

# FONTES DE ENERGIAS RENOVÁVEIS: LEVANTAMENTO DO RECURSO SOLAR NA REGIÃO DE SANTARÉM - PA

**Polari Batista Corrêa** – polaribc@gmail.com

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Programa de Clima e Ambiente

**Silvia Cristina de Pádua Andrade** – silviacrisandrade@gmail.com

Universidade Federal de Campina Grande, Departamento de Meteorologia

**Resumo.** *O uso global das fontes de energias é cerca de 86% de fontes não renováveis. Porém o uso deste tipo de fonte de energia vem causando danos desastrosos ao meio ambiente, como por exemplo, o lançamento de gases de efeito estufa na atmosfera. Neste contexto, revela-se a necessidade de realizar estudos minuciosos para incentivar a utilização de energias renováveis em maior escala. No Brasil, a matriz energética é diversificada e baseada, na sua maior parte, em energias renováveis e cada região de seu território apresenta maior potencialidade para produzir energia renovável de fontes apropriadas. É o caso da energia solar na Amazônia, onde a incidência de radiação é abundante e praticamente constante durante todo o ano. Em vista disso, este trabalho realizou um estudo de caso sobre a energia solar na região de Santarém/PA, com dados de irradiação solar global ( $R_g$ ) coletados pelo Programa LBA, em cinco localidades da região entre os anos de 1998 e 2006. Os resultados encontrados, de  $(567 \pm 53).10MJ/m^2ano$  e  $18,3MJ/m^2dia$ , estão de acordo com aqueles citados na literatura e possibilitam, afirmações categóricas sobre a quantidade de energia solar disponível, por unidade de tempo, para melhor gestão de políticas energéticas para a região, além de facilitar estudos posteriores na área de conhecimento.*

**Palavras-chave:** *Solarimetria, Recurso Solar, Irradiação Solar Global, Energia Solar, Energia Renovável.*

## 1. INTRODUÇÃO

Na atualidade verifica-se a necessidade de se estudar fontes alternativas de energia e métodos de produção que estejam de acordo com parâmetros ambientais adequados, uma vez que as principais fontes atuais são provenientes da queima de combustíveis fósseis e contribuem para o agravamento de problemas ambientais, como mudanças climáticas e exaustão das reservas subterrâneas de combustíveis não renováveis. A energia é um dos pilares da sociedade moderna, pois a criação de bens a partir de recursos naturais e o setor de serviços dependem essencialmente dela. Então, entendê-la significa compreender os recursos energéticos, suas limitações e as consequências ambientais decorrentes da sua utilização (Goldemberg e Villanueva, 2003).

Logo, descobrir novos métodos de produção de energia e/ou aperfeiçoar os existentes a partir de fontes renováveis é uma necessidade para a conjuntura atual, pois a demanda por consumo de energia pela humanidade é crescente e utiliza-se continuamente das diversas fontes disponíveis que, em sua maior parte, são esgotáveis e prejudiciais ao meio ambiente, além de muitas destas serem, também, economicamente inviáveis.

No Brasil, têm-se razões específicas para se produzir energia a partir da radiação solar, pois cerca de 11 milhões de brasileiros (2,5 milhões de domicílios) não dispõem de energia elétrica (IBGE, 2000) e, segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, 2008), o número de domicílios sem energia elétrica, em nosso país, é quase 5 milhões.

Na região de Santarém – PA, região central da Bacia Amazônica, o uso da energia solar direta para a produção de energia elétrica ainda não é muito explorada. Assim, o consumo da energia é principalmente de origem hidráulica das hidrelétricas de: Tucuruí, com potência de 8.370MW e Curuá-Una, com 30,3MW (ELETRONORTE, 2010). Além disso, nos seguintes municípios do Projeto Calha Norte: Alenquer, Almerim, Curuá, Juruti, Faro, Terra Santa, Oriximiná, Óbidos, Monte Alegre e Prainha, segundo o Ministério da Defesa (MD), há predominância do uso de termoeletricas para o suprimento de energia elétrica.

