

## SOLAR ENERGY: POTENTIAL EVALUATION OF ENERGY OF RONDÔNIA (BRAZIL)

<sup>1</sup>Aline Mikos, <sup>2</sup>Adjalma Campos de França Neto, <sup>3</sup>Elvino Ferreira  
and <sup>4</sup>Fabício Moraes de Almeida

<sup>1</sup>Mestre em Ciências Ambientais - Universidade Federal de Rondônia. Graduada em Agronomia – Fundação Universidade Federal de Rondônia

<sup>2</sup>Universidade Federal de Rondônia, Professor do Departamento de Agronomia, Doutor em Agronomia - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Brasil

<sup>3</sup>Universidade Federal de Rondônia, Professor do Departamento de Agronomia, Doutor em Agronomia - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFRRJ, Brasil

<sup>4</sup>Doutor em Física (UFC) e pós-doutorado (DCR/CNPq). Pesquisador do Programa de Mestrado e Doutorado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente (PGDRA). Pesquisador do GEITEC/UNIR, Chefe de departamento do curso de bacharelado em Engenharia Elétrica/Fundação Universidade Federal de Rondônia, Brasil

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received 21<sup>st</sup> July, 2018  
Received in revised form  
23<sup>rd</sup> August, 2018  
Accepted 17<sup>th</sup> September, 2018  
Published online 29<sup>th</sup> October, 2018

#### Key Words:

Solar Energy.  
Energy Potential.  
Rolim de Moura.

### ABSTRACT

In Rondônia little is known about the behavior of solar radiation, thus follows in this paper the maximum annual distribution, minimum and average for global and direct solar radiation, the annual distribution of temperature, the maximum possible sunshine for the city of Rolim de Moura, thus providing useful information for planning and use of renewable resources. In the article follows a literature review on the conceptual characterization of the sun, solar radiation, the photothermal and photovoltaic energy, radiation measuring instruments, types of cells, the conversion of solar energy into electrical, designing a photovoltaic system, evaluation of the energy potential from the perspective of solar energy. The mathematical equations are described in material and methods. The results show that Rolim de Moura in Rondônia (Brazil), has adequate solar energy potential, but there is electricity in rural areas and the high cost of the initial investment for a solar system, makes this type of energy is not used. In addition, ends the work with the considerations final.

Copyright © 2018, Aline Mikos et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citation: Aline Mikos, Adjalma Campos de França Neto, Elvino Ferreira and Fabício Moraes de Almeida, 2018. "Solar energy: potential evaluation of energy of rondônia (Brazil)", *International Journal of Development Research*, 8, (10), 23233-23242.

## INTRODUCTION

O Sol é uma fonte de calor e de luz e é uma das alternativas energéticas mais promissoras para se enfrentar os desafios do novo milênio. A Terra recebe todos os dias cerca de 180.000 TW de energia solar, 20.000 vezes mais do que é preciso. Esta energia proveniente da radiação solar direta ou indireta é uma fonte energética renovável. Estima-se que o Sol iluminará a Terra por mais 5 bilhões de anos, sendo a fonte de energia mais eficiente do planeta e não existindo nenhum outro processo nuclear ou químico que possa liberar tanta energia como a transformação do hidrogênio em Hélio (MOURAO, 2002).

\*Corresponding author: Aline Mikos

Mestre em Ciências Ambientais - Universidade Federal de Rondônia.  
Graduada em Agronomia – Fundação Universidade Federal de Rondônia

Na agricultura, a radiação pode ser empregada, na planificação agrícola tanto na época de plantio como na colheita, para cálculo de evapotranspiração, cálculo do saldo de irradiação solar, cálculo de produção máxima de potencial das culturas, cálculo total de água para irrigar uma cultura, entre outros (BRAGA *et al*, 1987). No Brasil, existem poucas estações de medida de radiação solar incidente. Em algumas, os dados são poucos consistentes, em outras, a existência de um só equipamento tem levado à ocorrência de períodos com falhas (CURY LUNARDI, *et al*, 1994). Em Rondônia há pouco conhecimento a respeito do comportamento da radiação solar, desta forma segue neste trabalho a distribuição anual máxima, mínima e média para a radiação solar global e direta, a distribuição anual da temperatura, a insolação máxima possível para o município de Rolim de Moura, dessa forma, fornecendo informações úteis para o planejamento e utilização dos

recursos renováveis. No trabalho segue uma revisão bibliográfica sobre a caracterização conceitual do sol, da radiação solar, da energia fototérmica e fotovoltaica, dos instrumentos de medição da radiação, os tipos de células, a conversão da energia solar em elétrica, dimensionamento de um sistema fotovoltaico, a avaliação do potencial energético, da perspectiva da energia solar. As equações matemáticas estão descritas no material e métodos. Os resultados são apresentados em resultado e discussões e finalizando o trabalho com as considerações finais.

### Considerações Conceituais Sobre a Energia Solar

**A Radiação Solar:** O Sol constitui a principal fonte de energia do planeta. Sua distância em relação a terra está estimada em 300.000 vezes mais próxima do que a segunda estrela mais próxima da Terra (LIU, 1980). A distância média Terra-Sol é denominada unidade astronômica e é representado por  $149.597.870 \pm 2 \text{ km} = 1 \text{ UA}$ . Na maioria das aplicações é suficiente arredondar esse valor para  $1,496 \times 10^{11} \text{ m}$ . Devido à órbita elíptica da Terra ao redor do Sol, a distância solar varia entre  $1,471 \times 10^{11} \text{ m}$  no periélio, em janeiro, a  $1,521 \times 10^{11} \text{ m}$  no afélio, em julho. A massa do sol é da ordem de  $(1,9891 \pm 0,0012) \times 10^{30} \text{ kg}$ , sendo constituído basicamente por hidrogênio (75% de sua massa) e hélio além de alguns elementos mais pesados como ferro, silício, neônio e carbono. Sua temperatura decresce de aproximadamente  $5 \times 10^6 \text{ K}$  em sua parte central a  $5780 \text{ K}$  na superfície. A densidade do sol varia a densidade central é da ordem de  $150 \text{ g cm}^{-3}$  e na superfície vale  $10^{-7} \text{ g cm}^{-3}$ , apresentando uma densidade média de aproximadamente  $1,4 \text{ g cm}^{-3}$ , sendo seu raio estimado em  $(6,9626 \pm 0,0007) \times 10^8 \text{ m}$ . A sua fonte de energia solar está associada à fusão termonuclear de átomos de hidrogênio para hélio, que acontece no interior do Sol. Nesse processo são emitidos fótons altamente energéticos, de forma que a transferência de energia da parte mais interna até a superfície é realizada basicamente por meio de radiação eletromagnética. Essa radiação é absorvida e reemitida por átomos e gases que constituem as camadas mais externas do Sol. Ao se aproximar da superfície os gases quentes, ao entrar em contato com camadas mais frias, sofrem expansão e tendem a ascender. Os gases mais frios por sua vez sofrem movimentos descendentes. Essa zona é denominada zona de convecção e a transferência de energia ocorre parcialmente por convecção e parcialmente por radiação eletromagnética. Finalmente, acima da superfície, o transporte de energia é novamente realizado por meio de radiação eletromagnética. É dessa forma que a Terra recebe energia do Sol (CRESESB/CEPEL, 2010).

