UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

VAZÃO DE UMA MOTOBOMBA ACIONADA POR PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

PAULO TAKASHI OYAMA

CASCAVEL – Paraná - Brasil Junho – 2008

PAULO TAKASHI OYAMA

VAZÃO DE UMA MOTOBOMBA ACIONADA POR PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia de Sistemas Agroindustriais

Orientador: Prof. Dr. Reinaldo Prandini Ricieri

CASCAVEL – Paraná – Brasil

Junho – 2008.

PAULO TAKASHI OYAMA

VAZÃO DE UMA MOTOBOMBA ACIONADA POR PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Engenharia de Sistemas Agroindustriais, aprovado pela seguinte banca examinadora:

> Orientador: Prof.Dr. Reinaldo Prandini Ricieri Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

> > Prof.Dr. Rubens Siqueira Instituto Agronômico do Paraná – IAPAR, Londrina - PR

Prof.Dr. Antonio Gabriel Filho Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Prof.Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Prof.Dr. Suedêmio de Lima Silva Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Cascavel, 27 de junho de 2008.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho:

A Nilva Zuffo Oyama, minha amada esposa, amiga e companheira;

> ao Paulo Victor Zuffo Oyama, meu filho, amigo e companheiro;

e aos meus pais, Sadao e Tomi Oyama, pelo exemplo de vida (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Agradeço:

A Deus, pela nossa existência.

À minha família, pela compreensão e apoio nos momentos difíceis no decorrer do curso.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, por oportunizar o curso de mestrado.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, pela disponibilização do espaço físico e dos equipamentos para realização do experimento.

Ao Professor Dr. Reinaldo Prandini Ricieri, pela orientação e amizade no decorrer do curso.

Aos membros da banca examinadora, pelas valiosas contribuições para o trabalho.

Ao professor Dr. Suedêmio de Lima Silva, pelo auxílio na análise de dados e na confecção de equipamento.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UNIOESTE.

Aos colegas e amigos professores Dr. José Airton de Azevedo Santos, M.S^c Amarildo Rebelo Geittens, M.S^c Antonio Aprígio, M.S^c. Eduardo Obadowski Ledur, M.S^c. Estor Gnoatto, M.S^c Edward Kavanagh e M.S^c Juracy José Lemos, pelas contribuições, apoio e amizade;

À minha amiga M.Sc. Maria Cristina Rodrigues Halmeman, pelo auxílio, apoio e, principalmente, pela amizade;

E a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para tornar realidade esta jornada.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS viii		
LISTA DE FIGURASx		
LISTAS DE SÍMBOLOS E SIGLAS xiii		
RESUMO		xv
ABSTRACT		xvi
1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1	Energia no Brasil	3
2.2	Energia Solar	4
2.3	Energia Elétrica Fotovoltaica	6
2.4	Componentes Básicos de um Sistema Fotovoltaico	9
2.5	Configurações Básicas de um Sistema Fotovoltaico	9
2.5.1	Sistema Fotovoltaico Genérico	9
2.5.2	Sistema Fotovoltaico Autônomo	10
2.5.3	Gerador Fotovoltaico Conectado à Rede	10
2.6	Motobomba Acionada por Energia Solar	11
3	MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1	Localização	14
3.2	Materiais Utilizados	14
3.3	Configuração do Experimento	15
3.4	Conjunto Fotovoltaico	16
3.5	Aquisição de Dados	17
3.6	Corrente e Tensão nos Terminais da Motobomba	18
3.7	Pressão Manométrica na Motobomba	19
3.8	Transdutor de Vazão	19
3.9	Piranômetros	20
3.10	Temperatura dos Painéis Fotovoltaicos	21
3.11	Determinação da Potência e da Eficiência Hidráulica	21
3.12	Cronograma do Experimento	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26

4.1	Estudo dos Dados Coletados no Recalque de Água de uma
	Motobomba Acionada por Painéis Fotovoltaicos26
4.1.1	Altura de Recalque de 2,20 metros26
4.1.2	Altura de Recalque de 4,20 metros29
4.1.3	Altura de Recalque de 6,20 metros
4.1.4	Altura de Recalque de 8,20 metros
4.1.5	Altura de Recalque de 10,20 metros
4.1.6	Altura de Recalque de 12,20 metros43
4.1.7	Altura de Recalque de 14,20 metros46
4.1.8	Altura de Recalque de 16,20 metros49
4.1.9	Altura de Recalque de 18,20 metros52
4.1.10	Análise dos Gráficos da Irradiância Solar, Temperatura, Vazão e
	Eficiência do Sistema de Recalque de Água56
4.1.11	Análise da Estabilização da Irradiância Solar nos Gráficos da
	Vazão56
4.2	Relação das Equações da Vazão em Função da Irradiância Solar
	no Plano dos Painéis57
4.2.1	Validação das Equações da Vazão em Relação à Irradiância Solar
	Incidente nos Painéis Fotovoltaicos59
4.3	Determinação da Equação da Vazão em Relação à Irradiância
	Solar Incidente nos Painéis Fotovoltaicos e à Altura Geométrica
	de Recalque60
4.3.1	Validação da Equação da Vazão em Relação à Irradiância Solar
	Incidente nos Painéis Fotovoltaicos e à Altura Geométrica de
	Recalque60
4.3.2	Utilização de Motobomba Acionada por Painéis Fotovoltaicos no
	Meio Rural61
4.4	Determinação do Gráfico da Irradiância Solar Necessária para
	Acionamento da Motobomba62
4.5	Relação entre o Volume Medido no Transdutor de Vazão e o
	Volume Calculado pelo Potencial Hidráulico63
4.6	Relação entre a Eficiência do Sistema de Motobomba e a Altura
	Geométrica de Recalque de Água65

4.7	Relação entre a Potência Hidráulica do Sistema de Bombeament	
	e a Altura Geométrica de Recalque da Água6	
4.8	Relação entre a Vazão Média da Motobomba em Relação à Altur	
	Geométrica de Recalque de Água6	
5	CONCLUSÕES	
REFERÊNCIAS		

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Comparação entre sistemas de bombeamento de água12
Tabela 2 -	Relação dos períodos de coletas nomeados25
Tabela 3 -	Relação dos intervalos de dias nos quais foram coletados os
	dados25
Tabela 4 -	Valores médios obtidos na coleta de dados nos períodos 1
	(15/09 a 21/09/2007 e 2 (01/12 a 07/12/2007)28
Tabela 5 -	Equações da vazão da motobomba em função da irradiância
	solar no plano dos painéis, para 2,20 metros de recalque28
Tabela 6 -	Valores médios obtidos na coleta de dados nos períodos 3
	(22/09 a 28/09/2007) e 4 (08/12 a 14/12/2007)31
Tabela 7 -	Equações da vazão da motobomba em função da irradiância
	solar no plano dos painéis, para 4,20 metros de recalque31
Tabela 8 -	Valores médios obtidos na coleta de dados nos períodos 5
	(29/09 a 05/10/2007) e 6 (15/12 a 22/12/2007)34
Tabela 9 -	Equações da vazão da motobomba em função da irradiância
	solar no plano dos painéis, para 6,20 metros de recalque35
Tabela 10 -	Valores médios obtidos na coleta de dados nos períodos 7
	(13/10 a 19/10/2007) e 8 (22/12 a 26/12/2007)38
Tabela 11 -	Equações da vazão da motobomba em função da irradiância
	solar no plano dos painéis, para 8,20 metros de recalque38
Tabela 12 -	Valores médios obtidos na coleta de dados nos períodos 9
	(20/10 a 26/10/2007) e 10 (29/12 a 04/01/2008)41
Tabela 13 -	Equações da vazão da motobomba em função da irradiância
	solar no plano dos painéis, para 10,20 metros de recalque41
Tabela 14 -	Valores médios obtidos na coleta de dados nos períodos 11
	(27/10 a 02/11/2007) e 12 (05/01 a 11/01/2008)44
Tabela 15 -	Equações da vazão da motobomba em função da irradiância
	solar no plano dos painéis, para 12,20 metros de recalque45

- Tabela 16 Valores médios obtidos na coleta de dados nos períodos 13 (03/11 a 09/11/2007) e 14 (12/01 a 18/01/2008)......48
- Tabela 17 -Equações da vazão da motobomba em função da irradiânciasolar no plano dos painéis, para 14,20 metros de recalque......48
- Tabela 18 Valores médios obtidos na coleta de dados nos períodos 15 (01/11 a 16/11/2007) e 16 (19/01 a 25/01/2008)......51
- Tabela 19 -Equações da vazão da motobomba em função da irradiânciasolar no plano dos painéis, para 16,20 metros de recalque......51
- Tabela 20 Valores médios obtidos na coleta de dados nos períodos 17 (17/11 a 23/11/2007) e 18 (26/01 a 01/02/2008)......54
- Tabela 21 -Equações da vazão da motobomba em função da irradiânciasolar no plano dos painéis, para 18,20 metros de recalque......54

- Tabela 26 -Média percentual dos desvios da vazão da motobomba nos
períodos 19, 20 e 2161
- Tabela 27 -Valores do cálculo do desvio percentual do volume teóricorecalcado em relação ao volume real, no período 1964
- Tabela 28 -Valores do cálculo do desvio percentual do volume teóricorecalcado em relação ao volume real, no período 2064

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Oferta e consumo de energia no Brasil4	
Figura 2 -	Irradiação global, difusa e inclinada a 30 graus8	
Figura 3 -	Fluxograma do sistema de aquisição de dados16	
Figura 4 -	Conjunto fotovoltaico17	
Figura 5 -	Datalogger CR 23X da Campbel Scientific - INT	
Figura 6 -	Transdutor de pressão modelo HUBA-51019	
Figura 7 -	Transdutor de vazão20	
Figura 8 -	Piranômetro no plano dos painéis fotovoltaicos20	
Figura 9 -	Piranômetro no plano horizontal21	
Figura 10 -	Gráfico da corrente(A) em relação ao tempo23	
Figura 11 -	Gráfico da tensão (V) em relação ao tempo23	
Figura 12 -	Vazão da motobomba no período 1 (15/09 a 21/09/2007)26	
Figura 13 -	Vazão da motobomba no período 2 (01/12 a 07/12/2007)27	
Figura 14 -	Vazão da motobomba referente aos períodos 1 (15/09 a	
	21/09/2007) e 2 (01/12 a 07/12/2007)27	
Figura 15 -	Gráfico da irradiância solar, temperatura, vazão real e eficiência	
	dos períodos 1 e 229	
Figura 16 -	Vazão da motobomba referente ao período 3 (22/09 a	
	28/09/2007)	
Figura 17 -	Vazão da motobomba referente ao período 4 (8/12 a	
	14/12/2007)	
Figura 18 -	Vazão da motobomba referente aos períodos 3 (22/09 a	
	28/09/2007) e 4 (08/12 a 14/12/2007)	
Figura 19 -	Gráfico da irradiância solar, temperatura, vazão e eficiência dos	
	períodos 3 e 432	
Figura 20 -	Vazão da motobomba no período 5 (29/09 a 05/10/2007)33	
Figura 21 -	Vazão da motobomba no período 6 (15/12 a 21/12/2007)33	
Figura 22 -	Vazão da motobomba nos períodos 5 (29/09 a 05/10/2007) e 6	
	(15/12 a 218/12/2007)	

Figura 23 -	Gráfico da irradiância solar, temperatura, vazão e eficiência dos
	períodos 5 e 6
Figura 24 -	Vazão da motobomba no período 7 (13/10 a 19/10/2007)36
Figura 25 -	Vazão da motobomba no período 8 (22/12 a 28/12/2007)37
Figura 26 -	Vazão da motobomba nos períodos 7 (13/10 a 19/10/2007) e 8
	(22/12 a 28/12/2007)
Figura 27 -	Gráfico da irradiância solar, temperatura, vazão e eficiência dos
	períodos 7 e 8
Figura 28 -	Vazão da motobomba no período 9 (20/10 a 26/10/2007)40
Figura 29 -	Vazão da motobomba no período 10 (29/12 a 04/01/2008)40
Figura 30 -	Vazão da motobomba nos períodos 9 (20/10 a 26/10/2007) e 10
	(29/12 a 04/01/2008)40
Figura 31 -	Gráfico da irradiância solar, temperatura, vazão e eficiência dos
	períodos 9 e 1042
Figura 32 -	Vazão da motobomba no período 11 (27/10 a 02/11/2007)43
Figura 33 -	Vazão da motobomba no período 12 (05/01 a 11/01/2008)43
Figura 34 -	Vazão da motobomba nos períodos 11 (27/10 a 02/11/2007) e
	12 (05/01 a 11/01/2008)44
Figura 35 -	Gráfico da irradiância solar, temperatura, vazão e eficiência dos
	períodos 11 e 1246
Figura 36 -	Vazão da motobomba no período 13 (03/11 a 09/11/2007)46
Figura 37 -	Vazão da motobomba no período 14 (12/01 a 18/01/2008)47
Figura 38 -	Vazão da motobomba nos períodos 13 (03/11 a 09/11/2007) e
	14 (12/01 a 18/01/200847
Figura 39 -	Gráfico da irradiância solar, temperatura, vazão e eficiência dos
	períodos 13 e 1449
Figura 40 -	Vazão da motobomba no período 15 (10/11 a 16/11/2007)50
Figura 41 -	Vazão da motobomba no período 16 (19/01 a 25/01/2008)50
Figura 42 -	Gráfico da vazão da motobomba nos períodos 15 e 1650
Figura 43 -	Gráfico da irradiância solar, temperatura, vazão e eficiência dos
	períodos 15 e 1652
Figura 44 -	Vazão da motobomba no período 17 (17/11 a 23/11/2007)53
Figura 45 -	Vazão da motobomba no período 18 (26/01 a 01/02/2008)53

Figura 46 -	Vazão da motobomba nos períodos 17 (17/11 a 23/11/2007) e
	18 (26/01 a 01/02/2008)53
Figura 47 -	Gráfico da irradiância solar, temperatura, vazão e eficiência dos
	períodos 17 e 1855
Figura 48 -	Gráfico da corrente da motobomba em função da irradiância nos
	painéis57
Figura 49 -	Gráfico da irradiância solar necessária para acionamento da
	motobomba em função da altura manométrica de recalque da
	água63
Figura 50 -	Gráfico da eficiência do sistema de bombeamento em função da
	altura geométrica recalque da água65
Figura 51 -	Gráfico da potência hidráulica do sistema em função da altura
	geométrica de recalque66
Figura 52 -	Gráfico da vazão média da motobomba em função da altura
	geométrica de recalque67

LISTAS DE SÍMBOLOS E SIGLAS

μm	Micrômetro
⁰C	Graus Celsius
К	Kelvin
А	Ampere
AC	Corrente alternada
cm ²	Centímetro quadrado
Cor	Corrente
DC	Corrente contínua
Efic	Eficiência
EfS	Eficiência do sistema
Elét	Elétrica
func	Funcionamento
Н	Altura geométrica
i	Corrente
lr	Irradiância solar
irrad	Irradiância
kWh	Kilowatt hora
kWhm⁻²	Kilowatts hora por metro quadrado
L	Litro
L/min	Litros por minuto
m	Metro
mA	Mili ampère
med	Média
Motob	Motobomba
MW	Mega watts
Pot	Potência
PtHd	Potência hidráulica
Temp	Temperatura
TEP	Toneladas equivalentes de petróleo

UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
V	Volt
Vz	Vazão
W	Watt
Vz_{m}	Vazão média
W_{p}	Watt pico
Wm⁻²	Watts por metro quadrado

RESUMO

Nesse trabalho foi avaliado o comportamento de uma motobomba conectada a dois painéis fotovoltaicos, para determinar equações da vazão em relação à irradiância solar incidente nos painéis. Os dados foram coletados no período de 15 de setembro de 2007 a 1 de fevereiro de 2008, verificando-se para cada altura de recalque: ano, dia juliano, hora, temperatura dos painéis, tensão na motobomba, tensão nos painéis, irradiação solar no plano dos painéis, irradiação no plano horizontal, vazão na motobomba e pressão no transdutor. Foram obtidas as equações da vazão em função da irradiação solar no plano dos painéis fotovoltaicos para recalques de água com alturas entre 2,2 e 18,2 metros, a equação da vazão em função da irradiância solar e da altura de recalque e a equação da eficiência do sistema de recalque de água em relação à altura de recalque da água. Os resultados apontaram que para um sistema de bombeamento de água constituído por dois módulos fotovoltaicos e uma motobomba utilizados no experimento, a equação da vazão em função da irradiância solar e altura de recalque, permite, com uma margem de erro de 17%, calcular a vazão de água, tendo-se conhecimento de dados da irradiância solar média no período e a altura necessária de recalque de água, a eficiência do sistema de bombeamento aumentou linearmente, conforme o aumento da altura manométrica de recalque da água.