O objetivo do trabalho é realizar um estudo de caso sobre a energia solar na região de Santarém/PA, com dados de irradiação solar global ( $R_g$ ) coletados pelo Programa LBA, em cinco localidades da região entre os anos de 1998 e 2006.

## 2. METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho foram realizadas pesquisas bibliográficas e de campo em cinco localidades na microrregião de Santarém na porção oeste do estado do Pará, acerca das fontes de energias utilizadas nesta região. Esta pesquisa envolveu visitas aos órgãos responsáveis pelo setor energético, como a Rede Celpe – que é responsável pelo setor de distribuição de energia elétrica na cidade de Santarém. Também foram alvo da pesquisa as empresas que produzem energia elétrica, caso da Usina Hidrelétrica (UHE) de Curuá-Una – gerenciada pelas Centrais Elétricas do Norte do Brasil (ELETRONORTE). Além disto, foram utilizados dados de irradiação solar global coletados por torres

micrometeorológicas do LBA, entre os anos de 1998 e 2006, localizadas em diversos pontos da região de Santarém (Belterra, Mojuí dos Campos, comunidade de Jamaraua, Vila Franca, Km 117 – na BR-163).

## 2.1 Localização da área de estudo

A área de estudo localiza-se na mesorregião do Baixo Amazonas, mais especificamente na microrregião de Santarém, no oeste do Estado do Pará, Brasil. As localidades estudadas correspondem ao município de Belterra (-2°64'31''; -54°94'36''), a Vila de Mojuí dos Campos (-2°76'67''; -54°57'92''), Vila Franca (-2°34'86''; -55°02'89''), comunidade de Jamaraua (-2°80'639''; -55°03'64'') e o Km 117 da BR-163 (-3°35'02''; -54°92'4''). A Fig. 1 apresenta a região de estudo, onde os pontos circulos correspondem às localidades onde se localizam as estações de coleta de dados.

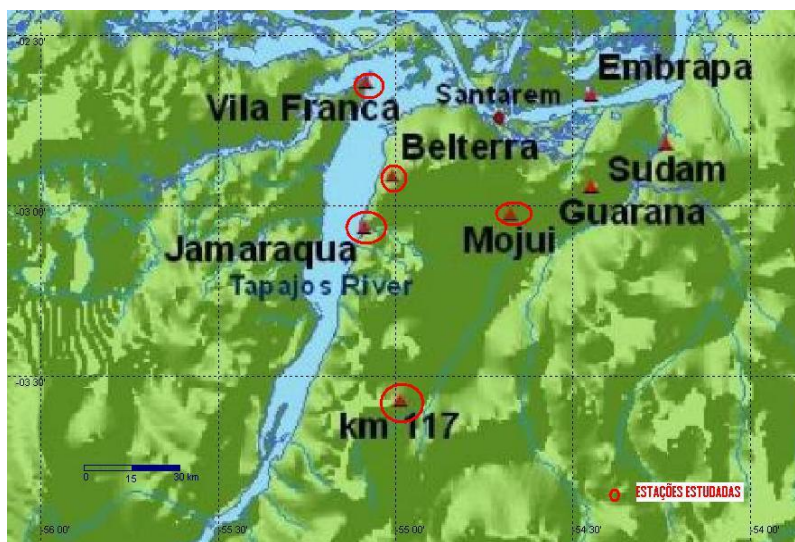


Figura 1 - Localização das estações.

Fonte: Adaptado de LBA (2009).

