

# POTENCIAL DA TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA PARA IRRIGAÇÃO DE UNIDADES DE PRODUÇÃO FAMILIAR: ESTUDO DE CASO PARA MOÇAMBIQUE

Rosa Jacob Chilundo – rosychil@yahoo.com.br<sup>1,2</sup>

Paulo Cesar Marques de Carvalho – carvalho@dee.ufc.br<sup>1</sup>

(1) Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Elétrica

Urânio Stefane Mahanjane – us.mahanja@gmail.com<sup>2</sup>

(2) Universidade Pedagógica de Moçambique, Núcleo de Electrónica e Energias Renováveis

## 1. Dados Meteorológicos 1.1 Potencial Solar

**Resumo.** A tecnologia fotovoltaica, aplicada em sistemas de bombeamento de água, vem sendo empregada a nível mundial nas últimas décadas, principalmente em áreas remotas. Esta tecnologia constitui parte da resposta a problemas como: mudanças climáticas, falta de acesso à rede convencional de energia eléctrica em zonas rurais, falta de água para o consumo humano e animal, elevado custo da energia eléctrica em sistemas de irrigação, entre outros. O presente artigo analisa a viabilidade do uso dos recursos solar e hídrico em Moçambique em sistemas fotovoltaicos de bombeamento de água para irrigação de unidades de produção familiar. Dados de radiação solar colhidos num período de 5 anos (2006-2011) em 10 estações meteorológicas pelo Instituto Nacional de Meteorologia e dados da direção das águas a partir de poços abertos para fornecimento de água potável, permitiram avaliar a disponibilidade do potencial solar e hídrico do país. Dados de insolação (~ 300 horas/mês), radiação solar média (4,93 kWh/m<sup>2</sup>/dia) e fontes de captação de água, mostram que Moçambique tem um potencial ótimo para a aplicação da tecnologia fotovoltaica em sistemas de bombeamento de água para unidades de produção familiar e outras necessidades básicas.

**Palavras-chave:** Fotovoltaico, bombeamento, irrigação.

## 1. INTRODUÇÃO

O uso da tecnologia fotovoltaica (FV) para sistemas de bombeamento de água tem sido uma das formas mais populares da aplicação da energia solar nas últimas décadas em áreas remotas e desérticas, como também em algumas áreas urbanas (Zaki e Eskonder, 1996). Esforços intensivos vêm sendo realizados para a produção de células FV com melhor rendimento e novos métodos de conversão são explorados de modo a reduzir os custos de instalação dos sistemas FV para o bombeamento de água (Abdolzadeh, 2009).

A relação directa entre a disponibilidade da energia solar, demanda hídrica e custos efetivos leva pesquisadores a avaliar a disponibilidade do recurso solar e hídrico antes de realizar a instalação de qualquer sistema FV para bombeamento, de modo a buscarem métodos de otimização que garantam o melhor rendimento possível ao sistema. Numa conjuntura em que o mundo se debate com a questão de mudanças climáticas e aquecimento global, as fontes alternativas (renováveis) de geração da energia eléctrica são uma resposta muito importante para questões climáticas; adicionalmente, representam também uma ferramenta chave para países em vias desenvolvimento, em que parte significativa das populações não tem acesso à rede convencional de energia eléctrica e em alguns casos sequer tem acesso à água potável para o consumo humano. Acrescenta-se ainda a estes fatores o alto custo da energia eléctrica necessária à irrigação, sendo a energia elemento fundamental para a produção contínua e estável de alimentos e matérias-primas. Dentro deste contexto, a adoção de práticas de produção agrícola autosustentáveis, utilizando fontes energéticas alternativas torna-se um elemento essencial para o desenvolvimento de comunidades rurais.

