por volta dos instantes 300 e 900 s, o sistema de condicionamento e controle (conversor CC-CA) consegue manter a energia entregue a carga e portanto a pressão de operação do sistema.

Durante as horas de funcionamento do sistema, podemos observar que a pressão manteve-se na faixa de 0,9 kgf/cm² ao longo de praticamente todas as 3 horas de operação, a exceção dos instantes por volta de 600 e 700 segundos, onde verificamos uma queda brusca na pressão de operação do sistema, em função de tais quedas de pressão a pressão média de operação do sistema foi de 0,87 kgf/cm². Já a produção de permeado manteve-se em torno de 0,4 L/min ao longo do período de funcionamento do sistema, produzindo uma vazão média de 0,39 L/min, o que corresponde a uma produção diária de apenas 70,2 L.

Conforme podemos observar a partir do perfil de irradiação solar ilustrado na Figura 5.21, a oferta de energia solar para esse dia não se mostrou eficiente e não ofereceu condições de funcionamento do sistema ao longo de todo o dia, desse modo não operamos o sistema durante todo o dia e conseqüentemente não temos informações de produção suficiente para comparar os dados experimentais obtidos com a perspectiva de produção em função da oferta de energia solar disponibilizada.

É importante ressaltar que no referido dia, além de baixas taxas de irradiação solar, tivemos presença de chuva, e como forma de resguardar o sistema de eventuais problemas provocados por essas condições, optamos por recolhermos o equipamento e por isso não operamos o sistema ao longo de todo o dia.

5.5 Estimativa de Utilização da Água Produzida para o Abastecimento Humano

Considerando o quantitativo de água purificada produzida em função da energia solar disponibilizada podemos avaliar sua utilização considerando o atendimento ao abastecimento humano, o qual corresponde a finalidade de uso

vislumbrada pelo sistema de tratamento em estudo, para tanto consideramos a média de consumo *per capita* de 5 L/dia. A Tabela 5.10 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 5.10: Produção de Água Permeada

Mês	Média de Pessoas Beneficiadas		
		Painel KC 130	Painel KD 210
Setembro	Min	57	109
	Max	355	795
Outubro	Min	76	187
	Max	541	1060
Novembro	Min	79	215
	Max	529	1045
Dezembro	Min	77	204
	Max	565	1100
Janeiro	Min	83	213
	Max	613	1187
Fevereiro	Min	84	214
	Max	635	1225
Março	Min	91	238
	Max	636	1240
Abril	Min	78	192
	Max	579	1152
Maio	Min	64	141
	Max	445	946
Junho	Min	51	95
	Max	308	713
Julho	Min	50	95
	Max	300	703
Agosto	Min	53	111
	Max	362	796

A partir dos resultados apresentados e considerando os resultados obtidos ao longo do período de oferta de energia solar estudada, podemos observar que o sistema de tratamento de água em estudo é capaz de produzir água suficiente para atender um quantitativo de no mínimo 50 pessoas, quando considerada sua operação no pior mês quanto a disponibilidade de energia solar e na pressão de operação mínima, e no máximo 1.240 pessoas, quando operado no mês de melhor oferta de radiação solar e pressão de operação máxima, o que corresponde a uma média de 645 pessoas. Convertendo esses valores para um quantitativo de famílias beneficiadas, e considerando famílias compostas por uma média de cinco membros, teríamos disponibilidade de geração de água tratada para atender as necessidades hídricas de consumo para abastecimento de uma médias de 129 famílias.

5.6 Estimativa de Ampliação do Sistema de Tratamento

A perspectiva de produção do sistema de tratamento de água em estudo está relacionado a bancada de trabalho que montamos ao longo da nossa pesquisa, a qual propôs a utilização de um único painel solar fotovoltaico para atender a demanda energética do sistema motor-bomba de 124 W de potência e uma única membrana de microfiltração com 0,5 m² de área, no entanto, como forma de verificar a possibilidade de ampliação do sistema realizamos uma estimativa das necessidades energéticas em função da especificação da membrana utilizada, o qual nos gerou dados apresentados na Tabela 5.11.

Tabela 5.11: Estimativa de Ampliação do Sistema de Tratamento de Água

Membrana de Microfiltração				Motor - Bomba		Painéis		Produção Diária
N_e	J_p (L/hm ²)	A (m ²)	Q_p (L/h)	Pot. (cv)	Pot. (W)	Q^{dade}	Potência Total (W)	(L/dia)
1	300	0,5	150	1/6	123	1	210	1.200
2	300	1	300	1/6	123	1	210	2.400
1	300	2	600	1/4	184	2	420	4.800
1	300	5	1.500	1/4	184	2	420	12.000
1	300	10	3.000	1/4	184	2	420	24.000
1	300	15	4.500	1/3	245	2	420	36.000
1	300	20	6.000	1/2	368	3	630	48.000
1	300	25	7.500	1	736	4	840	60.000
1	300	40	12.000	2	1.472	8	1.680	96.000

Em função dos dados apresentado na Tabela 5.11 é possível observar o quanto o sistema de tratamento de água estudado nos oferece condições de ampliação, para tanto o fator determinante seria a escolha do sistema motor-bomba adequado, o qual estaria relacionada tanto a área de membrana utilizada, bem como a quantidade de painéis necessários para o acionamento eficiente do sistema de tratamento de água.

Ampliar a área de permeação da membrana em oitenta vezes, com relação ao sistema em estudo, requer um aumento no número de painéis em oito vezes, o que demonstra a relação existente entre área de membrana e necessidades energéticas nos sistemas de tratamento de água com membranas.

Outro ponto importante nesse estudo é a oferta de água tratada que pode beneficiar várias famílias. Considerando uma família de cinco pessoas e um consumo humano médio diário de água para beber de 5 litros, o sistema com 8

painéis pode atender quase quatro mil famílias. Nesse sentido deve-se pensar em trabalhar no futuro próximo em construir sistemas dessas dimensões para ser utilizados no semiárido do Nordeste e na região do Norte do país.

6 CONCLUSÕES

Os resultados da pesquisa desenvolvida permite concluir que:

- O sistema de tratamento em estudo permite a operação submetido a variações consideráveis de energia, operando na faixa de potência elétrica de 40 W à 124 W, o que demonstrou a aplicabilidade do acionamento por sistemas fotovoltaicos sem baterias;
- A pressão de operação do sistema é um fator determinante para definição do consumo energético do sistema, bem como para o quantitativo de produção de permeado;
- O estudo realizado durante um ano da disponibilidade solar da região comprovou a sazonalidade da oferta de energia solar em função da estação climática dos respectivos meses estudados;
- O acionamento do sistema de tratamento de água por energia fotovoltaica sem baterias é viável, tendo em vista os valores de produção obtidos nesta pesquisa, os quais forneceram uma produção diária média de 289,8 litros, com uma pressão média de operação de 1,9 kgf/cm²;
- A quantidade água tratada produzida é proporcional a oferta de energia solar disponibilizada ao longo do dia;
- O sistema de tratamento em estudo foi capaz de operar fazendo uso da geração solar fotovoltaica sem baterias, com produção média dentro da faixa estimada a partir da disponibilidade solar ofertada.

7 PERSPECTIVAS

Este trabalho de pesquisa não teve a pretensão de esgotar as pesquisas relacionadas aos sistemas de tratamento de água acionados por energia solar fotovoltaica sem baterias. Portanto, fica como sugestões para trabalhos futuros:

- Desenvolver uma modelagem matemática para estudar a taxa de irradiação solar versus a energia fotovoltaica, número de painéis e qualidade e a sua produção de águas para atender uma dada demanda;
- Desenvolver conversores robustos que possam atuar em sistemas fotovoltaicos sem riscos de pane elétrica para diferentes disponibilidade de energia;
- Propor alternativas para a utilização da energia solar produzida em níveis abaixo da operação do sistema de tratamento, de modo a utilizar toda a energia solar fotovoltaica produzida pelo painel fotovoltaico.
- Aplicar o sistema de tratamento em comunidades isoladas sem disponibilidade de água com padrões de potabilidade adequados, de modo a verificar as melhorias na qualidade de vida/saúde da população;
- Estudar a possibilidade de mudança do método de tratamento da água aplicado, de modo a substituir as membranas poliméricas por membranas cerâmicas e avaliar o funcionamento do sistema de tratamento acionado por energia solar fotovoltaica;
- Estudar a possibilidade de substituição da bomba de alta pressão por bomba centrífuga e verificar comparar a eficiente das mesma.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Brasília, DF: ANEEL, 2002.

BAKER, R. W., **Membrane Technology and Applications**. 2ª ed. John Wiley & Sons Ltda, 2004.

BASSETTI, F. de J., **Preparação, Caracterização e Aplicação de Membranas Poliméricas Microporosas Assimétricas**. Tese (Doutorado em Engenharia Química), UNICAMP, Campinas – SP, 2002.

BHAVE, R. R., **Inorganic Membranes – Synthesis, Characteristics and Applications**. Van Nostrand – Reinhold, New York, 1991.

BRITO, A. U. **Otimização do Acoplamento de Geradores Fotovoltaicos a Motores de Corrente Alternada Através de Conversores de Frequência Comerciais para Acionar Bombas Centrífugas**. Tese, Universidade de São Paulo - Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, São Paulo, 2006.

BYRNE, W., **Reverse Osmosis – A Practical Guide for Industrial Users**. 2 edição. Editora Tall Oaks Publishing, 2002.

CAD, M. M., **Estratégias de Modelagem Dinâmica e Simulação Computacional do Motor de Indução Trifásico**. Dissertação, Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2000.

CARVALHO, P., **Água Potável Via Energia Solar**. Ciências Hoje, vol. 27, nº 158, 2000.

CRESESB, 1999. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**.

CRESESB, 2005. **Energia Solar – Princípios e Aplicações**.

FRANÇA NETA, L. S. de, **Clarificação de Bebidas Fermentadas Utilizando o Processo de Microfiltração**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro - RJ, 2005.

FRANÇA, R. V., **Desenvolvimento de Membranas Assimétricas de Alumina para Pré-Tratamento de Água**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) UFCG, Campina Grande – PB, 2006.

GIACOBBO, A.; FERON, G. L.; RODRIGUES, M. A. S., **Utilização de Biorreator à Membrana para Tratamento de Efluentes**. HOLOS, Ano 27, Vol. 1, 2011.

GOETZBERGER, A.; KNOBLOCH, J.; VOSS, B.; 1998. **Crystalline Silicon Solar Cells**. 1. ed., Inglaterra: John Wiley & Sons Ltda.

Grupo de Trabalho de Energia Solar (CRESESB, CEPEL). **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, RJ: CRESESB, 1999.

HABERT, A. C., BORGES, C. P., NOBREGA, R., **Processos de Separação com Membranas**. Rio de Janeiro – RJ: E-papers, 2006.

KARAGIANNIS, I.C.; SOLDATOS, P.G. **Water Desalination Cost Literature: Review and Assessment**; Desalination, 223, pp. 448-456. Agricultural University of Athens, Department of Agricultural Economics & Rural Development, 2008.

LEAL, T. L., **Preparação e Modificação de Membranas Tubulares de Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular (PEUAPM) Sinterizadas**. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos), UFCG, Campina Grande – PB, 2007.

LIMA, P. C. R., **Água e Energia**. Revista Plenarium, nº 3. Brasília – DF, 2006.

LUCAS, C. de S., **Medida de Tamanho de Poro de Membrana Polimérica de Microfiltração Utilizando Técnica Ultrassônica e Redes Neurais Artificiais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Reatores), CNEM/IEN, Rio de Janeiro – RJ, 2009.

MARTINS, F. B. PEREIRA, E. B. **Enhancing information for solar and wind energy technology deployment in Brazil**, Energy Policy, Vol. 39, pp 4378-4390, July 2011.

MEAH, K.; FLETCHER, S.; ULA, S. **Solar photovoltaic water pumping for remote locations**, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 12, no.2, pp. 472-487, Feb. 2008.

MME – Ministério do Meio Ambiente (Brasil). **Consumo Sustentável: Manual de Educação**. Brasília: Consumers International/ MMA/ MEC/IDEC, 2005.

MULDER, M., **Basic Principles of Membrane Technology**. 2nd ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996.

OLIVARES, A. G.; BALLABRERA-POY, J.; LADONA, E.G. **A global renewable mix with proven technologies and common materials**. Energy Policy, vol. 41, pp. 561-574, Feb. 2012.

OLIVEIRA, D. R. de. **Pré-tratamento do processo de osmose inversa utilizando a microfiltração e investigação de técnicas de limpeza e recuperação de membranas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro – RJ, 2007.

PALMIRO, F.; PINTO, J.O.P.; PEREIRA, L.H.; GODOY, R.B., **Design and Implementation of a 480 W Three-Phase Converter For Photovoltaic Remote Regions Water Pumping System**, Power Electronics Conference, 2013. COBEP '13. Brazilian , Oct. 27 2013-Oct. 31 2013

PARIDA, B.; INIYAN, S.; GOIC, R. **A Review of Solar Photovoltaic Technologies, Renewable and Sustainable**. Energy Reviews, vol. 15, no.3, pp 1625-1636, April 2011.