Segundo Varejão-Silva (2005), a denominação de radiação, se vincula à energia que se propaga sem necessidade da presença de um meio material, também aplicada para designar o próprio processo de transferência desse tipo de energia. A energia radiante ora revela uma natureza corpuscular (fóton), ora se comporta como uma onda eletromagnética, acontecendo, na escala subatômica, de as propriedades ondulatória e corpuscular coexistirem e se complementam. Praticamente toda a troca de energia entre a Terra e o resto do Universo ocorre por radiação. O sistema Terra atmosfera está constantemente absorvendo radiação solar e emitindo sua própria para o espaço, sendo as taxas de absorção e emissão aproximadamente iguais (LUTGENS & TARBUCK, 1989). A radiação eletromagnética, considerada como um conjunto de ondas elétricas e magnéticas, também tem papel importante na transferência de calor entre a superfície da Terra e a atmosfera,

e entre diferentes camadas da atmosfera. As diversas formas de radiação, caracterizadas pelo comprimento de onda, compõem o espectro eletromagnético. A energia radiante do sol, concentrada na parte visível do espectro ou próxima, se distribui, em relação ao total, com 43% de luz visível, 49% de infravermelho próximo e 7% de ultravioleta. Quando tal energia é absorvida por um corpo, resulta num aumento do seu movimento molecular e de sua temperatura (LUTGENS & TARBUCK, 1989). Uma das possíveis formas de conversão da energia solar é conseguida através do efeito fotovoltaico que ocorre em dispositivos conhecidos como células fotovoltaicas. Estas células são componentes optoeletrônicos que convertem diretamente a radiação solar em eletricidade. São basicamente constituídas de materiais semicondutores, sendo o silício o material mais empregado.

### Radiação Solar em Nível do Solo

De toda a radiação solar que chega às camadas superiores da atmosfera, apenas uma fração atinge a superfície terrestre, devido à reflexão e absorção dos raios solares pela atmosfera. Esta fração que atinge o solo é constituída por um componente direta (ou de feixe) e por uma componente difusa. Notadamente, se a superfície receptora estiver inclinada com relação à horizontal, haverá uma terceira componente refletida pelo ambiente do entorno (solo, vegetação, obstáculos, terrenos rochosos, etc.). O coeficiente de reflexão destas superfícies é denominado de "albedo" (CRESESB/CEPEL, 2010). Antes de atingir o solo, as características da radiação solar (intensidade, distribuição espectral e angular) são afetadas por interações com a atmosfera devido aos efeitos de absorção e espalhamento. Estas modificações são dependentes da espessura da camada atmosférica, também identificada por um coeficiente denominado "Massa de Ar" (AM), e, portanto, do ângulo Zenital do Sol, da distância Terra-Sol e das condições atmosféricas e meteorológicas. Devido à alternância de dias e noites, das estações do ano e períodos de passagem de nuvens e chuvosos, o recurso energético solar apresenta grande variabilidade, induzindo, conforme o caso, à seleção de um sistema apropriado de estocagem para a energia resultante do processo de conversão.

### A Energia Solar

Dentre as vantagens da energia solar comparada com outras fontes de energia destaca-se por não ser poluente, não influir no efeito estufa, não necessitar de turbinas ou geradores para sua produção de energia elétrica ou térmica, a quantidade é praticamente inesgotável, gratuidade e acessibilidade. Os aspectos desfavoráveis se consideram a interrupção noturna da radiação e o alto grau de investimento para uso em massa (MOURAO, 2002). Nesse caso, estamos interessados na quantidade de energia que um determinado corpo é capaz de absorver, sob a forma de calor, a partir da radiação solar incidente no mesmo. A utilização dessa forma de energia implica saber captá-la e armazená-la. Os equipamentos mais difundidos com o objetivo específico de se utilizar a energia solar foto térmica são conhecidos como coletores solares. Os coletores solares são aquecedores de fluidos (líquidos ou gasosos) e são classificados em coletores concentradores e coletores planos em função da existência ou não de dispositivos de concentração da radiação solar. O fluido aquecido é mantido em reservatórios termicamente isolados até o seu uso final (água aquecida para banho, ar quente para secagem de grãos, gases para acionamento de turbinas, etc.).

(CRESESB/CEPEL, 2010). Os coletores solares planos são, hoje, largamente utilizados para aquecimento de água em residências, hospitais, hotéis, etc. devido ao conforto proporcionado e a redução do consumo de energia elétrica. A figura 2.3 mostra como funciona os coletores solares planos.

Os coletores são responsáveis pela absorção da radiação solar. O calor das placas é transmitido para a água que circula no interior de suas tubulações de Cobre. O reservatório térmico (BOILER) é um recipiente para armazenamento da água aquecida. São cilindros de Cobre ou inox, isolados termicamente com poliuretano expandido. Desta forma, a água permanece aquecida e pronta para o uso a qualquer hora do dia. Um dos fatores que impossibilitava a utilização da energia solar fotovoltaica em larga escala é o alto custo inicial. Atualmente, os sistemas fotovoltaicos vêm sendo utilizados em instalações remotas possibilitando vários projetos sociais, agropastoris, de irrigação e comunicações. As facilidades de um sistema fotovoltaico tais como a modularidade e vida útil longa, fazem com que seja de grande importância para instalações em lugares desprovidos da rede elétrica.

**Os Instrumentos de Medição:** A medição da radiação solar, tanto a componente direta como a componente difusa na superfície terrestre é importante para o estudo da influência das condições climáticas e atmosféricas. Considerando o histórico dessas medidas, pode-se viabilizar a instalações de sistemas térmicos e fotovoltaicos em uma determinada região garantindo o máximo aproveitamento ao longo do ano onde, as variações da intensidade da radiação solar sofrem significativas alterações. De acordo com as normas preestabelecidas pela OMM (Organização Mundial de Meteorologia) são determinados limites de precisão para quatro tipos de instrumentos: de referência ou padrão, instrumentos de primeira, segunda e terceira classe. As medições padrões são: radiação global e difusa no plano horizontal e radiação direta normal.

**Piranômetros:** Os piranômetros medem a radiação global, como consta a Figura 2.4. Este instrumento caracteriza-se pelo uso de uma termopilha que mede a diferença de temperatura entre duas superfícies, uma pintada de preto e outra pintada de branco igualmente iluminadas. A expansão sofrida pelas superfícies provoca um diferencial de potencial que, ao ser medida, mostra o valor instantâneo da energia solar. Um outro modelo de piranômetro é aquele que utiliza uma célula fotovoltaica de silício monocristalino para coletar medidas solarimétricas. Estes piranômetros são largamente utilizados pois apresentam custos bem menores do que os equipamentos tradicionais. Pelas características da célula fotovoltaica, este aparelho apresenta limitações quando apresenta sensibilidade em 60% da radiação solar incidente. Existem vários modelos de piranômetros mais precisos como os de primeira classe (98% de sensibilidade) e também de segunda classe (95% de sensibilidade). Existem vários modelos de diversos fabricantes entre eles podemos citar: Eppley 8-48 (USA), Cimel CE-180 (França), Schenk (Áustria), M-80M (Rússia), Zonen CM5 e CM10 (Holanda).