Palavras chave: eficiência, irradiância, recalque

ABSTRACT

OUTFLOW OF A MOTOR PUMP RUN BY PHOTOVOLTAIC PANELS

This project evaluated the performance of a motor pump connected to two photovoltaic panels in order to determinate the outflow equations in relation to the solar irradiance on the photovoltaic panels. All data were collected between September 15th, 2007 and February 1st, 2008. For each lift height, it was verified: year, julian day, hour, panels temperature, motor pump voltage, panels' voltage, solar irradiance at the panels plane, irradiance at the horizontal plane, motor pump outflow and pressure on the transducer. The outflow equations were obtained as a result of the solar irradiance on the photovoltaic panels plane for water lifts with heights between 2,2 and 18,2 meters, the equation varies according to the irradiance and the height of the lift and the efficiency equation of the water lift system in relation to the water height. The results pointed that for a water pumping system constituted by two photovoltaic modules and a motor pump used in this experiment, the outflow equation in relation to the solar irradiance and lift height, allows, with a margin of error of 17%, to calculate the water outflow, knowing the data of the average solar irradiance in the period and the needed height of the water lift, the efficiency of the water pumping system improved linearly according to the increase of the manometric height of the water lift.

Key words: efficiency, irradiance, water lift.

1 INTRODUÇÃO

A energia é um dos insumos básicos de importância fundamental para o desenvolvimento e a auto-suficiência econômica e social de uma nação. Para o meio rural, é de grande relevância, especialmente para valorização das atividades e elevação da renda de pequenos agricultores, agregando valores aos produtos das atividades agropecuárias e melhorando a qualidade da vida do homem do campo.

No Brasil, de acordo com MATOS (2006), em razão de sua vasta extensão territorial, a obtenção de energia elétrica apresenta um alto custo de transmissão, distribuição e manutenção, determinado pelas distâncias entre os locais de produção e às localidades de consumo. KAWAHARA (2004) afirma que a implantação de usinas hidrelétricas acarreta a inundação de terras cultiváveis, florestas, deslocamento de comunidades e g um grande custo social em atividades diversas que não justificam a construção da usina.

А demanda energética do planeta crescendo continua vertiginosamente. Porém, é preciso ponderar que a continuidade dos cenários energéticos atuais será, provavelmente, inviável, face à grande dificuldade em sobrepor os efeitos negativos associados ao progressivo aumento do uso de energias convencionais. Entre as opcões vislumbradas para o suprimento futuro, destaca-se a energia solar por ser abundante, previsível, não poluente e dispersa, o que possibilita a sua utilização em locais onde inexiste a concorrência com fontes convencionais. Isso porque, segundo a CRESESB (2007), o sol é uma fonte inesgotável de energia, correspondente a milhares de vezes a demanda mundial. Nessa perspectiva, é imprescindível a utilização desse enorme potencial por meio de sistemas de captação e conversão em outras formas de energia (térmica, elétrica, etc.).

O Brasil é um país de clima tipicamente tropical, com 92% do território localizado acima do trópico de Capricórnio, o que o torna privilegiado em relação à disponibilidade de energia solar. Assim, deduz-se que o país possui uma grande potencialidade relativa para o aproveitamento desse tipo de energia.

Para WATT (1996), dentre as aplicações que utilizam painéis fotovoltaicos, destaca-se o bombeamento de água para aplicação industrial e irrigação em diversas atividades agropecuárias, promovendo uma fonte de energia limpa, sustentável e não agressiva ao meio ambiente.

Considerando esse panorama energético, foi estabelecido como objetivo para este trabalho avaliar o desempenho de uma motobomba conectada a dois módulos fotovoltaicos e elaborar um modelo matemático da vazão de uma motobomba fotovoltaica em relação à altura geométrica de recalque e irradiância solar global incidente no plano dos módulos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Energia no Brasil

O crescimento do consumo de energia mais que triplicou após a Revolução Industrial. Estudos recentes mostram uma tendência de crescimento da demanda energética de 4% ao ano, em conseqüência da melhoria de qualidade de vida nos países em desenvolvimento. Essa taxa de crescimento significa uma duplicação a cada 17 anos (MARTINS (2007).

Segundo MATOS (2006), o Brasil, cuja extensão territorial situa-se em maior parte entre a linha do Equador e o Trópico de Capricórnio, tem a média de insolação para aproveitamento da luz solar de 5 a 6 horas diárias, irradiado com uma média superior a 2.000 kWh/m² ano. Estudos desse autor apontam uma grande vantagem para o aproveitamento dessa energia em pequenas localidades em que a instalação da rede de energia elétrica convencional é altamente dispendiosa, como acontece em propriedades rurais que se encontram distantes das referidas redes.

De acordo com PEREIRA, VRISMAN & GALVÁN (2007), o petróleo representa mais de 30% da matriz energética nacional e estimam que 40% da energia utilizada no setor agropecuário brasileiro seja produto da queima de combustíveis fósseis e 20% seja derivada da queima de lenha (biomassa). Dados da ANEEL (2005) alertam que, apesar da importância dessas fontes, a conjuntura atual do setor elétrico brasileiro – crescimento da demanda, escassez de oferta e restrições financeiras, socioeconômicas e ambientais à expansão do sistema – indica que o suprimento futuro de energia elétrica exigirá maior aproveitamento de fontes alternativas.

O fornecimento de energia não consegue atender plenamente aos requerimentos das populações rurais localizadas de forma dispersa e afastadas

das redes de distribuição. TRIGOSO (2004) afirma que o modelo do desenvolvimento socioeconômico implantado no mundo, ao longo do século XX, teve como característica marcante provocar o êxodo rural, pois era necessária a concentração da população nos grandes centros urbanos, para facilitar a disponibilização dos meios que auxiliares do desenvolvimento, como as indústrias, comunicações, escolas, hospitais e outros.

A oferta e o consumo de energia no Brasil, conforme dados do MME (2007), está distribuída de acordo com o que mostram os gráficos na Figura 1.



Figura 1 - Oferta e consumo de energia no Brasil.

Fonte: MME (2007).

2.2 Energia Solar

Segundo KRATZENBERGER (2007), a determinação da distribuição espacial e temporal da radiação solar incidente na superfície terrestre, na faixa de comprimento de onda do espectro solar, compreende o intervalo de 0,28 μ m a 3 μ m. Conforme os dados da CRESESB (2007), o sol fornece anualmente, para a atmosfera terrestre, 1,5 x 10¹⁸ kWh de energia, valor correspondente a 10.000 vezes o consumo mundial de energia neste período. Por essa

constatação, é possível vislumbrar um cenário em que a demanda energética seja utilizada por meio de sistemas de coleta e conversão em outras formas de energia, entre elas a térmica e a elétrica. Essa energia é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes energéticas que são alimentadas pela energia solar. Segundo PEREIRA (1997), a radiação solar é a fonte primária de todos os fenômenos atmosféricos e de processos físicos, químicos e biológicos observados em ecossistemas agrícolas e pode ser aproveitada de várias formas, tais como a captura pela biomassa, o aquecimento de ar e água para fins domésticos e industriais, fotoeletricidade para pequenos potenciais e fontes para ciclos termodinâmicos variados.

O aproveitamento da energia gerada pelo sol, inesgotável na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de calor quanto de luz, é uma das alternativas energéticas mais promissoras para se enfrentar os desafios deste milênio.

COLLE *et al.* (1998) e TIBA (2000) afirmam que o Brasil, por ser um país localizado na sua maior parte na região intertropical, possui grande potencial de energia solar durante todo ano. PEREIRA (1997) é categórico ao afirmar que a utilização da energia solar poderia trazer benefícios em longo prazo para o país, viabilizando o desenvolvimento de regiões remotas, onde o custo da eletrificação pela rede convencional é demasiadamente alto, em relação ao retorno financeiro do investimento, regulando a oferta de energia em situações de estiagem, diminuindo a dependência do mercado de petróleo e reduzindo as emissões de gases poluentes, como estabelece a Conferência de Kyoto.

Dados obtidos por GNOATTO (2003) atestam que, de acordo com os números oficiais do Ministério de Minas e Energia, no Brasil, existem 100.000 comunidades rurais sem acesso ao suprimento de eletricidade. SERPA (2001) informa que cerca de 26 milhões de pessoas não têm acesso à eletricidade, sendo as regiões mais críticas a Norte e a Nordeste. Em 1996, 60% das propriedades rurais, nas várias regiões do Brasil, ainda não eram atendidas por energia elétrica.

Muitas propriedades e comunidades rurais no Brasil, segundo KOLLING *et al.* (2007), devido à distância em relação às centrais de geração, não são atendidas com energia elétrica. Uma das formas de garantir o

suprimento de energia elétrica a essas propriedades ou comunidades rurais isoladas seria a implantação de sistemas energéticos baseados em fontes alternativas de energia. Dentre elas, a energia solar é uma das mais promissoras, pois pode ser utilizada no aquecimento de água, por meio dos coletores termossolares, e geração de eletricidade, por meio de painéis fotovoltaicos, para iluminação e bombeamento de água.

2.3 Energia Elétrica Fotovoltaica

A energia solar, segundo CABRAL *et al.* (2007), além de outras formas de conversão energética natural, pode ser transformada em energia elétrica, o que ocorre por meio de células fotovoltaicas, constituídas por semicondutores. Dados levantados por Krenzinhger *et al.* (2002) citados por CABRAL *et al.* (2007) estimam que uma célula fornece pouca energia (cerca de 0,6 V e uma densidade de corrente de curto-circuito da ordem de 150 mA/cm²), quando exposta a uma radiação solar de 1 kW m⁻². Existem diversos tipos de células fotovoltaicas, tais como: silício monocristalino, silício policristalino e filmes finos, sendo as minerais as mais eficientes.

GREEN *et al.* (2000) afirmam que o efeito fotovoltaico decorre da excitação dos elétrons de alguns materiais, na presença da luz solar (ou formas apropriadas de energia). Entre os materiais mais usados para a conversão da radiação solar em energia elétrica, os quais são usualmente chamados de células solares ou fotovoltaicas, destaca-se o silício. A eficiência de conversão das células solares é medida pela proporção da radiação solar incidente na superfície da célula que é convertida em energia elétrica. As melhores células apresentam um índice de eficiência de 25%.

Um módulo fotovoltaico não é fonte linear de potência, depende da temperatura e do nível de radiação. RIFFEL (2005) relata que a temperatura faz com que a banda de energia do material semicondutor diminua, resultando em um acréscimo da fotocorrente gerada de, aproximadamente, 0,1%. Entretanto, a tensão de circuito aberto decresce a uma taxa de 0,3%,

resultando a diminuição da potência em um 1% a cada 2,7 ºK de elevação da temperatura.

Pelos estudos de MARINOSKI, SALAMONI & RÜTHER (2007), a tecnologia fotovoltaica é um caminho ideal para a geração de energia, por meio de uma fonte inesgotável e não poluente. É um método de produção de energia sustentável e não agressivo ao meio ambiente, trazendo benefícios tanto ambientais, quanto energéticos. Atualmente, existem várias tecnologias fotovoltaicas disponíveis no mercado

Para GNOATTO (2003), a sua maior preocupação foi com o posicionamento dos painéis em relação ao seu alinhamento com o norte geográfico. Outra preocupação foi com o ângulo necessário entre o painel e o plano horizontal em que ele estará apoiado. Foi preciso instalar o painel com um ângulo igual à latitude do local. Essa inclinação foi importante para que se obtivesse uma maior eficiência, devido à maior exposição à radiação solar no período de inverno, e para que fosse evitado o acúmulo de sujidade.

Segundo MAGALHÃES ROSA (2003), pode-se instalar os geradores com diferentes inclinações de modo a aumentar a geração no inverno, gerar o máximo de energia anual e, ainda, distribuir a geração durante o ano todo. Ainda, segundo este autor, quando se trabalha com a energia solar, no período de solstício de inverno, os melhores resultados são alcançados ao se trabalhar com o painel inclinado. Nesse período, com o sistema adaptado nessa posição, a geração de energia elétrica torna-se maior. A Figura 2 mostra que, quando o módulo fotovoltaico se encontra posicionado em plano inclinado, a incidência de irradiação global é maior que no plano horizontal.





Segundo SHAYANI, OLIVEIRA & CAMARGO (2006), em setembro de 2004 foi inaugurado o maior sistema fotovoltaico do mundo conectado à rede elétrica, com potência de 5 MW, composto por 33.500 módulos, situado próximo a Leipzig, na Alemanha, fornecendo energia para 1.800 residências. Já, em agosto de 2005, foi iniciada uma construção ainda maior, com potência de 10 MW, na Bavária, também na Alemanha.

No Brasil, segundo GNOATTO (2003), a eletrificação rural com sistemas fotovoltaicos teve seu início em escala significativa entre 1992 e 1994, pilotos desenvolvidos em cooperação com organismos em projetos estrangeiros, principalmente com a Alemanha (projeto Eldorado) e os Estados Unidos (DOE/NREL). COSTA (2000)afirma que 0 Programa de Desenvolvimento dos Estados e Municípios (PRODEEM), concebido e coordenado pelo Ministério de Minas e Energia, em 1994, visando atender às localidades isoladas não supridas pela rede elétrica convencional, para as quais o custo de extensão da rede é economicamente inviável, tem levado a energia elétrica às comunidades rurais não servidas por esse recurso, com fontes renováveis de energia.

2.4 Componentes Básicos de um Sistema Fotovoltaico

Os "módulos fotovoltaicos" são constituídos por um conjunto de células fotovoltaicas conectadas entre si, encapsuladas, formando uma unidade que as protege dos efeitos danosos de um longo tempo de exposição ao sol. Da mesma forma, um gerador fotovoltaico é um conjunto de módulos, conectados em série ou paralelos, até alcançar a tensão e a potência de pico necessárias ao abastecimento da carga instalada.

Segundo NOGUEIRA (2007), o que caracteriza todo sistema fotovoltaico são a própria carga e o módulo fotovoltaico que gerariam energia para consumos proporcionais à radiação solar, isto é, durante as horas do dia e especialmente em dias claros. Assim, é necessário dotar o conjunto de um sistema de armazenamento que permita liberar o consumo da geração.