PEREIRA, E. B; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L.; RÜTHER, R. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: 1^o edição 2006.

PEREIRA, E.B., COLLE, S. **A energia que vem do sol**. Ciência Hoje. vol. 22 pp. 24-35. 1997.

QTAISHAT, M. R.; BANAT, F. **Desalination by solar powered membrane distillation systems**. Desalination, vol. 308, no. 2, pp. 186-197, Jan. 2013.

QUEIROZ, V. M. S., **Estudo Experimental do Escoamento e da Concentração de Mistura no Processo de Microfiltração Tangencial de Suspensões Macromoleculares**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2004.

RIBEIRO, M. L., **Remoção de Compostos Orgânicos de Água por Ultra e Nanofiltração em Membranas Poliméricas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), UFRGS, Porto Alegre – RS, 2002.

RIBEIRO, R. M, BERGAMASCO, R., GIMENES, M. L., **Membranes Synthesis Study for Color Removal of a Textile Effluent**. Desalination 145, 2002.

RIBEIRO, R. R. F., **Sistema de Dessalinização Via Osmose Inversa Alimentado por Painéis Fotovoltaicos: Modelagem e Dimensionamento Sem Baterias**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), UFCG, Campina Grande – PB, 2009.

RIFFEL, D.B.; **Unidade de Osmose Reversa acionada por Energia Solar Fotovoltaica sem Baterias: Simulação, Projeto e Validação Experimental**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

SCOTT, K., **Handbook of Industrial Membranes**, Elsevier Advanced Technology, 1^a ed., 1997.

SCHNEIDER, R. P., TSUTIYA, M. T., **Membranas Filtrantes para Tratamento de Água, Esgoto e Água de Reuso**. In ABES Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001.

SCHULZ, C. K., **Tratamento de Efluentes Oleosos Utilizando Processos de Separação por Membranas**. Tese de Doutorado, UFRJ, Rio de Janeiro – RJ, 2005.

SHORT T.D., OLDACH R. **Solar powered water pumps: The past, the present – and the future?** Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME, vol. 125 no.1, pp. 76-82, 2003.

SOUZA, L. F., **Dessalinização como Fonte Alternativa de Água Potável**. Norte Científico, 2006.

SURERUS, V., RAMOS, G. M., CARVALHO, R. B., NÓBREGA, R., **Obtenção de água de Reuso a partir da Utilização de Microfiltração como Polimento Final de Efluentes Tratados Biologicamente**. VIII Congreso Ibero-Americano em Ciencia y Tecnología de Membrana CITEM 2012: Salta – AR: Universidad Nacional de Salta, 2012.

TUNDISI, J.G., **Água no Século XXI: Enfrentando a Escassez**, Ed. Rima, São Carlos, 2003.

VITORINO, M. A., **Sistema de Bombeamento Fotovoltaico com Motor de Indução e sem Baterias**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), UFCG, Campina Grande – PB, 2008.

ANEXOS

New Zero Tolerance
Greater Field Performance



210 WATT

HIGH EFFICIENCY MULTICRYSTAL
PHOTOVOLTAIC MODULE



KD210GX-LPU

NEC 2008 Compliant
UL 1703, Class C
IEC 61215



CUTTING EDGE TECHNOLOGY

As a pioneer with 35 years in solar, Kyocera demonstrates leadership in the development of solar energy products. Kyocera's *Kaizen* Philosophy, commitment to continuous improvement, is shown by repeatedly achieving world record cell efficiencies.

Kyocera Quality Built In:

- New frame technology allows for end mounting with 2400 Pa (50 psf) or wind speeds of 130 mph (ASTM E1830) and traditional mounting under 5400 Pa (113 psf) to support increased snow load
- UV stabilized, aesthetically pleasing black anodized frame
- Supported by major mounting structure manufacturers
- Easily accessible grounding points on all four corners for fast installation
- Proven junction box technology
- Quality locking plug-in connectors to provide safe & quick connections

Kyocera manufactures and assembles solar cells and modules at its own worldwide production sites using a true vertical integration process. This superior approach gives Kyocera complete control over every step of the manufacturing process, producing modules with the industry's tightest power tolerance, promising high quality and efficiency.

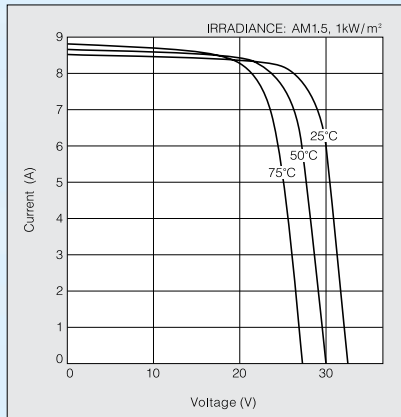
- Superior Built-In Quality
- Proven Superior Field Performance
- Tight Power Tolerance
- 25 Year Warranty
- 5 Year Workmanship Warranty



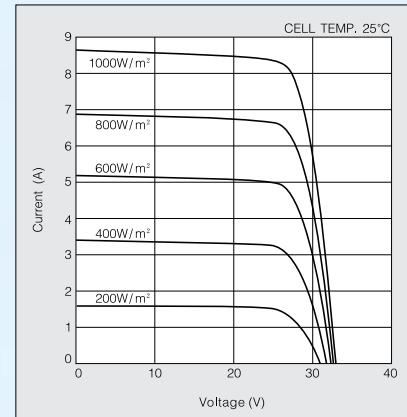
KD210GX-LPU

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Current-Voltage characteristics of Photovoltaic Module KD210GX-LPU at various cell temperatures



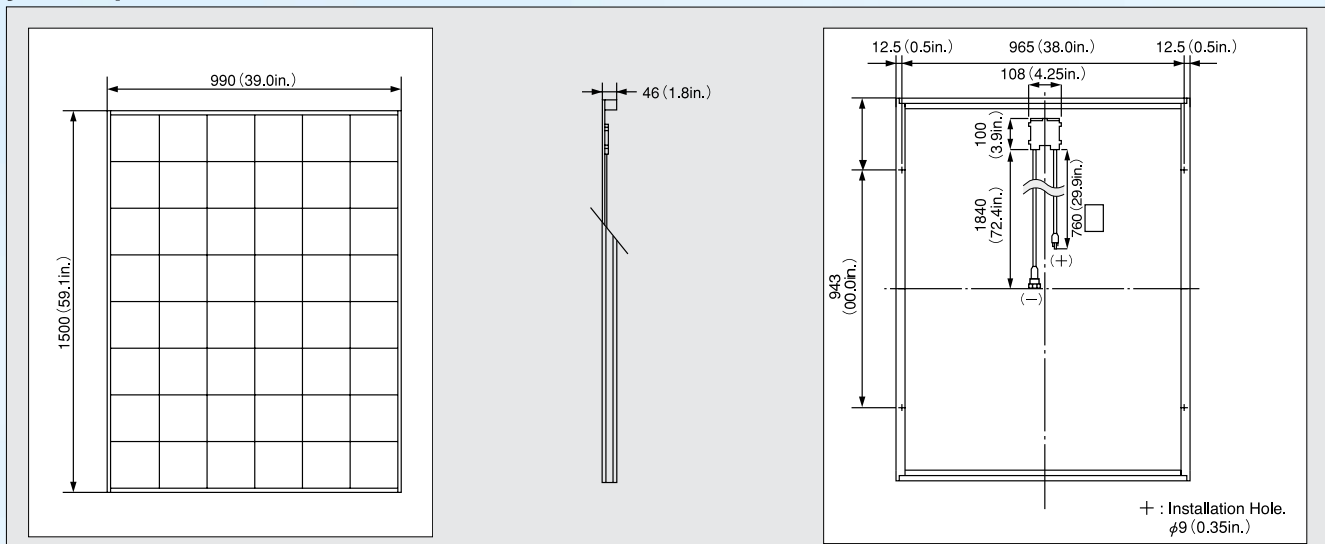
Current-Voltage characteristics of Photovoltaic Module KD210GX-LPU at various irradiance levels



SPECIFICATIONS

Physical Specifications

Unit : mm (in.)



Specifications

Electrical Performance under Standard Test Conditions (*STC)

Maximum Power (P _{max})	210W (+5W/-0W)
Maximum Power Voltage (V _{mpp})	26.6V
Maximum Power Current (I _{mpp})	7.90A
Open Circuit Voltage (V _{oc})	33.2V
Short Circuit Current (I _{sc})	8.58A
Max System Voltage	600V
Temperature Coefficient of V _{oc}	-1.20×10 ⁻¹ V/°C
Temperature Coefficient of I _{sc}	5.15×10 ⁻³ A/°C

*STC : Irradiance 1000W/m², AM1.5 spectrum, cell temperature 25°C

Electrical Performance at 800W/m², *NOCT, AM1.5

Maximum Power (P _{max})	149W
Maximum Power Voltage (V _{mpp})	23.6V
Maximum Power Current (I _{mpp})	6.32A
Open Circuit Voltage (V _{oc})	30.0V
Short Circuit Current (I _{sc})	6.62A

*NOCT (Nominal Operating Cell Temperature) : 47.9°C

ISO 9001 and ISO 14001 Certified and Registered

Cells

Number per Module	54
-------------------	----

Module Characteristics

Length × Width × Depth	1500mm(59.1in)×990mm(39.0in)×46mm(1.8in)
Weight	18kg(39.7lbs.)
Cable	(+)760mm(29.9in),(-)1840mm(72.4in)

Junction Box Characteristics

Length × Width × Depth	100mm(3.9in)×108mm(4.3in)×15mm(0.6in)
IP Code	IP65

Others

*Operating Temperature	-40°C~90°C
Maximum Fuse	15A

*This temperature is based on cell temperature.

www.kyocerasolar.com
800-223-9580 toll free 800-523-2329 fax



Módulo Policristalino de Alta Eficiência

KC 130TM



Características Importantes dos Módulos Fotovoltaicos

A avançada tecnologia de processamento de célula e a produção automatizada da Kyocera têm produzido módulos policristalinos de alta eficiência.

A eficiência de conversão das células é acima de 16%.

As células são encapsuladas entre camadas de vidro temperado como cobertura, acetato de vinil etilênico e polivinil fluorídrico como fundo, para dar a máxima proteção contra as severas condições ambientais.

O laminado resultante é encapsulado em uma moldura de alumínio anodizado que oferece uma estrutura mais rígida e de fácil instalação.

Aplicações

- Estações repetidoras de rádios microondas
- Eletrificação de comunidades em áreas remotas
- Postos de saúde em áreas remotas
- Eletrificação de residências de veraneio
- Monitoração de sistemas de qualidades de água e meio ambiente
- Sistemas de navegação e bóias oceânicas
- Sistemas de bombeamento de água
- Luzes de obstrução aérea
- Sistemas de proteção catódica
- Dessanilização de água
- Veículos de recreação
- Sistemas de sinalização

Especificações

Especificações Elétricas

Modelo	KC 130TM
Máxima Potência	130 Watts
Tolerância	+10% / -5%
Voltagem de Máxima Potência	17.6 Volts
Corrente de Máxima Potência	7.39 Amps
Voltagem de Circuito Aberto	21.9 Volts
Corrente de Curto-Circuito	8.02 Amps
Altura	1425 mm
Largura	652 mm
Espessura	58 mm
Peso	11.9 Kg

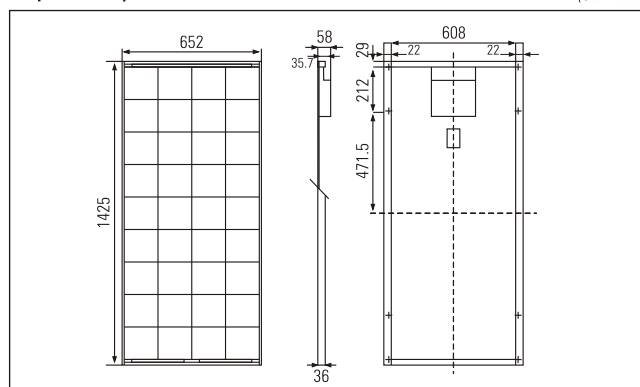
Parâmetro Térmico

Temperatura nominal de operação da célula	47°C
Icc Coeficiente de temperatura da corrente	$[3.18 \times 10^{-3}] \text{ A}/^\circ\text{C}$
Vca Coeficiente de temperatura da Voltagem	$[-8.21 \times 10^{-2}] \text{ V}/^\circ\text{C}$

Nota: As especificações Elétricas estão sob condições de teste de irradiação de $1 \text{ KW} / \text{m}^2$, Spectro de 1.5 de Massa de ar e temperatura de célula de 25°C.

