

## SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE PARA MOÇAMBIQUE

MARCOS HERBERT SMITH DOS SANTOS<sup>1</sup>, TRAJANO DE SOUZA VIANA<sup>2</sup>, MAURO CARLOS LOPES SOUZA<sup>3</sup>,  
MILA ROSENDAL AVELINO<sup>1</sup>, WEBER FIGUEIREDO DA SILVA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ/RJ

<sup>2</sup> Centro Federal de Educação Tecnológica – CEFET/RJ

<sup>3</sup> Universidade Estadual da Zona Oeste – UEZO/ RJ

### RESUMO

A energia solar fotovoltaica é uma fonte limpa e importante opção como fonte alternativa de energia elétrica. Um estudo das condições energéticas de Moçambique, na África, através do ministério de energia, daquele governo, fornece dados importantes para conhecimento das condições de suas regiões desprovidas de energia elétrica. Os dados solarimétricos são usados para se definir um sistema fotovoltaico. Estes podem ser obtidos do órgão meteorológico da região, que fornece dados para as cidades das estações meteorológicas espalhadas pelo país e de laboratórios de pesquisa internacionais de campo que fornecem dados solarimétricos, usando satélites de varredura, que são capazes de cobrir todo globo terrestre e disponibilizarem aplicativos que permitem, através das coordenadas do local, identificar exatamente a irradiação solar em qualquer ponto. Neste estudo, dados laboratoriais, validados através de comparações com os dados de órgãos oficiais da região, permitiram se montar um banco de dados solarimétricos e se calcular o potencial fotovoltaico de geração de energia de cada local. Foram também observadas regiões, desprovidas de redes elétricas, muito propícias ao aproveitamento da energia solar para geração direta de eletricidade, para ser conectada à rede de distribuição.

Palavras-chave: Dados solarimétricos, radiação solar, energia solar fotovoltaica, capitais moçambicanas, geração direta de eletricidade.

### ABSTRACT

Photovoltaic solar energy is a clean source and important option as an alternative source of electricity. A study of the energy conditions of Mozambique, in Africa, through the ministry of energy, that government provides important data for understanding the conditions of their regions without electricity. Solarimetric data are used to define a photovoltaic system. These can be obtained from the meteorological organ of the region, which provides data for the cities of weather stations across the country and field international research laboratories provide data solarimetric, using satellites scan, which are able to cover the entire globe and for providing applications allowing through the local coordinates, to identify the exact solar radiation at any point. In this study, laboratory data, validated through comparisons with data from official agencies in the region, allowed to organize a solarimetric database and calculate the generation of photovoltaic power at each location. It was also observed regions without electric distribution network very conducive to the utilization of solar energy for the direct generation of electricity to be connected to the distribution network.

Keywords: Solarimetric data, solar radiation, photovoltaic solar energy, Mozambique capitals, direct electricity generation.

### INTRODUÇÃO

Moçambique possui vastos recursos de energia de fontes renováveis, como solar, eólica e biomassa. Mas, encontra-se pouco desenvolvido em relação ao mundo, na mobilização destes recursos para produção de energia elétrica. Há muitas razões, como a pobreza, falta de financiamento, subsídios e conhecimento técnico e soluções de baixo custo. Mas, a falta de iniciativas políticas e investimento, são as principais (AIM, 2012).

O país localiza-se na costa sud-

este da África. Possui uma superfície de 799.380 km<sup>2</sup> e é banhado pelo Oceano Índico. O território é dividido em dez províncias: Cabo Delgado, Niassa, Nampula, Zambézia, Tete, Manica, Sofala, Inhambane, Gaza, Maputo. Suas capitais são, respectivamente, Pemba, Lichinga, Nampula, Quelimane, Tete, Chimoio, Beira, Inhambane, Chokwe, Maputo. O país possui 22 milhões de habitantes, com densidade entre 12 (Niassa) e 175 (Gaza) habitantes/km<sup>2</sup>. Maputo possui 3.206 habitantes/km<sup>2</sup> (ATLAS Moçambique, 2012).

Moçambique apresenta clima tropical quente, com duas estações principais: a

estação quente e úmida, de outubro a março, e a estação fria e seca, de abril a setembro. A temperatura média anual é de 23 a 26°C nas zonas costeiras e a precipitação é por volta de 1200 mm por ano. O sul de Moçambique é a região mais seca, enquanto que outras regiões apresentam precipitação de pelo menos 800 mm por ano (ARTHUR, et al., 2011).