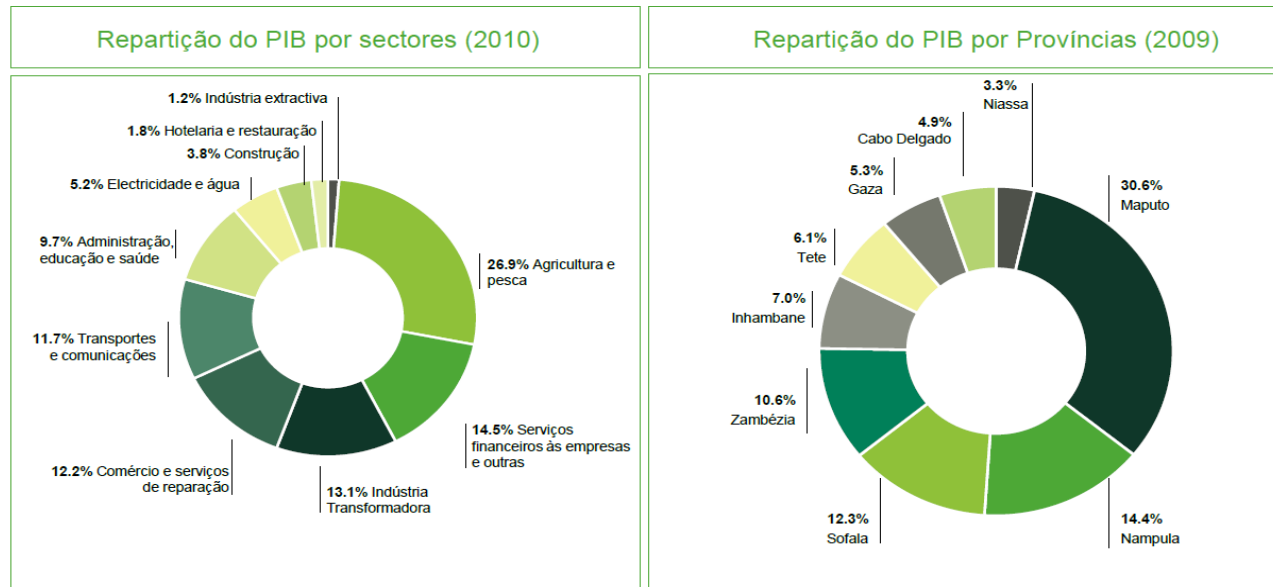
O presente artigo objetiva analisar a viabilidade do uso dos recursos solar e hídrico na região sul de Moçambique em sistemas FV de bombeamento de água para irrigação de unidades de produção familiar.

## 2. CONTEXTO ENERGÉTICO E SÓCIO ECONÓMICO DE MOÇAMBIQUE

Moçambique localiza-se na costa leste da África Austral ( Fig. 1) entre 10° 27' e 26° 57' de Latitudes Sul e 30° 12' e 40° 51' de Longitude Este. O país estende-se por uma superfície de 799.380 Km<sup>2</sup> (98% de terra firme e 2% de águas interiores) (Arthur e Soliano, 2011). O clima é tropical, caracterizado por duas estações bem distintas: uma estação fria e seca, de Maio a Setembro e outra quente e úmida entre Outubro e Abril. A precipitação é mais abundante no Centro e Norte do país com valores variando entre 800 a 1200 mm por ano. O sul de Moçambique é a região mais seca. Cerca de um quarto do país é coberto por florestas (24,4% em 2007); apenas uma parte muito pequena é irrigada (2,6% em 2003). A Fig. 2 mostra que a agricultura representa quase 27% do PIB de Moçambique, sendo que a província de Maputo representa quase um terço da economia nacional (BES, 2012). As temperaturas médias do ar, em geral, variam entre 25°C e 27°C no verão e 20°C e 23°C no inverno (UNCCD, 2009). A população de Moçambique é estimada em 22,4 milhões de habitantes (2010) (INE, 2011). A maior parte da população vive nas zonas rurais (68,2%) distante das principais vias de comunicação.



Fonte: (http, covadourso, 2013)  
 Figura 1. Mapa de Moçambique



Fonte: (INE, 2011)

Figura 2. Repartição do PIB - Moçambique

Cerca de 80% da população moçambicana vive basicamente da prática da agricultura, sendo esta uma das principais estratégias de erradicação da pobreza absoluta do país. Do que é produzido, cerca de 90% destina-se ao auto consumo, sendo o remanescente comercializado para obtenção de outros bens, principalmente manufaturados. Ressalta-se, ainda, que a produção agrícola base (milho, feijão, tubérculos e hortícolas) e pecuária no país são praticadas em cerca de 3,2 milhões de pequenas unidades agropecuárias, com dimensões predominantemente inferiores a dois hectares, segundo o relatório das perspectivas económicas na África, 2005. Este setor de produção vem sendo afetado diretamente por fatores tais como: calamidades naturais (seca e inundações); dificuldades de escoamento de produtos agrícolas devido ao péssimo estado de conservação das rodovias em boa parte do país; uso ineficiente de recursos energéticos alternativos principalmente na área de produção agrícola devido aos elevados custos que o setor de irrigação exige. Esta conjuntura é também encontrada com frequência no interior da região Nordeste do Brasil (Takashi, 2009).

A disponibilidade da energia elétrica em Moçambique, ainda não constitui problema, pois o país é detentor da segunda maior central hidroelétrica a nível do continente Africano, com uma capacidade disponível de 2.075 MW e quota-se entre as 10 maiores do mundo, com um projeto de expansão para um potencial de mais de 12.000 MW (HCB, 2009). A hidroelétrica fornece eletricidade para Zimbábue, Botswana, África do Sul e ainda estabeleceu relações comerciais com potenciais clientes designadamente, Malawi e Namíbia. As longas distâncias entre os maiores centros urbanos e pequenos povoados acrescido da dispersão acentuada da população tornam o transporte e distribuição da energia elétrica muito caro.