2.5 Configurações Básicas de um Sistema Fotovoltaico

2.5.1 Sistema Fotovoltaico Genérico

Segundo ZUMARÁN (2000), um sistema fotovoltaico define-se como um conjunto de equipamentos que permite converter energia solar em energia elétrica. Os componentes que fazem parte desse sistema são:

- Gerador fotovoltaico transforma energia solar em elétrica.
- Gerador auxiliar
 – complementa o gerador fotovoltaico nos momentos de insuficiência de irradiação solar (termoelétrico, diesel).
- Acumulador de energia armazena energia quando a demanda é menor que produção do gerador ou entrega energia quando é maior.
- Carga utiliza a energia elétrica produzida pelos geradores e que pode adotar várias formas: equipamentos DC como lâmpadas de iluminação, rádios, entre outros; equipamentos AC como

liquidificador, televisão e outros eletrodomésticos, e, também, a própria rede de distribuição elétrica convencional.

 Um conjunto de equipamentos que atua como interface entre todos os definidos acima e que exerce as funções de proteção e controle. De maneira geral, agrupam-se sob o nome de condicionamento de potência.

2.5.2 Sistema Fotovoltaico Autônomo

Com os altos custos da geração de energia no meio rural, comparativamente aos sistemas convencionais das áreas urbanas, o sistema fotovoltaico autônomo é uma alternativa que pode se tornar mais econômica e sustentável do que aquelas baseadas em pequenas unidades de geração termoelétrica que precisam de transporte de combustível. Segundo GNOATTO (2003), sistemas autônomos, não conectados à rede elétrica, podem ou não apresentar fontes de energia complementares à geração fotovoltaica. Quando a configuração não se restringe somente à geração fotovoltaica, têm-se os sistemas híbridos. Se o sistema é puramente fotovoltaico, então ele é chamado de sistema isolado (*stand alone*).

2.5.3 Gerador Fotovoltaico Conectado à Rede

O sistema de gerador fotovoltaico conectado à rede é muito utilizado em países industrializados como Alemanha, Espanha, Japão, USA, com intuito de incrementar a participação de tecnologias de geração de eletricidade que sejam não poluidoras do meio ambiente. Um esquema simples desse sistema apresenta dois equipamentos básicos: gerador fotovoltaico e inversor DC/AC, que se encarrega de transformar em AC a eletricidade DC produzida no gerador fotovoltaico.

2.6 Motobomba Acionada por Energia Solar

Em algumas regiões do Brasil, para os habitantes de pequenas comunidades, este recurso é escasso ou de difícil acesso. Pelas afirmações de MELO (2004), no Nordeste, habitantes de algumas pequenas vilas rurais, ainda fazem uso do esforço humano ou animal para extrair e transportar água de sua fonte até os locais de utilização, tanto para a agricultura como para o consumo humano.

FEDRIZZI, SAUER & NODA (2007) alertam sobre a necessidade de solucionar um dos mais sérios problemas de um grande contingente de desfavorecidos que vivem, de alguma forma, isolados e sem acesso à energia elétrica. Essa carência energética atinge a saúde dessas pessoas, pela dificuldade de acesso à água para consumo em maior quantidade e, principalmente, de melhor qualidade.

No Brasil, para os locais distantes das redes de distribuição convencional de energia elétrica, há uma infinidade de pequenos projetos nacionais de geração fotovoltaica de energia, principalmente em comunidades rurais no Norte e Nordeste. Dados da ANEEL (2005) apresentam esses projetos, que atuam basicamente com quatro tipos de sistemas: i) bombeamento de água, para abastecimento doméstico, irrigação e piscicultura; ii) iluminação pública; iii) sistemas de uso coletivo, tais como eletrificação de escolas, postos de saúde e centros comunitários, e; iv) atendimento domiciliar.

Na Tabela 1 são apresentadas as características de três opções de bombeamento de água.

TIPO DE BOMBA	PRINCIPAIS VANTAGENS	DESVANTAGENS
Bomba manual	 Baixo custo Fácil manutenção Não necessita de combustível 	 Manutenção freqüente Baixo fluxo de água Demanda de tempo e energia que se poderia usar com mais produtividade em outras atividades
Bomba solar (acionada por gerador fotovoltaico	 Pouca manutenção Não necessita combustível Fácil de instalar Confiável Grande durabilidade Funciona sem supervisão Sistema modular, fácil de se adaptar às demandas Bom casamento entre o perfil temporal do recurso energético e a demanda de água O gerador fotovoltaico não possui partes móveis, o que facilita sua instalação e manutenção 	 Investimento inicial elevado Menor produção em climas com baixa incidência solar Os inversores e as bombas produzidas por diferentes fabricantes não são intercambiáveis A potência dos equipamentos não supera 4 kW, apesar de que muitas aplicações exigem potências bem maiores Trata-se de equipamentos importados, o que estabelece mais uma barreira entre o fabricante e o consumidor Alguns equipamentos têm características técnicas especiais, como por exemplo: motores de indução trifásicos que operam a tensão de 68 V São vendidas como um pacote tecnológico fechado
Bomba diesel	 Inversão de capital moderada Pode ser portátil Tecnologia bem conhecida Fácil de instalar 	 Manutenção inadequada reduz sua vida útil Combustível caro e abastecimento irregular Problema de ruído e poluição

 Tabela 1 Comparação entre sistemas de bombeamento de água

Fonte: MELO (2004).

Nas regiões não abastecidas por rede elétrica, as bombas manuais constituem uma das opções mais utilizadas, principalmente para o consumo humano e para atender a pequenas comunidades. O sistema de bombeamento de água a diesel, ainda que de menor porte, resulta num custo demasiadamente elevado para atender à demanda e corresponde, muitas vezes, a um custo incompatível com as possibilidades econômicas dessas comunidades. MELO (2004) argumenta que as bombas acionadas por módulos solares são úteis para a demanda mediana de água, em povoados de 100 a 1000 habitantes ou para atendimento de necessidades agrícolas moderadas.

MICHELS (2007) afirma que uma das saídas é o uso de sistemas fotovoltaicos para o bombeamento de água, pois além de constituir uma fonte

limpa, sem ruídos e sem peças móveis para a manutenção, possui uma característica única na relação natural entre a disponibilidade de energia solar e a demanda de água: esses sistemas, geralmente, não demandam baterias de acumuladores e a energia gerada nos painéis em corrente contínua é convertida de um inversor estático para corrente alternada que alimenta a bomba ou é utilizada diretamente em corrente contínua, solicitando, assim, uma bomba que funcione com essa corrente.

SILVA (2000) declara que, no caso específico do fornecimento de água às populações rurais, as energias renováveis de geração autônoma desempenham um papel muito importante e têm contribuído para o desenvolvimento social de muitas regiões isoladas em todo o mundo. Em casos como esse, o suprimento é importante para a produtividade rural, bem como, para as condições sanitárias do trabalhador rural.

Dados obtidos por MARKVART (1994) indicam que são conhecidas mais de 10.000 bombas solares operando no mundo, na época de sua pesquisa. A maior concentração dessas bombas encontra-se na Índia, onde mais de 500 sistemas foram instalados para suprimento de água nas aldeias.

Para DANKOFF (2007), não existem limites para o tamanho das bombas solares, porém, elas tendem a ser mais competitivas em pequenas instalações, em que o conjunto motor de combustão interna/bomba é menos econômico.

A aplicação do bombeamento de água via energia fotovoltaica teve utilização acelerada, devido à esperada redução de custo dos painéis solares fotovoltaicos. ROGER (1984) aponta que, na década de 60, o custo era de US\$ 400/W, aproximadamente, chegando ao valor de US\$ 20/W por volta de 1975, e US\$ 9,50/Wp em 1980. Uma pequena bomba elétrica móvel, acionada por painel fotovoltaico, poderá se tornar viável quando o preço de geração fotovoltaica estiver entre 4 a 5 US\$/W. Nessa linha de pesquisa, encontram-se também os dados obtidos por KOLLING *et al.* (2007). Segundo ele, na época da conclusão de sua pesquisa, o custo de geração fotovoltaica estava entre 8 e 10 US\$/W.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização

A presente pesquisa foi desenvolvida nas dependências da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *campus* de Medianeira, situada na Av. Brasil, 4232, Medianeira, estado do Paraná, onde, em 9 de novembro de 2004, foi instalado um painel com 10 módulos fotovoltaicos que tem servido de base para inúmeras pesquisas no campo da energia solar. O município está localizado com 25º17'43" latitude sul, 54º05'38" longitude oeste, altitude de 500,7 metros.

3.2 Materiais Utilizados

O sistema bombeamento de água a energia fotovoltaica foi montado fazendo-se uso dos seguintes equipamentos:

- Dois módulos solares do fabricante Solarex, modelo MSX 56, tensão padrão de 12V, corrente padrão de 3,35 A e potência de 56W;
- Uma motobomba, fabricante Shurflo Ltd, modelo 2088-732-244, tensão de 12 V;
- Um transdutor de pressão, modelo HUBA 510, faixa de medição 0 a 5 Bar, sinal de saída 4-20 mA, tensão de excitação 8 a 33 Vdc;
- Um micrologger Campbell Scientific-Inc modelo CD 23 X;
- Um medidor de vazão, fabricante LAO, tipo turbina, classe 0,1;
- Um transdutor de vazão aferido com precisão;

- Um termopar do tipo K (cromo-alumínio) aferido;
- Um microcomputador;
- Dois piranômetros Kipp & Zonen CM3;
- Um divisor de tensão;
- Uma resistência Shunt.

As citações de marcas comerciais neste trabalho não implicam a recomendação do produto, mas somente a identificação dos equipamentos utilizados no experimento.

3.3 Configuração do Experimento

O presente experimento avaliou, durante o período de cinco meses, uma motobomba alimentada por dois painéis fotovoltaicos, com finalidade de elaborar um modelo matemático da vazão e da eficiência da motobomba, em relação à irradiação solar incidente nos painéis fotovoltaicos.

Uma motobomba, fabricante Shurflo Ltd, modelo 2088-732, com funcionamento de tensão próxima de 12 Vdc, alimentada por dois painéis, bombeou água a alturas escalonadas de 2 em 2 metros, até atingir a altura máxima de 18,2 metros.

Na Figura 3 é mostrado o fluxograma do sistema de aquisição de dados.



Figura 3 - Fluxograma do sistema de aquisição de dados.

3.4 Conjunto Fotovoltaico

Para o experimento foram utilizados dois módulos em paralelo dos painéis fotovoltaicos instalados no telhado do bloco J1 da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Na Figura 4, são apresentados os painéis fotovoltaicos, dos quais, dois foram utilizados para compor o sistema fotovoltaico montado.



Figura 4 - Conjunto fotovoltaico.

A energia captada pelo sistema fotovoltaico foi utilizada para acionamento de uma motobomba, objeto de estudo deste projeto. Para se obter os dados para avaliação de eficiência, em condições reais de funcionamento, foi necessária a instalação de equipamentos para a aquisição e armazenamento de dados para posterior avaliação.

3.5 Aquisição de Dados

O sistema de aquisição de dados foi formado por um "micrologger" da CAMPBELL SCIENTIFIC-INC modelo CD23X, programado para realizar uma leitura a cada 5 segundos de cada canal e armazenar a média aritmética de cinco minutos dos dados das componentes de radiação solar direta, global no plano horizontal e global na incidência do painel; temperatura de operação do painel; tensão e corrente do sistema fotovoltaico, pressão na bomba de água e vazão de água para diversas alturas manométricas de recalque.

O programa utilizado para a aquisição de dados foi o *PC208W 3.2*, que acompanha o *datalogger*. Para a análise e avaliação dos dados, foram utilizados s*oftwares* estatísticos.

O dado de temperatura foi obtido por termopar do tipo K, instalado na parte de trás do painel fotovoltaico (medida de temperatura do painel).

A partir dessa coleta, obtiveram-se as seguintes informações:

- Tensão e corrente nos terminais da motobomba;
- Pressão manométrica proporcionada pela bomba;
- Vazão de água proporcionada pela motobomba;
- Temperatura nos painéis fotovoltaicos;
- Tensão gerada pelos painéis;
- Irradiação solar global incidente no plano dos painéis fotovoltaicos;
- Irradiação solar global incidente no plano horizontal.

Na Figura 5 é mostrado o sistema de armazenamento de dados, constituídos por um Datalogger CR23X da Campbel Scientific-INT.



Figura 5 - Datalogger CR 23X da Campbel Scientific - INT.

3.6 Corrente e Tensão nos Terminais da Motobomba

A tensão máxima admitida pelo micrologger é 5,0 V, fazendo uso de um divisor de tensão conectado ao aparelho e um resistor Shunt, obtém-se os valores de tensão e corrente nos painéis fotovoltaicos, destinados a serem armazenados no microcomputador.

3.7 Pressão Manométrica na Motobomba

Um transdutor modelo HUBA-510, faixa de medição 0 a 5 Bar, sinal de saída 4-20 mA, Tensão de excitação 8 a 33 Vdc; instalado ao nível da bomba forneceu dados manométricos do sistema em condições de funcionamento. Na Figura 6 é mostrado o equipamento instalado.



Figura 6 - Transdutor de pressão modelo HUBA-510.

3.8 Transdutor de Vazão

O transdutor de vazão (Figura 7), construído com a adaptação de um *encoder* com oito furos, um emissor-receptor conectados a um hidrômetro para medição da vazão proporcional ao número de impulsos. O aparelho foi aferido com passagem de quantidades conhecidas de líquido para determinação do fator multiplicativo para obtenção do valor de vazão.


Figura 7 - Transdutor de vazão.

3.9 Piranômetros

Um piranômetro, marca KIPP & ZONEN CM3 (Figura 8), foi fixado no plano dos painéis fotovoltaicos com finalidade de captar raios solares incidentes nesse plano.



Figura 8 - Piranômetro no plano dos painéis fotovoltaicos.

Na Figura 9, mostra-se um piranômetro da marca KIPP & ZONEN CM3, que foi instalado na base horizontal com a finalidade de captar os raios solares no plano horizontal.



Figura 9 - Piranômetro no plano horizontal.

3.10 Temperatura dos Painéis Fotovoltaicos

O termopar do tipo K, para coleta da temperatura do painel fotovoltaico, foi aferido e instalado na parte posterior de um dos painéis fotovoltaicos.

Todos esses equipamentos foram ligados a um *datalogger*, conforme Figura 5, no qual ocorreu a aquisição e a armazenagem de dados. O computador teve a finalidade de processar e analisar os dados coletados.

3.11 Determinação da Potência e da Eficiência Hidráulica

ROYAL (2005) informa que se define a eficiência hidráulica como o quociente entre a potência hidráulica e a potência elétrica, conforme a equação:

$$\eta = \frac{Ph}{Pe}$$

Em que:

Ph = potência hidráulica fornecida pela bomba (W);

Pe = potência elétrica consumida pela bomba (W).

Vários são os fatores que determinam a eficiência de um sistema fotovoltaico. De acordo com OVERSTRAETEN & MERTENS (1996) e TREBLE (1980), o calor influencia decisivamente o seu desempenho e o rendimento do painel depende da irradiância solar, da temperatura, da tensão e da sujidade do painel. PALZ (1995) afirma que o aumento da irradiação aumenta a temperatura da célula e, conseqüentemente, diminui a eficiência do módulo, pois o aumento da temperatura acarreta uma significativa diminuição da tensão e, em contrapartida, a corrente elétrica sofre uma elevação mais discreta. MICHELS (2007) afirma que a cada aumento de 2,7 °C nos painéis fotovoltaicos provoca um decréscimo de 0,3% na tensão de circuito aberto, fazendo que a potência diminua em 1%.

Conforme KAWAHARA (2003), a potência hidráulica é proporcional ao produto da vazão pela altura manométrica, conforme equação:

 $Ph = 0,1634 \cdot Q \cdot H$

Em que:

Ph = potência hidráulica (W);

Q = vazão (l.min⁻¹);

H = altura geométrica (m).