**Pireliômetro:** Os pireliômetros são instrumentos que medem a radiação direta. Ele se caracteriza por apresentar uma pequena abertura de forma a “visualizar” apenas o disco solar e a região vizinha denominada circunsolar, como mostra a figura 2.5 abaixo. O instrumento segue o movimento solar onde é constantemente ajustado para focalizar melhor a região do sensor. Muitos dos pireliômetros hoje são autocalibráveis

apresentando precisão na faixa de 95% quando adequadamente utilizados para medições.

**Heliógrafo:** Instrumento que registra a duração do brilho solar. A radiação solar é focalizada por uma esfera de cristal de 10 cm de diâmetro sobre uma fita que, pela ação da radiação é enegrecida. Figura 2.6 mostra a ilustração de um heliógrafo. O comprimento desta fita exposta a radiação solar mede o número de horas de insolação.

**Actinógrafo:** Instrumento usado para medir a radiação global. Este instrumento é composto de sensores baseados na expansão diferencial de um par bimetálico. Os sensores são conectados a uma pena que, quando de sua expansão, registram o valor instantâneo da radiação solar. Sua precisão encontra-se na faixa de 85 a 80% e é considerado um instrumento de terceira classe (Figura 2.7).

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

### Silício Monocristalino

O cristal de silício puro não possui elétrons livres e portanto é um mau condutor elétrico, assim acrescenta-se outros elementos de modo a tornar o silício em material semicondutor mediante a dopagem de silício. Dopando o silício com fósforo obtém-se um material com elétrons livres portadores de carga negativa (Tipo N), realizando o mesmo processo, porém acrescentando boro obtém-se um material portador de carga positiva (Tipo P). A célula de silício monocristalino é historicamente as mais usadas e comercializadas como conversor direto de energia solar em eletricidade e a tecnologia para sua fabricação é um processo básico muito bem constituído. A fabricação da célula de silício começa com a extração do cristal de dióxido de silício. Este material é desoxidado em grandes fornos, purificado e solidificado. Este processo atinge um grau de pureza em 98 e 99% o que é razoavelmente eficiente sob o ponto de vista energético e de custo. Este silício para funcionar como células fotovoltaicas necessita de outros dispositivos semicondutores e de um grau de pureza maior devendo chegar na faixa de 99,9999% (CRESESB/CEPEL, 2010). O processo mais utilizado para se chegar as qualificações desejadas é chamado “processo Czochralski”. O silício é fundido juntamente com uma pequena quantidade de dopante, normalmente o boro que é do tipo p. Com um fragmento do cristal devidamente orientada e sob rígido controle de temperatura, vai se extraindo do material fundido um grande cilindro de silício monocristalino levemente dopado. Este cilindro obtido é cortado em fatias finas de aproximadamente 300µm. Após o corte e limpeza de impurezas das fatias, deve-se introduzir impurezas do tipo N de forma a obter a junção. Este processo é feito através da difusão controlada onde as fatias de silício são expostas a vapor de fósforo em um forno onde a temperatura varia entre 800 a 1000°C. (CRESESB/CEPEL, 2010). Dentre as células fotovoltaicas que utilizam o silício como material base, as monocristalinas são, em geral, as que apresentam as maiores eficiências. As fotocélulas comerciais obtidas com o processo descrito atingem uma eficiência de até 15% podendo chegar em 18% em células feitas em laboratórios (CRESESB/CEPEL, 2010).

## Silício Policristalino

As células de silício policristalino são mais baratas que as de silício monocristalino por exigirem um processo de preparação das células menos rigoroso. A eficiência, no entanto, é menor em comparação as células de silício monocristalino. O processo de pureza do silício utilizada na produção das células de silício policristalino é similar ao processo do Si monocristalino, o que permite obtenção de níveis de eficiência compatíveis. Basicamente, as técnicas de fabricação de células policristalinas são as mesmas na fabricação das células monocristalinas, porém com menores rigores de controle. Podem ser preparadas pelo corte de um lingote, de fitas ou depositando um filme num substrato, tanto por transporte de vapor como por imersão. Nestes dois últimos casos só o silício policristalino pode ser obtido. Cada técnica produz cristais com características específicas, incluindo tamanho, morfologia e concentração de impurezas. Ao longo dos anos, o processo de fabricação tem alcançado eficiência máxima de 12,5% em escalas industriais (CRESESB/CEPEL, 2010).

## Silício Amorfo

Uma célula de silício amorfo difere das demais estruturas cristalinas por apresentar alto grau de desordem na estrutura dos átomos. A utilização de silício amorfo para uso em fotocélulas tem mostrado grandes vantagens tanto nas propriedades elétricas quanto no processo de fabricação. Por apresentar uma absorção da radiação solar na faixa do visível e podendo ser fabricado mediante deposição de diversos tipos de substratos, o silício amorfo vem se mostrando uma forte tecnologia para sistemas fotovoltaicos de baixo custo. Mesmo apresentando um custo reduzido na produção, o uso de silício amorfo apresenta duas desvantagens: a primeira é a baixa eficiência de conversão comparada às células mono e policristalinas de silício; em segundo, as células são afetadas por um processo de degradação logo nos primeiros meses de operação, reduzindo assim a eficiência ao longo da vida útil. Por outro lado, o silício amorfo apresenta vantagens que compensam as deficiências acima citados, são elas:

- Processo de fabricação relativamente simples e barato;
- Possibilidade de fabricação de células com grandes áreas;
- Baixo consumo de energia na produção.

## Avaliação do Potencial Energético

**Constante solar (Jo):** A constante solar é definida como a irradiância sobre uma superfície normal aos raios solares, à distância média Terra-Sol. Ou seja, pode ser entendida como a taxa da energia solar total, em todos os comprimentos de onda, incidente em uma área unitária em exposição normal aos raios do Sol, a uma distância de 1 UA (distância média Terra-Sol). Seu valor é de aproximadamente 1367 W.m<sup>2</sup> (VIANELLO & ALVES, 1991). A constante solar é influenciada pela variação na atividade solar, pela variação na distância Terra-Sol, pelo ângulo zenital, pela declinação solar ( $\delta$ ), pela latitude ( $\phi$ ) e pelo ângulo horário ( $h$ ).