## 2.1 Matriz energética e desenvolvimento de políticas em Moçambique

O setor de electricidade em Moçambique depende em praticamente 100% da energia hidroelétrica, um recurso renovável, mas menos que 20% da população tem acesso à rede de electricidade. A disponibilidade dos recursos energéticos provém de hidroeléctricas (13,2%), biomassa (80%), gás natural e fontes alternativas de geração. A Electricidade de Moçambique (EDM), empresa concessionária de electricidade, identificou a necessidade de um investimento de 2 bilhões de dólares para o período 2011-2021, excluindo novas centrais; contudo, este investimento atingirá uma cobertura de somente 44% da população (EDM-Statistical reports, 2009). É evidente que a eletrificação convencional não pode satisfazer a necessidade urgente de acesso universal a fontes modernas de energia, mesmo que o capital de investimento esteja disponível. Cerca de 13% da população em zonas rurais terá acesso a electricidade através de mini-redes ou tecnologias autônomas de energias renováveis, através do Fundo Nacional de Energia (FUNAE) (Arthur e Soliano, 2011). A projeção de geração de média e larga dimensão da EDM, está assente em três grandes fontes de geração de electricidade: hidroelétricas, gás natural e carvão. Todas essas fontes têm uma exploração a longo prazo e exigem custos elevados para a implantação de infra-estruturas e posterior exploração. Neste sentido, as fontes alternativas de geração são bem vindas em usos descentralizados como:

- (1) Produção de alimentos em pequenas unidades,
- (2) Iluminação básica e acesso a informação,
- (3) Bombeamento de água para comunidades rurais.

O Governo Moçambicano para divulgar as fontes alternativas descentralizadas de energia, criou através do Conselho de Ministros (Boletim da República, 2011) a resolução que estabelece a política de desenvolvimento de Energias Novas e Renováveis. Esta política define a visão para o setor de energia e guia o planejamento para o desenvolvimento de instituições relevantes. Esta estratégia e a Política de Desenvolvimento de Energias Novas e Renováveis em Moçambique (Estratégia de energia, 2009), estabelecem o papel da participação do setor privado como fundamental para o sucesso do desenvolvimento do (sub) setor e os benefícios da cooperação regional. (PDENR, 2009).

## 2.2 Aplicação de sistemas fotovoltaicos para bombeamento de água em Moçambique

Moçambique possui instalações de bombeamento de água acionadas por fontes renováveis de energia. O FUNAE, no âmbito de suas actividades de instalação de sistemas renováveis de energia, principalmente a FV, instalou na região sul e centro do país postos de bombeamento de água acionados por sistemas FV (Tab. 1 e Fig. 3), em diferentes localidades. Importou trazer para o presente artigo exemplos de algumas instalações que estão operacionais construídas entre os anos 2005 e 2012 com suas especificações técnicas, tais como: potência instalada, nível de profundidade dos poços e a capacidade do poço.

Tabela 1. Unidades de bombeamento FV em Moçambique

Nome do projecto	Capacidade (litros)	Profundidade (m)	Painéis (Wp)	Observação
PAC de Macossa	5000	80	480	Consumo do PAC
PAC de Macossa	5000	85	480	Consumo do PAC
Electrificação de Cheline e Muabsa	10000	45	690	Consumo Humano
Sistema de Bombeamento de Mudaca	17000	54	600	Consumo Humano
Electrificação de Pandjane	15000	70	900	Consumo animal
Electrificação de Chupanga	10000	33	700	Consumo Humano
Tinonganine Djabula	10000	-	-	Consumo Humano

Fonte: (FUNAE, 2013)

\*PAC – Posto de abastecimento de combustível



Fonte: (Ministerio da energia, 2012)

Figura 3 - Estações de bombeamento de água accionadas por sistemas FV - Moçambique

A Universidade Eduardo Mondlane (UEM) realizou uma experiência de bombeamento FV no ano de 1991 em seu campus universitário com resultados de certa forma satisfatórios e desde essa experiência diversas outras vêm sendo desenvolvidas para trabalhos de pesquisa; na sua maior parte os sistemas FV de bombeamento em Moçambique têm sido instalados para o aproveitamento de água potável em pequena escala de bombeamento. O FUNAE está a desenvolver um projeto importante, para a produção do atlas de energias renováveis no país, que consiste no mapeamento dos locais com potencial para o desenvolvimento de projetos na área das energias renováveis, com a duração de 28 meses e o fim previsto para Outubro de 2013. Foram instaladas 4 torres instrumentadas na região sul do país, Fig. 1 (Maputo, Gaza e Inhambane) com vista a medição da radiação solar, velocidade e direcção do vento; nas regiões Centro e Norte foram instalados equipamentos de medição nas torres das empresas de telecomunicações de modo a viabilizar o projecto (FUNAE, 2013).