Especificações Físicas

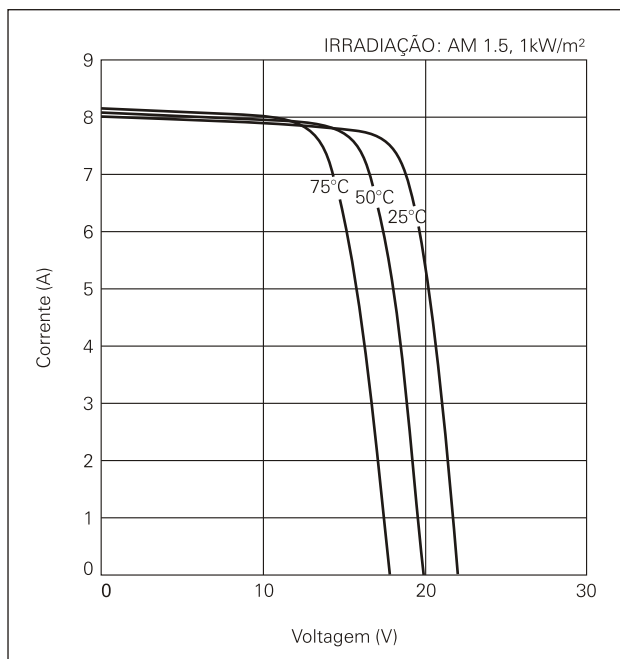
(Unit: mm)



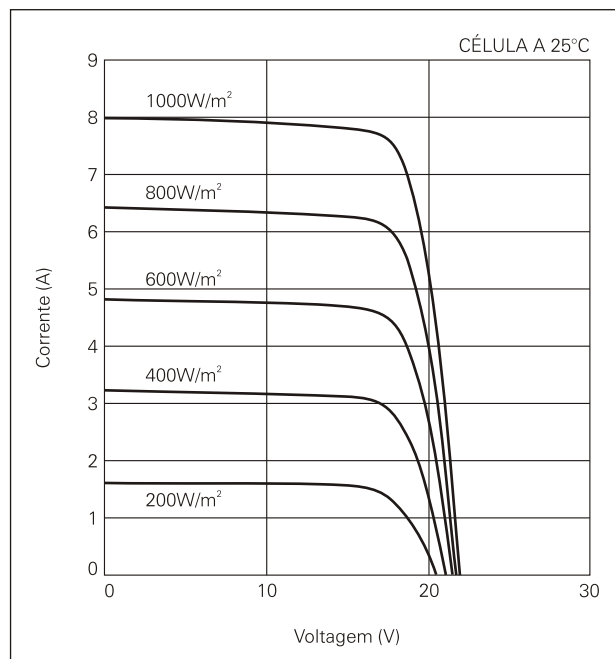
A Kyocera se reserva o direito de modificar estas especificações sem notificação.

Características Elétricas

Características de Voltagem e Corrente dos Módulos Fotovoltaicos KC 130TM em várias temperaturas de Células.



Características de Voltagem e Corrente dos Módulos Fotovoltaicos KC 130TM em vários níveis de irradiação.



Garantia de Qualidade

Os Módulos Fotovoltaicos Policristalinos Kyocera passaram pelos seguintes testes:

- Teste de ciclo térmico
- Teste de choque térmico
- Teste de ciclo térmico / refrigerado e de alta umidade
- Teste de isolamento elétrico
- Teste de impacto de granizo
- Teste de resistência mecânica, de vento e torção
- Teste de resistência à salinidade
- Teste de exposição à água e luz
- Teste de exposição no campo

Por favor, não hesite em contactar-nos para obter maiores detalhes.



Kyocera Corporation

KYOCERA Corporation Headquarters

Corporate Solar Energy Division
6 Takeda Tobadono-cho
Fushimi-ku, Kyoto
612.8501 Japan
Phone: [81] 75.604.3476 Telefax: [81] 75.604.3475
<http://www.kyocera.com>

KYOCERA Solar, Inc.

7812 East Acoma Drive
Scottsdale, AZ 85260, USA
Phone: [1] 480.948.8003 or [0800] 223.9580 Telefax: [1] 480.483.6431
<http://www.kyocerasolar.com>

KYOCERA Solar do Brasil Ltda.

Rua Maurício da Costa Faria, 85
22780.285, Recreio, Rio de Janeiro, Brasil
Phone: [55] 21.2437.8525 Telefax: [55] 21.2437.2338
<http://www.kyocerasolar.com.br>

KYOCERA Solar Pty Ltd.

Level 3, 6-10 Talavera Road, North Ryde
N.S.W. 2113 Australia
Phone: [61] 2.9870.3948 Telefax: [61] 2.9888.9588
<http://www.kyocerasolar.com.au/>

KYOCERA Fin ceramics GmgH

Fritz Muller strasse 107, D-73730 Esslingen, Germany
Phone: [49] 711.9393417 Telefax: [49] 711.9393450
<http://www.kyocerasolar.de/>

KYOCERA Asia Pacific Pte. Ltd.

298 Tiong Bahru Road, #13-03/05
Central Plaza, Singapore 168730
Phone: [65] 271.0500 Telefax: [65] 271.0600

KYOCERA Asia Pacific Ltd.

Room 803, Tower 1 South Seas Centre, 75 Moby Road,
Tsimshatsui East, Kowloon, Hong Kong
Phone: [852] 2.7237183 Telefax: [852] 2.7244501

KYOCERA Asia Pacific Ltd. Taipei Office

10 Fl., No.66, Nanking West Road, Taipei, Taiwan
Phone: [886] 2.2555.3609 Telefax: [886] 2.2559.4131

KYOCERA (Tianjin) Sales & Trading Corporation

Binjiang International Hotel 1106
105 Jianshe Road Heping Dist. Tianjin China
Tel: [22] 2331.8590 Fax: [22] 2330.6276

PROCON® Products

Series 1, 2, & 3 Pumps

- Positive Displacement Rotary Vane Pump
- Flow ranging from 15 to 140 gallons per hour at discharge up to 250 psi
- Self Priming
- Maintenance Free
- Low Vibration and Pulsation Characteristics

Clamp-on or bolt-on available

- Stainless Steel, Brass and Low Lead Brass (0.20% Max Lead)
- Patented Relief Valve Configuration
- Models compatible with 48YZ Frame and 56C Frame Motors

(Adapter and Coupling required for 56C Frame Mounting)

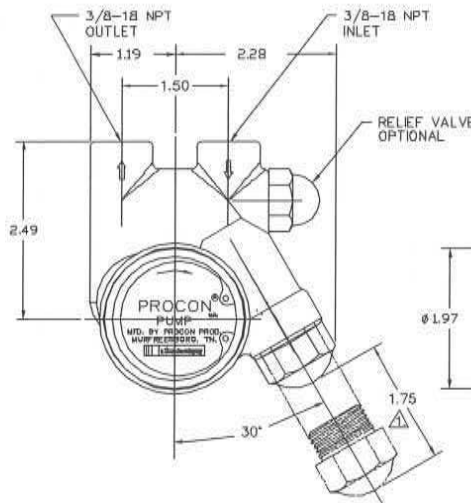
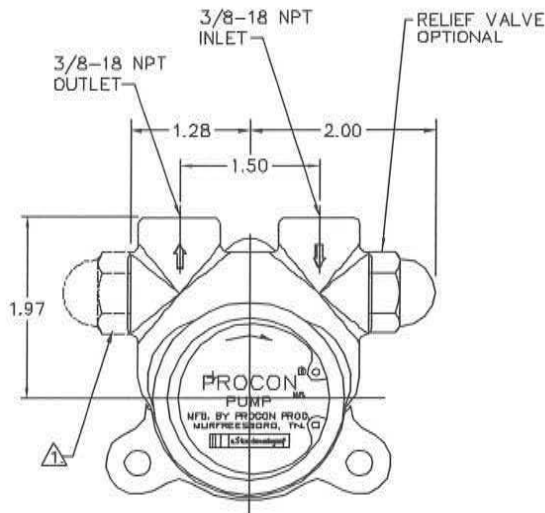


SPECIFICATIONS

Body Material	Type 303 stainless steel or brass
Capacity	15 to 125 GPH
Nominal Speed	1725 RPM
Typical Horsepower Required	.25 to .50 HP
Maximum Discharge Pressure	250 PSI
Rotation (viewed from nameplate end)	Clockwise
Dry Weight	Approximately 2.5 lbs.
Dimensions	3.56" x 3.49" x 3.86"
Self Priming (water)	6 ft. Maximum Lift
Port Size	3/8 NPT Inlet and Outlet

TYPICAL APPLICATIONS

- Carbonation
- Espresso/Coffee
- Welding
- Cold Carb Circulation
- Reverse Osmosis
- Beer Chillers
- Pesticide Systems
- Solar Applications



PROCON® Products

World Wide Headquarters

869 Seven Oaks Blvd, Ste 120
Smyrna, TN 37167 USA
Phone: +1 615.355.8000
Fax: +1 615.355.8001
mail@proconpump.com

Standex International S.r.l.

Via 1 Maggio, 20
20064 Gorgonzola (MI) Italy
tel: +39 (02) 95-740951 ext. 213
fax: +39 (02) 95-740713
solari.standex@standexinternational.191.it
solari@standex.com

Standex (Ireland) Limited

Irishtown, Mountmellick, Co. Laois
Republic of Ireland
tel: +353 (5786) 79114
fax: +353 (5786) 79119
sales@standex.ie

Standex International GmbH

Koelner Strasse 352-354
47807 Krefeld Germany
tel: +49 21 51 371226
fax: +49 21 51 371258
m.schmalohr@standex-gmbh.de



www.proconpump.com

"QUALITY PRODUCTS - DELIVERED ON TIME"



SERIES 1, 2 & 3 Nominal Volume at 1725 RPM (See note on Series 6)

FLOW RATE (GPH)	GALLONS PER HOUR					BRAKE HORSEPOWER				
	PRESSURE (PSI)					PRESSURE (PSI)				
	50	100	150	200	250	50	100	150	200	250
140	143	141	139	137	135	.17	.28	.40	.52	.63
125	128	126	124	122	120	.16	.26	.36	.47	.57
110	111	109	107	105	103	.15	.25	.34	.44	.54
100	102	100	98	96	94	.13	.20	.28	.35	.42
80	82	80	78	76	74	.12	.18	.25	.32	.39
70	72	70	68	66	64	.11	.17	.24	.30	.37
60	62	60	58	56	54	.10	.16	.23	.29	.35
50	52	50	48	46	44	.09	.15	.21	.27	.33
35	37	35	33	31	29	.08	.14	.19	.24	.29
25	27	25	23	21	19	.07	.12	.17	.22	.27
15	17	15	13	11	-	.06	.10	.15	.19	-

Series 1 - 6 Rotary Vane pumps - Model Number Matrix

1 1 1 A 100 F 1 1 A A 180

PRODUCT CLASSIFICATION
1 - ROTARY VANE PUMP

AGENCY APPROVALS
0 - NON-FOOD GRADE (1.5% Max. Lead) - NO AGENCY APPROVAL
1 - NSF STD. 169 LISTED (1.5% Max. Lead) - (SEE NOTE 1)
2 - WRC
3 - FOOD GRADE (1.5% Max. Lead) NO AGENCY LISTING
P - SPARE PARTS KIT
Z - NON-FOOD GRADE (.20% Max. Lead) - NO AGENCY APPROVAL
4 - NSF STD. 169 LISTED (.20% Max. Lead) - (SEE NOTE 1)
Y - NON-FOOD GRADE (.10% Max. Lead) - NO AGENCY APPROVAL
5 - NSF STD. 169 LISTED (.10% Max. Lead) - (SEE NOTE 1)
W - 254 SMO (316 S/S) - NO AGENCY APPROVAL

SERIES
1 - SERIES 1 BRASS - INTEGRAL STRAINER
2 - SERIES 2 BRASS
3 - SERIES 3 STAINLESS STEEL
4 - SERIES 4 BRASS
5 - SERIES 5 STAINLESS STEEL
6 - SERIES 6 STAINLESS STEEL
7 - SERIES 7 BRASS MINI PRO
8 - SERIES 8 STAINLESS STEEL - INTEGRAL STRAINER
9 - SERIES 9 BRASS - SHORT PUMP

MOUNTING AND DRIVE CONFIGURATION
A - CLAMP ON WITH .188" DOUBLE FLAT DRIVE
B - CLAMP ON WITH 1143 BRONZE COUPLING
C - CLAMP ON WITH 1143-2 PLASTIC COUPLING
D - CLAMP ON WITH SLOTTED SHAFT ONLY - NO COUPLING
E - BOLT ON WITH SINGLE FLAT DRIVE (SERIES 1-5 ONLY)
J - BOLT ON WITH .25 DOUBLE FLAT DRIVE (SEE NOTE 2)
K - BOLT ON WITH 3018 BRONZE COUPLING
L - BOLT ON WITH 3018-1 OVERSIZE BRONZE COUPLING
M - BOLT ON WITH SLOTTED SHAFT ONLY
N - BOLT ON WITH KEY SLOT DRIVE (SERIES 6 ONLY)
P - CLAMP ON WITH 1143-3 OVERSIZE BRONZE COUPLING
R - LONG CLAMP ON WITH DOUBLE FLAT DRIVE (SEE NOTE 11)
S - CLAMP ON WITH SINGLE FLAT DRIVE
T - BOLT ON WITH FAEMA STYLE MOUNT

FLOWRATE (SEE NOTE 10)

SERIES 1, 2 AND 3

015 - 15 GPH	(45 LPH)
025 - 25 GPH	(75 LPH)
035 - 35 GPH	(100 LPH)
050 - 50 GPH	(150 LPH)
060 - 60 GPH	(180 LPH)
070 - 70 GPH	(210 LPH)
080 - 80 GPH	(240 LPH)
100 - 100 GPH	(300 LPH)
110 - 110 GPH (HIGH FLOW)	(330 LPH)
125 - 125 GPH (HIGH FLOW)	(375 LPH)
140 - 140 GPH (HIGH FLOW)	(425 LPH)

SERIES 4 AND 5

115 - 115 GPH	(350 LPH)
140 - 140 GPH	(425 LPH)
165 - 165 GPH	(500 LPH)
190 - 190 GPH	(575 LPH)
215 - 215 GPH	(650 LPH)
240 - 240 GPH	(725 LPH)
265 - 265 GPH	(800 LPH)
330 - 330 GPH (HIGH FLOW)	- NO RELIEF VALVE (1000 LPH)

SERIES 6

300 - 300 GPH - NO RELIEF VALVE	(900 LPH)
350 - 350 GPH - NO RELIEF VALVE	(1080 LPH)
420 - 420 GPH - NO RELIEF VALVE	(1260 LPH)
480 - 480 GPH - NO RELIEF VALVE	(1440 LPH)
540 - 540 GPH - NO RELIEF VALVE	(1620 LPH)
600 - 600 GPH - NO RELIEF VALVE	(1800 LPH)
660 - 660 GPH - NO RELIEF VALVE	(2000 LPH)

PRESSURE SETTING (RELIEF VALVE) (SEE NOTE 5)
PRESSURE SETTING IN PSI (POUNDS PER SQ. IN.)