## Declinação solar ( $\delta$ )

O movimento de translação da Terra, associado à obliquidade da eclíptica, causa a impressão de que o Sol se desloca no sentido latitudinal no decorrer do ano. Essa variação denominada de Declinação do Sol, que varia de 0° à +23° 45'

(Sol no Hemisfério Norte Celeste) e de 0° à -23° 45' (Sol no Hemisfério Sul Celeste), proporciona a tendência dos raios incidirem perpendicularmente em pelo menos duas vezes ao ano sobre na superfície dos lugares compreendidos entre os Trópicos de Câncer e Capricórnio nos Hemisférios Norte e Sul, respectivamente (ALVES & VIANELLO, 2004). Embora a quantidade de nuvens e outros constituintes atmosféricos influenciem na quantidade de energia solar que alcança a superfície da Terra, a latitude exerce o principal controle sobre a quantidade de insolação que um determinado lugar recebe no decorrer do ano. Isso porque a variação do ângulo de incidência dos raios solares proporciona uma variação da área iluminada, dependendo da declinação do Sol, associada à latitude do lugar considerado (AYOADE, 2002). As posições do sol nas quais a sua declinação é igual aos valores extremos ( $\pm 23^\circ 45'$ ) são denominadas de solstícios. As posições de declinação nula (0°) são denominadas de equinócio, ou seja, quando o sol, em seu movimento aparente, posiciona-se sobre o plano do equador terrestre ( $\delta = 0^\circ$ ). Isto ocorre duas vezes durante o ano (21/03 e 23/09). Cada solstício ou equinócio define o início de uma estação do ano. Como apresentado a seguir:

Data	Estações do ano		
	Declinação	Hemisfério Sul	Hemisfério Norte
22/12 – Solstício	-23°45'	Início do verão	Início do inverno
21/03 – equinócio	0°	Início do outono	Início da primavera
23/06 – Solstício	+23°45'	Início da inverno	Início do verão
22/09 – equinócio	0°	Início da primavera	Início do outono

## Latitude ( $\phi$ )

É um valor constante para um local, pois é o ângulo formado pela vertical do local com o plano do equador, podendo variar de 0° a 90°. No equador  $\phi = 0^\circ$ ; polo sul  $\phi = -90^\circ$ ; polo norte  $\phi = +90^\circ$ .

**Ângulo Zenital (Z):** O Ângulo Zenital consiste na medida de posição de um astro no sistema horizontal local de coordenadas, ou seja, é um ângulo contado a partir da vertical local até a linha de visada do astro (FATTORI & CEBALLOS, 2005). Este ângulo é formado pelo vetor que liga o centro da Terra ao Sol e o Zênite local (ponto de intersecção entre a vertical local e a esfera celeste), para cada hora e cada dia (MOURA *et al.*, 1999). Esse ângulo é importante, para alinhar placas solares para captação de energia, para calcular a irradiação solar incidente sobre uma superfície, entre outros.

**Ângulo Horário (h):** O ângulo horário é uma medida indicativa da posição do astro no sistema equatorial horário de coordenadas, e assume valores entre  $\pm 90^\circ$ , sendo os valores negativos atribuídos para antes e os positivos após o meio dia solar, e obrigatoriamente igual a zero ao meio dia solar (FATTORI & CEBALLOS, 2005).

**Radiação solar:** A energia solar que, num dado instante e local, atinge a superfície terrestre é chamada de radiação solar global (DA SILVA, 2004), esta é formada por dois componentes a radiação direta e a radiação difusa. Radiação Solar Direta é a componente da radiação solar global proveniente diretamente do sol e que não sofreu nenhuma mudança de direção, além da provocada pela refração atmosférica (SANTOS & POLYDORO, 2002). A Radiação Solar Difusa é a radiação resultante do espalhamento causado por gases na atmosfera, material particulado e gotas de água

em suspensão (KHALIL & ALNAJJAR, 1995). A Figura 2.6. está representando o fenômeno da radiação solar.

**Distância Terra-Sol (*dr*):** A distância da Terra ao Sol é de cerca de 150 milhões de quilômetros, ou 1 unidade astronômica (UA). Na verdade, esta distância varia com o ano, de um mínimo de 147,1 milhões de quilômetros 0,9833 UA no perélio (ou periélio) a um máximo de 152,1 milhões de quilômetros 1,017 UA no afélio (USNO, 2008).

**Radiação Solar Extraterrestre (*R<sub>o</sub>*):** A radiação solar extraterrestre, é a radiação medida acima da atmosfera terrestre, esta radiação não é influenciada pelas nuvens existentes na atmosfera pelo que facilmente se pode calcular a radiação extraterrestre ao longo do ano. A órbita da Terra à volta do sol não é uma circunferência, mas sim uma elipse. Isto faz com que a radiação solar não seja constante ao longo do ano, variando com as estações do ano (VIANELLO & ALVES, 2000).

**Insolação Máxima (*N*):** A quantidade total de energia recebida pela Terra é determinada pela projeção da sua superfície sobre um plano perpendicular à propagação da radiação. Como o planeta roda em torno do seu eixo, esta energia é distribuída, embora de forma desigual, sobre toda a sua superfície. Assim a radiação solar média recebida sobre a terra é designada por insolação. O valor real recebido à superfície do planeta depende, para além dos fatores astronômicos ditados pela latitude e pela época do ano (em função da posição da Terra ao longo da eclíptica), do estado de transparência da atmosfera sobre o lugar, em particular da nebulosidade.

**Calculo Do Rendimento De Uma Célula Solar**

Um gerador elétrico, como qualquer sistema físico que transforme energia de uma forma em outra, sempre apresenta perdas. Essa é uma das consequências da Segunda Lei da Termodinâmica. Para calcular essa perda, vamos multiplicar ambos os membros da equação do gerador ( $V = \epsilon - ri$ ) pelo valor da intensidade da corrente elétrica (*i*) e interpretar fisicamente o significado de cada termo.

$$\underbrace{Vi}_{1^\circ \text{ Termo}} = \underbrace{(\epsilon - ri)}_{2^\circ \text{ Termo}} \underbrace{i}_{3^\circ \text{ Termo}} \dots\dots\dots(1)$$

Os termos *Vi* e *ri*<sup>2</sup> expressam potencia, pois equivale a *Vi*, já que  $\epsilon$  é uma diferença de potencial. Essa igualdade expressa, portanto, a relação entre potencias elétricos, embora elas tenham características diferentes. Sendo Assim a formula para calcular o rendimento de uma célula solar é:

$$V = \epsilon * \eta \dots\dots\dots(2)$$

**MATERIAL E MÉTODOS**

Os dados utilizados sobre a radiação solar foram obtidos no período de 12 meses, de janeiro de 2009 a dezembro de 2009, da Estação Meteorológica localizada no campus Experimental de Agronomia da Fundação Universidade Federal de Rondônia, em convênio com o projeto Sonda do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE. Situada no Município de Rolim de Moura – RO (latitude: - 11° 34' 54" S, longitude: 61° 46' 25" O e altitude de 252 metros), Brasil. Para

determinar o potencial de radiação solar (*R<sub>máx</sub>*) à superfície, utilizou-se o modelo proposto por PEREIRA & VILA NOVA (1977) e calculado pela seguinte expressão:

$$R_{máx} = \frac{R_o I_{12}}{J_o dr \cos Z_{12}} \dots\dots\dots(1)$$

Onde:

- R<sub>o</sub>* é a radiação solar extra-terrestre
- J<sub>o</sub>* a constante solar
- dr* a distância relativa Terra-Sol
- Z<sub>12</sub>* o ângulo zenital ao meio-dia solar
- I<sub>12</sub>* radiação global máxima ao meio dia.