Para demonstrar a eficiência da motobomba acionada por sistema fotovoltaico, utilizada no presente experimento, pode-se reportar aos resultados obtidos por MICHELS (2007). O pesquisador em questão utilizou, no seu experimento, uma motobomba, fabricante SolarJack, modelo SDS-D-228, tensão de 30 V com potência máxima de 50 W, e obteve os gráficos das figuras 10 e 11 da corrente e tensão em função do tempo em horas.



Figura 10 - Gráfico da corrente(A) em relação ao tempo. Fonte: MICHELS (2007).



Figura 11 - Gráfico da tensão (V) em relação ao tempo.

Fonte: MICHELS (2007).

Analisando-se os gráficos acima, é possível notar que, naquele experimento, a corrente e a tensão tornaram-se estáveis para uma irradiância de 530 W/m². Dessa forma, diante da potência máxima de 50 W da motobomba, a tensão fornecida pelos painéis fotovoltaicos, aproximadamente, igual a 33 V, a corrente máxima solicitada de aproximadamente de 1,5 A, o que justifica a estabilização apresentada, corroborando as afirmações de GNOATTO (2003), em que a eficiência do sistema fotovoltaico para o ano de 2002 foi de 9%. Isso mostra que a energia disponibilizada pelos painéis fotovoltaicos excedeu às necessidades da motobomba.

3.12 Cronograma do Experimento

O experimento realizado consistiu em coletar e analisar os dados de uma motobomba em funcionamento e obedeceu a três fases distintas: a primeira fase no período de 06 de setembro a 23 de novembro de 2007, a segunda no período de 24 de novembro de 2007 a 01 de fevereiro de 2008 e a terceira no período de 08 de fevereiro a 04 de abril de 2008. A bomba permaneceu ligada ao sistema fotovoltaico ininterruptamente e, a cada período de sete dias, os registros que marcavam as alturas geométricas eram configurados de forma a aumentar a altura do recalque da água.

A coleta de dados do experimento ocorreu em um intervalo de tempo de oito meses, armazenando-se os dados a cada período semanal em nove situações diferentes com relação à altura geométrica de recalque de água, e imediatamente após, foram repetidas as mesmas situações, coletando-se os dados nas mesmas condições anteriores, repetindo as alturas em períodos igualmente semanais. O experimento todo gerou dezoito períodos de coleta e, relacionados na Tabela 2 nomeando cada período de tempo, e a Tabela 3 relacionando os tempos totais da primeira, segunda, e terceira fases, na qual foram coletados os dados para validação das equações levantadas por regressão no experimento.

No *datalogger* foram armazenados: ano, dia juliano, horário de funcionamento da motobomba, temperatura dos painéis, tensão nos painéis devido à irradiância solar incidente, tensão fornecida à motobomba pelos painéis, corrente fornecida à motobomba durante o funcionamento, irradiância solar incidente no plano dos painéis, irradiância solar no plano horizontal, a vazão da motobomba e o valor da pressão na coluna de água, fazendo-se uso de um transdutor.

Altura geométrica de recalque	Intervalo de tempo	Período nomeado
(m)		
2,2	15//9 a 21/09 de 2007	1
2,2	01/12 a 07/12 de 2007	2
4,2	22/09 a 28/09 de 2007	3
4,2	08/12 a 14/12 de 2007	4
6,2	29/09 a 05/10 de 2007	5
6,2	15/12 a 21/12 de 2007	6
8,2	13/10 a 19/10 de 2007	7
8,2	22/12 a 28/12 de 2007	8
10,2	20/10 a 26/10 de 2007	9
10,2	29/12 a 04/01 de 2008	10
12,2	27/10 a 02/11 de 2007	11
12,2	05/01 a 11/01 de 2008	12
14,2	03/11 a 09/11 de 2007	13
14,2	12/01 a 18/01 de 2008	14
16,2	10/11 a 16/11 de 2007	15
16,2	19/01 a 25/01 de 2008	16
18,2	17/11 a 23/11 de 2007	17
18,2	26/01 a 01/02 de 2008	18

Tabela 2 Relação dos períodos de coletas nomeados

 Tabela 3 Relação dos intervalos de dias nos quais foram coletados os dados

Altura geométrica de recalque (m)	Intervalo de tempo	Período nomeado
Geral(2,2 a 18,2)	15/09/07 a 23/11/07	19
Geral(2,2 a 18,2)	01/12/07 a 01/0208	20
<u>Geral(2,2 a 18,2)</u>	<u>08/02/08 a 04/04/08</u>	<u> </u>

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estudo dos Dados Coletados no Recalque de Água de uma Motobomba Acionada por Painéis Fotovoltaicos

Para compreender o desempenho da vazão da motobomba em função da irradiância solar incidente no plano dos painéis, foi realizado um estudo comparativo com base na análise e discussão de gráficos criados a partir dos dados coletados em todos os períodos, considerando a altura de recalque de água e o período em que a coleta foi feita.

4.1.1 Altura de Recalque de 2,20 metros

As figuras 12 e 13 representam os gráficos da vazão da motobomba em relação à irradiância solar no plano dos painéis para um recalque de 2,20 metros de altura a partir do nível do reservatório, nos períodos 1 e 2.



Figura 12 - Vazão da motobomba no período 1 (15/09 a 21/09/2007).



Figura 13 - Vazão da motobomba no período 2 (01/12 a 07/12/2007).

Na Figura 14, é mostrado o gráfico da vazão, em função da irradiância solar, correspondente aos períodos 1 e 2 para a altura de 2,20 metros.



Figura 14 - Vazão da motobomba referente aos períodos 1 (15/09 a 21/09/2007) e 2 (01/12 a 07/12/2007).

O comportamento da vazão da motobomba, em relação à irradiância solar no plano dos painéis em situações distintas, quanto à época de funcionamento, ainda que o período 2 tenha ocorrido três meses após o período 1, teve poucas alterações. A curva do gráfico da vazão, em relação à irradiância solar incidente nos painéis, nos períodos 1 e 2, estabilizou-se a uma média de 900 W/m².

Na Tabela 4, estão relacionadas as médias dos dados do sistema, armazenados nos períodos 1 e 2 e, na Tabela 5, as equações da vazão da motobomba em relação à irradiância solar no plano dos painéis fotovoltaicos, para uma altura de recalque de 2,20 metros a partir do nível do reservatório.

Dados coletados	Período 1	Período 2	Unid
Altura de recalque geométrico	2,20	2,20	m
Irradiância p/funcionamento da motobomba	267,70	214,80	W/m ²
Irradiância média no período	608,78	715,11	W/m ²
Tempo de funcionamento da motobomba	38,00	56,00	horas
Temperatura média dos painéis	44,32	51,10	°C
Tensão média dos painéis	18,22	17,83	V
Tensão média na motobomba	10,55	11,48	V
Corrente elétrica na motobomba	3,51	3,57	А
Potência média gerada p/painéis	67,15	63,56	W
Potência hidráulica da motobomba	3,51	3,50	W
Volume recalcado pela motobomba	20.964,31	32.720,74	Litros
Vazão média na motobomba	551,69	584,30	L/hora
Eficiência média do sistema	4,73	3,53	%

Tabela 4 -Valores médios obtidos na coleta de dados nos períodos 1 (15/09
a 21/09/2007 e 2 (01/12 a 07/12/2007)

Tabela 5 -Equações da vazão da motobomba em função da irradiância solar
no plano dos painéis, para 2,20 metros de recalque

Alt. de Recalc (m)	Equação da curva da vazão da motobomba em relação à irradiância no plano dos painéis	Coeficiente de correlação R ²	Período	Equação
2,2	Vz= -10,894 + 0,053 lr - 2,972.10 ⁻⁵ .lr ²	0,99	1	1
2,2	$Vz = -11,612 + 0,069 \text{ Ir} - 6,785.10^{-5} \text{ Ir}^2 + 2,281.10^{-8} \text{ Ir}^3$	0,97	2	2
2,2	Vz=-11,84645+0,06566 lr-5,93625.10 ⁻⁵ lr ² +1,77374.10 ⁻⁸ lr ³	0,96	1 e 2	3

A equação 1 corresponde ao gráfico da vazão em função da irradiância nos planos do painel da Figura 10, a equação 2 ao gráfico da Figura 11 e a equação 3, ao gráfico da Figura 12, que corresponde aos dados da vazão da motobomba em relação à irradiância no plano dos painéis dos períodos 1 e 2.

No período 1, a motobomba funcionou por 38 horas, recebendo uma irradiância mínima de 267,70 W/m², necessária para acionamento da motobomba, que estabilizou a 800 W/m². Recalcou um volume total de 20.964,31 litros medidos no transdutor de vazão, doravante chamado de volume real, e o volume calculado pelo potencial hidráulico, doravante chamado de volume teórico, soma total de 20.970,50 litros, com um desvio percentual de 0,03%. No período 2, a motobomba funcionou por 56 horas,

recebendo uma irradiância mínima de 214,80 W/m², necessária para acionamento da motobomba, que estabilizou a 800 W/m². Recalcou um volume real de 32.720,74 litros e o volume teórico de 32.736,62 litros, com um desvio percentual de 0,05%.

Na Figura 15, são mostradas as variações dos dados obtidos nos períodos 1 e 2, em relação à irradiância solar incidente nos painéis, temperatura dos painéis, vazão da motobomba e eficiência do sistema de bombeamento.



Figura 15 - Gráfico da irradiância solar, temperatura, vazão real e eficiência dos períodos 1 e 2.

No período 2, em média, incidiu 17,47% a mais de irradiância solar nos painéis fotovoltaicos e sua temperatura média foi 15,28% maior. A média da vazão da motobomba foi 5,91% maior e a eficiência foi 33,93% menor. A diferença de temperatura nos painéis foi de grande importância no diferencial da eficiência do sistema.

4.1.2 Altura de Recalque de 4,20 metros

As figuras 16 e 17 representam os gráficos da vazão, em relação à irradiância no plano dos painéis, para um recalque de 4,20 metros de altura, a partir do nível do reservatório, nos períodos 3 e 4.



Figura 16 - Vazão da motobomba referente ao período 3 (22/09 a 28/09/2007).



Figura 17 - Vazão da motobomba referente ao período 4 (8/12 a 14/12/2007).

Na Figura 18, é mostrado o gráfico da vazão, em função da irradiância solar correspondente aos períodos 3 e 4, para a altura de 4,20 metros.



Figura 18 - Vazão da motobomba referente aos períodos 3 (22/09 a 28/09/2007) e 4 (08/12 a 14/12/2007).

O gráfico da vazão da motobomba, em relação à irradiância solar incidente nos painéis nos períodos 3 e 4, mostrou um comportamento levemente diferenciado e a curva do gráfico, uma estabilização a 1.000 W/m².

Na Tabela 6, estão relacionadas as médias dos dados armazenados nos períodos 3 e 4 e, na Tabela 7, as equações da vazão em relação à irradiância solar incidente nos painéis fotovoltaicos.

Dados coletados	Período 3	Período 4	Unid
Altura de recalque geométrico	4,20	4,20	m
Irradiância p/funcionamento da motobomba	256,20	265.00	W/m ²
Irradiância média no período	658,01	703,93	W/m ²
Tempo de funcionamento da motobomba	42,67	54,50	horas
Temperatura média dos painéis	37,84	48,99	°C
Tensão média dos painéis	18,78	17,97	V
Tensão média na motobomba	9,78	11,01	V
Corrente elétrica na motobomba	3,86	3,74	А
Potência média gerada p/painéis	72,69	67,18	W
Potência hidráulica da motobomba	5,49	6,12	W
Volume recalcado pela motobomba	20.487,74	29.325,56	Litros
Vazão média na motobomba	480,19	538,08	L/hora
Eficiência média do sistema	7,01	6,16	%

Tabela 6 -Valores médios obtidos na coleta de dados nos períodos 3 (22/09
a 28/09/2007) e 4 (08/12 a 14/12/2007)

Tabela 7 -Equações da vazão da motobomba em função da irradiância solar
no plano dos painéis, para 4,20 metros de recalque

Alt. de Recalc (m)	Equação da curva da vazão da motobomba em relação à irradiância solar no plano dos painéis.	Coeficiente de correlação R ²	Período	Equação
4,2	Vz= -10,949 + 0,043 lr -1,959.10 ⁻⁵ lr ²	0,98	3	4
4,2	Vz= -15,417 + 0,075 lr -6,932.10 ⁻⁵ lr ² + 2,134.10 ⁻⁸ lr ³	0,97	4	5
4,2	Vz=-13,81397+0,06292 lr-5,02785.10 ⁻⁵ lr ² +1,32203.10 ⁻⁸ lr ³	0,95	3 e 4	6

A equação 4 corresponde ao gráfico da vazão da motobomba da Figura 14 e a equação 5 ao gráfico da Figura 15. A equação 6 corresponde ao gráfico da Figura 16, referente aos dados da vazão da motobomba em relação à irradiância solar no plano dos painéis dos períodos 3 e 4.

No período 3, a motobomba funcionou por 42,67 horas, recebendo uma irradiação mínima de 256,20 W/m², necessária para acionamento da

motobomba, que estabilizou a 800 W/m². Recalcou um volume real de 20.487,74 litros e o volume teórico de 20.498,34 litros, com um desvio percentual de 0,05%. No período 4, a motobomba funcionou por 54,50 horas, recebendo uma irradiância mínima de 265,00 W/m², necessária para acionamento da motobomba, que estabilizou a 800 W/m². Recalcou um volume real de 29.325,56 litros e o volume teórico de 29.339,43, com um desvio percentual de 0,05%

Na Figura 19, são mostradas as variações dos dados obtidos nos períodos 3 e 4, em relação à irradiância solar incidente nos painéis, temperatura dos painéis, vazão da motobomba e eficiência do sistema de bombeamento.



Figura 19 - Gráfico da irradiância solar, temperatura, vazão e eficiência dos períodos 3 e 4.

No período 4, houve uma majoração sobre o período 3 de 6,98% de irradiância solar média sobre a superfície dos painéis fotovoltaicos, e a temperatura média dos painéis foi 29,45% maior, a vazão média da motobomba foi 12,26% maior e a eficiência do sistema, 15,52% menor que o período 3. A diferença de temperatura nos painéis foi de grande importância para o diferencial da eficiência do sistema.

As figuras 20 e 21 representam os gráficos da vazão, em relação à irradiância solar no plano dos painéis, para um recalque de 6,2 metros de altura, a partir do nível do reservatório, nos períodos 5, 6.



Figura 20 - Vazão da motobomba no período 5 (29/09 a 05/10/2007).



Figura 21 - Vazão da motobomba no período 6 (15/12 a 21/12/2007).

Na Figura 22, é mostrado o gráfico da vazão em função da irradiância solar correspondente aos períodos 5 e 6, para a altura de 6,20 metros.



Figura 22 - Vazão da motobomba nos períodos 5 (29/09 a 05/10/2007) e 6 (15/12 a 218/12/2007).

O gráfico da vazão da motobomba, em relação à irradiância solar incidente nos painéis, nos períodos 5 e 6, mostrou um comportamento levemente diferenciado. A curva do gráfico da Figura 21 estabilizou-se a 900 W/m².

Na Tabela 8, estão relacionadas as médias dos dados armazenados nos períodos 5 e 6 e, na Tabela 9, as equações da vazão em relação à irradiância solar incidente nos painéis fotovoltaicos, para uma altura de recalque de 6,20 metros, a partir do nível do reservatório.