### 3. ENERGIA SOLAR E SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

O estudo da viabilidade de implantação de um sistema de energia solar é de extrema importância devido ao carácter intermitente da fonte (CRESESB, 2006). Diversos estudos de viabilidade para implantação de sistemas FV otimizados para o bombeamento têm sido realizados ao nível mundial de modo a garantir o melhor desempenho possível ao sistema (Abidin, 2004; Hamidata, 2008 e Zvonim, 2007). Um perfil de radiação ótimo para o bombeamento é caracterizado pelo número de horas durante as quais o sistema pode operar com menores perdas possíveis e depende de dois factores característicos, como a potência mínima para o acionamento da bomba e o número de módulos FV utilizados. Um número maior de módulos permite o suprimento da potência mínima em níveis inferiores de radiação. A radiação acima de 300 W/m<sup>2</sup> estima-se que seja o nível mínimo de radiação para o acionamento com 3 módulos FV de 87 Wp de uma moto-bomba de 12 Vcc que forneça 5 bar e para os períodos em que a radiação está acima de 500 W/m<sup>2</sup>, para um moto-bomba idêntico, estima-se serem necessários 2 módulos FV). (Carvalho et al., 2008).

O sistema FV de bombeamento frequentemente consiste de uma área de módulos FV, sistema de bombeamento (moto-bomba) e uma fonte de água (Fig. 4). Mas existem outras configurações que têm sido adotadas para estes sistemas. Os módulos podem ser conectados em série ou em paralelo de acordo com a tensão e a corrente desejada, os motores usados podem ser de corrente alternada (indução) ou de corrente contínua e as bombas podem ser centrífugas ou volumétricas, respectivamente. A modelação válida para os módulos FV e o sistema de bombeamento permite simular o desempenho do sistema de bombeamento para vários locais, sendo necessários dados da radiação solar ou horas disponíveis de radiação solar e dados da temperatura; feito isto é importante conhecer o nível de profundidade em que se pode encontrar água apropriada para irrigação no caso do uso de poços. Os sistemas de irrigação variam de acordo com a escala do campo agrícola e da análise de viabilidade técnica e económica. Existem diversos tipos de irrigação que podem ser usados na produção de hortaliças, dependendo da forma como a água será aplicada as plantas. Os sistemas podem ser agrupados nos seguintes métodos de irrigação: superficial, subsuperficial, aspersão e localizado. Os recursos hídricos disponíveis para irrigação devem ser avaliados em função da vazão disponível no caso de poços (Waldir e Washington, 2011). Para a conexão entre o sistema de irrigação e a potência solar FV, são necessários equipamentos de bombeamento energeticamente e economicamente eficientes, para isso é preciso ter em conta:

- i) uso eficiente do recurso hídrico: identificar a quantidade de água necessária para a planta e ter em conta o solo e a capacidade de retenção das águas de chuva durante a estação chuvosa,
- ii) ter em conta a altura mínima necessária para estabelecer a pressão necessária na altura da irrigação,
- iii) adoptar o sistema de irrigação mais adequado para cada cultura de acordo com o local.

