

VALORES DE INSOLAÇÃO, MEDIDOS EM RIO BRANCO - AC, COMO CONTRIBUIÇÃO PARA O ATLAS SOLARIMÉTRICO DA AMAZÔNIA

¹Alejandro Fonseca Duarte, ²Francisco E. Alves dos Santos,
³Eduardo E. Vieira Guedes, ⁴Abdom Calid

Universidade Federal do Acre (UFAC)
Departamento de Ciências da Natureza, BR 364,
CEP 69.915-900. Rio Branco – AC, Brasil.

RESUMO

O banco de dados solarimétricos da Amazônia, uma obra de grande importância, enfrenta a insuficiente continuidade e regularidade dos registros tanto no tempo quanto no espaço, devido à falta de estações de monitoramento. Embora existam registros de irradiação solar há décadas, os dados compilados geralmente procedem de sítios cuja localização espacial não permite uma conveniente interpolação dos dados. Por outro lado, regiões como a Amazônia Ocidental não têm sido privilegiadas com a instalação de equipamentos medidores da radiação; grande parte desta região, em particular o Acre, está desprovida dos instrumentos adequados. Em geral, os dados existentes, muitos deles estimados, como base em heliógrafos, actinógrafos e piranômetros. No presente trabalho se oferecem dados medidos em terra, em Rio Branco, mediante sensores de radiação global para todo o espectro solar e para sua parte visível. A partir dessas medições diretas se calculam a insolação diária média para cada mês para os anos 2000 a 2003. Os resultados se comparam com estimativas anteriores e poderiam ser considerados como fontes de informação solarimétrica para a região.

(**Tema:** Energia e Mudanças Climáticas. **Perspectiva:** Ambiental)

Introdução

O trabalho de aperfeiçoamento qualitativo e quantitativo das informações do Atlas Solarimétrico do Brasil (Chiguera, 2000), deve constituir uma dedicação permanente de instituições de pesquisa e outros órgãos

¹ Professor da UFAC, alejandro@ufac.br

² Professor da UFAC

³ Engenheiro Agrônomo, bolsista CNPq, UFAC

⁴ Técnico em eletrônica, UFAC

envolvidos no assunto. É importante para o conhecimento do potencial de energia solar disponível, sua distribuição espacial, em particular na Amazônia; e temporal, ao longo dos anos. Esses dados são de interesse para a energética (fontes alternativas) e também para a climatologia.

Em Rio Branco, as medições sobre radiação solar se iniciam no ano de 1968 mediante a utilização de heliógrafos, instalados pelo Instituto Nacional de Meteorologia como partes de uma estação meteorológica. No mencionado Atlas Solarimétrico do Brasil, aparecem, dentre outras informações, estimativas da insolação em Rio Branco (Latitude S: $9^{\circ} 57'$; Longitude W: $67^{\circ} 52'$; Altitude: 185 m) com base nas medições dos heliógrafos. Como é sabido as leituras de insolação diária ou brilho solar se realizam mediante esse instrumento a partir da ocorrência da queima, pelos raios solares, de uma faixa de papel, o que acontece quando a radiação solar direta supera o valor aproximado de 100 W m^{-2} . Os erros destas medições são da ordem de 10 % ou mais.

Recentemente desde o ano 2000, na Universidade Federal do Acre, em Rio Branco, se realizam medições de radiação solar global mediante o uso de piranômetros, tanto para radiação em todo o espectro solar (PYR) como na região visível (radiação de ação fotossintética, PAR). O cuidado e a calibração anual desses piranômetros garante um erro das medições inferior a 5 %.

A composição da atmosfera local e sua dinâmica podem se descrever pela presença de ventos geralmente fracos com médias mensais de 3 m s^{-1} , uma cobertura de nuvens média mensal entre 4/10 e 9/10; e presença de fumaça (aerossóis) oriunda das queimas de biomassa que acontecem anualmente durante a época da seca na Amazônia. Na época de chuvas (entre setembro e maio) a maior parte da absorção e do espalhamento da radiação solar acontece pelas nuvens, enquanto durante o período da seca acontece tanto em nuvens quanto em aerossóis atmosféricos.