O país é um dos muitos países africanos onde a geração de eletricidade tem como base as grandes centrais hidrelétricas e usinas térmicas alimentadas a carvão sendo, mas, possui os níveis de consumo de energia mais baixos no sul da África, tendo 70% do consumo energético baseado em biomassa (lenha e carvão) e com apenas 23% da população tendo acesso à energia elétrica.

De acordo com Arthur et al. (2011), em termos de energia elétrica, Moçambique é dotado de considerável potencial hidráulico e rico em outras fontes de energia renovável, adequadas para produção de eletricidade, como energia solar, eólica, geotérmica, oceânica e biomassa, florestal e agrícola. A matriz elétrica de Moçambique é considerada 70% biomassa e 30% hidráulica, e possui potencial para produzir cerca de 15 GW (AIM, 2012). O consumo das cidades é estimado em 710 MWh e é, praticamente, proveniente das hidrelétricas.

Atualmente (2013) a principal fonte de energia elétrica é a usina hidrelétrica de Cahora Bassa (HCB), com capacidade para gerar 2.070 MW, que foi construída no rio Zambeze com objetivo principal de fornecer energia à África do Sul e a indústria de Maputo. Desse total de 2.070 MW, 1.300 MW são vendidos à Eskom, produtora e distribuidora sul-africana; cerca de 400 MW são fornecidos à empresa pública Eletricidade de Moçambique (EDM); 200 MW são fornecidos ao Zimbábue e cerca de 70 MW ao Botswana.

Moçambique possui ainda minicentrais hidrelétricas (MCH), cuja capacidade de geração vai até 15 MW, as quais contribuem para iluminar pequenas comunidades. Estima-se que existam de 60 a 100 regiões com características possíveis para fazer aproveitamento por

meio de minicentrais hidrelétricas (MCH). Uma pequena parte da energia elétrica é produzida por usinas térmicas a gás de forma não constante e estima-se exista 1 MWp instalado em energia solar fotovoltaica, utilizada em escolas, hospitais e vilarejos remotos (ARTHUR, et al., 2011).

Os responsáveis pela política energética e investidores ainda põem em dúvida os custos da energia solar e eólica, como se o custo fosse a única consideração importante na escolha de fontes de energia para o futuro. Apesar do custo da eletricidade ser importante, este será ainda maior se não houver investimentos e aquisição de experiência, a partir desse início do século XXI, com as fontes de energia solar, eólica ou biomassa.

O Ministério da Energia concluiu a elaboração da política de desenvolvimento de energias renováveis para Moçambique, instrumento que visa criar condições para o fornecimento de energia de qualidade e a preços acessíveis às populações de baixa renda. Essa política pretende promover o uso e aproveitamento das energias novas, renováveis e limpas para acelerar o acesso a formas modernas de energia e estimular o investimento no setor.

O governo tem buscado várias fontes alternativas e a energia eólica é abundante renovável, limpa e disponível em diversas regiões. Estudos recentes feitos na zona de Tofinho, província de Inhambane e também na província de Maputo, mostram um bom potencial para se explorar o vento para a geração de energia elétrica. O uso de aerogeradores para aproveitamento da energia dos ventos, na Praia da Rocha, província de Inhambane, está em fase conclusiva. O país também tem potencial para desenvolver a energia geotérmica, oriunda das águas quentes do subsolo, dada a existência de águas termais na província central da Zambézia (EDNER, 2011).

De todas as formas de energia alternativas renováveis que Moçambique dispõe (excetuando a hidráulica), a solar é a mais utilizada principalmente para atender às necessidades das populações rurais com sistema

fotovoltaicos isolados.

Os níveis de irradiação média anual em Moçambique situam-se em torno de 5,8 kWh/m<sup>2</sup>/dia, que indica um grande potencial para geração de energia fotovoltaica. O Fundo de Energia (FUNAE), pertencente ao Ministério da Energia, desenvolve um projeto de eletrificação rural usando sistemas fotovoltaicos, visando à eletrificação de escolas e unidades sanitárias e tem, também, um projeto para construção de uma fábrica de módulos fotovoltaicos em parceria com a empresa indiana Central Electronics Limited (CEL). Essa unidade deverá ser erguida na província de Maputo e contará com o financiamento do Governo da Índia (HANKINS, 2009).

O cenário em Moçambique se apresenta, portanto, bastante favorável para a geração de eletricidade com sistemas fotovoltaicos e, embora, a ênfase atual seja nos sistemas isolados, há a tendência mundial para geração utilizando sistemas fotovoltaicos conectados à rede. O emprego desse tipo de sistema também chegará a Moçambique e o conhecimento do potencial de recurso solar e de geração fotovoltaica será fundamental para o desenvolvimento da tecnologia no país.