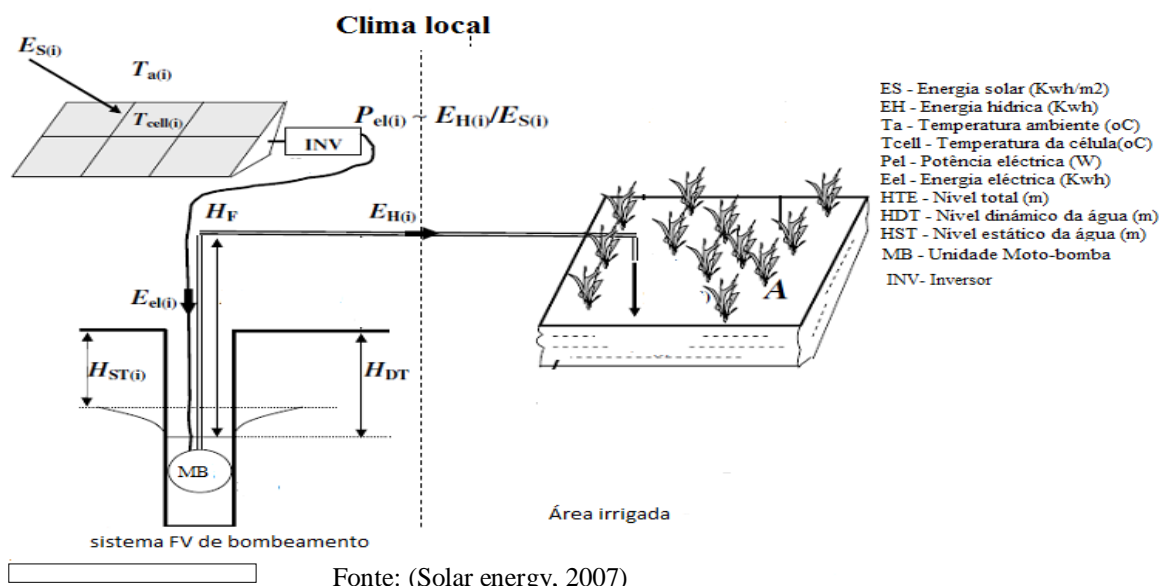


Figura 4 - Diagrama do sistema FV de bombeamento com elementos típicos

#### 4. DISPONIBILIDADE DOS RECURSOS HÍDRICO E SOLAR EM MOÇAMBIQUE

Foram realizadas experiências de modo a mapear regiões com bom potencial hídrico subterrâneo na província de Gaza, sul do país, para instalar bombas manuais (Afridev hand pump) para obtenção de água potável. Usaram-se dados colhidos pela Faculdade de Agronomia da UEM no ano de 1994, para verificar a qualidade de água, profundidade dos poços, nível estático e hidrodinâmico e volume de água bombeado por hora. Os dados da insolação e temperatura foram cedidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INAM) para um período de 5 anos (2006-2011).

##### 4.1 Disponibilidade do recurso hídrico na província de Gaza

Foram abertos poços de água na província de Gaza em 1994 accionados por bombas manuais em distritos (Massangena e Chigubo) que enfrentam sérios problemas de acesso a água potável para necessidades básicas. Os poços encontram-se operacionais e fornecem água para consumo humano. A Tab. 2 mostra o nível estático, hidrodinâmico e a capacidade de vazão dos poços. Pode-se observar que o poço com menor profundidade (18m), possui um nível estático de água de 10,2 m e o de maior profundidade (79m) um nível estático de 27,8 m. Os padrões dos poços variam entre 1m a 120m de profundidade. Os poços em causa permitem que sejam instalados sistemas de bombeamento com baixa demanda de potência elétrica podendo oferecer melhor rendimento que as bombas manuais actualmente instaladas (0,5 m<sup>3</sup>/h a 5,5 m<sup>3</sup>/h). O volume de água bombeada pode ser amplamente melhorado com o uso de sistemas de bombeamento mais eficientes, accionados por painéis FV e unidades moto-bombas. Para uma unidade de produção agrícola do tipo familiar os níveis de água encontrados são satisfatórios.

Tabela 2. Descrição dos poços abertos em Massangena e Chigubo (Gaza)

Profundidade do furo (m)	Nível dinâmico (m)	Nível estático (m)	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Observação
69	60	52,1	0,5	Operacional
48	34	30,3	3,8	Operacional
36	26	21,5	4,8	Operacional
48	42	25,2	3,8	Operacional
54	49	42,7	1,2	Operacional
42	37	8,4	2,4	Operacional
18	14	10,2	3,9	Operacional
35	32	15,9	3,2	Operacional
48	27	25,4	3,2	Operacional
56	49	42	2,8	Operacional
54	42	42,1	1,3	Operacional
66	58	49	2,4	Operacional
54	42	30,5	0,6	Operacional
78	66	20,9	1,2	Operacional
32	30	19,5	N/A	N/A
72	60	48,5	4	Operacional
51	36	16	1,1	Operacional
78	54	N/A	5,5	Operacional
54	48	39,1	N/A	Água salobra
73	N/A	N/A	N/A	Água insuficiente
43	N/A	N/A	N/A	Água insuficiente
48	N/A	N/A	N/A	Água insuficiente
79	42	27,8	N/A	N/A
36	72	15,2	2,9	Operacional

Fonte: (UEM,1998)

\*N/A – Não Aplicável

##### 4.2 Disponibilidade do recurso solar em Moçambique

Para realizar a avaliação do recurso solar no território moçambicano, foram adquiridos dados médios horários da insolação (número de horas de radiação solar) ao longo de 5 anos (2006 – 2011) em dez estações meteorológicas localizadas uma em cada província do país com o apoio do INAM e dados da radiação solar de um projeto experimental de bombeamento FV, instalado no campus universitário da UEM num período de doze meses (1997-1998) (Mutevuie, 1998).

Pode-se observar a sazonalidade da insolação na Fig. 5 (a, b, c) por regiões do país, que durante o ano apresentam um perfil quase constante de horas de sol disponíveis por mês/ano principalmente na região sul. Esta disponibilidade do recurso solar mostra-se favorável para a exploração no bombeamento de água ao longo do ano. Como foi referenciado em 2.2, Moçambique já explora com sucesso o recurso solar, para bombeamento de água potável e para fins de iluminação.