PRESSURE RANGE (RELIEF VALVE SPRING)
A - 151 TO 250 PSI - DEFAULT SETTING 170 PSI (SEE NOTE 4)
 10 to 17 BAR - DEFAULT SETTING 14 BAR
B - 100 TO 150 PSI - DEFAULT SETTING 130 PSI
 7 TO 10 BAR - DEFAULT SETTING 10 BAR
C - 60 TO 99 PSI - DEFAULT SETTING 99 PSI
 4 TO 7 BAR - DEFAULT SETTING 7 BAR
D - 30 TO 59 PSI - DEFAULT SETTING 50 PSI (SEE NOTE 6)
 2 TO 4 BAR - DEFAULT SETTING 3.5 BAR
X - NO SETTING

VALVE TYPE AND CONFIGURATION
A - PLASTIC, HI TEMP-BYPASS
B - PLASTIC, HI TEMP-SOLID
C - PLASTIC, HI TEMP BALANCED BYPASS
D - PLASTIC, HI TEMP BALANCED SOLID
F - PLASTIC, HI TEMP-EXTERNAL ADJUST BYPASS
G - PLASTIC, HI TEMP-EXTERNAL ADJUST SOLID
P - BRASS, HI TEMP-SOLID
R - STAINLESS STEEL, HI TEMP-SOLID
1 - PLASTIC, LOW TEMP-BYPASS
2 - PLASTIC, LOW TEMP-SOLID
3 - PLASTIC, LOW TEMP BALANCED BYPASS
4 - PLASTIC, LOW TEMP BALANCED SOLID
5 - PLASTIC, LOW TEMP-EXTERNAL ADJUST BYPASS
6 - PLASTIC, LOW TEMP-EXTERNAL ADJUST SOLID
X - NO RELIEF VALVE

CLEARANCES
1 - STANDARD CLEARANCE
2 - SPCL CLEARANCE (1x) LINER & BRGS
3 - SPECIAL CLEARANCE (2x) LINER & (1x) BRGS.
4 - STANDARD CLEARANCE WITH SEAL CIRCULATION
5 - SPCL CLEARANCE (1x) LINER AND (1x) SEAL CIRC. BRGS.
6 - SPCL CLEARANCE (1x) LINER AND (2x) SEAL CIRC. BRGS.

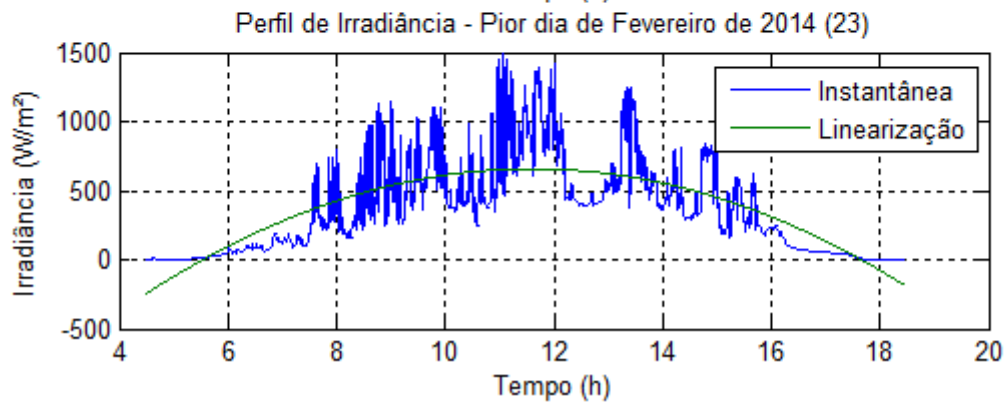
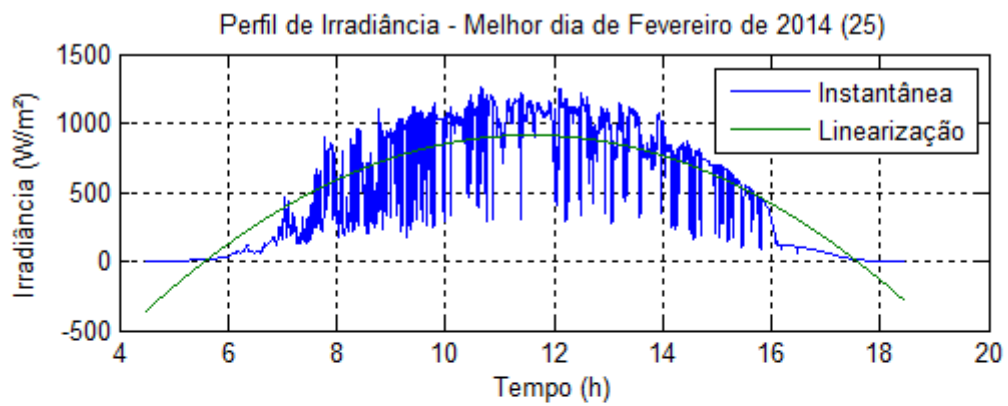
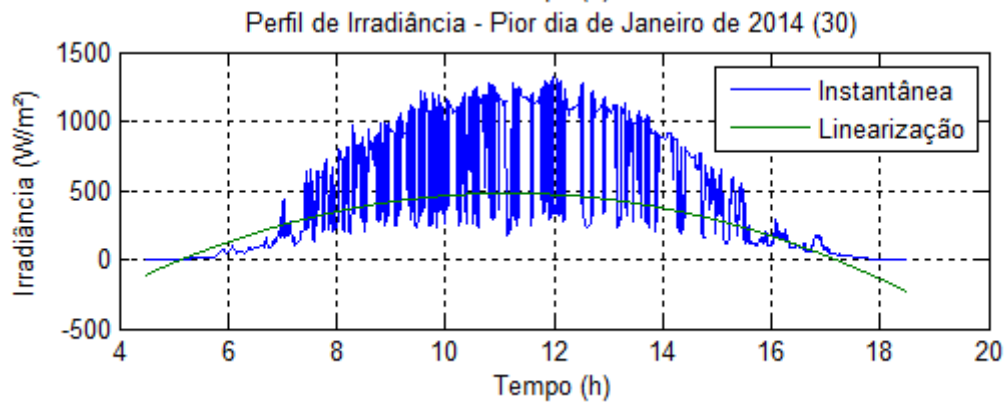
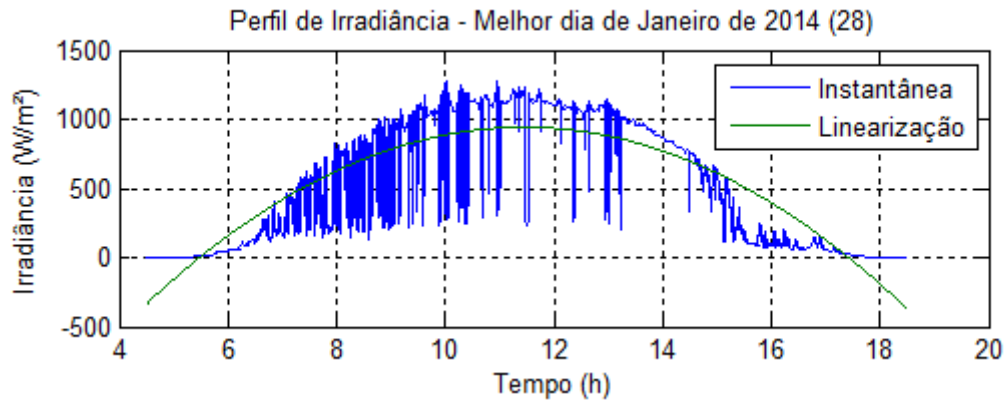
ROTATION / SLINGER / PASSIVATION / STRAINER
1 - CLOCKWISE
2 - COUNTERCLOCKWISE
3 - CLOCKWISE / SLINGER
4 - COUNTERCLOCKWISE / SLINGER
7 - CLOCKWISE / COARSE STRAINER
8 - CLOCKWISE / SLINGER / COARSE STRAINER

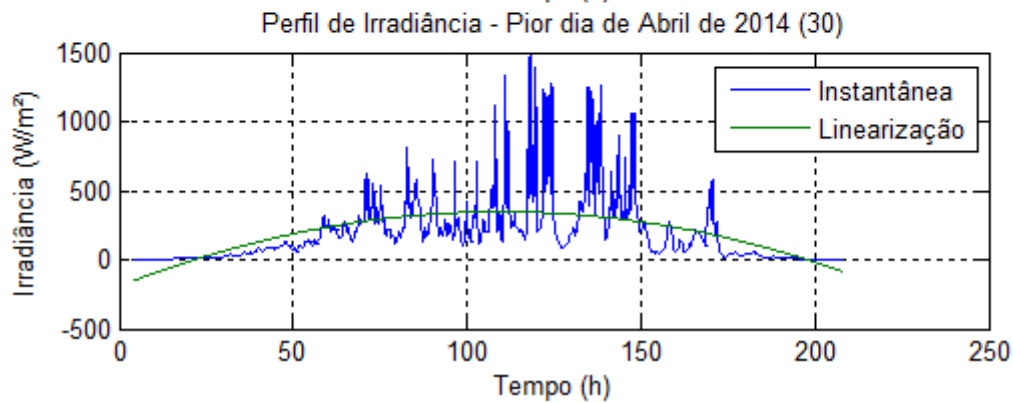
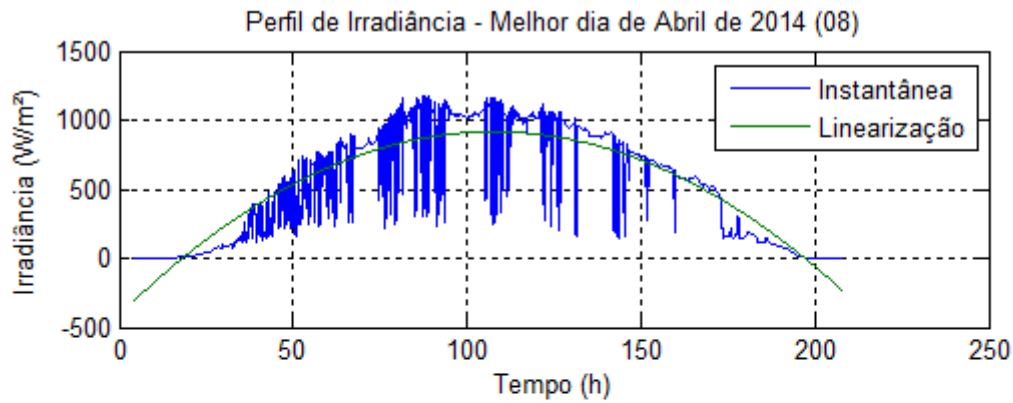
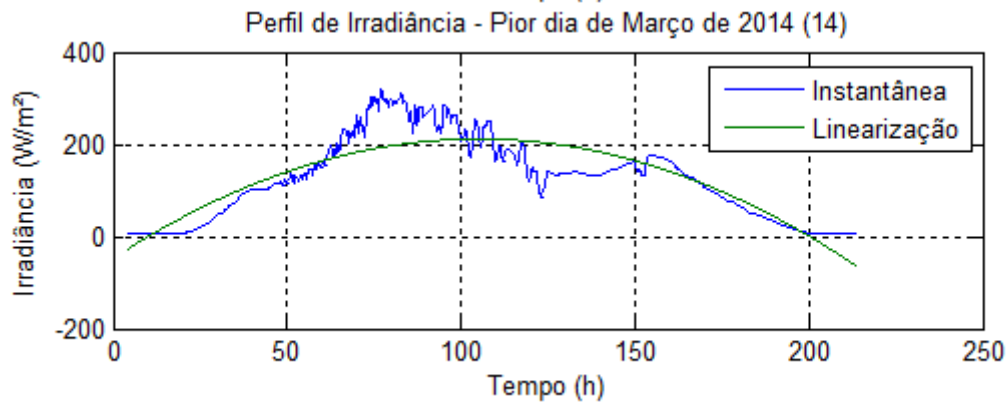
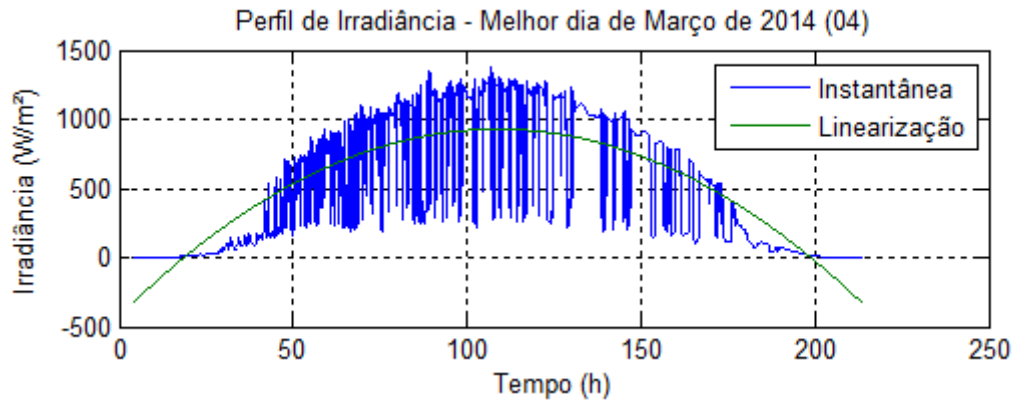
ELASTOMER
F - FDA GRADE NITRILE - TYPE 21 OR TYPE 2106
 USED INTERCHANGEABLY
G - ETHYLENE PROPYLENE - TYPE 21 SEAL (SEE NOTE 8)
R - FLUOROCARBON - TYPE 21 SEAL
S - NEOPRENE - TYPE 21 SEAL (SEE NOTE 9)
W - ETHYLENE PROPYLENE - TYPE 21 SEAL -
 WRC APPROVED COMPOUND