Instrumentos e Medições

Vários são os instrumentos e meios de observação e medição que se utilizam para o monitoramento da radiação solar e da presença de nuvens e aerossóis atmosféricos com os quais a radiação interage. Os dados e informações para o presente trabalho foram monitorados com a ajuda de:

a) Dois piranômetros fabricados pela Kipp & Zonen modelos CM21 e sensores de radiação de ação fotossintética fabricados por Skye e Kipp &

Zonen; os primeiro são destinados às medições da radiação solar para comprimentos de onda (λ) entre 320 nm e 2800 nm (radiação PYR) e os segundos para medições na região visível do espectro eletromagnético (radiação PAR). Através destes instrumentos foram feitas as medições de irradiância global (radiação direta + difusa) ao nível da superfície da terra, durante todo o ano, com medições a cada 2 minutos;

b) Um fotômetro solar (Cimel CE 318) da estação de Rio Branco, que pertence à rede mundial AERONET (AErosol RObotic NETwork) da NASA. Este instrumento permite a derivação dos valores de profundidade ótica dos aerossóis (AOT) para diferentes comprimentos de onda, em particular 500 nm e também derivações do conteúdo de vapor de água (WV) em toda a coluna atmosférica. Os valores de AOT utilizados foram os de nível 2.0, corrigidos segundo Smirnov *et al.* (2000) assegurando estarem livres do efeito de absorção e espalhamento por nuvens;

c) Um nefelômetro (Ecotech M903), que possibilitou as medições do coeficiente de espalhamento ótico (b_s) como resultado da interação entre a luz no comprimento de onda de 530 nm e os aerossóis na atmosfera local. Estas medições forneceram resultados complementares;

d) Um aetalômetro (Magee AE-31), que foi utilizado para medições da concentração de *black carbon* (BC) na atmosfera local. Como no caso do nefelômetro, as medições obtidas pelo aetalômetro ofereceram informações complementares relativas às variações diárias e sazonais da concentração de BC, ao longo do ano.

A observação do transporte de fumaça na atmosfera de Rio Branco, também foi acompanhada através dos resultados do modelo de transporte de gases e aerossóis acoplado ao modelo regional ETA do CPTEC (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos) do INPE (Trosnikov & Nobre, 1998).

Irradiação solar em Rio Branco

Segundo estimativas para a latitude de Rio Branco ($- 9^\circ 57'$), realizadas com base nas medições locais de irradiância para céu claro, sem nuvens e aerossóis, a irradiância PYR no topo da atmosfera ao meio-dia varia aproximadamente entre $1,4 \text{ kW m}^{-2}$ (na estação chuvosa) e $1,1 \text{ kW m}^{-2}$ (na estação seca). Como conseqüência, a insolação no topo da atmosfera local

(acúmulo de energia desde o nascer até o pôr-do-sol) varia entre 34 MJ m⁻² d⁻¹ (na estação chuvosa) e 27 MJ m⁻² d⁻¹ (na estação seca).

A duração do dia ao longo do ano, em Rio Branco, varia entre 11,53 h e 12,67 h.

Assim mesmo, o ângulo solar zenital medido ao meio-dia varia entre 0° (em torno de 23 de fevereiro e 19 de outubro) e 33° (durante junho e julho).

Resultados de cálculos do potencial de insolação PYR por mês e outros dados da meteorologia local (precipitação e cobertura de nuvens) estão dados na Tabela 1. Os cálculos da insolação máxima foram feitos com base nos dados dos anos 2000 a 2003, aproximando-se o perfil da irradiância a uma curva parabólica, em dias sem nuvens, com baixos valores de vapor d'água (WV) e aerossóis .

Os dias foram caracterizados, em média, pelas seguintes condições: cobertura de nuvens = 4/10, WV = 4 cm, e AOT = 0,15. A insolação foi obtida integrando-se no tempo o perfil de irradiância, desprezando-se a primeira meia hora do dia após o nascer do sol e a última meia hora antes do pôr-do-sol. Como exemplo de cálculo da insolação máxima se dão as expressões usadas no caso dos meses de janeiro (Expressão 1) e de junho (Expressão 2):

$$60 \cdot \int_0^{675} (-0,00910 \cdot t^2 + 6,93 \cdot t - 374,0) \cdot dt = 32 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1} \quad (1)$$

$$60 \cdot \int_0^{636} (-0,00822 \cdot t^2 + 6,43 \cdot t - 429,0) \cdot dt = 21 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1} \quad (2)$$

Tabela 1. Valores da insolação PYR diária máxima (MJ m⁻² d⁻¹) e valores médios mensais da precipitação (dados climatológicos) e cobertura de nuvens (ano 2002), em Rio Branco.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Insolação PYR	32	31	29	28	22	21
Precipitação (mm)	289	299	250	182	94	32
Cobertura de nuvens	8,0/10	8,3/10	7,6/10	7,4/10	6,6/10	4,9/10

	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Insolação PYR	22	23	25	27	28	30
Precipitação (mm)	42	49	103	154	201	249
Cobertura de nuvens	5,2/10	5,6/10	6,4/10	6,8/10	7,0/10	8,2/10

As medições da irradiância máxima descendente na superfície, ao meio-dia, comparados com os valores da irradiância descendente no topo da atmosfera, mostram o efeito da absorção e do espalhamento da radiação solar na coluna atmosférica. Isto pode ser visto na Tabela 2, como uma queda característica da irradiância.