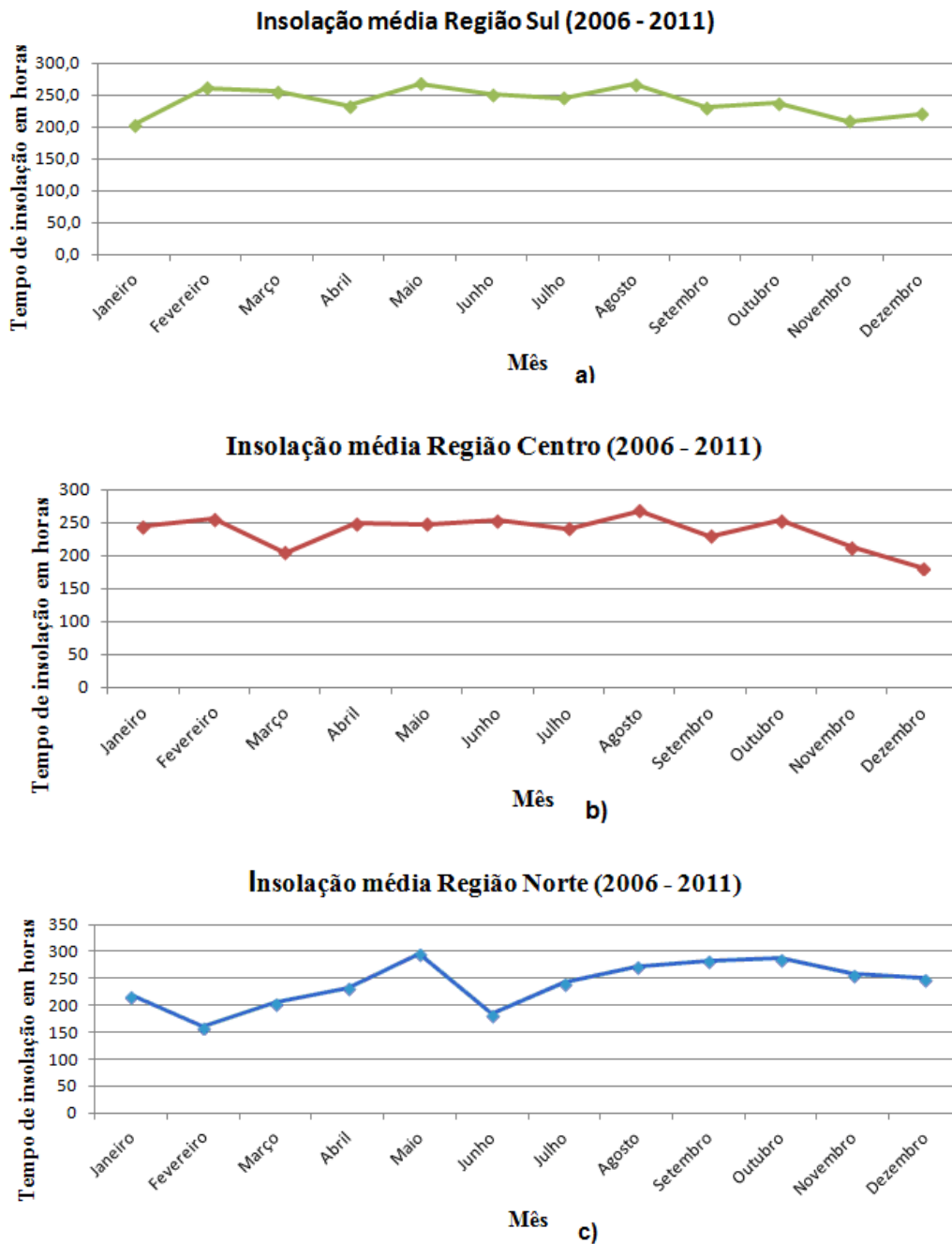


Figura 5 - Insolação média quinquenal por regiões. a) Insolação na região sul; b) Insolação na região centro; c) Insolação na região norte.

Para o sul do país foram realizadas as medições da radiação solar (Tab. 3), mostrando valores ótimos para o acionamento de sistemas FV para bombeamento, uma vez que a radiação de aproximadamente  $300\text{w/m}^2$  constitui a mínima quantidade de radiação exigida para algumas bombas (Shurflo Ltd, modelo 2088-732) (Cuamba, 1996). De acordo com o INAM o valor médio da radiação solar resultante de uma observação de 10 anos resultou em um valor médio de  $4,93\text{ kWh/m}^2/\text{dia}$  (Cuamba, 1996). Um datalogger permitiu a recolha de dados instantâneos medidos pelos sensores de 5 em 5 segundos (radiação, temperatura, tensão, corrente, velocidade do vento e eletricidade). Em cada hora esses dados eram internamente processados afim de se obter as médias horárias e regularmente eram transferidos para um computador do tipo PC para a sua análise, uma planilha foi usada para a análise dos dados. A radiação solar foi lida nos planos horizontal e inclinado ( $30^\circ$ ) para um poço de 32m de profundidade com uma potência instalada de 848 Wp.