No presente trabalho, estudou-se as condições solarimétricas de Moçambique e foi apresentado o potencial de geração estimado com sistemas fotovoltaicos conectados à rede, para todo o território moçambicano, visando identificar as regiões mais propícias ao aproveitamento da energia solar para geração direta de eletricidade. Foram obtidos bancos de dados de irradiação global (horizontal) e total (inclinada), direta normal e difusa, para todo território moçambicano.

Esses bancos de dados de irradiação descritos acima são usados para se verificar resolução espacial e desvios entre os dados da irradiação para as capitais moçambicanas. Estimou-se também a geração de energia de sistemas fotovoltaicos conectados à rede para as capitais e enfatizou-se a importância de instalar esses sistemas à rede em Moçambique.

## METODOLOGIA

### *Obtenção de Bancos de Dados de Irradiação e de Temperatura*

Na obtenção do banco dados solarimétricos e de temperatura foram pesquisados os bancos de dados do Instituto Nacional de Meteorologia de Moçambique (INAM).

O INAM realiza medições através de suas estações costeiras e do interior, abastecendo os órgãos governamentais e de pesquisa através de seu banco de dados. Os instrumentos de medição são calibrados periodicamente e os dados são considerados oficiais.

Uma segunda fonte de dados solarimétricos, é o NREL (National Renewable Energy Laboratory), do Departamento de Energia (DOE) norteamericano. O banco de dados do NREL fornece o valor da média diária, média mensal e do total anual de irradiação para áreas na superfície terrestre, denominadas células, com aproximadamente 40 km por 40 km. Os dados para cada célula foram obtidos por meio do Modelo Climatológico de Radiação Solar, CSR (do inglês, Climatological Solar Radiation Model) desenvolvido pelo NREL, que recebeu informações do período de 01/01/1985 a 12/31/1991. O valor do recurso solar de cada célula é apresentado em watt-hora por metro quadrado por dia (Wh/m<sup>2</sup>/dia) para cada mês.

O modelo CSR utiliza informações sobre a cobertura de nuvens, vapor de água, gases e teor de aerossóis da atmosfera, para calcular a média diária mensal de irradiação que incide sobre uma superfície horizontal. Os dados são validados por medições feitas por estações terrestres existentes. Os valores de irradiação são modelados com uma precisão de cerca de 10% de um valor real medido no interior da célula, devido às incertezas associadas com os dados de entrada para o modelo meteorológico. A cobertura de nuvens locais pode variar bastante, mesmo dentro de uma única célula pelo efeito do terreno e outras influências microclimáticas.

Tabela 1 - Irradiação média anual fornecidos pelo NREL e INAM

Cidades	N R E L ( k W h / m <sup>2</sup> dia)	I N A M ( k W h / m <sup>2</sup> dia)	%
Maputo	5,5	5.9	0,93
Q u i l i - mane	5,7	6.0	0,95
Chokwe	6,0	5.9	0,98
I n h a m - bane	5,8	5.3	0,91
Beira	5,4	5.4	0,00
Chimoio	5,5	5.2	0,94
Tete	5,7	5.4	0,89
Nampula	5,5	5,4	0,98
Pemba	5,4	5.7	0,94
Lichinga	5.1	5;1	0,00

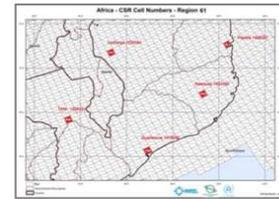
Comparando os valores obtidos no INAM e no NREL, para as capitais, observou-se uma diferença inferior a 10% e em alguns casos, nenhuma diferença, conforme mostrado na tabela 1.

#### Levantamento de Dados para Tabelas e Gráficos

Duas fontes foram analisadas: INAM, que fornece dados solarimétricos para capitais e NREL, que fornece dados para o todo o território moçambicano. Optou-se por usar o banco de dados NREL, por cobrir Moçambique com resolução espacial de 40 km x 40 km, que permite obter os valores de irradiação para todas as regiões do país, a partir das coordenadas do local.

A Figura 1 (a), (b) e (c) exibem mapa de Moçambique em três regiões: Norte, Centro, e Sul. Cada mapa é dividido em células, correspondentes às coordenadas (longitude e latitude) da área coberta pelas células. Cada célula possui uma numeração que, quando procurada no banco de dados do NREL, fornece a irradiação correspondente (NREL, 2012).