Dados coletados	Período 5	Período 6	Unid
Altura de recalque geométrico	6,20	6,20	m
Irradiância p/funcionamento da motobomba	356,60	305,80	W/m ²
Irradiância média no período	705,08	774,56	W/m ²
Tempo de funcionamento da motobomba	46,08	50,83	horas
Temperatura média dos painéis	47,59	50,53	°C
Tensão média dos painéis	18,15	18,00	V
Tensão média na motobomba	10,19	11,31	V
Corrente elétrica na motobomba	4,28	4,19	Α
Potência média gerada p/painéis	77,76	75,30	W
Potência hidráulica da motobomba	8,35	8,85	W
Volume recalcado pela motobomba	22.776,75	26.651,12	Litros
Vazão média na motobomba	478,55	524,29	L/hora
Eficiência média do sistema	10,29	11,32	%

Tabela 8 - Valores médios obtidos na coleta de dados nos períodos 5 (29/09 a 05/10/2007) e 6 (15/12 a 22/12/2007)

Alt. de Recalc (m)	Equação da curva da vazão da motobomba em relação à irradiância solar no plano dos painéis.	Coeficiente de correlação R ²	Período	Equação
6,2	Vz = -15,873 + 0,055 lr - 2,753.10 ⁻⁵ lr ²	0, 98	5	7
6,2	$Vz = -19,336 + 0,0812 \text{ Ir} - 7,319.10^{-5} \text{ Ir}^2 + 2,216.10^{-8} \text{ Ir}^3$	0, 96	6	8
6,2	Vz =-13,02128+0,04162 lr-8,00249.10 ⁻⁶ lr ² -9,16078.10 ⁻⁹ lr ³	0,96	5 e 6	9

Tabela 9 -	Equações da vazão da motobomba em função da irradiância solar
	no plano dos painéis, para 6,20 metros de recalque

A equação 7 corresponde ao gráfico da vazão da motobomba da Figura 18 e a equação 8 ao gráfico da Figura 19. A equação 9 corresponde ao gráfico da Figura 20, referente aos dados da vazão da motobomba e irradiância solar no plano dos painéis dos períodos 5 e 6.

No período 5, a motobomba funcionou por 46,08 horas, recebendo uma irradiação mínima de 356,60 W/m², necessária para acionamento da motobomba, que estabilizou a 850 W/m². Recalcou um volume real total de 22.776,70 litros e o volume teórico de 22.785,15 litros, com um desvio percentual de 0,04%. No período 6, a motobomba funcionou por 50,83 horas, recebendo uma irradiância solar mínima de 305,80 W/m², necessária para acionamento da motobomba, que estabilizou a 900 W/m². Recalcou um volume real de 26.651,10 litros e o volume teórico de 26.660,72 litros com um desvio percentual de 0,04%.

Na Figura 23, são mostradas as variações dos dados obtidos nos períodos 5 e 6, em relação à irradiância solar incidente nos painéis, temperatura dos painéis, vazão da motobomba e eficiência do sistema de bombeamento.



Figura 23 - Gráfico da irradiância solar, temperatura, vazão e eficiência dos períodos 5 e 6.

No período 6, houve uma majoração sobre o período 5 de 9,85% de irradiância solar média sobre a superfície dos painéis fotovoltaicos e a temperatura média dos painéis foi 9,64% maior, a vazão média foi 9,56% maior e a eficiência foi 9,95% maior que no período 5.

4.1.4 Altura de Recalque de 8,20 metros

As figuras 24 e 25 representam os gráficos da vazão, em relação à irradiância solar no plano dos painéis, para um recalque de 8,20 metros de altura, a partir do nível do reservatório, nos períodos 7 e 8.



Figura 24 - Vazão da motobomba no período 7 (13/10 a 19/10/2007).



Figura 25 - Vazão da motobomba no período 8 (22/12 a 28/12/2007).

Na Figura 26, é mostrado o gráfico da vazão em função da irradiância solar correspondente aos períodos 7 e 8, para a altura de 8,20 metros.



Figura 26 - Vazão da motobomba nos períodos 7 (13/10 a 19/10/2007) e 8 (22/12 a 28/12/2007).

O gráfico da vazão da motobomba em relação à irradiância solar incidente nos painéis nos períodos 7 e 8 mostrou um comportamento levemente diferenciado. A curva do gráfico, do período 7 e 8, estabilizou-se a 950 W/m².

Na Tabela 10 estão relacionadas as médias dos dados armazenados nos períodos 7 e 8 e, na Tabela 11, as equações da vazão em relação à irradiância solar incidente nos painéis fotovoltaicos, para uma altura de recalque de 8,20 m, a partir do nível do reservatório.

Dados coletados	Período 7	Período 8	Unid
Altura de recalque geométrico	8,20	8,20	m
Irradiância p/funcionamento da motobomba	401,10	359,80	W/m ²
Irradiância média no período	768,85	768,29	W/m ²
Tempo de funcionamento da motobomba	29,83	48,50	horas
Temperatura média dos painéis	44,39	50,13	°C
Tensão média dos painéis	18,46	18,02	V
Tensão média na motobomba	9,89	10,79	V
Corrente elétrica na motobomba	4,58	4,33	А
Potência média gerada p/painéis	84,51	78,04	W
Potência hidráulica da motobomba	9,62	10,67	W
Volume recalcado pela motobomba	12.847,37	23.170,36	Litros
Vazão média na motobomba	430,64	477,74	L/hora
Eficiência média do sistema	10,68	13,13	%

Tabela 10 - Valores médios obtidos na coleta de dados nos períodos 7 (13/10 a 19/10/2007) e 8 (22/12 a 26/12/2007)

 Tabela 11 Equações da vazão da motobomba em função da irradiância solar no plano dos painéis, para 8,20 metros de recalque

Alt. de Recalc (m)	Equação da curva da vazão da motobomba em relação à irradiância solar no plano dos painéis.	Coeficiente de correlação R ²	Período	Equação
8,2	$Vz = -18,989 + 0,065 \text{ Ir} - 4,731.10^{-5} \text{ Ir}^2 + 1,153.10^{-8} \text{ Ir}^3$ $Vz = 7.651 - 0.091 \text{ Ir} + 2.991.10^{-4} \text{ Ir}^2 - 3.147.10^{-7} \text{ Ir}^3 + 1.094.10^{-7}$	0, 98	7	10
8,2	¹⁰ lr ⁴	0, 96	8	11
8,2	Vz =-16,3902+0,05905 lr-4,0999.10 ⁻⁵ lr ² +8,66608.10 ⁻⁹ lr ³	0, 95	7 e 8	12

A equação 10 corresponde ao gráfico da vazão da motobomba da Figura 22 e a equação 11 ao gráfico da Figura 23. A equação 12 corresponde ao gráfico da Figura 24, referente aos dados da vazão da motobomba e irradiância solar no plano dos painéis dos períodos 7 e 8.

No período 7, a motobomba funcionou por 29,83 horas, recebendo uma irradiância solar mínima de 401,10 W/m², necessária para acionamento da motobomba, que estabilizou a 950 W/m². Recalcou um volume real total de 12.847,37 litros e o volume teórico de 12.852,84 litros, com um desvio percentual de 0,04%. No período 8, a motobomba funcionou por 48,50 horas, recebendo uma irradiância solar mínima de 359,80 W/m², necessária para acionamento da motobomba, que estabilizou a 900 W/m². Recalcou um volume real total de 23.170,36 litros e o volume teórico de 23.180,78, com um desvio percentual de 0,04%.

Na Figura 27 são mostradas as variações dos dados obtidos nos períodos 7 e 8, em relação à irradiância solar incidente nos painéis, temperatura dos painéis, vazão da motobomba e eficiência do sistema de bombeamento.



Figura 27 - Gráfico da irradiância solar, temperatura, vazão e eficiência dos períodos 7 e 8.

No período 8, houve a mesma incidência de irradiância solar e a temperatura média dos painéis foi 12,29% maior, a vazão média da motobomba 10,94% maior e a eficiência nesse período foi 22,95% maior que no período 7.

4.1.5 Altura de Recalque de 10,20 metros

As figuras 28 e 29 representam os gráficos da vazão, em relação à irradiância solar no plano dos painéis para um recalque de 10,20 metros de altura, a partir do nível do reservatório, nos períodos 9 e 10.



Figura 28 - Vazão da motobomba no período 9 (20/10 a 26/10/2007).



Figura 29 - Vazão da motobomba no período 10 (29/12 a 04/01/2008).

Na Figura 30, é mostrado o gráfico da vazão, em função da irradiância solar, correspondente aos períodos 9 e 10, para a altura de 10,20 metros.



Figura 30 - Vazão da motobomba nos períodos 9 (20/10 a 26/10/2007) e 10 (29/12 a 04/01/2008).

O gráfico da vazão da motobomba, em relação à irradiância solar incidente nos painéis, nos períodos 9 e 10, mostrou um comportamento levemente diferenciado. A curva do gráfico dos períodos 9 e 10 estabilizou-se a 1.000 W/m².

Na Tabela 12 são relacionadas as médias dos dados armazenados nos períodos 9 e 10 e, na Tabela 13, as equações da vazão em relação à irradiância solar incidente nos painéis fotovoltaicos, para uma altura de recalque de 10,20 metros, a partir do nível do reservatório.

Tabela 12 - Valores médios obtidos na coleta de dados nos períodos 9 (20/10 a 26/10/2007) e 10 (29/12 a 04/01/2008)

Dados coletados	Período 9	Período 10	Unid
Altura de recalque geométrico	10,20	10,20	m
Irradiância p/funcionamento da motobomba	447,70	403,10	W/m ²
Irradiância média no período	757,82	786,39	W/m ²
Tempo de funcionamento da motobomba	30,67	34,17	horas
Temperatura média dos painéis	45,62	51,14	°C
Tensão média dos painéis	18,35	17,97	V
Tensão média na motobomba	9,16	10,09	V
Corrente elétrica na motobomba	4,59	4,47	А
Potência média gerada p/painéis	84,19	80,21	W
Potência hidráulica da motobomba	10,84	11,94	W
Volume recalcado pela motobomba	11.966,74	14.689,37	Litros
Vazão média na motobomba	390,22	429,93	L/hora
Eficiência média do sistema	12,75	14,09	%

 Tabela 13 Equações da vazão da motobomba em função da irradiância solar no plano dos painéis, para 10,20 metros de recalque

Alt. de Recalc (m)	Equação da curva da vazão da motobomba em relação à irradiância solar no plano dos painéis.	Coeficiente de correlação R ²	Período	Equação
10,2	$Vz = -24,361 + 0,080 \text{ Ir} - 5,816.10^{-5} \text{ Ir}^{2} + 1,463.10^{-8} \text{ Ir}^{3}$	0, 98	9	13
10,2	$Vz = -22,752 + 0,080 \text{ Ir} - 6,355.10^{-5} \text{ Ir}^2 + 1,667.10^{-8} \text{ Ir}^3$	0, 96	10	14
10,2	$Vz = -21,18455+0,07032 \text{ Ir} -5,14533.10^{-5} \text{ Ir}^2+1,23313.10^{-8} \text{ Ir}^3$	0, 94	9 e 10	15

A equação 13 corresponde ao gráfico da vazão da motobomba da Figura 26 e a equação 14 ao gráfico da Figura 27. A equação 15 corresponde ao gráfico da Figura 28, referente aos dados da vazão da motobomba e irradiância no plano dos painéis dos períodos 9 e 10. No período 9, a motobomba funcionou por 30,67 horas, recebendo uma irradiância solar mínima de 447,70 W/m², necessária para acionamento da motobomba, que estabilizou a 950 W/m². Recalcou um volume real total de 11.966,74 litros e o volume teórico de 11.972,28 litros, com um desvio percentual de 0,05%. No período 10, a motobomba funcionou por 34,17 horas, recebendo uma irradiância solar mínima de 403,10 W/m², necessária para acionamento da motobomba, que estabilizou a 900 W/m². Recalcou um volume real de 14.689,37 litros e o volume teórico de 26.660,72 litros, com um desvio percentual de 0,04%

Na Figura 31 são mostradas as variações dos dados obtidos nos períodos 9 e 10, em relação à irradiância solar incidente nos painéis, temperatura dos painéis, vazão da motobomba e eficiência do sistema de bombeamento.



Figura 31 - Gráfico da irradiância solar, temperatura, vazão e eficiência dos períodos 9 e 10.

No período 10, incidiu 3,77% a mais de irradiância solar, a temperatura média dos painéis foi 12,10% maior, a vazão média da motobomba 10,18% maior e a eficiência, no período 10, foi 10,50% maior que no período 9.

O fator temperatura dos painéis teve grande importância na alteração da eficiência do sistema.

Nas figuras 32 e 33, são representados os gráficos da vazão em relação à irradiância solar no plano dos painéis para um recalque de 12,20 metros de altura a partir do nível do reservatório, nos períodos 11, 12.



Figura 32 - Vazão da motobomba no período 11 (27/10 a 02/11/2007).



Figura 33 - Vazão da motobomba no período 12 (05/01 a 11/01/2008).

Na Figura 34, é mostrado o gráfico da vazão, em função da irradiância solar, correspondente aos períodos 11 e 12, para a altura de 12,20 metros.



Figura 34 - Vazão da motobomba nos períodos 11 (27/10 a 02/11/2007) e 12 (05/01 a 11/01/2008).

O gráfico da vazão da motobomba, em relação à irradiância solar incidente nos painéis, nos períodos 11 e 12, mostrou um comportamento levemente diferenciado. A curva do gráfico dos períodos 11 e 12 estabilizou-se a 950 W/m².

Na Tabela 14, é relacionada a média dos dados armazenados nos períodos 11 e 12 e, na Tabela 15, as equações da vazão em relação à irradiância solar incidente nos painéis fotovoltaicos, para uma altura de 12,20 metros, a partir do nível do reservatório.

Tabela 14 -	Valores	médios	obtidos	na	coleta	de	dados	nos	períodos	11
	(27/10 a	02/11/20	007) e 12	(05	/01 a 1	1/01	/2008)		-	

Dados coletados	Período 11	Período 12	Unid
Altura de recalque geométrico	12,20	12,20	m
Irradiância p/funcionamento da motobomba	487,40	403,10	W/m ²
Irradiância média no período	824,78	840,11	W/m ²
Tempo de funcionamento da motobomba	29,25	39,51	horas
Temperatura média dos painéis	51,52	53,04	°C
Tensão média dos painéis	17,99	17,91	V
Tensão média na motobomba	10,07	10,92	V
Corrente elétrica na motobomba	4,97	4,72	Α
Potência média gerada p/painéis	89,40	84,45	W
Potência hidráulica da motobomba	14,59	15,57	W
Volume recalcado pela motobomba	12.851,73	18.505,57	Litros
Vazão média na motobomba	439,38	468,49	L/hora
Eficiência média do sistema	15,68	17,82	%

Alt. de Recalc (m)	Equação da curva da vazão da motobomba em relação à irradiância solar no plano dos painéis.	Coeficiente de correlação R ²	Período	Equação
12,2	$Vz = -24,855 + 0,066 \text{ Ir} - 3,159.10^{-5} \text{ Ir}^2$	0, 98	11	16
12,2 12,2	$Vz = -28,899 + 0,100 \text{ Ir} - 8,692.10^{-5} \text{ Ir}^2 + 2,545.10^{-8} \text{ Ir}^3$ $Vz = -22,41906+0,06895 \text{ Ir} - 4,48014.10^{-5} \text{ Ir}^2 \text{ Ir} + 8,01825.10^{-9}$	0, 94	12	17
	lr ³	0, 93	11 e 12	18

Tabela 15 - Equações da vazão da motobomba em função da irradiância solar no plano dos painéis, para 12,20 metros de recalque

A equação 16 corresponde ao gráfico da vazão da motobomba da Figura 30 e a equação 17 ao gráfico da Figura 31. A equação 18 corresponde ao gráfico da Figura 32, referente aos dados da vazão da motobomba e irradiância solar no plano dos painéis dos períodos 11 e 12.