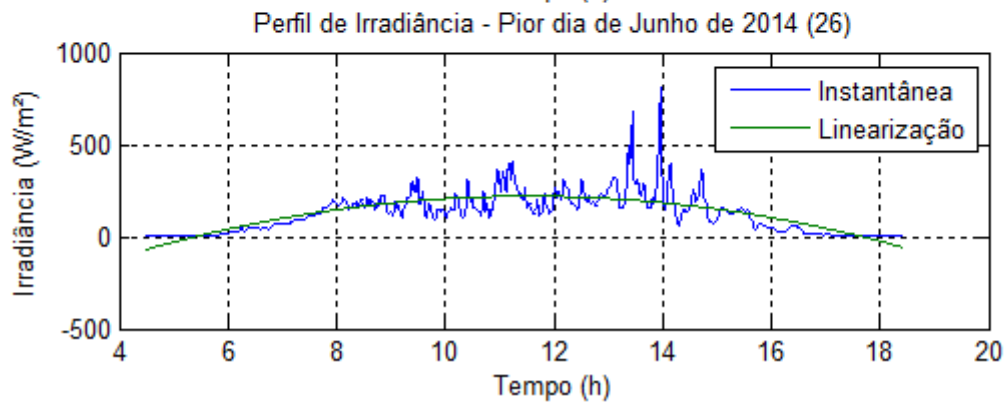
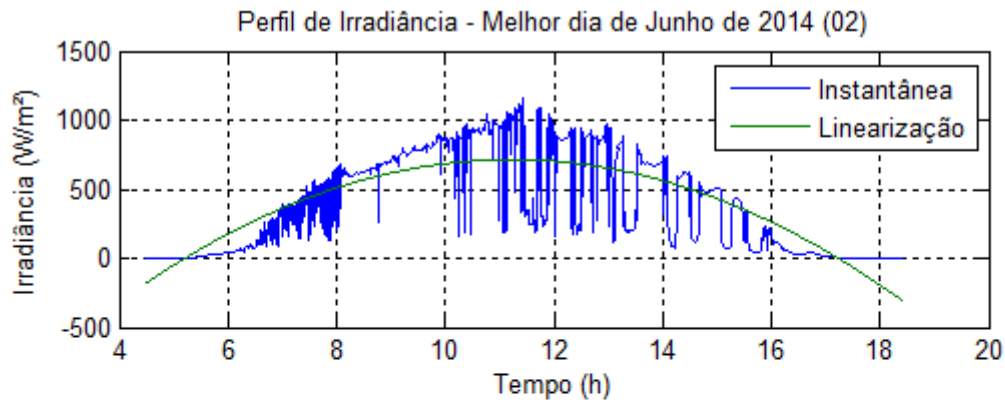
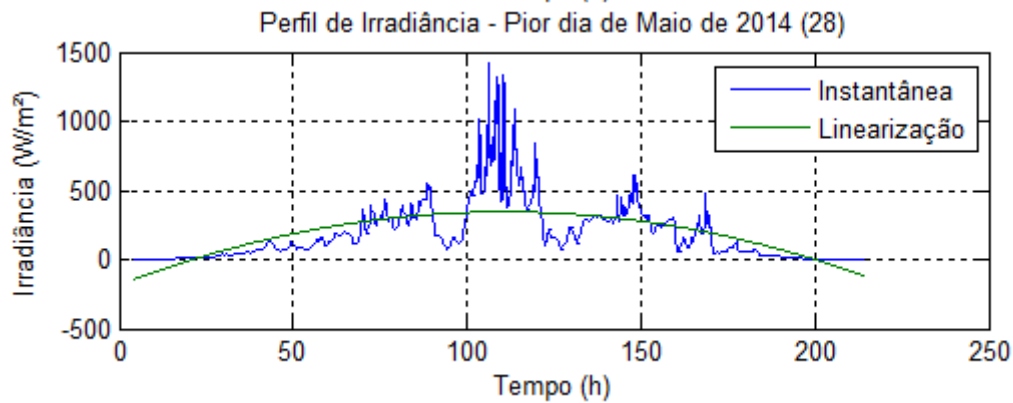
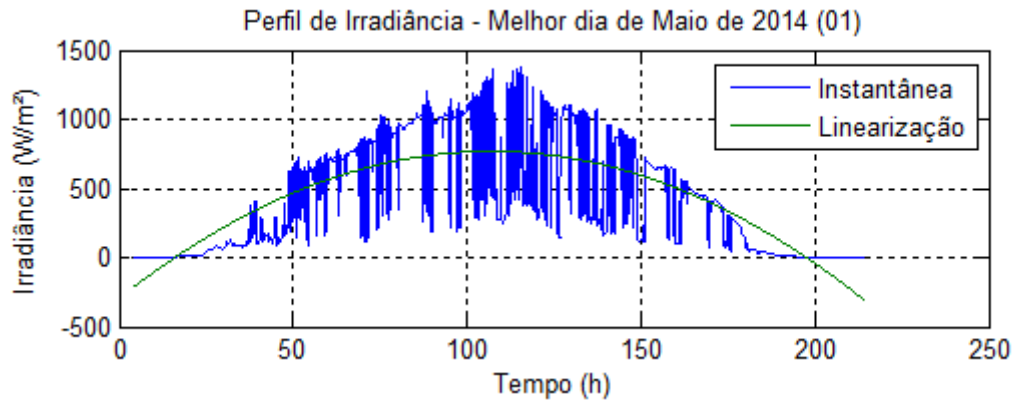
NOTES:

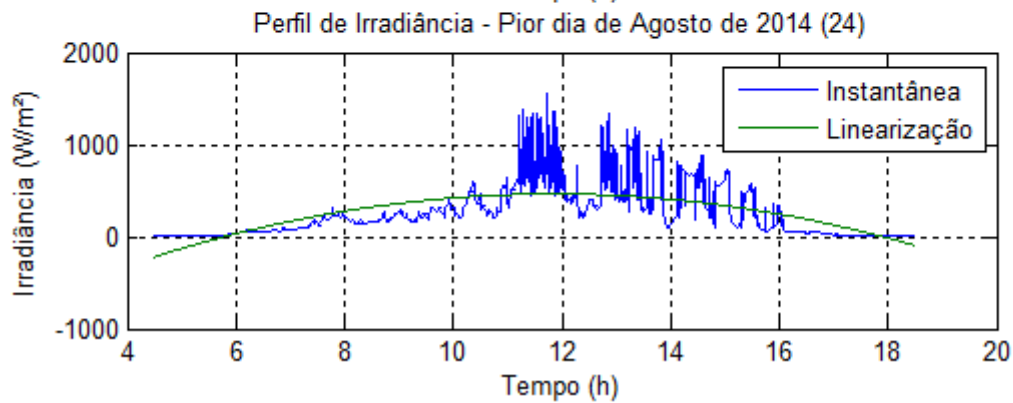
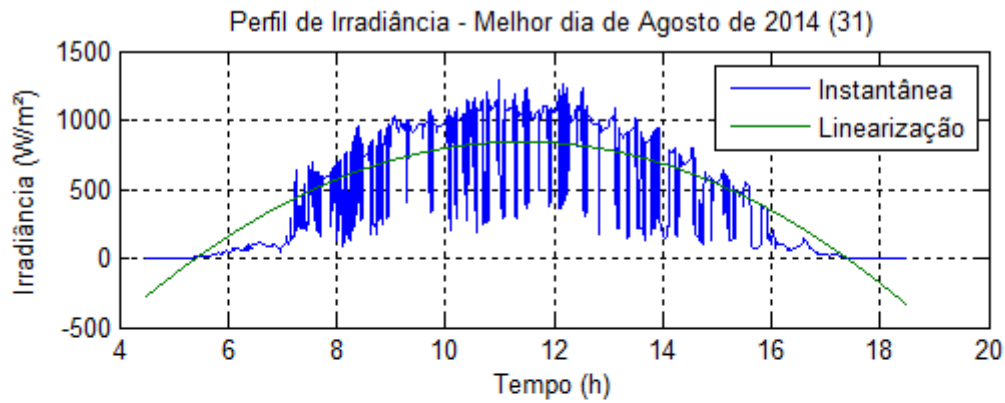
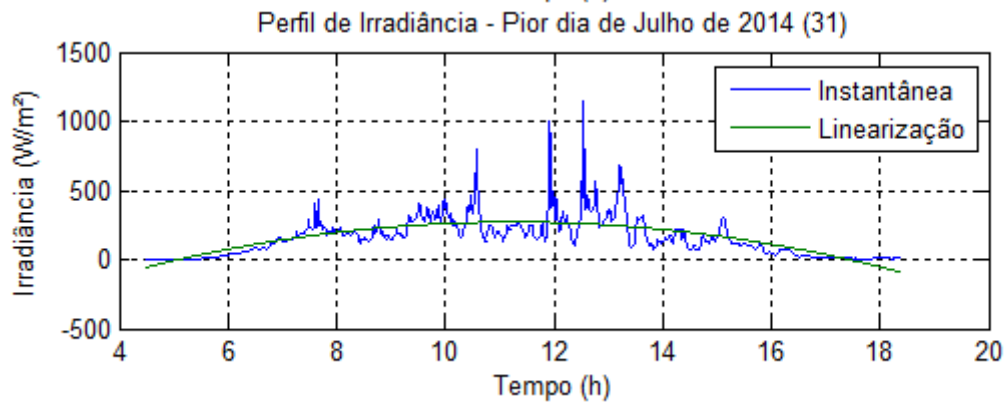
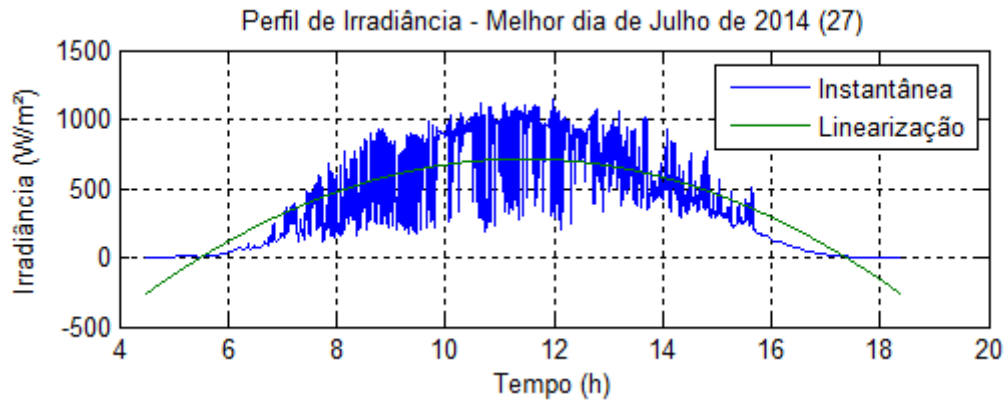
- Brass pumps are NSF listed for potable water only. Stainless steel pumps are NSF listed for potable and carbonated water. (Nitrile elastomer only.)
- Bolt on model with .25" double flat drive for use in Japan only. (No NSF available.)
- Counterclockwise rotation not available for Series 1 pumps.
- For the Beverage Industry - the default relief valve pressure setting is 250 PSI.
- The relief valve pressure setting is not part of the model matrix number. It is for customer reference only.
- This pressure range is not available in valve configurations C, D, K or L.
- Passivation is defined as a passivated housing only. No other parts are passivated.
- The EP elastomer is no longer available for Series 6 pumps.
- Neoprene elastomer not available for the following relief valve configurations: C, D, F, 3, 4, 5, and 6.
- GPH rating at 60HZ (1750 RPM) - LPH rating at 50HZ (1400 RPM).
- Long clamp on pumps are series 1 and 4 only