O termo *dr* pode ser derivado, com base apenas no dia do ano (*D* = 1, 2, 3,..., 365)

$$dr = 1 + 0,0335 \cos\left(\frac{2\pi D}{365}\right) \dots\dots\dots(2)$$

O termo  $\cos Z_{12}$  pode ser determinado por:

$$\cos Z_{12} = \cos(\phi - \delta) \dots\dots\dots(3)$$

Tendo em vista que na expressão geral do triângulo astronômico:

$$\cos Z_{12} = \text{sen}\phi \text{sen}\delta + \cos\phi \cos\delta \cosh \dots\dots\dots(4)$$

Ao meio-dia:

$$h = 0.$$

$\delta$  é a declinação solar

$\phi$  a latitude

*h* o ângulo horário.

Para os valores mensais da radiação solar incidente no topo da atmosfera, foram extraídos da tabela de radiação extraterrestre de BERNADO *et al.* (2008). A constante solar usada para calcular o potencial energético foi 1367 W.m<sup>2</sup> segundo Vianello & Alves (1991).

A declinação solar foi obtida com base apenas no dia do ano (*D*) na forma:

$$\delta = 0,4093 \text{sen}\left(\frac{2\pi D}{365} - 1,405\right) \dots\dots\dots(5)$$

A insolação máxima possível *N* foi calculada por:

$$N = 7,6394 \cos^{-1}(-\tan\phi \tan\delta)$$

O índice de transmissividade Atmosférica foi calculado por:

$$K = \frac{R_{máx}}{R_o} \dots\dots\dots(7)$$

O projeto de SONDA (Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais) tem como principal objetivo fornecer uma base de dados confiáveis para ser utilizado no mapeamento e previsão climática, voltada ao setor energético.



Figura 3.1 - Distribuição das estações da rede SONDA no território nacional  
Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE



Figura 3.2. Foto estação meteorológica Rolim de Moura, RO

A formação de uma série histórica de dados confiáveis e de longa duração é indispensável para conhecer as tendências, a variabilidade do clima e o seu impacto no setor de transmissão e geração de energia eólica e solar. A rede SONDA possui as seguintes configurações: Estações de referência, estações solares básicas, estações solares avançadas e estações eólicas. Um mapa da distribuição das estações no território nacional está ilustrado na figura 3.1. e a figura 3.2 mostra a estação meteorológica de Rolim de Moura do projeto SONDA.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos dados coletados neste trabalho, no período de 01 de janeiro a 11 de dezembro de 2009 a temperatura máxima foi de

35°C e a mínima de 16°C. De acordo com a Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental (SEDAM), Rondônia apresenta uma média anual da temperatura máxima entre 30°C e 35°C, e mínima entre 16°C e 24°C. O comportamento das temperaturas médias mensais coletadas está ilustrado na Figura 4.1. A declinação solar no hemisfério sul em 22 de dezembro é de -23°45' dando início a estação do verão, no dia 21 de março é de 0° dando início a estação do outono, no dia 23 de junho a declinação é de +23°45' iniciando o inverno e 22 de setembro é de 0° iniciando a primavera. O índice de transmissividade atmosféricos (K), para o período considerado, atingiu um máximo de 0,74 em dezembro, o que representa um máximo de energia incidente sobre a superfície correspondente a 74%.

Grigoletto and Ricieri (2001), segundo a mesma modelagem aplicada para Cascavel, PR, a transmissividade máxima atingiu valores próximos de 0,60, o que é explicado pela teoria, desde que a localização geográfica de Cascavel apresenta uma disponibilidade a maiores inclinações dos raios solares incidentes, propiciando uma maior diminuição dos valores de densidade de fluxo de radiação ao meio dia solar. Na Tabela 4.1 é exposta a variação média mensal da Radiação Solar incidente no topo da atmosfera  $R_0$  ( $W.m^2.dia^{-1}$ ); da Radiação Solar Máxima na superfície ou Potencial Máximo Local de radiação ( $R_{m\acute{a}x}$  ( $W.m^2.dia^{-1}$ ) e o índice de transmissividade atmosférica (K).

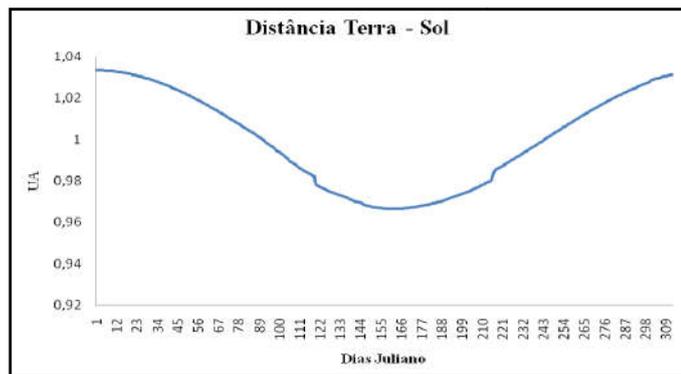


Figura 4.2. Distância Terra Sol 2009. Rolim de Moura, RO

Tabela 4.1. Variação mensal dos parâmetros da radiação extraterrestre ( $R_0$ ), potencial máximo local ( $R_{m\acute{a}x}$ ) e índice de transmissividade atmosférica (K)

Variação Média Mensal			
Mês	$R_0$	$R_{m\acute{a}x}$	K
JAN	3,48	2,30	0,66
FEV	3,42	1,93	0,56
MAR	3,26	2,13	0,65
ABR	2,94	1,38	0,47
MAI	2,61	1,12	0,43
JUN	2,43	1,12	0,46
JUL	2,50	1,19	0,48
AGO	2,77	1,59	0,57
SET	3,11	1,93	0,62
OUT	3,34	2,31	0,69
NOV	3,44	1,99	0,58
DEZ	3,46	2,56	0,74

Na figura 4.3 é apresentada a variação anual da transmissividade atmosférica, verificou-se que os valores apresentam um decréscimo, comparado ao valor mensal médio de março. Até o mês de julho, demonstra um período de alta nebulosidade, retomando o crescimento a partir de agosto em que ocorre um período de menor nebulosidade permitindo uma maior transmissividade atmosférica. De acordo com as estações do ano para Rolim de Moura – RO o período de Março a julho deveria ser o período de maior transmissividade atmosférica por ser o período de estiagem, mas uma hipótese altamente provável é que este período coincida com o período das queimadas o que faz que diminua a transmissividade atmosférica, e no período chuvoso que iniciam em outubro e terminam em março confere um maior índice de transmissividade, apesar da chuva e das nuvens a inexistência de fumaça faz com que seja maior o índice de transmissão atmosférica. A Radiação Direta é a radiação que alcança a superfície terrestre sem sofrer nenhum processo de dispersão, absorção ou reflexão ao passar pela atmosfera, a média foi de  $1.149 W.m^{-2}.dia^{-1}$ , o valor máximo foi em maio de  $2.193 W.m^{-2}.dia^{-1}$  e mínimo foi em setembro de  $153 W.m^{-2}.dia^{-1}$ . A figura

4.4 mostra a variação mensal da radiação direta. Os valores mínimos de radiação direta para setembro e outubro são explicados por se coincidir com o período de queimadas aumentando assim a radiação difusa e diminuindo consideravelmente a radiação direta que chega a superfície.