No período 11, a motobomba funcionou por 29,25 horas, recebendo uma irradiância solar mínima de 487,40 W/m², necessária para acionamento da motobomba, que estabilizou a 950 W/m². Recalcou um volume real de 12.851,73 litros e o volume teórico de 12.856,89 litros, com um desvio percentual de 0,04%. No período 12, a motobomba funcionou por 39,51 horas, recebendo uma irradiância solar mínima de 403,10 W/m², necessária para acionamento da motobomba, que estabilizou a 900 W/m². Recalcou um volume real de 18.505,57 litros e o volume teórico de 18.514,78 litros, com um desvio percentual de 0,05%.

Na Figura 35, são mostradas as variações dos dados obtidos nos períodos 11 e 12, em relação à irradiância solar incidente nos painéis, temperatura dos painéis, vazão da motobomba e eficiência do sistema de bombeamento.



Figura 35 - Gráfico da irradiância solar, temperatura, vazão e eficiência dos períodos 11 e 12.

No período 12, houve uma majoração de 1,86% de irradiância solar média, a temperatura média dos painéis foi 2,97% maior, a vazão da motobomba foi 6.63% maior e a eficiência do sistema de motobomba foi 13,65% maior que no período 11.

4.1.7 Altura de Recalque de 14,20 metros

Nas figuras 36 e 37, são representados os gráficos da vazão, em relação à irradiância solar, no plano dos painéis para um recalque de 14,20 metros de altura, a partir do nível do reservatório, nos períodos 13 e 14.



Figura 36 - Vazão da motobomba no período 13 (03/11 a 09/11/2007).



Figura 37 - Vazão da motobomba no período 14 (12/01 a 18/01/2008).

Na Figura 38, é mostrado o gráfico da vazão, em função da irradiância solar, correspondente aos períodos 13 e 14, para a altura de 14,20 metros.



Figura 38 - Vazão da motobomba nos períodos 13 (03/11 a 09/11/2007) e 14 (12/01 a 18/01/2008.

O gráfico da vazão da motobomba, em relação à irradiância solar incidente nos painéis nos períodos 13 e 14, mostrou um comportamento levemente diferenciado. A curva do gráfico dos períodos 13 e 14 estabilizou-se a 1000 W/m².

Na Tabela 16, é relacionada a média dos dados armazenados nos períodos 13 e 14 e, na Tabela 17, as equações da vazão em relação à irradiância solar incidente nos painéis fotovoltaicos, para uma altura de 14,20 metros, a partir do nível do reservatório.

Dados coletados	Período 13	Período 14	Unid
Altura de recalque geométrico	14,20	14,20	m
Irradiância p/funcionamento da motobomba	540,20	454,60	W/m ²
Irradiância média no período	898,14	818,98	W/m ²
Tempo de funcionamento da motobomba	41,67	37,92	horas
Temperatura média dos painéis	49,27	49,88	°C
Tensão média dos painéis	18,30	18,10	V
Tensão média na motobomba	10,62	9,55	V
Corrente elétrica na motobomba	5,37	4,84	Α
Potência média gerada p/painéis	98,20	87,52	W
Potência hidráulica da motobomba	17,10	13,93	W
Volume recalcado pela motobomba	18.423,63	13.655,66	Litros
Vazão média na motobomba	442,16	360,15	L/hora
Eficiência média do sistema	16.68	14,88	%

Tabela 16 - Valores médios obtidos na coleta de dados nos períodos 13 (03/11 a 09/11/2007) e 14 (12/01 a 18/01/2008)

Tabela 17 Equações da vazão da motobomba em função da irradiância solar no plano dos painéis, para 14,20 metros de recalque

Alt. de Recalc (m)	Equação da curva da vazão da motobomba em relação à irradiância solar no plano dos painéis.	Coeficiente de correlação R ²	Período	Equação
14,2	Vz = -25,373 + 0,062 lr - 2,752.10 ⁻⁵ lr ²	0, 94	13	19
14,2	Vz =-22,765+0,068 lr-4,632.10 ⁻⁵ lr ² +1,008.10 ⁻⁸ lr ³	0, 95	14	20
14,2	Vz =-15,76616+0,03843 lr-9,64048.10 ⁻⁶ lr ² -4,02411.10 ⁻⁹ lr ³	0, 93	13 e 14	21

A equação 19 corresponde ao gráfico da vazão da motobomba da Figura 34 e a equação 20, ao gráfico da Figura 35. A equação 21 corresponde ao gráfico da Figura 36, referente aos dados da vazão da motobomba e irradiância solar no plano dos painéis dos períodos 13 e 14.

No período 13, a motobomba funcionou por 41,67 horas, recebendo uma irradiância solar mínima de 540,20 W/m², necessária para acionamento da motobomba, que estabilizou a 1100 W/m². Recalcou um volume real de 18.423,63 litros e o volume teórico de 18.431,09 litros, com um desvio percentual de 0,04%. No período 14, a motobomba funcionou por 37,92 horas, recebendo uma irradiância solar mínima de 454,60 W/m², necessária para acionamento da motobomba, que estabilizou a 1050 W/m², recalcou um volume real de 13.655,66 litros e o volume teórico de 13.660,91, com um desvio percentual de 0,04%.

Na Figura 39 são mostradas as variações dos dados obtidos nos períodos 13 e 14, em relação à irradiância solar incidente nos painéis, temperatura dos painéis, vazão da motobomba e eficiência do sistema de bombeamento.



Figura 39 - Gráfico da irradiância solar, temperatura, vazão e eficiência dos períodos 13 e 14.

No período 13, a irradiância solar incidente nos painéis foi 9,67% maior que no período 14 e as temperaturas médias dos painéis se mantiveram constantes, a eficiência, no período 13, foi 12,10% maior e a vazão média no período foi 22,77% maior que no período 14.

O fator que determinou a alteração da eficiência foi a irradiância solar nos planos dos painéis.

4.1.8 Altura de Recalque de 16,20 metros

As figuras 40 e 41 representam os gráficos da vazão, em relação à irradiância solar no plano dos painéis, para um recalque de 16,20 metros de altura, a partir do nível do reservatório, nos períodos 15, 16.



Figura 40 - Vazão da motobomba no período 15 (10/11 a 16/11/2007).



Figura 41 - Vazão da motobomba no período 16 (19/01 a 25/01/2008).

Na Figura 42 é mostrado o gráfico da vazão, em função da irradiância solar, correspondente aos períodos 15 e 16, para a altura de 16,20 metros.



Figura 42 - Gráfico da vazão da motobomba nos períodos 15 e 16.

O gráfico da vazão da motobomba, em relação à irradiância solar incidente nos painéis, nos períodos 15 e 16, mostrou um comportamento levemente diferenciado. A curva do gráfico dos períodos 15 e 16 estabilizou-se a 1.050 W/m².

Na Tabela 18, são relacionadas as médias dos dados armazenados nos períodos 15 e 16 e, na Tabela 19, as equações da vazão em relação à irradiância solar incidente nos painéis fotovoltaicos.

Tabela 18 - Valores médios obtidos na coleta de dados nos períodos 15 (01/11 a 16/11/2007) e 16 (19/01 a 25/01/2008)

Dados coletados	Período 15	Período 16	Unid
Altura de recalque geométrico	16,20	16,20	m
Irradiância p/funcionamento da motobomba	544,20	500,10	W/m ²
Irradiância média no período	898,69	832,39	W/m ²
Tempo de funcionamento da motobomba	30,08	27,00	horas
Temperatura média dos painéis	45,38	48,24	°C
Tensão média dos painéis	18,57	18,26	V
Tensão média na motobomba	10,06	9,49	V
Corrente elétrica na motobomba	5,51	5,07	А
Potência média gerada p/painéis	102,31	92,48	W
Potência hidráulica da motobomba	17,93	15,42	W
Volume recalcado pela motobomba	12.228,19	9.435,86	Litros
Vazão média na motobomba	406,48	349,48	L/hora
Eficiência média do sistema	16,89	15,75	%

 Tabela 19 Equações da vazão da motobomba em função da irradiância solar no plano dos painéis, para 16,20 metros de recalque

Alt. de Recalc (m)	Equação da curva da vazão da motobomba em relação à irradiância solar no plano dos painéis.	Coeficiente de correlação R ²	Período	Equação
16,2	$Vz = -27,249 + 0,062 \text{ Ir} - 2,560.10^{-5} \text{ Ir}^2$	0, 96	15	22
16,2	$Vz = -21,330 + 0,056 Ir - 2,932.10^{-5} Ir^{2} + 3,196.10^{-9} Ir^{3}$	0, 97	16	23
16,2	Vz =-19,91507+0,04775 lr-1,92749.10 ⁻⁵ lr ²	0, 94	15 e 16	24

A equação 22 corresponde ao gráfico da vazão da motobomba da Figura 38 e a equação 23 ao gráfico da Figura 39. A equação 24 corresponde ao gráfico da Figura 40, referente aos dados da vazão da motobomba e irradiação no plano dos painéis dos períodos 15 e 16.

No período 15, a motobomba funcionou por 30,08 horas, recebendo uma irradiância solar mínima de 544,20 W/m², necessária para acionamento da

motobomba, que estabilizou a 1050 W/m². Recalcou um volume real de 12.228,19 litros e o volume teórico de 12.233,07 litros, com um desvio percentual de 0,04%. No período 16, a motobomba funcionou por 27,00 horas, recebendo uma irradiância solar mínima de 500,10 W/m², necessária para acionamento da motobomba, que estabilizou a 1050 W/m². Recalcou um volume real de 9.435,86 litros e o volume teórico de 9.439,59 litros, com um desvio percentual de 0,04%.

Na Figura 43, são mostradas as variações dos dados obtidos nos períodos 15 e 16, em relação à irradiância incidente nos painéis, temperatura dos painéis, vazão da motobomba e eficiência do sistema de bombeamento.



Figura 43 - Gráfico da irradiância solar, temperatura, vazão e eficiência dos períodos 15 e 16.

No período 16, houve uma majoração 7,97% da irradiância solar média e a temperatura média dos painéis foi 6,29% menor, a vazão média foi 16.31% maior e a eficiência foi 7,93% menor que no período 15. A irradiância solar no período 15 foi maior e a temperatura dos painéis no período 16 foi maior, o que acarretou a alteração na eficiência do sistema da motobomba.

4.1.9 Altura de Recalque de 18,20 metros

As figuras 44 e 45 representam os gráficos da vazão, em relação à irradiância solar no plano dos painéis, para um recalque de 18,20 metros de altura, a partir do nível do reservatório, nos períodos 17 e 18.



Figura 44 - Vazão da motobomba no período 17 (17/11 a 23/11/2007).



Figura 45 - Vazão da motobomba no período 18 (26/01 a 01/02/2008).

Na Figura 46, é mostrado o gráfico da vazão, em função da irradiância solar, correspondente aos períodos 17 e 18, para a altura de 18,20 metros.



Figura 46 - Vazão da motobomba nos períodos 17 (17/11 a 23/11/2007) e 18 (26/01 a 01/02/2008).

O gráfico da vazão da motobomba, em relação à irradiância solar incidente nos painéis nos períodos 17 e 18, mostrou um comportamento levemente diferenciado. A curva do gráfico da vazão dos períodos 17 e 18 estabilizou-se a 1050 W/m².

Na Tabela 20, são relacionadas as médias dos dados armazenados nos períodos 17 e 18 e, na Tabela 21, as equações da vazão em relação à irradiância solar incidente nos painéis fotovoltaicos.

 Tabela 20 Valores médios obtidos na coleta de dados nos períodos 17 (17/11 a 23/11/2007) e 18 (26/01 a 01/02/2008)

Dados coletados	Período 17	Período 18	Unid
Altura de recalque geométrico	18,20	18,20	m
Irradiância p/funcionamento da motobomba	548,40	469,80	W/m ²
Irradiância média no período	890,25	894,33	W/m ²
Tempo de funcionamento da motobomba	30,66	37,25	horas
Temperatura média dos painéis	53,20	52,26	°C
Tensão média dos painéis	17,99	18,04	V
Tensão média na motobomba	9,74	10,59	V
Corrente elétrica na motobomba	5,64	5,22	Α
Potência média gerada p/painéis	101,35	94,13	W
Potência hidráulica da motobomba	18,11	19,75	W
Volume recalcado pela motobomba	11.203,99	14,841,55	Litros
Vazão média na motobomba	365,34	398,43	L/hora
Eficiência média do sistema	17,45	20,29	%

 Tabela 21 Equações da vazão da motobomba em função da irradiância solar no plano dos painéis, para 18,20 metros de recalque

Alt. de Recalc (m)	Equação da curva da vazão da motobomba em relação à irradiância solar no plano dos painéis.	Coeficiente de correlação R ²	Período	Equação
18,2	$Vz = -27,515 + 0,062 \text{ Ir} - 2,636.10^{-5} \text{ Ir}^2$	0, 94	17	25
18,2	$Vz = -28,156 + 0,082 \text{ Ir} - 6,066.10^{-5} \text{ Ir}^{2} + 1,479.10^{-8} \text{ Ir}^{3}$	0, 95	18	26
18,2	Vz =-17,288+0,042 lr-1,707.10 ⁻⁵ lr ²	0, 88	17 e 18	27

A equação 25 corresponde ao gráfico da vazão da motobomba da Figura 42 e a equação 26 ao gráfico da Figura 43. A equação 27 corresponde ao gráfico da Figura 44, referente aos dados da vazão da motobomba e irradiância solar no plano dos painéis dos períodos 17 e 18.

No período 17, a motobomba funcionou por 30,66 horas, recebendo uma irradiância solar mínima de 548,40 W/m², necessária para acionamento da motobomba, que estabilizou a 1050 W/m². Recalcou um volume real de 11.203,99 litros e o volume teórico de 11.208,48 litros, com um desvio percentual de 0,04%. No período 18, a motobomba funcionou por 37,25 horas, recebendo uma irradiância solar mínima de 469,80 W/m², necessária para acionamento da motobomba, que estabilizou a 1050 W/m². Recalcou um volume real de 14.841,54 litros e o volume teórico de 14.847,54 litros, com um desvio percentual de 0,04%.

Na Figura 47, são mostradas as variações dos dados obtidos nos períodos 17 e 18, em relação à irradiância solar incidente nos painéis, temperatura dos painéis, vazão da motobomba e eficiência do sistema de bombeamento.



Figura 47 - Gráfico da irradiância solar, temperatura, vazão e eficiência dos períodos 17 e 18.

A irradiância solar nos dois períodos se manteve relativamente constante, 0,46% maior no período 17, e as temperaturas médias dos painéis desse período foram 1,79% maior que no período 18, a vazão média no período 18 foi 9.56% maior que no período 17 e a eficiência, no período 18, foi 16,33% maior que no período 17.
4.1.10 Análise dos Gráficos da Irradiância Solar, Temperatura, Vazão e Eficiência do Sistema de Recalque de Água

As constatações feitas por meio da observação e discussão acerca dos gráficos resultantes dos dados coletados para cada altura e período de recalque, permitiram verificar que a eficiência de um sistema fotovoltaico depende da irradiância solar, temperatura, sujidade e tensão nos painéis. Por outro lado, pôde-se notar que o desempenho da motobomba foi influenciado diretamente pelo desempenho dos painéis fotovoltaicos que, por sua vez, tiveram a temperatura e a irradiância como fatores determinantes para a sua eficiência. Isso porque, a corrente varia linearmente com a irradiância e a temperatura acarreta um decréscimo de 1% na potência do sistema, a cada aumento de 2,7 °C.