## 2.2 Tratamento de dados

Para o tratamento de dados sobre incidência de Irradiação Solar Global ( $R_g$ ) foi utilizado o software Matlab, no qual foi criada, uma sub-rotina para a leitura dos dados a partir de uma matriz de 34 colunas onde estavam contidos os dados anuais de diversas variáveis, das quais foram utilizadas somente o ano; dia (juliano); hora (em intervalos regulares de 01h) e  $R_g$  (em  $W/m^2$ ). Os resultados são apresentados na forma de outra matriz de 12 linhas e 06 colunas (Tabela 1) que correspondem, respectivamente, a mês (1 para janeiro, 2 para fevereiro e assim por diante, até 12 para dezembro); quantidade de dias do mês nos quais houve registro de irradiância; somatório de  $R_g$  durante 01 hora (ou seja, a soma instantânea para cada um dos 3600 segundos); quantidade de  $R_g$  total durante o mês (em  $MJ/m^2$ ). Nas colunas 5 e 6 são apresentadas as quantidades de precipitação diária e mensal, respectivamente (entretanto, estas variáveis não são utilizadas neste trabalho). Em variáveis isoladas, apresenta-se ainda o ano em estudo e a quantidade  $R_g$  durante o mesmo.

Quando não há registro disponível, o número -1 é impresso, para atestar esse fato. Também são desconsiderados valores negativos de  $R_g$ , pois correspondem à incidência durante a noite e estão relacionados à precisão e calibração do instrumento de medida. Então, o valor mínimo adotado para se contabilizar neste trabalho foi de  $0,2W/m^2$ , obtido a partir da média do módulo dos valores de  $R_g$  negativos, considerado relacionados à acurácia do instrumento utilizado (piranômetro).

Tabela 1 - Exemplo de matriz de dados gerada a partir do Matlab para a localidade de Jaramaqua no ano de 2000.

MÊS	DIAS	HORAS DE RADIÇÃO MENSAL	RADIÇÃO (MJ/M <sup>2</sup> .MÊS)	HORAS DE PRECIPITAÇÃO MENSAL	PRECIPITAÇÃO (MM/MÊS)
1	-1	-1	-1	-1	-1,0
2	-1	-1	-1	-1	-1,0
3	-1	-1	-1	-1	-1,0
4	-1	-1	-1	-1	-1,0
5	-1	-1	-1	-1	-1,0
6	-1	-1	-1	-1	-1,0
7	31	348	411,3	50	165,9
8	31	403	621,8	23	52
9	30	390	591,2	46	175,2
10	31	403	599,3	21	29,2
11	30	390	576,6	19	112,5
12	9	109	165,7	0	0

Para o cálculo do valor mensal e anual da quantidade de irradiação solar global, o registro instantâneo (em J/m<sup>2</sup>s ou W/m<sup>2</sup>) em determinado horário foi considerado constante para cada segundo de hora, ou seja, foi multiplicado por 3600. Em relação ao cálculo do total de R<sub>g</sub> diário, mensal e anual, a sub-rotina o faz automaticamente, uma vez que utiliza o número exato de horas, dias e meses do ano em estudo onde houve registro de dados.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram dispostos em forma de gráficos os valores dos somatórios da radiação anual para as localidades em estudo com o intuito de verificar a quantidade de radiação solar acumulada no período. Também foram dispostos graficamente um dia e um mês representativo para a região, objetivando-se observar a variação diária e sazonal, respectivamente da incidência de R<sub>g</sub>.

A Fig. 2 mostra os valores de R<sub>g</sub> (em W/m<sup>2</sup>) referentes a um período de 24 horas. Nota-se neste, que a máxima incidência ocorre por volta de 13h hora local (hl), com valor de aproximadamente 800W/m<sup>2</sup>.