A Figura 1(a) mostra a região norte de Moçambique com a localização das cidades Tete, Pemba, Lichinga, Quelimane e Nampula. Cada cidade está representada por uma célula em vermelho com as coordenadas correspondentes que são as mesmas utilizadas na tabela do INAM para obtenção das irradiações correspondentes.



(a)



(b)



(c)

Figura 1 – Mapas da Irradiação Solar das Regiões de Moçambique; (a) Norte; (b) Central; (c) Sul

A figura 1(b) mostra a região central com as localizações das cidades de Chimoio, Beira, e Inhambane, indicadas por células em vermelho. A figura 1(c) mostra a região sul, onde estão localizadas as cidades de Maputo e Chokwe, também indicadas por células em vermelho.

Utilizando o programa Excel, foram selecionados os dados do NREL, de acordo com as coordenadas de cada capital e tabelados os valores de irradiação elaborados gráficos para visualização dos valores mensais e do total anual.

#### Geração de Energia de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFVCR)

Para estimar a energia gerada por sistemas fotovoltaicos conectados a rede foi empregada a equação (1):

$$EEST = (PFV \cdot HTOT / GSTC) \cdot TD \quad (1)$$

onde:

EEST - energia gerada estimada (em Wh/ano)

PFV - potência fotovoltaica instalada (em Wp)

HTOT - irradiação total (em Wh/m<sup>2</sup>/ano)

GSTC - irradiância na condição STC (= 1000W/m<sup>2</sup>)

TD - Taxa de Desempenho

A taxa de desempenho (TD) é um valor obtido experimentalmente que engloba diversos fatores que afetam o desempenho de um sistema fotovoltaico, tais como:

- efeitos da temperatura sobre os módulos e inversores;
- variações espectrais sazonais da radiação solar;
- perdas em condutores;
- perdas em conexões e outros.

O valor de TD para sistemas com bom desempenho está situado entre 0,75 e 0,85.

Aplicou-se a equação (1) utilizando-se os dados solarimétricos das capitais, considerando um sistema fotovoltaico com PFV de 1 kWp e taxa de desempenho (TD) igual a 0,80. Assim, determinou-se a geração de energia fotovoltaica, em kWh/kWp, para as capitais moçambicanas.

#### *A análise do potencial de geração SFVCR em Moçambique*

Os valores estimados para geração nas cidades de Chokwe, Inhambane, Tete e Quelimane serão muito interessantes. As irradiações solares obtidas nestas cidades foram altas e superiores a muitas regiões europeias, por exemplo, Alemanha, que já utiliza energia solar fotovoltaica para produzir eletricidade, que corresponde a 30GW de potência instalada. Com o sistema proposto de conexão a rede, combinados a outros tipos de geração convencional ou não, este procedimento pode trazer grandes benefícios à população. Mesmo as cidades cujos índices de irradiação estão abaixo de 5,5, este é considerado apropriado a geração de energia fotovoltaica.

Essas constatações levam a se concluir que Moçambique poderá gerar mais energia que muitas outras regiões da África.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### *Temperaturas em Moçambique*

As figuras 2 e 3 mostram a média mensal das temperaturas de duas cidades de Moçambique: Chokwe e Inhambane, obtidas a partir de dados do período de 1971 a 2010.

Cidade de Chokwe



Figura 2 – Média Mensal e Variação das Temperaturas da Cidade de Chokwe

Cidade de Inhambane



Figura 3 – Média Mensal e Variação das Temperaturas da Cidade de Inhambane

As demais cidades apresentaram uma média de temperatura máxima inferior a 28°C. Comparando-se os dados nas Figuras 2 e 3, verifica-se que a cidade de Chokwe apresenta o maior valor de temperatura máxima (31,3 °C) e quase a mesma temperatura mínima (22,2 °C).

De acordo com o levantamento realizado, estas cidades são as que apresentaram elevados valores de irradiação (menor apenas que Maputo e Tete), conforme pode ser visto na Tabela 2.