4.1.11 Análise da Estabilização da Irradiância Solar nos Gráficos da Vazão

Os gráficos da vazão da motobomba, em relação à irradiância solar, estabilizaram no intervalo de 900 a 1050 W/m², e a irradiância máxima variou em torno de 1200 W/m². Este resultado pode ser considerado extremamente positivo, pois essa potência é capaz de gerar o abastecimento de água em escala considerável.

No presente experimento, foram acoplados os mesmos módulos fotovoltaicos utilizados por MICHELS (2007), desta vez em paralelo, a uma motobomba, fabricante Shurflo Ltd, modelo 2088-732-244, tensão de 12 V e corrente máxima de 11 A. As constatações feitas mostram de que o potencial dos painéis fotovoltaicos pode ser aproveitado de forma mais eficiente.

A tomada de todos os dados do experimento fornece o gráfico da Figura 48, da corrente da motobomba em função da irradiância no plano dos painéis.





Pela análise do gráfico, verifica-se que o máximo valor da corrente está muito próximo de 6,3 A e a tensão máxima nos terminais da motobomba não ultrapassa o valor de 14,4 V, o que fornece uma potência máxima deduzida de 84 W. A eficiência dos painéis (9%) justifica a estabilização do sistema em torno de 1.000 W/m², fornecendo, no máximo, 90,70 W para o sistema de bombeamento de água.

4.2 Relação das Equações da Vazão em Função da Irradiância Solar no Plano dos Painéis

As equações relacionadas na Tabela 22 referem-se às equações da vazão em relação à irradiância solar incidente nos painéis, cujos dados foram coletados na primeira etapa do experimento, no período 19, que compreende o intervalo entre os dias 15 de setembro e 29 de novembro de 2007 e, na Tabela 23, às equações dos dados coletados e armazenados no período 20, segunda etapa do experimento, que compreende o intervalo entre os dias 1 de dezembro de 2007 e 1 de fevereiro de 2008.

	Eguação da curva da vazão da motobomba em relação à		
H (m)	Irradiância solar no plano dos painéis.	R ²	Equação
2,2	Vz = -10,894 + 0,053 lr - 2,972.10 ⁻⁵ .lr ²	$R^2 = 0,99$	1
4,2	Vz = -10,949 + 0,043 lr -1,959. ¹⁰⁻ 5 lr ²	$R^2 = 0,98$	4
6,2	$Vz = -15,873 + 0,055 \text{ Ir} - 2,753.10^{-5} \text{ Ir}^2$	$R^2 = 0,98$	7
8,2	$Vz = -18,989 + 0,065 \text{ Ir} - 4,731.10^{-5} \text{ Ir}^2 + 1,153.10^{-8} \text{ Ir}^3$	$R^2 = 0,98$	10
10,2	$Vz = -24,361 + 0,080 \text{ Ir} - 5,816.10^{-5} \text{ Ir}^2 + 1,463.10^{-8} \text{ Ir}^3$	$R^2 = 0,95$	13
12,2	Vz = -24,855 + 0,066 lr - 3,159.10 ⁻⁵ lr ²	$R^2 = 0,98$	16
14,2	$Vz = -25,373 + 0,062 \text{ Ir} - 2,752.10^{-5} \text{ Ir}^{2}$	$R^2 = 0,94$	19
16,2	Vz = -27,249 +0,062 lr - 2,560.10 ⁻⁵ lr ²	$R^2 = 0,96$	22
18,2	Vz = -27,515 + 0,062 lr – 2,636.10 ⁻⁵ lr ²	$R^2 = 0,94$	25

Tabela 22 - Relação de equações da vazão em relação à irradiância solar incidente nos painéis fotovoltaicos do período 19, em diferentes alturas geométricas de recalque de água (H)

Tabela 23 -	Relação de equações da vazão em relação à irradiância solar
	incidente nos painéis fotovoltaicos do período 20, em diferentes
	alturas geométricas de recalque de água (H)

H (m)	Equação da curva da vazão da motobomba em relação à Irradiância solar no plano dos painéis.	R ²	Equação
2,2	$Vz = -11,612 + 0,069 \text{ Ir} - 6,785.10^{-5} \text{ Ir}^{2} + 2,281.10^{-8} \text{ Ir}^{3}$	$R^2 = 0,97$	2
4,2	$Vz = -15,417 + 0,075 \text{ Ir} -6,932.10^{-5} \text{ Ir}^2 + 2,134.10^{-8} \text{ Ir}^3$	$R^2 = 0,97$	5
6,2	$Vz = -19,336 + 0,0812 \text{ Ir} - 7,319.10^{-5} \text{ Ir}^2 + 2,216.10^{-8} \text{ Ir}^3$	$R^2 = 0,96$	8
8,2	$Vz = 7,651 - 0,091 \text{ Ir} + 2,991.10^{-4} \text{ Ir}^2 - 3,147.10^{-7} \text{ Ir}^3 + 1,094.10^{-10} \text{ Ir}^4$	$R^2 = 0,98$	11
10,2	$Vz = -22,752 + 0,080 \text{ Ir} - 6,355.10^{-5} \text{ Ir}^2 + 1,667.10^{-8} \text{ Ir}^3$	$R^2 = 0,97$	14
12,2	$Vz = -28,899 + 0,100 \text{ Ir} - 8,692.10^{-5} \text{ Ir}^2 + 2,545.10^{-8} \text{ Ir}^3$	$R^2 = 0,94$	17
14,2	Vz =-22,765+0,068 lr-4,632.10 ⁻⁵ lr ² +1,008.10 ⁻⁸ lr ³	R ² = 0, 95	20
16,2	$Vz = -21,330 + 0,056 \text{ Ir} - 2,932.10^{-5} \text{ Ir}^2 + 3,196.10^{-9} \text{ Ir}^3$	$R^2 = 0,97$	23
18,2	$Vz = -28,156 + 0,082 \text{ Ir} - 6,066.10^{-5} \text{ Ir}^2 + 1,479.10^{-8} \text{ Ir}^3$	$R^2 = 0,95$	26

Na Tabela 24, são relacionadas as equações da vazão da motobomba em relação à irradiância nos painéis fotovoltaicos para as alturas propostas no projeto, com dados armazenados nos períodos 19 e 20.

Tabela 24 -	Relação	das	equações	da	vazão	em	relação	ài	rradiá	ânc	cia s	olar
	incidente	nos	painéis	foto	voltaico	s n	os perío	dos	s 19	е	20,	em
	diferentes	s altu	ras geom	étric	as de re	ecal	que de á	gua	ι (H)			

H (m)	Equação da curva da vazão da motobomba em relação à irradiância solar no plano dos painéis	R ²	Equação
2,2	Vz=-11,84645+0,06566 lr-5,93625.10 ⁻⁵ lr ² +1,77374.10 ⁻⁸ lr ³	0,96	3
4,2	Vz=-13,81397+0,06292 lr-5,02785.10 ⁻⁵ lr ² +1,32203.10 ⁻⁸ lr ³	0,95	6
6,2	Vz =-13,02128+0,04162 lr-8,00249.10 ⁻⁶ lr ² -9,16078.10 ⁻⁹ lr ³	0,96	9

8,2	Vz =-16,3902+0,05905 lr-4,0999.10 ⁻⁵ lr ² +8,66608.10 ⁻⁹ lr ³	0, 95	12
10,2	Vz =-21,18455+0,07032 lr -5,14533.10 ⁻⁵ lr ² +1,23313.10 ⁻⁸ lr ³	0, 94	15
12,2	Vz =-22,41906+0,06895 lr-4,48014.10 ⁻⁵ lr ² lr+8,01825.10 ⁻⁹ lr ³	0, 93	18
14,2	Vz =-15,76616+0,03843 lr-9,64048.10 ⁻⁶ lr ² -4,02411.10 ⁻⁹ lr ³	0, 93	21
16,2	Vz =-19,91507+0,04775 lr-1,92749.10 ⁻⁵ lr ²	0, 94	24
18,2	Vz =-17,288+0,042 lr-1,707.10 ⁻⁵ lr ²	0, 88	27

4.2.1 Validação das Equações da Vazão em Relação à Irradiância Solar Incidente nos Painéis Fotovoltaicos

Para a validação das equações da vazão em relação à irradiância solar incidente nos painéis fotovoltaicos, para as alturas de recalque determinadas no projeto, e relacionadas na Tabela 24, fez-se uso dos dados coletados no período 21, que compreende os dias contidos no intervalo de 8 de fevereiro e 4 de abril de 2008. Na mesma tabela são relacionados os desvios percentuais entre a vazão calculada pela equação da vazão e a registrada pelo transdutor de vazão, instalado no sistema de recalque de água do projeto.

As equações das tabelas 22 e 23 não foram validadas devido à similaridade com as equações constantes na Tabela 24.

O volume real recalcado pela motobomba no período 21 foi de 150.230,46 litros e o volume teórico, no mesmo intervalo de tempo, foi de 146.622,80 litros, com um desvio percentual de 2,40%.

Altura de recalque (m)	Desvio percentual da vazão teórica e real (%)	Desvio percentual do volume teórico e real (%)
2,2	11,38	3,50
4,2	8,12	0,94
6,2	19,33	9,92
8,2	15,90	9,22
10,2	14,51	6,54
12,2	12,06	2,87
14,2	12,88	1,19
16,2	9,25	1,01
18,2	11,25	0,06

 Tabela 25 Média percentual dos desvios da vazão e do volume recalcado pela motobomba no período 21

4.3 Determinação da Equação da Vazão em Relação à Irradiância Solar Incidente nos Painéis Fotovoltaicos e à Altura Geométrica de Recalque

Tomando-se todos os dados coletados da vazão da motobomba, irradiância solar no plano dos painéis e altura geométrica de recalque, nos dezoito períodos estudados, foi possível chegar à equação da vazão em relação à irradiância solar nos painéis fotovoltaicos e à altura geométrica de recalque de água.

 $Vz = 0,01268 \text{ Ir} - 0,37856 \text{ H} + 1,44797 \text{ R}^2 = 0,83$

Em que:

Vz = vazão;

H = altura geométrica.

Para um sistema de bombeamento de água constituído por dois módulos fotovoltaicos e uma motobomba, utilizados no experimento, a equação permite, com uma margem de erro de 17%, calcular a vazão de água, tendo conhecimento de dados da irradiância solar média no período e a altura necessária de recalque de água.

4.3.1 Validação da Equação da Vazão em Relação à Irradiância Solar Incidente nos Painéis Fotovoltaicos e à Altura Geométrica de Recalque

Para a validação da equação da vazão, em relação à irradiância solar incidente nos painéis fotovoltaicos e altura geométrica de recalque de água, apresentada no tópico 4.3, fez-se uso dos dados coletados no período 21, que consiste no intervalo entre 8 de agosto de 2007 a 4 de abril de 2008. Na Tabela 26, são relacionados os desvios percentuais entre a vazão calculada pela equação da vazão (teórico) e a vazão média calculada com os dados registrados por intermédio do transdutor de vazão, instalado no sistema de recalque de água do projeto (real).

Altura de recalque(m)	Desvio percentual em relação à vazão real(%)
2,2	18,0
4,2	15,6
6,2	16,4
8,2	18,8
10,2	25,9
12,2	12,2
14,2	17,2
16,2	10,9
18,2	11,1

Tabela 26 -	Média	percentual	dos	desvios	da	vazão	da	motobomba	nos
períodos 19, 20 e 21									

A média geral dos desvios percentuais da vazão teórica, calculada pela equação e a real verificada pelo transdutor para todas as alturas trabalhadas, foi de 16,45%, o volume real de água recalcado, medido pelo transdutor, foi de 150.230,46 litros e o volume teórico calculado pela equação geral da vazão foi de 149.815,17 litros, com um desvio percentual de 0,28%.

4.3.2 Utilização de Motobomba Acionada por Painéis Fotovoltaicos no Meio Rural

Estudos recentes têm chamado a atenção para importantes discussões em torno da proteção ao meio ambiente. Nesse sentido, a energia solar pode contribuir significativamente. Estudos do Conselho Nacional do Meio Ambiente, em que se discute a Resolução nº 1, de 23 de janeiro de 1986, do Conselho Nacional do Meio Ambiente, estão pautados no que deve ser considerado como impacto ambiental. Segundo esse estudo, é preciso atentar para tudo o que esteja relacionado à alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente. Estas, quando ocorrem, acabam por interferir na saúde, segurança e no bem estar da população, gerando, inclusive, mudanças no comportamento da sociedade e intervindo no curso da economia. A consciência relacionada às questões estéticas e sanitárias do meio ambiente já é uma realidade junto à parcela da população que detém um nível maior de esclarecimento. Assim, buscando parcerias junto a essa categoria é que se pode vislumbrar a implementação de projetos como este, a fim de amenizar ou sanar os graves problemas que assolam o meio ambiente.

Entre as inúmeras formas pelas quais essa energia pode ser aproveitada, pode-se citar as do setor agropecuário. Os pecuaristas que alojam o seu rebanho em locais distantes da sede da propriedade, onde não existe uma rede convencional de energia elétrica, poderão fazer uso da energia fotovoltaica para fornecer água aos animais sem a necessidade de adentrarem o leito dos rios, evitando a contaminação das águas.

É por isso que, conhecendo-se a altura do bebedouro a partir do nível do leito do rio, a equação da vazão de água em função da irradiância e altura manométrica de recalque é possível calcular a quantidade de painéis fotovoltaicos necessários para atender à demanda de água para abastecer o bebedouro.

4.4 Determinação do Gráfico da Irradiância Solar Necessária para Acionamento da Motobomba

O sistema de recalque de água por uma motobomba acionada por painéis fotovoltaicos ficou ligado ininterruptamente, com um intervalo de sete dias para cada altura de recalque de água. Além disso, sempre que cessou a incidência de raios solares, o sistema parou de funcionar automaticamente. Devido a uma válvula de retenção da própria motobomba, a coluna d'água retida na tubulação permanecia inalterada no período de recesso de energia solar, de modo que, para um novo acionamento da motobomba, tornava-se necessária uma quantidade energética inicial capaz de empurrar a coluna d'água, ou seja, quanto maior a coluna d'água, mais intensa deveria ser a irradiância. Com os dados obtidos, e relacionados nas Tabelas 22 e 23, foi possível formular o gráfico da irradiância solar necessária para acionamento da motobomba em função da altura manométrica de recalque de água, conforme a Figura 49.



Figura 49 - Gráfico da irradiância solar necessária para acionamento da motobomba em função da altura manométrica de recalque da água.

O gráfico da Figura 49 obedece à equação:

$$Ir = 221,559+17,932 H$$
 (R² = 0,93)

A dependência da irradiância solar necessária para acionamento da motobomba em diversas situações de altura de recalque, tem uma dependência linear.

Quanto maior a altura de recalque de água, menor será o intervalo de tempo de funcionamento do sistema no período de cada dia, pois a motobomba funcionará para valores de irradiação solar acima do valor necessário para acionamento.

4.5 Relação entre o Volume Medido no Transdutor de Vazão e o Volume Calculado pelo Potencial Hidráulico

O volume de água recalcada e medida pelo transdutor de vazão foi determinado com leitura direta pelo transdutor de vazão (volume real) e

armazenado no sistema de coleta de dados. Quanto ao volume teórico, foi calculado pelo produto do potencial hidráulico pelo tempo trabalhado pela motobomba.