Dwg #2033 Rev EE MEA 9-1-09

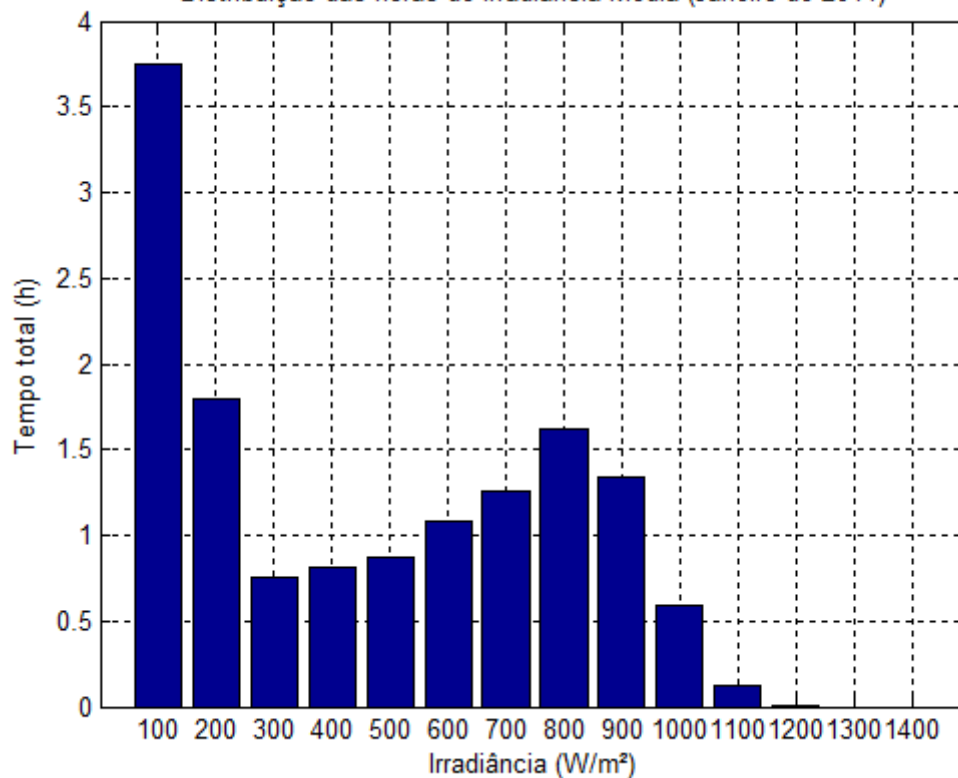




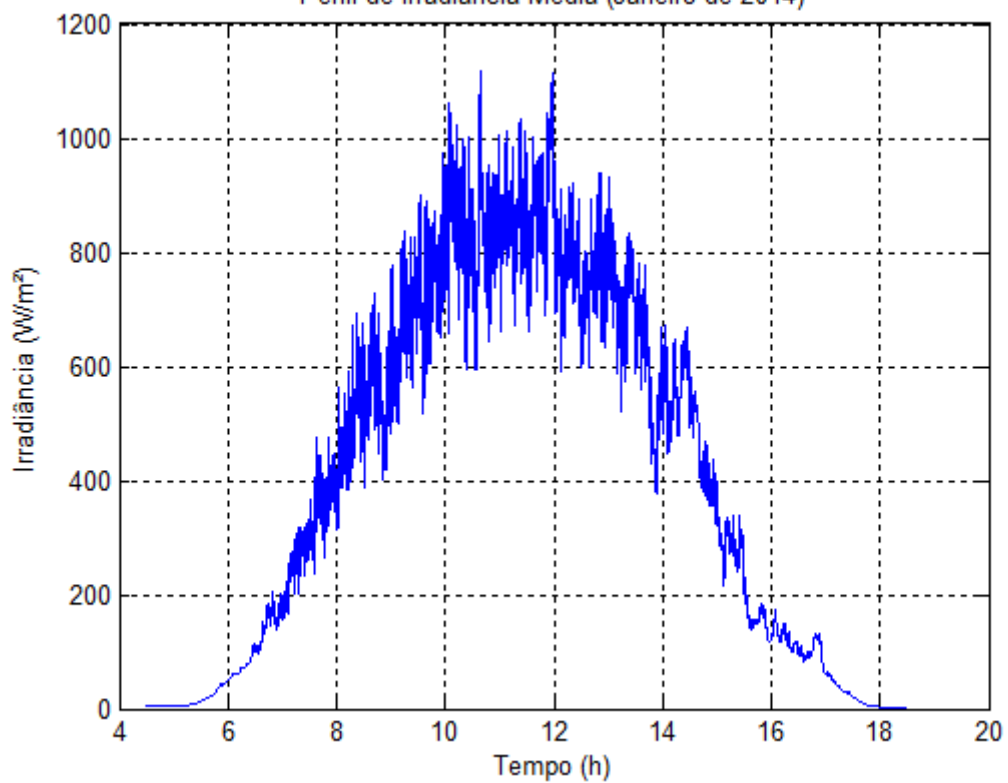




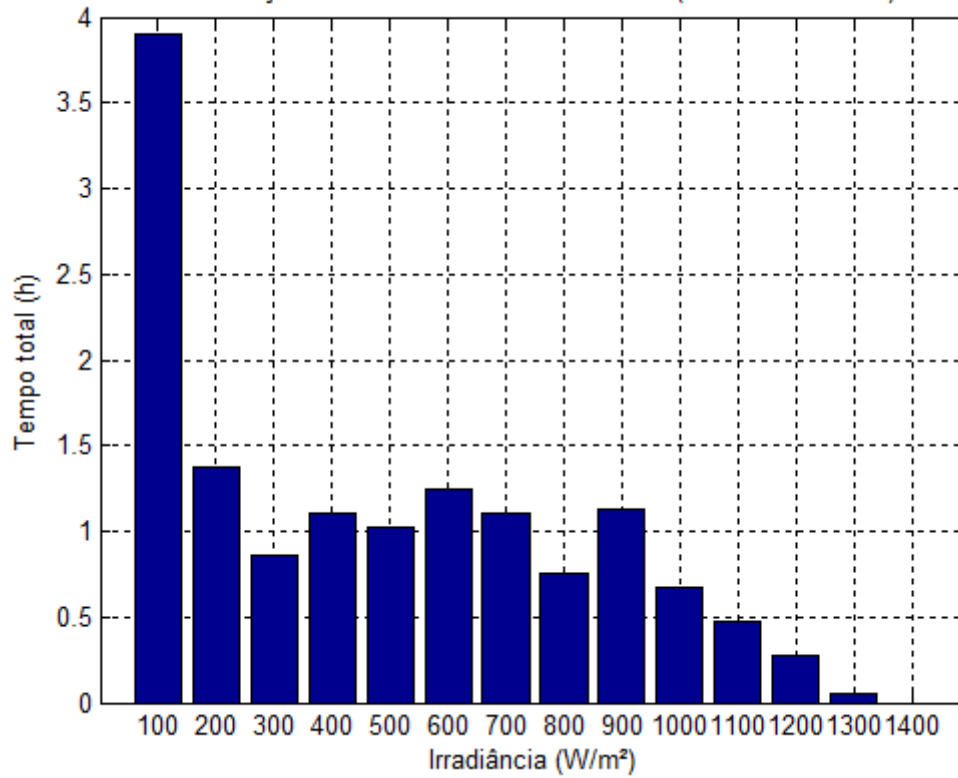
Distribuição das horas de Irradiância Média (Janeiro de 2014)



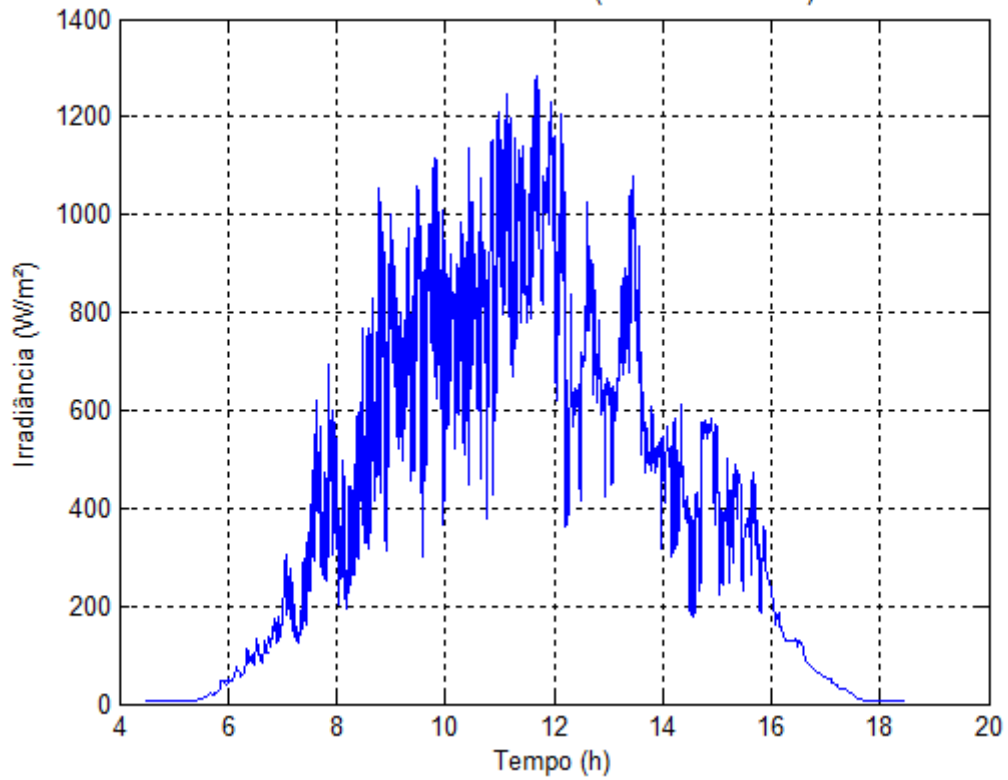
Perfil de Irradiância Média (Janeiro de 2014)



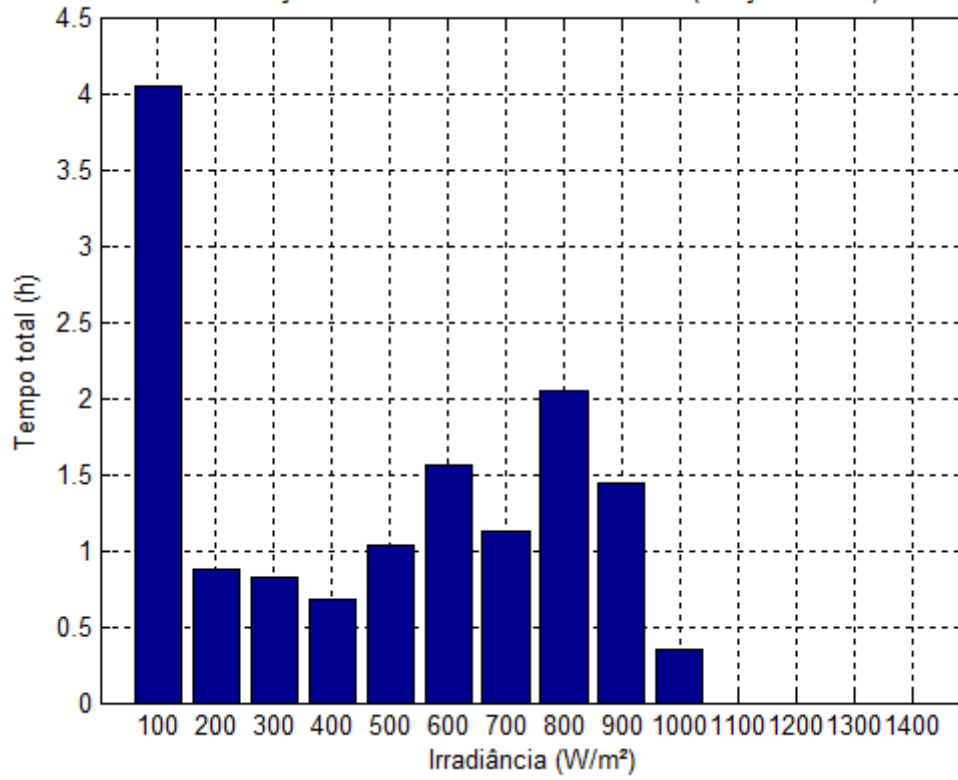
Distribuição das horas de Irradiância Média (Fevereiro de 2014)