*Irradiação Solar em Moçambique*

O primeiro levantamento dos valores de irradiação solar para as capitais moçambicanas foi realizado a partir do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia de Moçambique – INAM. A Tabela 2 lista, para a maioria das capitais de Moçambique, com as coordenadas consideradas e os valores da irradiação global anual, em kWh/m<sup>2</sup>/dia (INAM, 2012)

Tabela 2 - Irradiação global nas principais capitais de Moçambique

Cidade	Localização		Irradiação Total (KWh/m <sup>2</sup> /dia)												
	lat	long	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Med
Maputo	25°58'	32°36'	7.7	7.3	6.4	5.3	4.4	3.9	4.1	4.9	5.8	6.7	7.1	7.7	5.9
Quilimane	24°44'	33°32'	7.6	7.3	6.5	5.5	4.6	4.0	4.3	5.1	6.0	6.7	7.2	7.6	6.0
Chokwe	24°33'	33°00'	7.5	7.1	6.4	5.5	4.6	4.2	4.3	5.1	5.9	6.6	7.1	7.6	5.9
Inhambane	23°52'	35°23'	6.6	6.6	5.7	4.8	4.0	3.6	3.8	4.4	5.2	6.0	6.4	6.7	5.3
Beira	19°48'	34°54'	6.5	6.2	5.7	5.1	4.4	3.9	4.1	4.7	5.5	6.1	6.4	5.5	5.4
Chimoio	19°07'	32°28'	5.9	5.9	5.4	5.2	4.7	4.2	4.0	4.9	5.4	5.8	5.8	5.3	5.2
Tete	18°11'	33°35'	7.0	7.1	6.8	6.2	5.5	5.0	5.2	6.0	6.7	7.3	7.7	7.2	6.4
Nampula	15°06'	39°17'	6.1	6.0	5.7	5.2	4.6	4.2	4.3	5.0	5.8	6.3	6.5	6.2	5.4
Lumbo	15°02'	40°40'	7.0	6.9	6.5	6.1	5.5	5.0	6.1	6.1	7.0	7.7	7.8	7.2	6.5

De acordo com o levantamento de dados do NREL, foi possível ilustrar através das figuras 4 a 6, usando-se tabelas e gráficos, mostrando as curvas de Irradiação Solar média diária mensal (kWh/m<sup>2</sup>/dia), bem como os totais anuais tabelados em kWh/m<sup>2</sup>/ano, de irradiação global horizontal, inclinada, direta normal e difusa, para as cidades de Maputo, Chokwe e Inhambane.

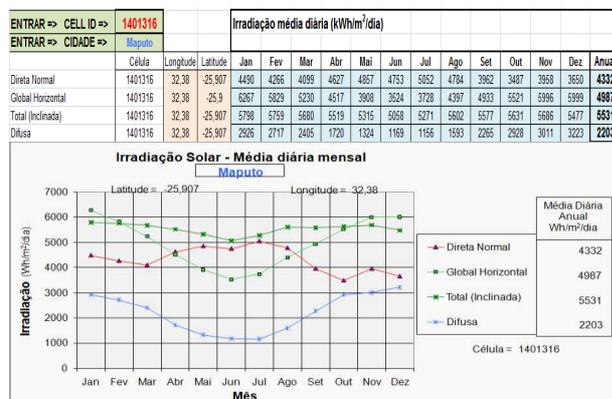


Figura 4 - Irradiação em Maputo

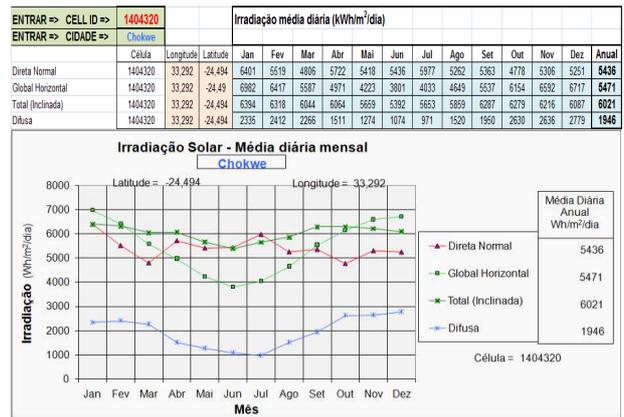


Figura 5 - Irradiação em Chokwe

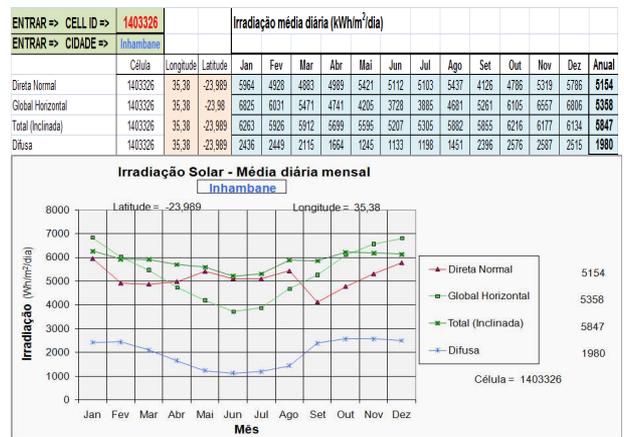


Figura 6 - Irradiação em Inhambane

Os gráficos das figuras 4 a 6 permitem verificar, preliminarmente, as diferentes possibilidades de aproveitamento da radiação solar, observando-se qual parcela de irradiação solar predomina nas três capitais escolhidas para esse estudo.