Tabela 2. Irradiância PYR ao meio-dia, em Rio Branco. Valor médio calculado para o topo da atmosfera e valor médio medido na superfície.

	No topo da atmosfera ($W m^{-2}$)	Na superfície ($W m^{-2}$)
Estação chuvosa	1400	1200
Estação seca	1100	900

A distribuição dos valores médios diários da insolação PYR foi obtida a partir da integração numérica dos perfis de irradiância para cada dia (desde o nascer até o pôr-do-sol), determinados mediante os piranômetros. Os resultados se mostram na Tabela 3.

Tabela 3. Insolação PYR, em Rio Branco. Valores médios diários por mês e ano.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Insolação PYR ($MJ m^{-2}$)	17	16	15	13	15	16	14	17	18	18	17	20	16

Os dados fornecidos pelo Atlas Solarimétrico do Brasil, no caso de Rio Branco são os valores de insolação PYR, em $MJ m^{-2} d^{-1}$, estimados a partir de medições heliográficas (Tabela 4). Na Figura 1 se mostram os gráficos correspondentes aos dados das Tabelas 3 e 4. Com isso se faz possível a comparação da insolação a partir das medições heliográficas e mediante os piranômetros.

Tabela 4. Valores de insolação diária média, em $MJ m^{-2} d^{-1}$, para Rio Branco, estimados a partir de medições heliográficas.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Villanova, 1977	21,6	21,6	22	22	22,7	22,7	20,5	20,5	20,2	20,2	18,4	18,4	21,8
Funari, 1983	21,8	21,6	21,6	22,1	22,1	23,7	23,7	21,9	21,9	21,6	21,6	21,5	21,5
PROGENSA, 1993	15,3	14,8	16	15	15	14,2	17,3	17,8	16,4	18,3	17,6	15,2	16,1

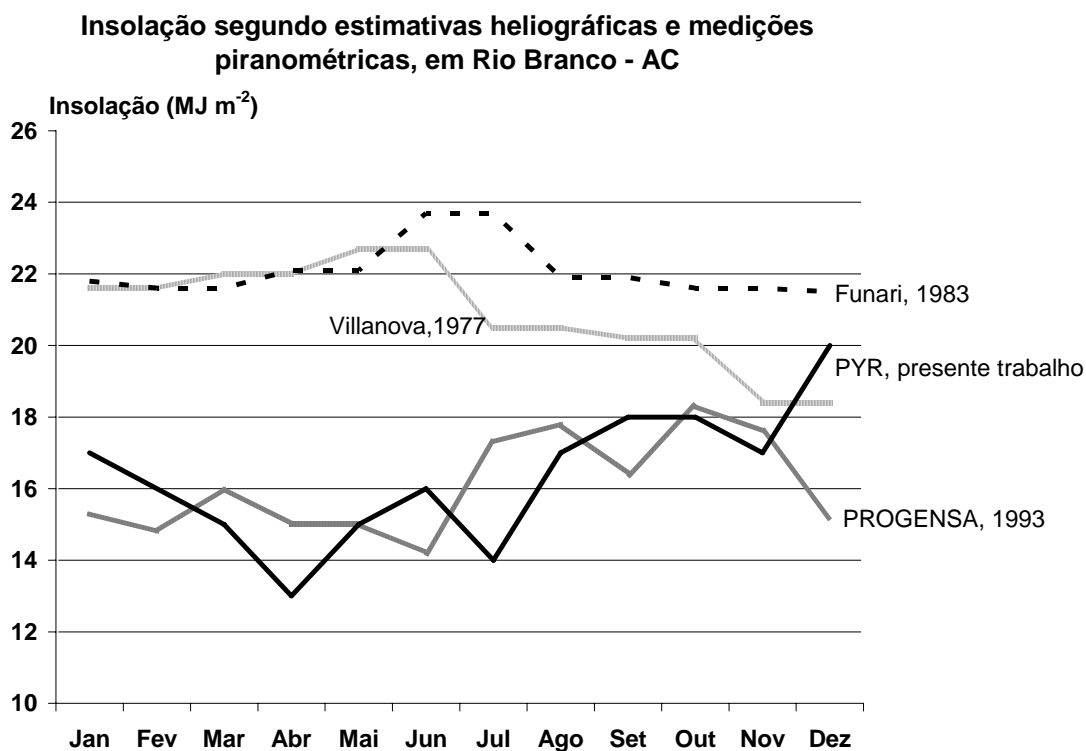


Figura 1. Aparentemente os resultados de Funari (1993) e Villanova (1977), sobreestimam a insolação, em Rio Branco.