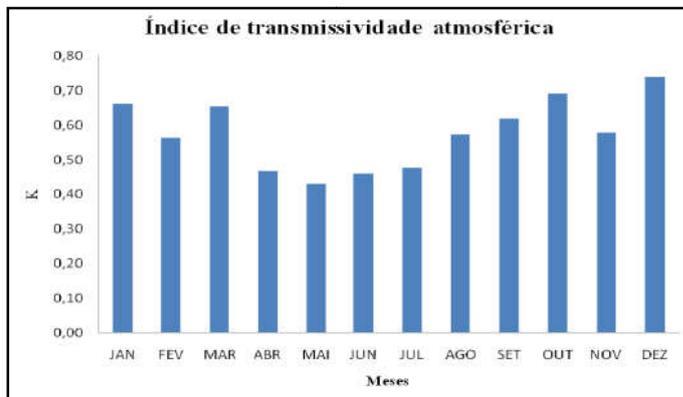


Figura 4.3. Variação anual do Índice de transmissividade atmosférica, Rolim de Moura, RO

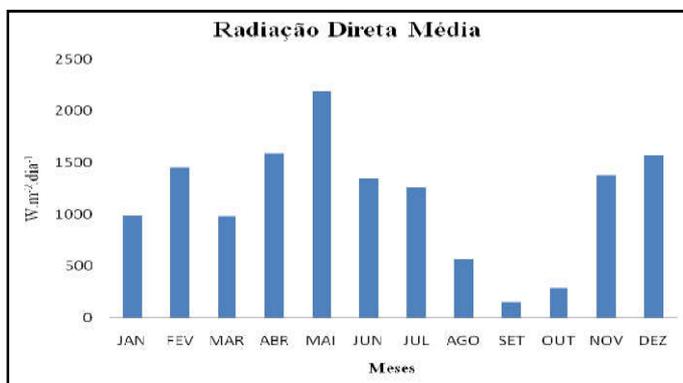


Figura 4.4. Variação da radiação direta média. Rolim de Moura, RO

A radiação Global média anual foi de  $719 W.m^2$  tendo um valor máximo em março de  $857 W.m^2$  e mínimo em abril de  $547 W.m^2$ . DA SILVA (2004) teve valores mínimos de  $348,65 W.m^2$  no período de transição do clima úmido-seco e,  $398,93 W.m^2$  para o período de transição do clima seco-úmido no município de Ouro Preto do Oeste, RO, com os valores médios horários para os dois períodos de transição sendo o período seco-úmido os maiores valores médios encontrados com o máximo de  $768,05 W.m^2$ . A Figura 4.5. mostra o comportamento anual com as médias mensais da radiação Global.

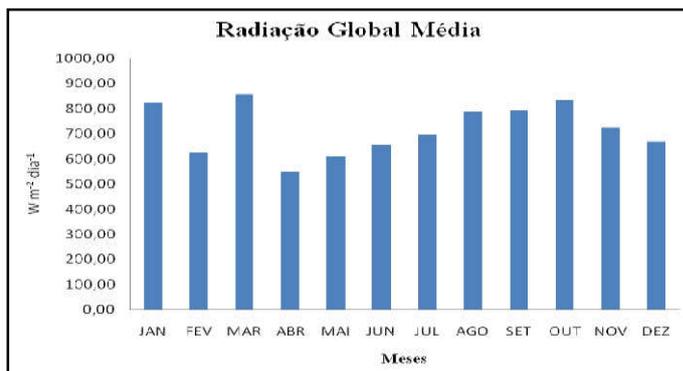


Figura 4.5. Variação média mensal da Radiação Global. Rolim de Moura, RO

O Potencial Máximo local de Radiação Solar apresentou uma concavidade para o período de março a agosto, como verificado na figura 4.6, que comparando com a curva variacional da Radiação Solar Incidente no topo da atmosfera (Radiação Solar Extraterrestre), observa-se que ambas têm o mesmo comportamento, mas com magnitudes diferentes. A existência de um só aparelho de medição e a ocorrência de períodos com falhas e perda de dados da estação pode justificar a existência de “dentes” no comportamento da radiação máxima local para Fevereiro/Março e Outubro/Novembro.

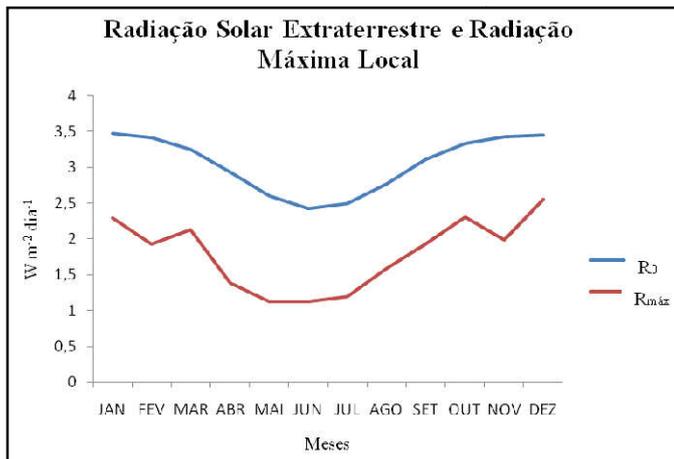


Figura 4.6. Curvas Variacionais da Radiação Solar Extraterrestre e da Radiação Máxima Local. Rolim de Moura, RO, 2009

A faixa temporal de maior incidência de luz solar ocorreu nos meses de janeiro, março, maio, agosto e outubro, sendo este mais ensolarado. A média anual de insolação em Rolim de Moura é de 2.782 horas (tabela 4.3), o que representa um valor de 115,91 dias interruptos de sol, ou seja, 3,8 meses de luz solar direta. O mês que representa a menor quantidade de horas de incidência solar é fevereiro.