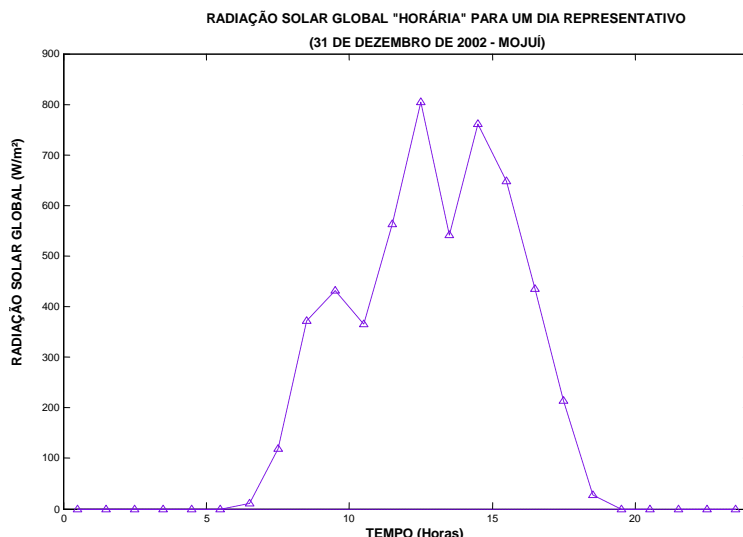


Figura 2 - Irradiação Solar Global ao longo de um dia.

Na Fig. 3 estão dispostos os meses do ano de 2002 para a localidade de Mojuí, onde se pode observar a sazonalidade da incidência de radiação solar - que é importante para a geração de energia durante todo o ano - (através da quantidade de R<sub>g</sub> acumulada no período) na região de Santarém. Pode-se observar, no gráfico, que houve maior incidência de radiação no período de agosto a setembro.

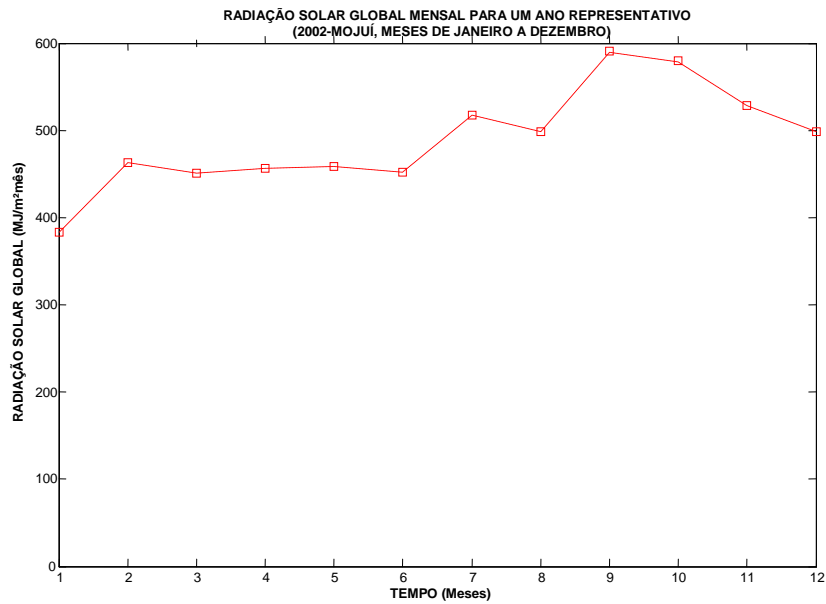


Figura 3 - Valores de radiação solar global (MJ/m²mês) para um ano representativo (Mojuí no ano de 2002).

Podemos verificar que média acumulada durante 01 mês é próximo de 500MJ/m². Os valores de radiação solar global acumulada anualmente (em MJ/m²ano) para cada localidade da região em estudo (Belterra, Jaramaqua, Km 117, Vila Franca e Mojuí) estão dispostos na tabela 2 e representados na figura 4. No mesmo pode-se constatar que a quantidade de Rg por ano varia de 4000MJ/m² a 6000MJ/m², exceto nos pontos que apresentaram falhas no sensor durante alguns meses, o que influenciou na quantidade acumulada de Rg naquele ano.

Tabela 2 - Valores da radiação solar global (em MJ/m².ano) para 05 locais na região de Santarém/PA e a média desses valores (em vermelho, os valores não utilizados para encontrar a média).