As medições reportadas no presente trabalho se correspondem com as de PROGNSA (1993), o que significa que os resultados de Funari (1983) e de Villanova (1977) sobreestimam a insolação, para Rio Branco, entre 20 e 40 %. Assim, os valores de insolação diária média variam aproximadamente entre 14 e 18 MJ m⁻², enquanto os valores para determinados dias podem estar entre 3 e 28 MJ m⁻², devido à maior ou menor absorção e espalhamento da radiação solar em nuvens, aerossóis e outros componentes da atmosfera, além das modificações da irradiância motivadas pelo movimento aparente do sol durante o ano.

Aplicações

Entre as aplicações das características da insolação, na região, estão as instalações de energia solar em comunidades isoladas do Acre (Fonseca *et al.* 1999 e 2002), que atualmente abrangem 19 municípios e mais de 250 unidades em funcionamento. O programa PRODEEM no Acre é uma iniciativa da UFAC, mantido com a sua assistência técnica e conta com a parceria do Governo do Estado do Acre e ELETRONORTE.

CONCLUSÃO

Os valores de insolação PYR medidos em terra mediante o uso de piranômetros, na Universidade Federal do Acre, Rio Branco – AC, um sítio da Amazônia Ocidental, poderiam ser considerados para integrar o Atlas Solarimétrico do Brasil. Os valores obtidos são relativamente mais baixos entre Abril e Julho, média de $14,5 \text{ MJ m}^{-2}$, durante a seca; e mais altos no restante do ano, período de chuvas, 17 MJ m^{-2} , em média. Os resultados mostrados podem ser aprimorados com a continuidade das observações. Os valores para cada dia têm estado no intervalo entre 3 e 28 MJ m^{-2} . Essa variação deve-se aos efeitos de absorção e espalhamento em nuvens e aerossóis atmosféricos: a cobertura de nuvens em Rio Branco pode chegar a ser até de 9/10 durante a época de chuvas; durante a seca a cobertura de nuvens está em torno de 4/10, por outro lado durante esta época acontecem todos os anos as queimadas de biomassa florestal na Amazônia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chigueru, T. (Coordenador). Atlas Solarimétrico do Brasil, Banco de dados terrestres. Ed. Universitária da UFPE, Recife, 2000.
- Fonseca Duarte, A.; Alves dos Santos, F. E. Implementação do uso de fontes alternativas de energia em comunidades rurais no Estado do Acre. VIII CBE, Anais, v.3, p.1431-1438, COPPE/UFRJ, 1999.
- Fonseca Duarte, A.; Alves dos Santos, F. E.; Calid, A. Avanços no programa de desenvolvimento energético alternativo no Estado do Acre. IX CBE, Anais, v.4, p.1742-1747, COPPE/UFRJ, 2002.
- Funari, F. L., Insolação, Radiação Solar Global e Radiação Líquida no Brasil, São Paulo. Dissertação de Mestrado do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo, 1983.
- Normais Climatológicas (1961-1990), Departamento Nacional de Meteorologia, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Brasília, DF, 1992.
- PROGENSA. Valores Medios de Irradiación Solar sobre Suelo Horizontal, Centro de Estudios de la Energía Solar, Argentina, 1993.

Smirnov, A., Holben, B.N., Eck, T.F., Dubovik, O., Slutsker, I. 2000. Cloud screening and quality control algorithms for the AERONET database. *Rem.Sens.Env.* v.73, p.337-349

http://aeronet.gsfc.nasa.gov/PDF/Screening_paper_final.pdf

Trosnikov, I.V; Nobre, C.A. Estimation of aerosol transport from biomass burning areas during the SCAR-B experiment. *Journal of Geophysical Research*, v.103 (D24), p.32129-32137, 1998.

Villanova, N. A. e Sallati, E., Radiação Solar no Brasil, *Anais do I Simpósio Anual da Academia de Ciências do Estado de São Paulo*, p.27-61, 1977.