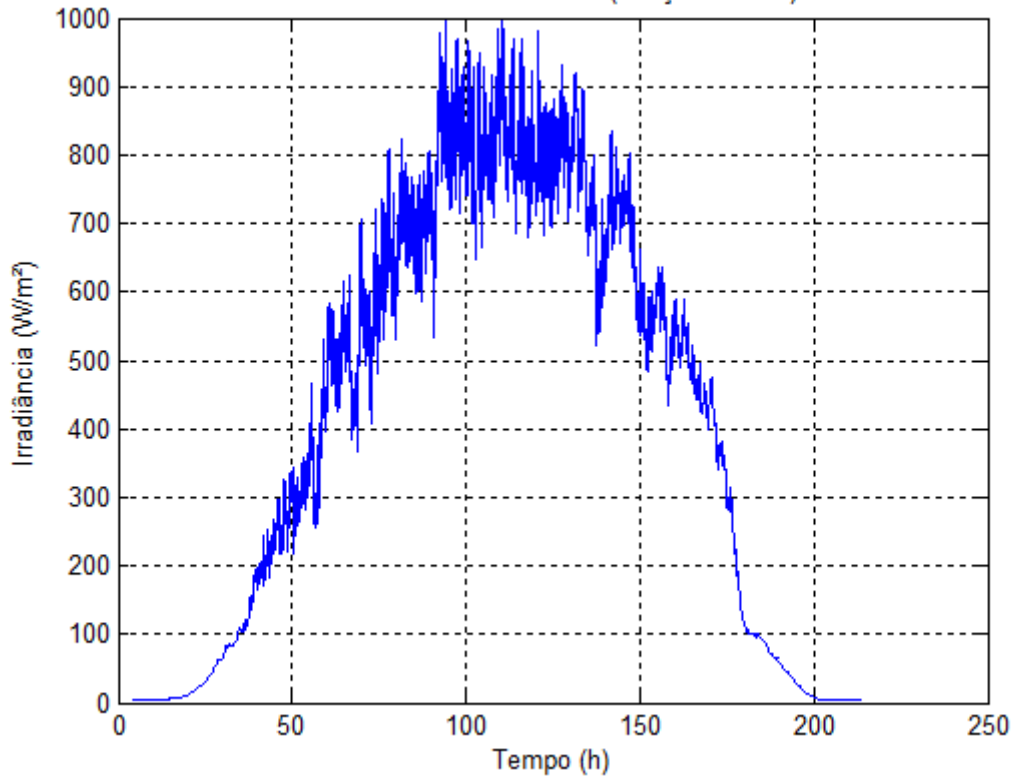
Perfil de Irradiância Média (Fevereiro de 2014)



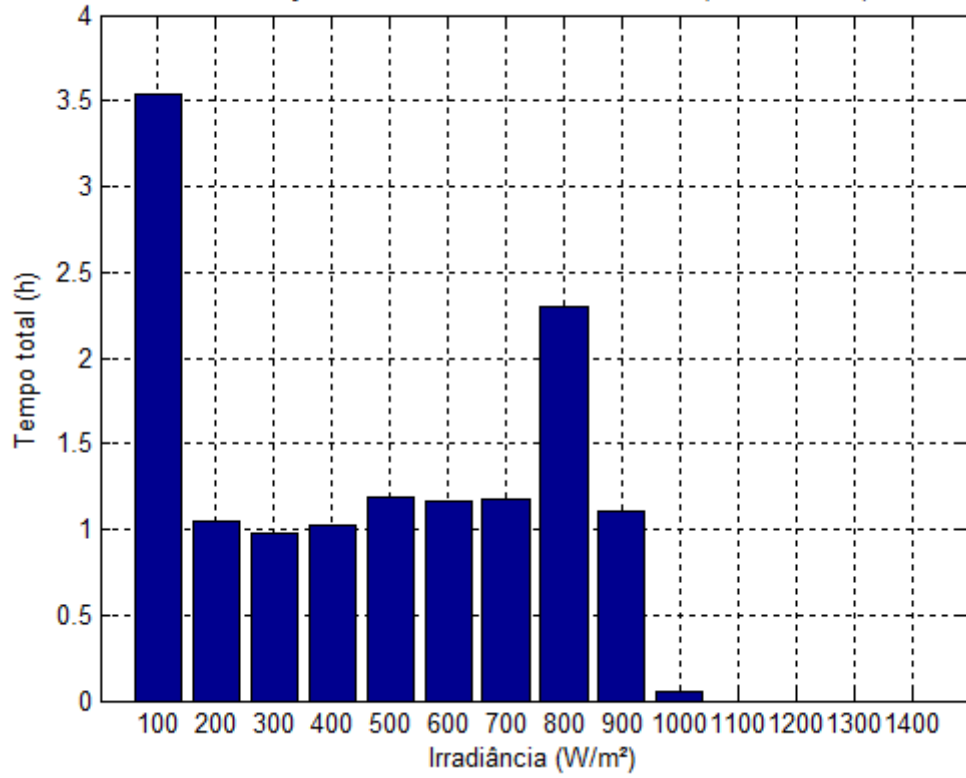
Distribuição das horas de Irradiância Média (Março de 2014)



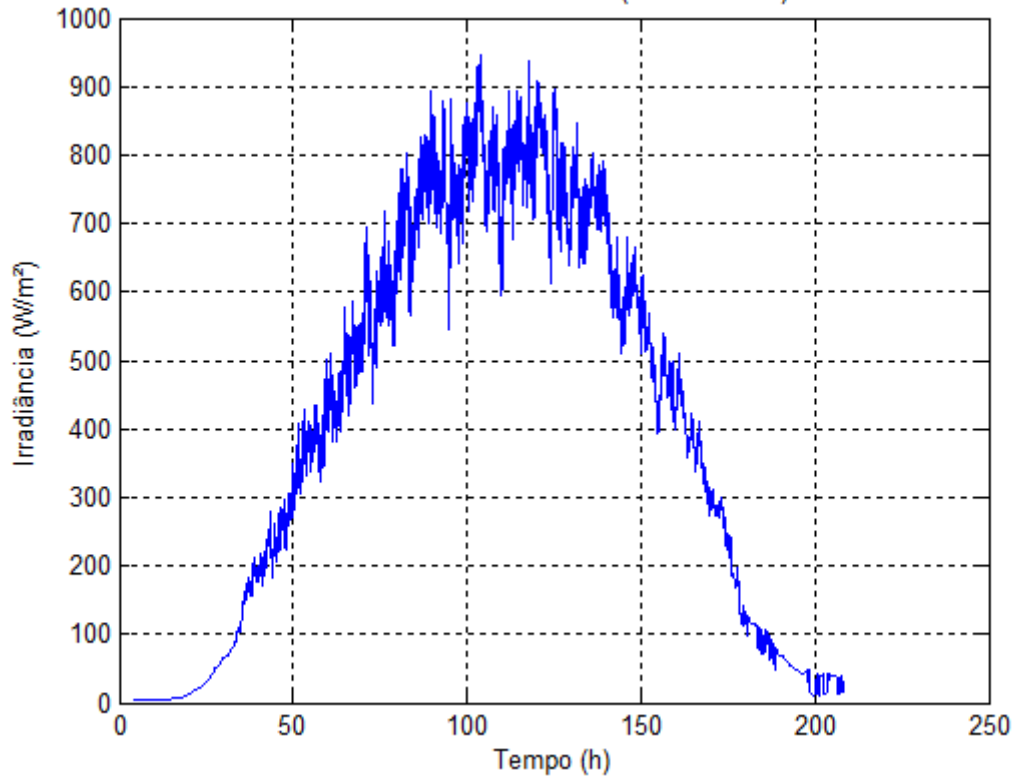
Perfil de Irradiância Média (Março de 2014)



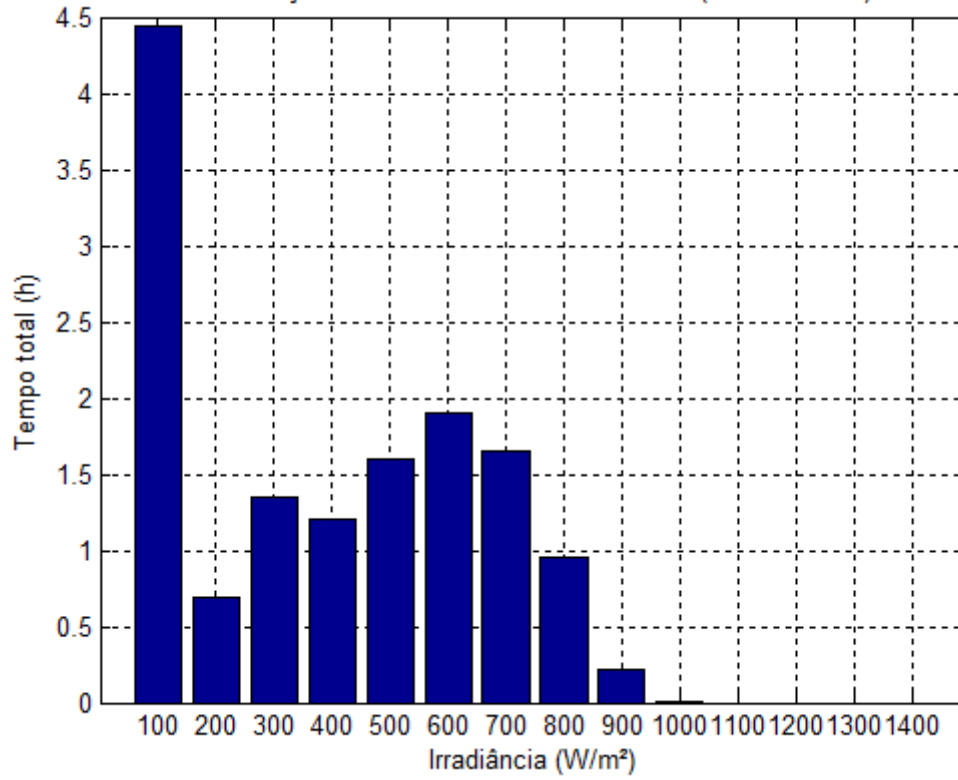
Distribuição das horas de Irradiância Média (Abril de 2014)



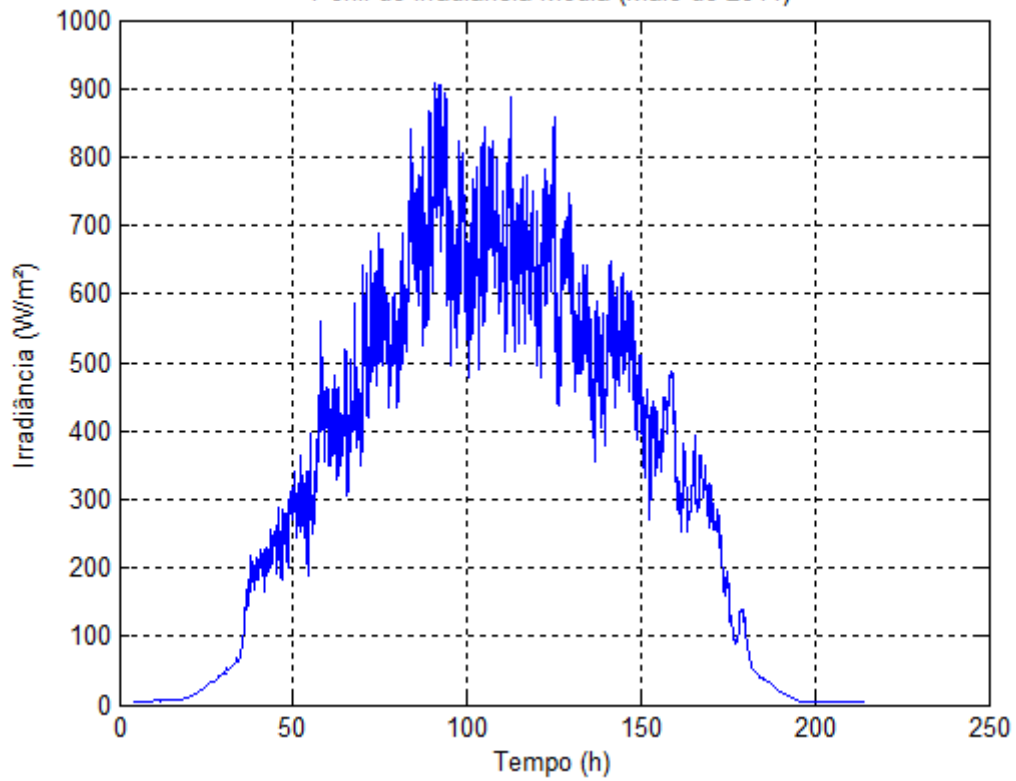
Perfil de Irradiância Média (Abril de 2014)