De acordo com a Fig. 6, o índice de radiação absorvida pelo painel no plano inclinado é geralmente mais alto em relação ao plano horizontal, variando em alguns meses do verão, pelo fato de estar mais adequado á altura do sol no inverno.

Tabela 3. Valores médios mensais de irradiância

Mês	Radiação no plano horizontal (Wh/m <sup>2</sup> /dia)	Radiação no plano inclinado (Wh/m <sup>2</sup> /dia)
Julho	3212	4693
Agosto	4117	5475
Setembro	4212	4796
Outubro	4289	4455
Novembro	4582	4441
Dezembro	5456	5035
Janeiro	5387	4966
Fevereiro	5717	5769
Março	5116	5707
Abril	4344	5576
Mai	3828	5521
Junho	3426	5231

Fonte: (UEM, 2012)

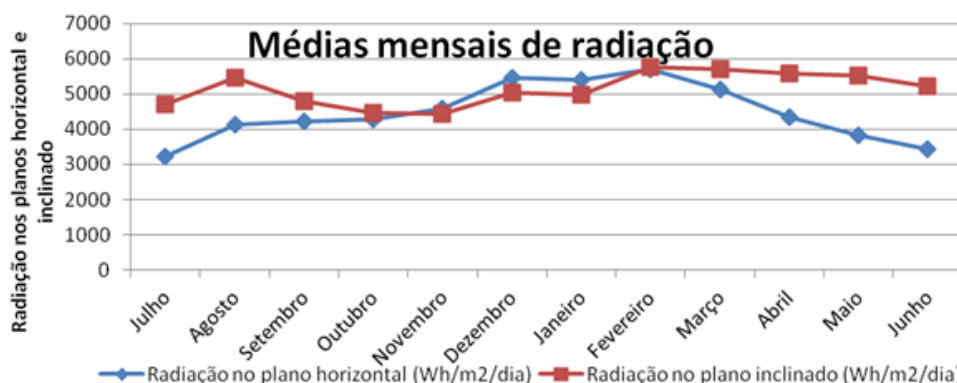


Figura 6 - Relação entre a radiação nos planos inclinado e horizontal, período de Julho de 1997 a Junho de 1998

## 5. CONCLUSÃO

Moçambique ainda não incluiu as fontes alternativas de geração de eletricidade na matriz energética, mas diversas atividades vêm sendo desenvolvidas para o uso eficiente destas fontes de geração.

Existe um potencial de águas subterrâneas ótimo na região sul do país, caso específico da província de Gaza que pode ser explorado para suprir as necessidades da população e aplicada na irrigação de unidades de produção familiar. Os testes realizados mostraram que a quantidade de água bombeada varia entre 0,3 m<sup>3</sup>/h a 5,5 m<sup>3</sup>/h, que responde perfeitamente a demanda hídrica mínima para o setor de irrigação em pequena escala. O número de horas disponíveis de sol (250 a 300 horas) ao longo do mês é satisfatório e mostra-se atrativo para aplicação no sector da agricultura, com uma radiação solar média que varia entre 3212 Wh/m<sup>2</sup>/dia e 5717 Wh/m<sup>2</sup>/dia.

Desta forma, são colocados novos desafios sobretudo para o setor do ensino profissional, para uma educação profissionalizante voltada à prática, formando quadros capazes de lidar de forma eficiente com as novas tecnologias na exploração dos recursos renováveis de modo a melhorar o rendimento da produção agrícola e qualidade de vida da população nas comunidades. A colaboração entre os órgãos responsáveis pelos setores de desenvolvimento político sócioeconómico e ambiental contribui para: a garantia de uma produção contínua e estável de alimentos, providenciar água potável para as comunidades remotas, reduzir os custos da distribuição de energia através de fontes descentralizadas de energia, melhorar a qualidade de vida de muitas famílias e a mitigação da emissão dos gases do efeito estufa e redução da pobreza absoluta no país. Deve ser lembrado que apenas 10% da área agrícola moçambicana se encontra explorada e o país dispõe de grandes possibilidades em termos de irrigação. Grandes bacias hidrográficas (Zambeze, Save, Limpopo) permanecem largamente não exploradas.

O Governo moçambicano prevê investir, nos próximos dez anos, a contar de 2012, cerca de USD 540 milhões em irrigação, como forma de impulsionar a produção e a produtividade agrícola no país, o que significa maior demanda energética para este setor. O Plano Estratégico Sectorial 2012 prevê a reabilitação de mais 5 mil hectares de regadio na província de Gaza (BES, 2012).