ANO	BELTERRA	KM117	VILA FRANCA	JAMARAQUA	MOJUÍ	MÉDIA
1998	2347,45	2258,99	-	-	-	2303,22
1999	4961,37	5225,54	-	-	-	5093,45
2000	3717,20	5825,16	-	2965,92	2925,25	3858,38
2001	2732,79	5264,88	-	4192,08	4565,51	4188,81
2002	6347,5	6177,6	2258,99	6308,09	5874,46	5393,32
2003	4250,58	5856,84	5225,54	5995,78	2975,36	4860,82
2004	6038,11	3182,76	5825,16	6416,86	6207,45	5534,06
2005	5631,42	6770,7	5264,88	6089,94	6284,013	6008,19
2006	2519,83	866,56	6177,6	2964,43	3841,79	3274,04

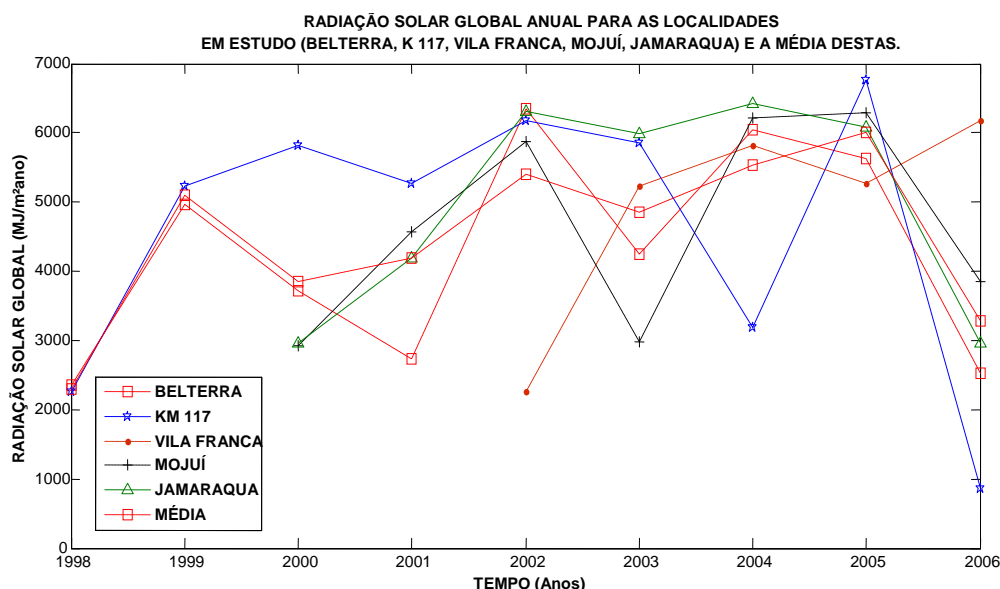


Figura 4 - Valores da radiação solar global ( $\text{MJ}/\text{m}^2.\text{ano}$ ) e a média anual para 05 locais na região de Santarém/PA.

A média anual de  $R_g$  para a região corresponde à linha tracejada em tom de vermelho escuro na Fig. 3, obtida através da média dos pontos referentes às localidades (em linhas mais fracas). Foi realizado tratamento estatístico dos valores contidos na Tab. 3, resultando na média igual a  $(567 \pm 53).10\text{MJ}/\text{m}^2.\text{ano}$ . Para isto, não foram utilizados os anos em que os registros dos dados foram inferiores a 06 meses (indicados na cor vermelha, na Tab. 3).