Nas Tabelas 27 e 28, são relacionados os dados coletados nos períodos 19 e 20, o volume teórico calculado e o seu desvio percentual em relação ao volume real medido pelo transdutor de vazão.

-					
Altura de recalque	Tempo de funciona mento da. Motobomba	Potência hidráulica motobomb	Volume recalcado	Cálculo teórico do volume recalcado	Desvio percentual
m	h	W	L	L	%
2,20	38,00	3,31	20.964.31	20970,5	0,03
4,20	42,67	5,49	20.487,74	20498,3	4 0,05
6,20	46,08	8,35	22.776,75	22785,1	5 0,04
8,20	29,83	9,62	12.847,37	12852.8	4 0.04
10,20	30,67	10,84	11.966,74	11972,2	8 0,05
12,20	29,25	14,59	12.851,73	12856,8	9 0,04
14,20	41,67	17,09	18.423,63	318431.0	9 0.04
16,20	30,08	17,93	12.228,19	12233,0	7 0,04
18,20	30,67	18,11	11.203.99	<u>) 11208, 4</u>	8 0.04

 Tabela 27 - Valores do cálculo do desvio percentual do volume teórico recalcado em relação ao volume real, no período 19

Tabela 28 -	Valores	do	cálculo	do	desvio	percentual	do	volume	teórico
	recalcad	o en	n relação	ao	volume r	eal, no períc	do 2	20	

Altura de recalque	Tempo de funciona- mento da. Motobomba	Potência hidráulica da motobomba	Volume recalcado	Cálculo teórico do volume p recalcado	Desvio percentual
m	h	W	L	L	%
2,2	56,00	3,50 3;	2.720,74	32736,62	0,05
4,2	54,50	6,16 29	325,56	29339,43	0,05
6,2	50,83	8,85 26	6.651,12	26660,72	0,04
8,2	48,50	10,67 2	3.170,36	23180,78	0,05
10,2	34,17	11,94 1	4.689,37	14695,91	0,05
12,2	39,50	15,57 1	8.505,57	18514,78	0,05
14,2	37,92	13,93 1	3.655,66	13660,91	0,04
16,2	27,00	15,42 9	.435,86	9439,592	0,04
18.2	37,25	<u>19,75 1</u>	4841.55	14847.54	0.04

Os valores de volumes calculados pelas equações têm grande confiabilidade, comparados aos volumes medidos pelo transdutor de vazão.

Para todos os valores coletados e calculados, o desvio percentual não variou acima de 0,06%.

4.6 Relação entre a Eficiência do Sistema de Motobomba e a Altura Geométrica de Recalque de Água

Tomando-se os dados dos períodos 19 e 20, plotou-se gráfico da eficiência do sistema de bombeamento de água, conforme a Figura 50. A eficiência do sistema evolui com o aumento da altura de recalque da água.



Figura 50 - Gráfico da eficiência do sistema de bombeamento em função da altura geométrica recalque da água.

O gráfico da Figura 50 obedece à equação:

EfS =
$$3,974+0,858$$
 H- (R² = $0,94$)

A eficiência do sistema de bombeamento aumentou linearmente, conforme o aumento da altura manométrica de recalque da água.

4.7 Relação entre a Potência Hidráulica do Sistema de Bombeamento e a Altura Geométrica de Recalque da Água

A potência hidráulica do sistema de bombeamento de água fornecida pelos painéis fotovoltaicos, conforme os dados coletados nos períodos 19 e 20, deu origem ao gráfico da Figura 51.





A potência hidráulica varia em relação à altura manométrica de recalque de água, conforme a equação abaixo:

O gráfico da Figura 51 obedece à equação:

PtHd =2,13316+0,94184 H
$$(R^2 = 0,96)$$

A potência hidráulica do sistema de bombeamento de água acionado por energia solar tem uma dependência linear da altura manométrica de recalque.

4.8 Relação entre a Vazão Média da Motobomba em Relação à Altura Geométrica de Recalque de Água

A vazão média de água na motobomba, cujos dados foram coletados e armazenados no sistema de coletas, nos períodos 19 e 20, deu origem ao gráfico da vazão média da motobomba, em função da altura manométrica de recalque, conforme Figura 52.





A vazão média da motobomba variou linearmente com a altura manométrica de recalque de água, conforme a equação abaixo:

$$Vz_{M} = 564,652 - 11,156 H$$
 (R² = 0,87)

A vazão média da motobomba, em litros por hora, para recalque de água, obedeceu uma relação linear com a altura de recalque. Pela análise da equação, a altura máxima seria de 50,61 metros, portanto, acima das estimativas do fabricante. Para ele, o aparelho tem capacidade para 45 metros de recalque. O resultado obtido nesta investigação tem um desvio de 12,50%, em relação ao valor máximo da altura de recalque de água.

Dessa forma, é possível prever que, para utilização de um sistema análogo ao do projeto, para o abastecimento de água em locais de alturas e vazões superiores às do experimento, deverão ser utilizadas motobombas de maior potência e um incremento do número de painéis fotovoltaicos, de acordo com a necessidade.

5 CONCLUSÕES

As análises dos resultados do experimento permitem as seguintes conclusões:

- Para o sistema de bombeamento do experimento, o gráfico da vazão da motobomba, em função da irradiância solar, estabiliza-se entre de 950 e 1050 W/m²;
- Para as equações da vazão em função da irradiância solar nos planos dos painéis, o desvio percentual entre as vazões teóricas (calculadas pelas equações para cada altura de recalque) e as reais variaram no intervalo de 8,12% e 19,33%, e o desvio percentual entre os volumes teóricos e reais, variou no intervalo de 0,06% e 9,92%, para cada altura de recalque;
- O volume total de água recalcada pela motobomba, calculado pelas equações da vazão em relação à irradiância solar, totalizou 146.622,80 litros, e o real medido pelo transdutor de vazão, 150.230,46 litros, com um desvio percentual de 2,40%;
- Os dados do experimento permitiram chegar à equação da vazão da motobomba, em relação à irradiância solar e à altura manométrica de recalque de água:

$$Vz = 0.01268 \text{ Ir} - 0.37856 \text{ H} + 1.44797$$
 $R^2 = 0.83$

que permite calcular a vazão de água na motobomba, tendo como dados a irradiância solar e a altura de recalque da água, com um desvio percentual de 17%;

 A equação da vazão da motobomba, em relação à irradiância solar e à altura geométrica de recalque apresenta uma boa confiabilidade. O volume teórico calculado pela equação, totalizou 149.815,17 litros e o volume medido pelo transdutor de vazão, 150.230,46 litros, com um desvio percentual de 0,28%;

69

- A irradiância solar necessária para acionamento da motobomba tem uma relação de dependência linear com a altura manométrica de recalque de água;
- A irradiância solar influencia de maneira mais consistente que a temperatura nos painéis a eficiência do sistema de recalque de água através de motobomba acionado por energia solar;
- A eficiência do sistema de bombeamento de água melhora com o aumento da altura manométrica de recalque da água, numa relação direta;
- A potência hidráulica do sistema de bombeamento de água acionado por energia solar tem uma dependência linear com a altura manométrica de recalque;
- A vazão média da motobomba para recalque de água tem uma relação linear inversa com a altura de recalque.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Atlas de energia elétrica do Brasil, 2. ed. Brasília: ANEEL, 2005. 243 p.

CABRAL, C. V. T.; MACHADO NETO, L. V. B.; OLIVEIRA FILHO, D.; DINIZ, A. S. A. C. **Modelagem e simulação de gerador fotovoltaico**. 2006. Disponível em: <u>http://www.feagri.unicampbr/energia/.Agre2004/Fscommand/PDF/Agrener/</u> Trabalho%20 25. Acesso em 18 dez. 2007.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SERGIO DE SALVO BRITO - CRESESB. 2000. **Energia solar:** princípios e aplicações. Disponível em: <u>http://www.cresesb.cepel.br/tutorial/tutorial solar.htm</u>. Acesso em: 25 fev. 2007.

COSTA, S. H. Aspectos gerenciais em sistemas de eletrificação rural fotovoltaica domiciliar. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 2000, Natal-RN, **Anais...** Natal- RN: CONEM, 2000. 1 CD-ROM.

DANKOFF, W. **Una introducción practica a las bombas de agua solares.** 2001. Disponível em: http://www.dankoffsolar.com/refernce/briefintro.html. Acesso em: 14 fev. 2007.

FEDRIZZI, M. C.; SAUER, I. L.; NODA, H. Sistemas de bombeamento fotovoltaico de uso comunitário: Implantação em comunidades Isoladas na Amazônia. ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL – AGRENER, 2000. Campinas - SP. Campinas: Unicamp, 2000. Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000220000001000 26&script=sci_arttext. Acesso em: 18 fev. 2007.

GNOATTO, E. **Desempenho de painel fotovoltaico para geração de energia elétrica na região de Cascavel**. 2003. 58 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agroindustriais) - Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel - PR, 2003.

GREEN, M. A.; K. EMERY; D. L. KING; S. IGARI; W. WARTA; **Solar cell efficiency tables progress in photovoltaics**: Research and applications. John Wiley & Sons, v. 8, p. 377-384, 2000.

KAWAHARA, J. **Desempenho de uma motobomba acionada por um painel fotovoltaico.** Cascavel, 2003. 56 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agroindustriais) - Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel - PR, 2003.

KOLLING, E. M.; SOUZA, S. N. M.; RICIERI, R. P.; SAMPAIO, S. C.; DALLACORT, R. Análise operacional de um sistema fotovoltaico de bombeamento de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n, 3, p. 527-535. Disponível em: http://www.sumarios.org/pdfs/492_2272.pdfJaboticabal,Sept/Dec 2004. Acesso em: 17 dez. 2007.

KRATZENBERGER, M. G.; COLLE, S.; PEREIRA, E.B.; MANTELLI NETO, S.L.; BEYER, H.G. e ABREU, S. L. Rastreabilidade de radiômetros para medição da energia solar no Brasil. CONGRESSO DE METROLOGIA, 2003. Metrologia para a Vida. Recife - PE. Recife - PE: Sociedade Brasileira de Metrologia, 2003. Disponível em: http://www.lepten.ufsc.br/publicacoes/em_eventos/2003/Metrologia%202003/art igo_Rastreabilidade_Atual_2.pdf. Acesso em: 18 nov. 2007.

MAGALHÃES ROSA, D. J. Caracterização da radiação solar: o caso da Cidade Universitária/USP e da ilha do Cardoso/Cananéia. 2003, 162 f. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2003.

MARINOSKI, D. L.; SALAMONI, I. T.; RÜTHER, R. Pré-dimensionamento de sistema solar fotovoltaico: estudo de caso do edifício sede do CREA-SC. ENCONTRO DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10. 2004. São Paulo. 18-21 julho 2004. ISBN 85-89478-08-4. **Anais...** Florianópolis: LABEEE, 2004. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/linhas_pesquisa/energia_solar/publicacoes/pre_dime nsionamento.pdf. Acesso em: 16 out. 2007. anais do claCS'04/ENTAC'04.

MARKVART, T. Solar electricity. Inglaterra: Wiley e Sons LTD, 1994.

MARTINS, F. K.; PEREIRA, E. B.; ECHER, M. P. S. Levantamento dos recursos de energia solar no Brasil com o emprego de satélite geoestacionário. O projeto SWERA. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 26, n. 2, p. 145-159, 2004. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010247442004000200010&script=sci_artt ext&tlng. Acesso em: 18 out. 2007.

MATOS, F. B. **Modelamento computacional e comportamento de células fotovoltaicos baseados nas propriedades físicas da matéria**. 2006. 133 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG, 2006.

MELO, R. O. Condicionamento de potência de uma motobomba em um sistema de bombeamento fotovoltaico através de um conversor de freqüência. 2004. 65 f. Dissertação (Mestrado em Energia Nuclear) - Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal do Pernambuco, Recife – PE, 2004.

MICHELS, R. N. Avaliação de um sistema de bombeamento de água alimentado por painéis fotovoltaicos. 2007. 55 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agroindustriais) - Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel PR. 2007.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. Balanço Energético Nacional 2005. Disponível em: http://www.mme.gov.br/frontSide/site/view.do?viewPublicationId=14493&viewP ublicationTypeId=9&queryUrl=http%3A%2F%2Fwww.mme.gov.br%2Fsite%2Fs earch.do%3FpreviousQuery%3Dofeta%2Bde%2Benergia%26pageNum%3D6. Acesso em: 24 out. 2007.

NOGUEIRA, C. A. S. Energização solar fotovoltaica na região de alto rio Solimões no estado de Amazonas. ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL. AGRENER, set 2000.Manaus, AM 2000. Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000220000001000 27&script=sci_arttext. Acesso em: 20 out. 2007.

OVERSTRAETEN, R. W; MERTENS, R. P. **Physics, technology and use of photovoltaics**. Londres: Modern Energy Studies, 1996.

PALZ, W. Energia solar e fontes alternativas. São Paulo: Hemus, 1995.

PEREIRA, A. B., VRISMAN, A. L., GALVÁN, E. Estimativa da radiação solar global diária em função do potencial de energia solar na superfície do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba - SP. v. 59, n. 2, p. 211-216 abr/jun, 2002. Disponível http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103901620020002000 02.&Ing=pt&nrm=iso. Acesso em: 23 nov. 2007.

RIFFEL, D. B. Unidade de osmose reversa acionada por energia solar fotovoltaica sem baterias: simulação, projeto e validação experimental. 2005 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - CE, 2005.

ROGER, Y. H. Direct coupling of photovoltaic power source to water pumping system. **Solar Energy**, U.S.A. v. 32, p. 489-498, sep. 1984.

ROVAI, F. F. **Desgaste e corrosão de bomba de combustível com mistura de álcool e gasohol**. 2005, 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de São Paulo, São Paulo - SP. 2005.

SERPA, P. M. N. Eletrificação fotovoltaica em comunidades caiçaras e seus impactos sócio-culturais. 2001. 252 f. Tese (Doutorado em Energia) - Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2001.

SHAYANI, R. A.; OLIVEIRA, M. A. G.; CAMARGO, I. M. T.; Comparação do custo entre energia solar fotovoltaica e fontes convencionais. CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 5, 2006. Políticas Públicas para a Energia: Desafios para o Próximo Quadriênio. 31 de maio a 02 de junho de 2006. Disponível em: http://www.gsep.ene.unb.br/producao/marco/sbpe_2006.pdf Brasília, DF: UNB, 2006. Acesso em: 28 nov. 2007.

SILVA, C. D. Potência gerada eficiência dos módulos fotovoltaicos em função da radiação solar global incidente para bombeamento de água. In: SEMINÁRIO DE ENERGIA NA AGRICULTURA, 1, 2000. Uberaba-MG. **Anais...** Uberaba - MG: UFU, 2000.

TIBA, C. *et al.*, **Atlas solarimétrico do Brasil**: banco de dados terrestres Recife - PE: Universitária da UFPe, 2000.

TREBLE, F. C. Solar cells. **IEE Review**, England, v. 127, n 8, p. 505-527. nov. 1980.

TRIGOSO, F. B. M. **Demanda de energia elétrica e desenvolvimento sócio econômico**. O caso das comunidades rurais eletrificadas com sistemas fotovoltaicos. 2004. 311 f. Tese (Doutorado em Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

WATT, M. **PV Applications in Australia.** Photovoltaic Specialists Conference, (PVSC), 25, May 13-17, 1996; Washington, DC.

ZUMARÁN, D. R. O. Avaliação econômica da geração de energia elétrica fotovoltaica conectada à rede em mercados elétricos desregulados. 2000. 78 f. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade São Paulo, São Paulo, 2000.