Tabela 4.3. Insolação na região de Rolim de Moura, RO

MÊS	Insolação horas
JAN	237
FEV	214
MAR	237
ABR	229
MAI	237
JUN	226
JUL	237
AGO	237
SET	229
OUT	237
NOV	229
DEZ	234
TOTAL	2782

Em relação à captação de energia solar pode ser feito um comparativo entre o rendimento elétrico de alguns tipos de células fotovoltaicas (tabela 4.4) e o potencial de uso desta energia aplicada para as condições de Rolim de Moura (tabela 4.5) mediante a elaboração dos dados gerado com este trabalho. Uma célula solar individual, unidade de base de um sistema fotovoltaico, produz apenas uma reduzida potência elétrica, o que tipicamente varia entre 1 e 3 W, com uma tensão menor que 1 Volt. Para Rolim de Moura uma célula solar individual de Silício Monocristalino, gera em média 1,61 W, a maioria dos módulos comercializados é composto por 36 células conectadas em série, multiplicando pela quantidade de

células tem-se uma potência de 57,96 W. Um painel solar de 45W segundo o professor Guilherme Bahia do Centro Federal de Educação e Tecnologia do Pernambuco, é o suficiente para manter acesa uma lâmpada fluorescente de 9 W por 12 horas ou alimentar um aparelho de TV de 12V durante 6 horas, ou operar um equipamento de rádio comunicação SSB durante uma hora, ou acionar uma bomba de 12V durante o tempo suficiente para abastecer uma caixa d'água de 1000 litros por dia.

Tabela 4.4. Rendimento elétrico dos vários tipos de células fotovoltaicas

Tipo de Célula	Rendimento Típico	Máximo registrado em aplicações	Rendimento máximo registrado em laboratório
Monocristalina	12-15%	22,70%	24,00%
Policristalina	11-14%	15,30%	18,60%
Silício Amorfo	6-7%	10,20%	12,70%

Fonte: PEREIRA, M.C. Energias Renováveis, a Opção Inadiável- SPES, Sociedade Portuguesa de Energia Solar. 1998.

Tabela 4.5. Potencial Célula Solar Diário

Potencial Células Solares W.dia <sup>-1</sup>			
Mês	Si Monocristalina	Si Policristalina	Si Amorfo
JAN	2,07	1,93	0,10
FEV	1,74	1,62	0,08
MAR	1,91	1,79	0,09
ABR	1,24	1,16	0,06
MAI	1,01	0,94	0,05
JUN	1,01	0,94	0,05
JUL	1,07	1,00	0,05
AGO	1,43	1,33	0,07
SET	1,73	1,62	0,08
OUT	2,08	1,94	0,10
NOV	1,79	1,67	0,08
DEZ	2,30	2,15	0,11
MÉDIA	1,61	1,51	0,08

Com duas placas é possível fornecer energia para iluminação, TV e rádio comunicação simultaneamente; com quatro placas é possível alimentar uma geladeira para conservação de vacinas, com cinco placas é possível alimentar um posto de saúde rural, com geladeira, iluminação e rádio comunicação ou ainda fornecer a energia necessária para iluminação, rádio, TV e bombeamento d'água para abastecimento de uma residência rural. Para determinar a quantidade de placas solares necessárias para uma dada aplicação é preciso analisar quantos e quais equipamentos deverão ser alimentados, qual a voltagem de operação, quanto consome cada equipamento, qual o tempo de uso diário de cada equipamento, a partir dessa análise podemos calcular o consumo total dos equipamentos.

É necessário ter em mente a quantidade de aparelhos alimentados simultaneamente, pois não são eles que determinam a quantidade de placas, e sim o tempo total de uso diário de cada aparelho. Uma lâmpada acesa desnecessariamente em um cômodo não ocupado significa o desperdício de parte da energia produzida pela placa solar, energia que poderia estar sendo usada para outra finalidade.

### Considerações Finais

Para as condições que foram desenvolvidas neste trabalho pode-se considerar que:

- O índice de transmissividade atmosférica variou de 0,74 em dezembro (máximo) a 0,43 em maio (mínimo),

podendo ser a fumaça o parâmetro de maior relevância nessa variação.

- O Potencial Máximo Local de radiação solar apresentou para dezembro um máximo de  $2,56 \text{ W.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  e em maio e junho um mínimo de  $1,12 \text{ W.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ .
- A média anual de insolação foi de 2.782 horas o que representa um valor de 115,91 dias interrompidos de sol.
- Os valores mínimos de radiação direta para setembro e outubro são explicados por se coincidir com o período de queimadas.
- O município de Rolim de Moura apresenta um bom potencial energético solar, porém por existir energia elétrica na zona rural e o alto custo do investimento inicial para um sistema solar, faz com que este tipo de energia ainda não seja utilizado. Além disso, pode-se fazer os seguintes estudos:
- Realizar trabalhos de entomologia para verificar quanto o índice de transmissividade atmosférica, radiação direta e difusa influência no comportamento dos insetos úteis e dos insetos pragas de lavouras.
- Realizar trabalhos de rendimento de culturas para verificar se os períodos de menor e máximo índice de radiação direta influem na produção das principais culturas para o município de Rolim de Moura, RO.
- Instalar placas solares para medir a conversão de energia solar em elétrica sob as condições meteorológicas do município e comparar com os dados fornecidos pela estação meteorológica.
- Fazer um estudo preciso sobre a metodologia de cálculo de sombreamento para cada hora do dia da radiação e sua variação.
- Estudar projetos de edificações rurais (casas, postos de saúde, galpões, bombeamento de água para irrigação, granjas, etc) quanto de energia fotovoltaica seria necessária e a economia local da mesma.
- Analise para outros municípios do estado de Rondônia e comparar se existe diferença entre o potencial energético.

Portanto, o aumento da demanda energética esta impulsionando a comunidade científica a pesquisar e desenvolver fontes alternativas de energia menos poluentes, renováveis e que produzam pouco impacto ambiental (PEREIRA *et al.* 2006). No ano 2006, houve uma demanda de instalação de coletores térmicos em torno de 18,3 GWh que correspondem a 26,1 mil metros quadrados de coletores solares no mundo sendo um aumento de 22% em relação a 2005 (WEISS *et al.* 2008). A exploração intensiva de reservas esgotáveis de combustíveis fósseis e os prejuízos ambientais trazidos pelo uso desses recursos energéticos pressupõem um cenário preocupante para este século. Neste contexto, a energia solar assume uma importante fonte de energia alternativa. Segundo ACIOLI (1994), só no Brasil, a incidência de energia solar é equivalente a 309 mil Usina Hidroelétrica de Itaipu. A energia solar têm as perspectivas de uso na agricultura, seja para a irrigação, cerca elétrica para pecuária, aquecimento de instalações para secar sementes, aquecimento de água. A energia solar pode ser transformada em elétrica, térmica ou mecânica sendo uma energia limpa e inesgotável.

## REFERÊNCIAS

ACIOLI, J.L. Fontes de energia. Brasília: Editora da Universidade de Brasília, 138p, 1994.