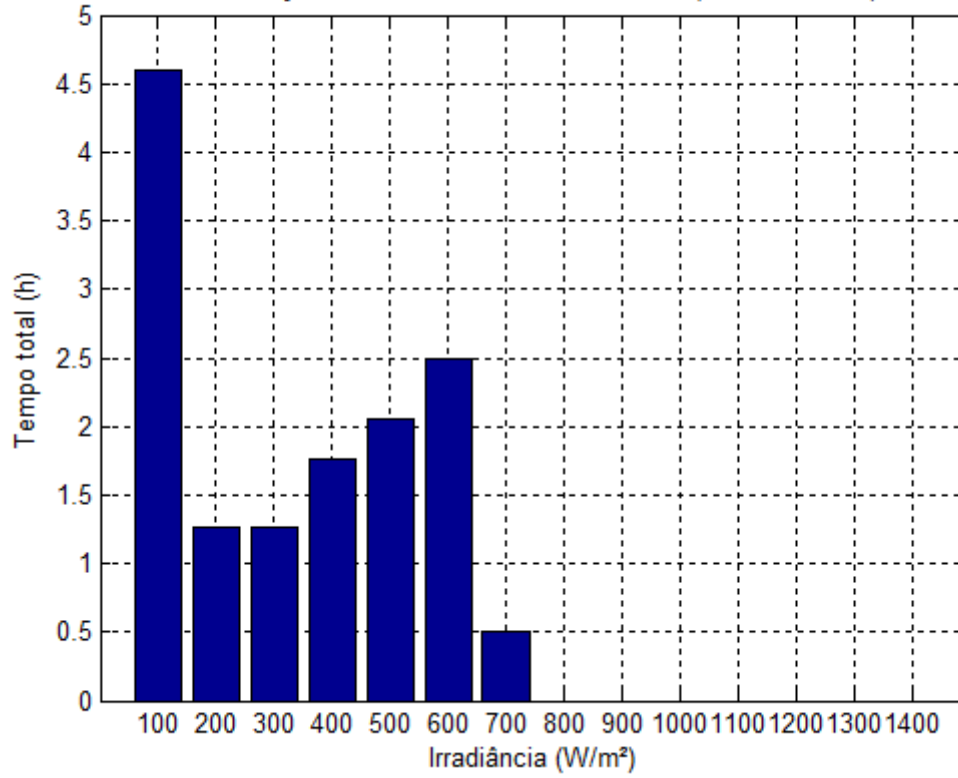
Distribuição das horas de Irradiância Média (Maio de 2014)



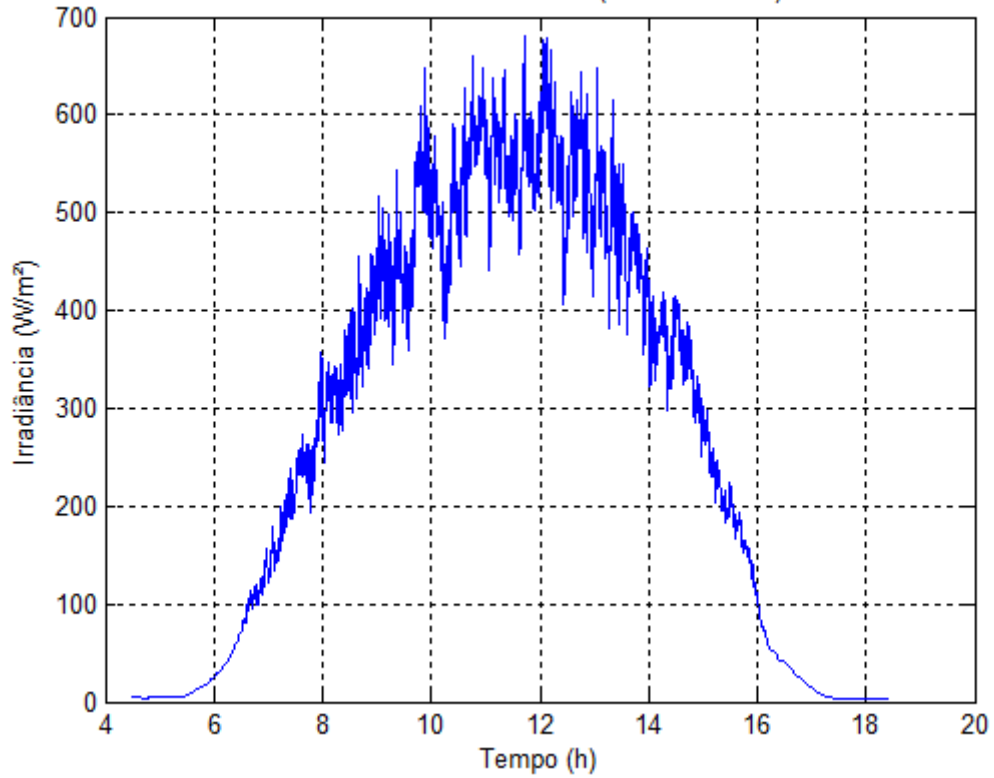
Perfil de Irradiância Média (Maio de 2014)



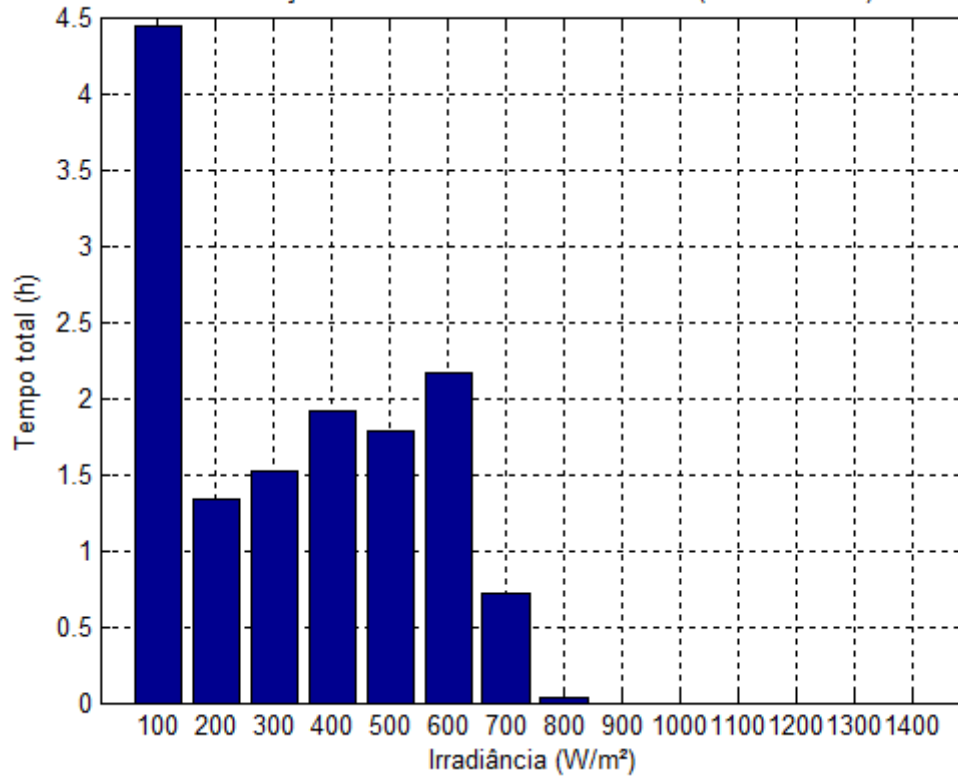
Distribuição das horas de Irradiância Média (Junho de 2014)



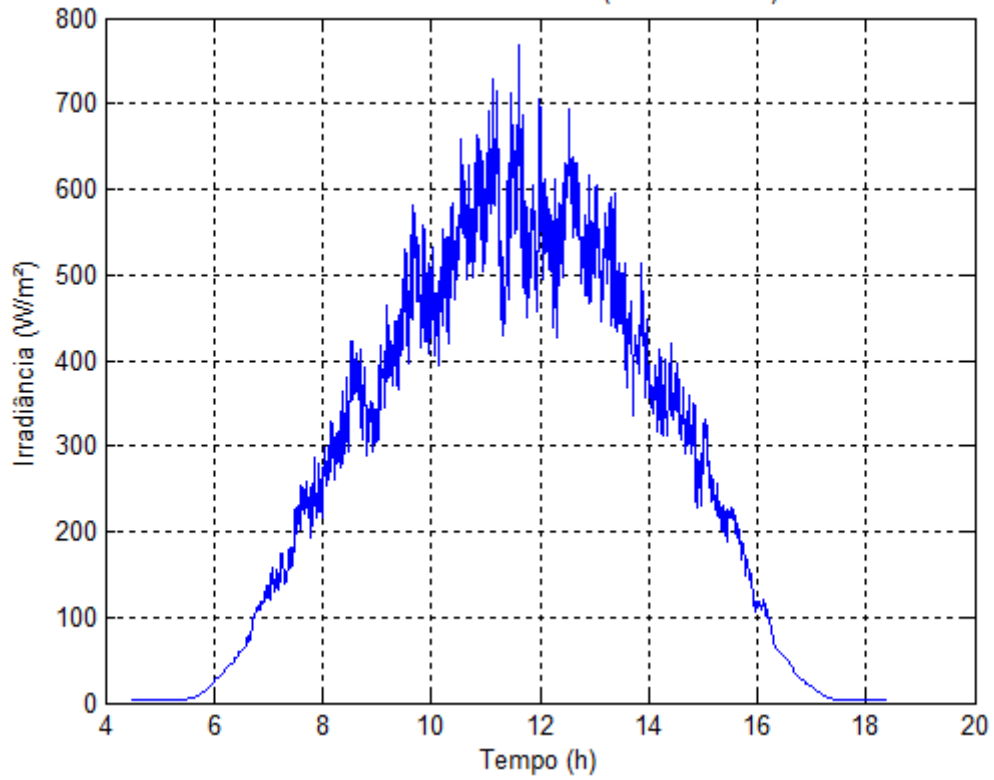
Perfil de Irradiância Média (Junho de 2014)



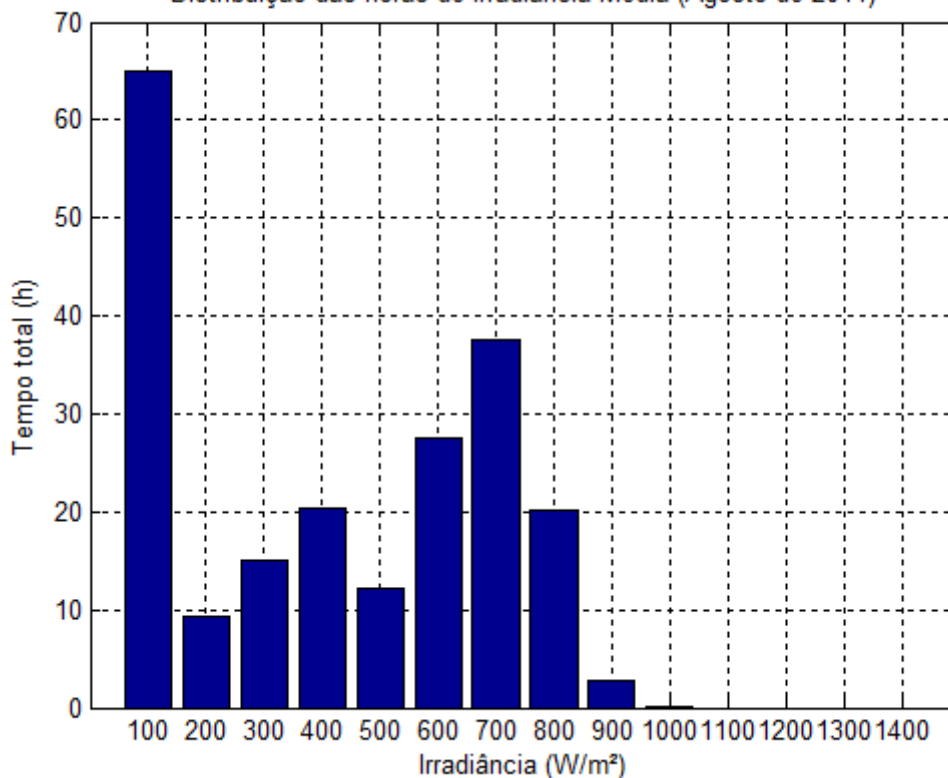
Distribuição das horas de Irradiância Média (Julho de 2014)



Perfil de Irradiância Média (Julho de 2014)



Distribuição das horas de Irradiância Média (Agosto de 2014)



Perfil de Irradiância Média (Agosto de 2014)