As médias diárias e horárias da quantidade de  $R_g$  acumulada foram obtidas a partir dos dados gerados pela sub-rotina da seguinte forma: para a média diária ( $18,3\text{MJ}/\text{m}^2.\text{dia}$ ), dividiu-se os valores da coluna 4 ( $R_g$ ) pelos da 2ª coluna (número de dias) e o quociente da 4ª pela 3ª coluna fornece a média horária de  $1,5\text{MJ}/\text{m}^2.\text{h}$ . Os resultados encontrados estão de acordo com o Atlas Solarimétrico do Brasil (ASB) disponibilizado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), onde os valores de  $R_g$  (média diária) é aproximadamente  $18\text{MJ}/\text{m}^2.\text{dia}$  para região em estudo ou cerca de  $5000\text{W.h}/\text{m}^2$ .

#### 4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados de incidência de radiação solar para a região de Santarém, pode-se considerar que a energia solar tem grande potencial para ser explorada nesta parte do território brasileiro. Observamos, também, a alta incidência de radiação solar na região do município de Santarém, que, aliado à disponibilidade para praticamente todos os meses do ano, torna este tipo de energia promissor para a região.

Observa-se, entretanto, serem necessários avanços científicos e tecnológicos para obter maior eficiência na geração de energia útil para uso antrópico. Por exemplo: aprimorar outras técnicas, além da célula fotovoltaica, para transformar a radiação solar direta em energia elétrica e/ou aumentar a eficiência das existentes no mercado.

#### Agradecimentos

Ao Projeto LBA-Santarém.

#### REFERÊNCIAS

- ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br> >, acesso em 10/06/10 – às 8h36min.
- Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 2005. **Agência Nacional de Energia Elétrica**. 2 ed. – Brasília: ANEEL. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/livro\\_atlas.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/livro_atlas.pdf)>, acesso em: 09/07/10 - às 09h09min.
- ELETRONORTE - CENTRAIS ELÉTRICAS DO NORTE DO BRASIL S/A. Disponível em: <<http://www.eln.gov.br/opencms/opencms/>>, acesso em 06/07/10 – às 09h08min.
- Goldemberg, J.; Villanueva, L. D. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2003.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>, acesso em 29/04/10 – às 09h15min.
- IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Disponível em: <<http://www.iea.org>>, acesso em 10/06/10 - 08h26min.

LBA – PROGRAMA DE GRANDE ESCALA DA BIOSFERA-ATMOSFERA NA AMAZÔNIA. Disponível em: <<http://lba.inpa.gov.br/lba/>>, acessado em 10/06/10 - 08h25min.  
MD - MINISTÉRIO DA DEFESA. Disponível em: <<http://www.eb.mil.br/ministerio-da-defesa>>, acesso em 10/06/10 - 08h20min.

#### **RENEWABLE ENERGY: SURVEY ABOUT RESOURCE SOLAR IN THE REGION OF SANTARÉM – PA**

**Abstract.** *The global use of energy sources is about 86% of non-renewable sources. However the use of this type of energy source is causing disastrous damage to the environment, such as the release of greenhouse gases into the atmosphere. In this context, it reveals the need to perform detailed studies to encourage the use of renewable energy on a larger scale. In Brazil, the energy mix is diverse and based, mostly, on renewable energy and every region of their territory has greater potential to produce renewable energy from appropriate sources. It is the case of solar energy in the Amazon, where the incidence of radiation is abundant and virtually constant throughout the year. In view of this, this study conducted a case study on solar energy in the region of Santarém / PA, with data of global solar irradiation (R<sub>g</sub>) collected by the LBA in five towns in the region between 1998 and 2006. Also, there was the price of this type of energy to the consumer. For data processing Matlab, where a subroutine was created that reads, evaluates and plots detailed graphs of the variables under study was used. The results of  $(567 \pm 53) \cdot 10 \text{ MJ} / \text{m}^2 \text{ year}$  and  $18.3 \text{ MJ} / \text{m}^2 \text{ day}$ , agree those cited in the literature and make possible, categorical statements about the amount of solar energy available per unit of time, for better management energy policies for the region, and facilitate further studies in the area of knowledge.*

**Key words:** *Solarimetry, Solar Resource, Global Solar Irradiation, Renewable Energy, Solar Energy.*