- ALBERNAZ, M. Energia Solar. Disponível em: <<http://m.albernaz.sites.uol.com.br/energiasolar.htm>>. Acesso em Nov. 2010.
- ALVES, A. R.; VIANELLO, R. L. Meteorologia básica e aplicações. Meteorologia básica e aplicações. p. 449, Viçosa, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. Disponível em: <<http://www.abrava.com.br/>> Acesso em Jul. de 2010.
- AYOADE, J. O. Introdução à climatologia para os trópicos. Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2003.
- BACH, A. R. E; PEREIRA, J. C. Avaliação do potencial energético solar na região autônoma da Madeira. LASEF. AREAM. Agencia Regional da Energia e Ambiente da Região Autônoma do Madeira. 2005
- BAHIA. G.; Resumo informativo. Disponível em: <<http://www.guilhermehahia.hpg.ig.com.br/>> Acesso Nov. 2010.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. *Manual de irrigação*. 8. ed. Viçosa: UFV, 2008. 596 p.
- CHANG, J. Climate and agriculture: An ecological survey. Aldine, Chicago, 1968
- CRESCEB/CEPEL. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Energia Solar – Princípios e Aplicações. Tutorial Solar. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/>> Acesso Jul. de 2010.
- DA SILVA, G.F. Análise das Componentes do Balanço de Radiação Solar na Amazônia. Maceio, 2005. 121p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas – UFAL.
- DA SILVA, G.F. Estudo do Comportamento da radiação solar global e saldo de radiação em uma área de pastagem na Amazônia durante os períodos de transição úmido – seco e seco – úmido. Maceio, 2004. 53p. (TCC em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas – UFAL.
- de Electricidade Utilizando SIG, Tese de Mestrado, INESC Porto.
- FATTORI, P.A., CEBALLOS, J.C., Glossário de termos técnicos em radiação atmosférica, 1997. Disponível em <<http://tucupi.cptec.inpe.br/satelite/metsat/pesquisa/gloss/capa.htm>>. Acesso em jul. 2010.
- FELIPPE, G.M. Fotomorfogênese. In: Fisiologia Vegetal. (Coord. Ed. FERRI, M.G.) USP, São Paulo, 1979.
- GASPAR, A. Física. Vol. Único. SP. Editora Atica. 2002
- GLIGOLETO, M.W.; *et al.* Estimativa do potencial máximo de energia solar mensal para o município de Cascavel. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 12. Reunião Latino- Americana de Agrometeorologia, 3, Florianópolis, Anais... Florianópolis: 2001. p. 232-233.
- GRIGOLETO M.W.; RICIERI R. P. Análise de disponibilidade de energia solar para a região de Cascavel – PR. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Florianópolis: 2001.
- GRIMM, A.M., Meteorologia Básica – Notas de Aula. Primeira versão eletrônica - setembro 1999. Disponível em: <<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/>> Acesso em: 20 Nov. 2010.
- INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <<http://www6.cptec.inpe.br/sonda/>> Acesso em: 20 Nov. 2010.
- IQBAL, M. Na Introduction do solar radiation, Academic Press, Toronto. 1983
- KHALIL, A.; ALNAJJAR, A. Experimental and theoretical investigation of global and diffuse solar radiation in the

- United Arab Emirates. Rev. Renewable, Energy, Vol. 6, n. 5, p. 537-543, 1995.
- KNOB, P.; RÜTHER, R.; JARDIM, C.S.; BEYER, H.G. Investigating the peak demand reduction capability of PV: A case study in Florianópolis, south Brazil, Proceedings of the 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Paris – France, 877 – 890, 2004
- LUTGENS, F.K. & E.J. TARBUCK, The Atmosphere: an introduction to Meteorology. Prentice Hall, 1989.
- MONTEIRO C., Integração de Energias Renováveis na Produção Descentralizada
- MONTEITH J.; UNSWORTH M., Principles of Environmental Physics, 2nd Edition, Arnold, London; New York. (1990)
- MOURA, M.A.L.; MEIXNER, F.X.; TREBS, I.; LYRA, R.F.F.; ANDREAE, M. O.; NASCIMENTO FILHO, N.F. Evidência observacional das brisas do lago de Balbina (Amazonas) e seus efeitos sobre a concentração do ozônio. Rev. Acta Amazônica, v. 34, n.4, p. 605 - 611, 2004.
- MOURAO, RONALDO R. de F. Sol e Energia no Terceiro Milênio. Ed. Scipione, São Paulo, 2002.
- NUNES, G.S.S., ANDRÉ, R.G.B., VIANELLO, R.L., MARQUES, V.S. Estudo da distribuição de radiação solar incidente sobre o Brasil. Revista Brasileira de Armazenamento, v. 4. p. 5-30, 1979.
- Organizacion Meteorologica Mundial (OMM). Guia de Instrumentos y Metodos de Observacion Meteorologicos. OMM – n.8, Secretaria de La Organizaci6n Meteorol6gica Mundial, Suiza, 1990.
- PEREIRA, A.B., VILA NOVA, N.A. Avaliaç6o do potencial de energia solar no munic6pio de Piracicaba, SP, Brasil. In: Congresso brasileiro de agrometeorologia, 10., 1997, Piracicaba. Anais..., Piracicaba: SBA/ESALQ, 759p. P. 413-415, 1997.
- PEREIRA, M.C. Energias Renováveis, a Opç6o Inadiável– SPES, Sociedade Portuguesa de Energia Solar – 1998
- PEREZ, R.; LETENDRE, S.; HERIG,C. PV and Grid Reliability: Availability of PV Power during Capacity Shortfalls, Proceedings of the American Solar Energy Society - ASES Annual Conference, Washington, DC, , 1-4, 2001.
- PORTAL G1. Espanha inaugura usina movida inteiramente a energia solar. Disponível em: <<http://g1.globo.com>> Acesso Nov. 2010.
- PRESCOTT, J.A. Evaporation from water surface in relation to solar radiation. Transactions of Royal Society Science, London, v. 64, p. 114-125, 1940.
- RÜTHER, R. Edifícios Solares Fotovoltaicos: O potencial da geraç6o solar fotovoltaica integrada a edificaç6es urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil, ISBN 858758304-2, pp. 1 – 113, 2004.
- SANTOS, C.B. dos.; POLYDORO, L.A. Importância do estudo da radiaç6o solar e nebulosidade na geraç6o de energia elétrica através do efeito fotovoltaico. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12, 2002 Foz do Iguaçu – PR. Anais.
- SIMON, A. & SCHUSTER. The real science behind the X-files: microbes, meteorites, and mutants. 2001. Pag. 25-27.
- The University Corporation For Atmospheric Research (UCAR). Site Windows to the Universe. Disponível em : <<http://windows.ucar.edu>> Acesso em: 25 Nov. 2010.
- USNO. U.S. Naval Observatory. Equinoxes, Solstices, Perihelion, and Aphelion, 2000-2020. Disponível em <<http://aa.usno.navy.mil/data/docs/EarthSeasons.php>>. Acesso em Ago. de 2010.
- Varej6o-Silva, M. A. Meteorologia e Climatologia. Recife. 2005.
- VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R., Meteorologia B6sica e Aplicaç6es. Imprensa Universit6ria, Belo Horizonte, 1999.
- Weiss, W.; Bergmann, I.; FANINGER, G. Solar Heating Worldwide: Markets and Contributions to the Energy Supply 2006. Austria, 2008.

\*\*\*\*\*