De acordo com os gráficos de irradiação para as capitais escolhidas, a cidade de Chokwe é a que apresenta maior média anual de irradiação solar, 6021 kWh, seguido pela cidade de Inhambane com média anual de 5847 kWh. Em terceiro lugar, a cidade de Maputo, com 5431 kWh. Embora não esteja apresentado em figuras no texto, a cidade de Tete apresentou uma irradiação media anual de irradiação de 5795 kWh, seguidopor Quilimane com 5748 kWh; Nampula, com 5538 kWh; Chimoio, com 5526 kWh; Beira, 5478 kWh; Pemba, 5449 kWh e, por último, Lichinga, a menor irradiação, com 5133 kWh. Pode-se separar o grupo de cidades com

maior irradiação média > 5740kWh: Chokwe, Inhambane, Tete e Quilimane. Outro grupo com irradiação média <5550kWh, ente elas: Nampula, Chimoio, Beira, Pemba, Maputo e Lichinga.

A tabela 1 mostrou valores da irradiação média anual, em kWh/m<sup>2</sup>/dia, obtidas através dos dois métodos. De acordo com esta tabela, o percentual de diferença entre os valores de irradiação, obtidos para o INAM e NREL, não ultrapassou 10%, ora para menos ora para mais, chegando em alguns casos, como das cidades de Lichinga e Beira, serem o mesmo valor. Isto mostra que a planilha do NREL é confiável.

Optou-se em utilizar valores de irradiação obtidos através da planilha de Excel NREL, exibidos nas figuras 4 a 6, para se obter estimativa de geração de energia em três das cidades de Moçambique com maior potencial, devido esta, ser mais completa, conforme abordado anteriormente.

*Estimativas de Geração Fotovoltaica em Moçambique*

As estimativas a seguir são direcionadas para as cidades de Chokwe, Inhambane e Tete, capitais estas que apresentaram maior potencial de irradiação solar e, por isso, escolhidas para o estudo de geração de energia de sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Maputo foi incluída pela importância de ser a capital do país.

A geração é estimada, para a cidade de Maputo, conforme a tabela 3. Assim, a irradiação total anual (HTOT) = 2018 kWh/m<sup>2</sup>/ano.

Aplicando a equação (1) e considerando TD = 0,8, teremos:

$$E_{EST} = \frac{P_{FV} \cdot H_{TOT}}{G_{STC}} \cdot TD = 1614,40 \text{ kWh/ano/kWp}$$

Tabela 3 – Irradiação e Geração para Maputo  
IRRADIAÇÃO DIÁRIA MÉDIA MENSAL (Wh/m<sup>2</sup>/dia)

IRRADIAÇÃO DIÁRIA MÉDIA MENSAL (Wh/m <sup>2</sup> /dia)												
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
5798	5759	5680	5519	5315	5088	5271	5602	5577	5631	5686	5477	5589,50

IRRADIAÇÃO MENSAL MÉDIA (kWh/m <sup>2</sup> /mês)												Total Anual kWh/m <sup>2</sup> /ano
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
179,74	161,25	176,08	165,57	164,77	151,74	163,40	173,66	167,31	174,56	170,58	169,79	2018,45

GERAÇÃO MENSAL ESTIMADA PARA TAXA DE DESEMPENHO DE 80% (kWh/kWp)												kWh/kWp
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Annual
143,79	129,00	140,86	132,46	131,81	121,39	130,72	138,93	133,89	139,65	136,48	135,83	1614,76



A geração é estimada para cidade de Inhambane, conforme a tabela 5. A irradiação total anual será, (HTOT)= 2134 kWh/m<sup>2</sup>/ano. Aplicando a equação (1) e considerando TD = 0,8.