## REFERÊNCIAS

- Abdolzadeh, M.; Ameri, M.; (Iran); Improving the Effectiveness of a Photovoltaic Water Pumping System by Spraying Water Over the Front of Photovoltaic Cells; *Renewable energy* (34) 91 - 96. (2009)
- Abidin Firatoglu, Z.; Bulent Yesilata (Turkey); New Approaches on the Optimization of Directly Coupled PV Pumping Systems; *Solar Energy* (77) 81 - 93 (2004).
- Arthur, F., Soliano, O., Mariezcurrena V.; Estudo de Avaliação de Energias Renováveis em Moçambique - Relatório Final de Consultoria.11/07/2011.
- Banco Espírito Santo (BES); Internatinal Support Kit of Opportunities. Research Sectorial; Moçambique Junho, 2012. Boletim da República. Imprensa Nacional de Moçambique – Série número 41. Outubro (2011).
- Carvalho, P.; Mesquita, S.; Oliveira, R.; Oliveira Jr., D.; Pontes, R.; Riffel, D.: Estudo Estatístico de radiação solar visando o projeto de unidades de dessalinização acionadas por painéis fotovoltaicos sem baterias; 5º Encontro de Energia no Meio Rural e Geração Distribuída – Campinas (outubro de 2004)
- CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial\\_solar\\_2006.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf)> Acesso em 30 setembro de 2013.
- Cuamba, Boaventura Chongo; Studies of the performance on a photovoltaic power plant in Southern Africa environment, Ph.D. Thesis, University of Northumbria at Newcastle (1996).
- EDM - Electricidade de Moçambique, Statistical Reports 19. (2009).
- Estratégia de Energia República de Moçambique, (Boletim da Republica, I Série, no 22, Suplemento, Conselho de Ministros, Resolução 10/2009 de 4 de Junho), (2009).
- FUNAE - Artigo do Atlas de energias renováveis: disponível em: [www.funae.co.mz/index.php?optio=com\\_content&view=article&id=339%3atlas-de-energias-renovaveis&catid=36](http://www.funae.co.mz/index.php?optio=com_content&view=article&id=339%3atlas-de-energias-renovaveis&catid=36) Acesso em 28 setembro de 2013
- Hamidata, A., Benyoucef, B.; Mathematic Models of Photovoltaic Motor-pump Systems; *Renewable energy* (33) 933-942, (2008).
- HCB – Hidroelétrica de Cahora Bassa, orgulhosamente nossa, Proudly ours. Agosto, August (2009) S.A.
- INE, Fonte dos dados: Instituto Nacional de Estatística / Comissão Geral de Recenseamento.(2011).
- Mutevuie, Humberto Raúl; Caracterização de uma estação de bombeamento de água a energia solar, trabalho de licenciatura, UEM. Maputo, Julho 1998.
- PDENR - Republica de Moçambique, Política de Desenvolvimento de Energias Novas e Renováveis (Boletim da republica, Série, no 41, Conselho de Ministros, Resolução 62/2009 de 14 de Outubro), (2009).
- Perspectivas economicas na África 2004/2005-Moçambique disponível em: [www.oecd.org/dev/aeo](http://www.oecd.org/dev/aeo)
- Takashi, P., Ricieri R., et all. Análise da vazão e eficiência de um sistema de motobomba acionada por painéis fotovoltaicos, II Congresso Brasileiro de Energia Solar e III Conferência Regional Latino-Americana da ISES - Florianópolis, 18 a 21 de novembro de 2008.
- UNCCD - Formulação de um programa para a implementação da convenção das Nações Unidas de combate a desertificação (UNCCD) nos países da CPLP, Relatório de Moçambique (2009).
- Waldir, A., Washington, L. (Brasília). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças. 2ª ed. ISSN 1415-3033. (2011)
- Zaki A., Eskander M., Matching of photovoltaic motor-pump systems for maximum efficiency operation. *Renewable Energy* (3) 279 - 288. (1996)
- Zvonimir, G., Jure, M., (Croatia). A Model for Optimal Sizing of Photovoltaic Irrigation Water Pumping Systems, *Solar energy* (81) 904 - 916. (2007)

## POTENTIAL OF PHOTOVOLTAIC TECHNOLOGY FOR IRRIGATION OF FAMILY PRODUCTION UNITS: A CASE STUDY FOR MOZAMBIQUE

**Abstract.** *Photovoltaic technology applied in water pumping systems has been implemented worldwide in recent decades, especially in remote areas. This technology is part of the answer to problems such as global warming, lack of access to conventional grid electricity in rural areas, lack of water for human and animal consumption, higher energy costs for irrigation systems, among others. The present paper analyzes the feasibility of using solar and water resources in Mozambique in photovoltaic pumping systems for irrigation of family production units. Solar radiation data collected over a period of 5years (2006-2011) in 10 meteorological stations by the National Institute of Meteorology and data from the national management of the waters, through open wells for drinking water supply, make possible to evaluate the potential availability of sunlight and water the country. Insulation data (~ 300 hours / month), average solar radiation (4.93 kWh/m<sup>2</sup>/day) and funding sources of water show that Mozambique has great potential for the application of PV systems for water pumping irrigation of family production units and supply other basic needs.*

**Key words:** *Photovoltaic, pumping, irrigation*