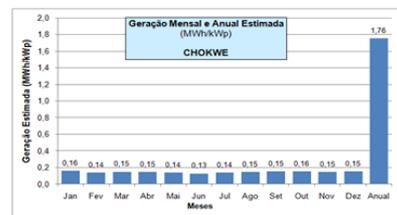
$$E_{EST} = \frac{P_{FV} \cdot H_{TOT}}{G_{STC}} \cdot TD = 1707,20 \text{ kWh/ano/kWp}$$

Tabela 4 – Irradiação e Geração para Chokwe

IRRADIAÇÃO DIÁRIA MÉDIA MENSAL (Wh/m <sup>2</sup> /dia)												
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
6394	6318	6044	6064	5659	5392	5663	5859	6287	6279	6216	6087	6075,50

IRRADIAÇÃO MENSAL MÉDIA (kWh/m <sup>2</sup> /mês)												Total Anual kWh/m <sup>2</sup> /ano
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
198,21	176,90	187,36	181,92	175,43	161,76	175,59	181,63	188,61	188,65	194,69	186,45	2197,21

GERAÇÃO MENSAL ESTIMADA PARA TAXA DE DESEMPENHO DE 80% (kWh/kWp)												kWh/kWp
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Annual
158,57	141,52	149,89	145,54	140,34	129,41	140,44	145,30	150,39	155,72	149,18	150,96	1757,77



A geração é estimada para cidade de Tete, como mostra a tabela 6. A irradiação total anual será, HTOT= 2115,61 kWh/m<sup>2</sup>/ano

Aplicando a equação (8) e considerando TD = 0,8.

$$E_{EST} = \frac{P_{FV} \cdot H_{TOT}}{G_{STC}} \cdot TD = 1692,48 \text{ kWh/ano/kWp}$$

Tabela 5 – Irradiação e Geração para Inhambane

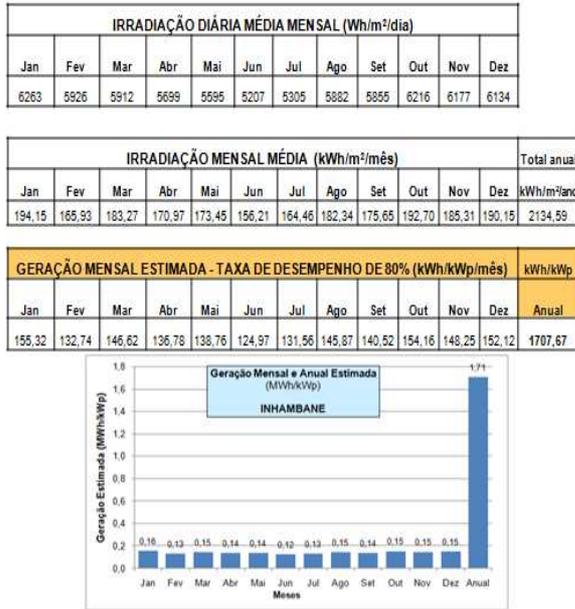
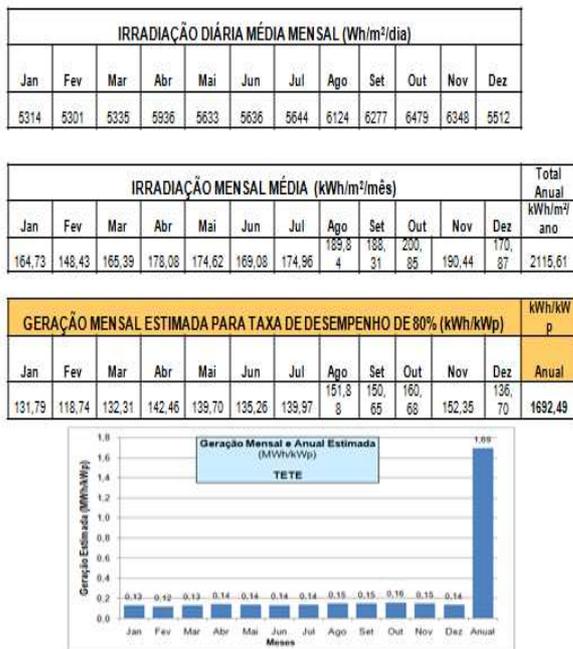


Tabela 6 – Irradiação e Geração para Tete



Os gráficos e tabelas, obtidas a partir dos dados do NREL, mostram as regiões mais propícias à utilização de energia solar que apresentam maior média de irradiação: 5.8 a 6.0 kWh/m<sup>2</sup>/dia, que são as cidades de Chokwe, Inhambane, Tete e Maputo. por ser a capital.

De acordo com a Figura 5, Chokwe apresenta maior capacidade de geração, ficando um pouco atrás a cidade de Inhambane e Tete. A média de irradiação nestas três cidades está muito próxima, variando entre 5,8 e 6 kWh/m<sup>2</sup>/dia, de acordo com as figuras 4, 5 e 6. Estes valores tornam estas cidades muito propícias ao aproveitamento da energia solar através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede para geração direta de eletricidade.

A taxa de desempenho considerada para estimar a geração é 0,8, podendo alcançar em um SFVCR real o valor de 0,85, em função da qualidade dos materiais e das instalações. O valor de TD = 0,85 levaria um sistema fotovoltaico com potência instalada de 1kWp a fornecer geração maior que 1.800 kWh/ano, ou seja, a geração estimada seria de 1.800 kWh/kWp/ano.

De acordo com o sistema proposto, a tabela 7 abaixo mostra o potencial de geração direta de eletricidade para as principais cidades Moçambicanas.

Tabela 7 - Potencial de Geração Cidade Geração Fotovoltaica Estimada (kWh/kWp/ano)

Chokwe	1757
Inhambane	1707
Tete	1692
Quilimane	1679
Nampula	1617
Chimoio	1614
Maputo	1614
Beira	1612
Lichinga	1499

## CONCLUSÃO

As regiões que apresentam maior temperatura foram as que apresentaram maior irradiação.

O banco de dados solarimétrico do NREL se mostrou confiável e mais completo quando se compara com banco de dados do INAM e pode ser usado para se obter a irradiação média anual em qualquer região de Moçambique. A irradiação obtida no INAM atende apenas às cidades.

Para se obter a irradiação média anual de um determinado local de Moçambique, basta se conhecer as coordenadas do local e introduzi-las na planilha Excel NREL. Para se obter a estimativa de geração de energia neste local, aplica-se a irradiação obtida da planilha NREL na equação (1) que está normalizada para 1kWp.

A média anual da irradiação solar em Moçambique está na faixa de 5 a 6kWh/m<sup>2</sup>/dia e as regiões mais propícias à utilização de energia solar são as que apresentam maior média de irradiação: 5.8 a 6.0 kWh/m<sup>2</sup>/dia, que são as cidades de Chokwe, Inhambane e Tete. No entanto, as demais cidades também apresentam um índice de irradiação muito propício a utilização de energia solar, inclusive a capital Maputo, conforme mostrado na tabela 3. A geração de energia fotovoltaica estimada na cidade de Chokwe é de 1.757 kWh/kWp/ano.

A região de Moçambique apresenta um índice de irradiação propício a geração de energia solar fotovoltaica, com uma geração de energia estimada que pode ultrapassar 1.800 kWh/ano.

O sistema solar fotovoltaico conectado à rede, com potência normalizada de 1 kWp, obteria bons resultados de aproveitamento da energia solar para geração direta de eletricidade nas cidades Moçambicanas de Chokwe, Inhambane, Tete.

## REFERÊNCIAS

AIM. Relatório Energético da África Austral.

Africa Inland Mission Internacional. Disponível em: [www.aimint.org](http://www.aimint.org). 2012

ARTUR, F., SOLIANO, O., MARIEZCORRENA, V., Estudo de Energias Renováveis em Moçambique. Relatório de Consultoria. 2011.

EDNER. Estratégia de Desenvolvimento de Energias Novas e Renováveis. República de Moçambique. Ministério da Energia. 2011.

EDM. Overview of Moçambique Electricity Sector. Relatório da Companhia de Eletricidade de Moçambique (EDM). 2012.

EPIA. Global Market Outlook for Photovoltaics 2013-2017. European Photovoltaic Industry Association (EPIA). Disponível em: [www.epia.org/news/publications/](http://www.epia.org/news/publications/). 2013.

HANKINS, M., Plano de Energia Renováveis para Moçambique. Plano para levar eletricidade para todo país. Ministério de Energia de Moçambique. 2009.

INAM – Instituto Nacional de Meteorologia de Moçambique, 2013.

MOÇAMBIQUE. Atlas de Moçambique. Disponível em: [www.acil.org.mo/por/pcs\\_Mozambique](http://www.acil.org.mo/por/pcs_Mozambique) e [www.portaldogoverno.gov.mz](http://www.portaldogoverno.gov.mz). 2012.

NREL. Banco de dados de radiação solar. National Renewable Energy Laboratory. Departamento de Energia dos EUA, 2013.