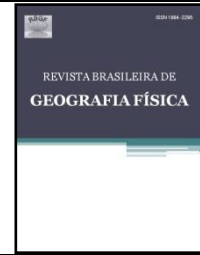




ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Variabilidade espacial da radiação solar na região de Manaus - AM durante o experimento GOAmazon 2014/15

Alice dos Santos Macedo¹, Gilberto Fisch²

¹ Mestre em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos-SP. alicesmacedo@gmail.com (autor correspondente). ² Doutor em Meteorologia, Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), São José dos Campos-SP. fisch.gilberto@gmail.com

Artigo recebido em 26/01/2017 e aceito em 23/08/2017

RESUMO

A radiação solar é um importante elemento climático na região Amazônica, pois tem um impacto muito grande nas áreas de ecologia (pela manutenção da biodiversidade da flora) e tecnológica (como fonte de energia renovável). Neste sentido, este trabalho contribui com o avanço científico nestes temas, realizando um estudo observacional da variabilidade espacial da irradiância solar na região de Manaus-AM, obtidos no projeto GOAmazon 2014/15. De forma complementar, foi realizada a análise da cobertura de nuvens e de chuva e suas interrelações com a radiação solar. Os valores máximos observados estão entre 450 e 600 Wm^{-2} na estação chuvosa (fevereiro/março) com um desvio padrão alto de 300 a 350 Wm^{-2} e entre 650 e 800 Wm^{-2} na estação seca (agosto-setembro) com desvio padrão de 200 e 300 Wm^{-2} . Estes valores estão diretamente associados com a cobertura de nuvens e chuva. De modo geral, a região urbana apresenta menores valores de radiação solar a superfície do que nas redondezas, provocando um gradiente horizontal de nuvens/chuva e radiação solar entre a cidade de Manaus (área urbana) e os sítios semirurais.

Palavras-chave: piranômetro, radiação solar global, cobertura de nuvens, total sky imager.

Spatial variability of solar radiation in Manaus-AM region during GOAmazon Experiment 2014/15

ABSTRACT

The solar radiation is an important climatic element in the Amazon region, as it has a strong impact for ecological (by the preservation of the biodiversity) and technological (as a renewable energy) areas. Consequently, this study contributes for these themes, conducting an observational study of the spatial variability of the solar irradiance for Manaus-AM area, with data collected during the project GOAmazon 2014/15. The cloud cover and rainfall and their relationships with solar radiation were also analysed. The maximum values observed for the wet season (february and march) are in the range 450 and 600 Wm^{-2} with high standart deviation (300 - 350 Wm^{-2}), while they are in the range from 650 and 800 Wm^{-2} during the dry period (august - september) with lower standart deviation (200 - 300 Wm^{-2}). These values are directly associated with cloud cover and rainfall. In general, the urban area (Manaus city) showed the low values of solar radiation at the surface compared with its neighborhood, inducing a horizontal gradient of clouds/rainfall and solar energy between the city and the semi rural areas.

Keywords: piranometer, global solar radiation, cloud cover, total sky imager

Introdução

A Amazônia é a maior floresta tropical do mundo e está situada no norte da América do Sul com cerca de 5,5 milhões de km^2 , presente nos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins. Possui uma

riquíssima biodiversidade com a presença de milhares de espécies vegetais, tornando grande o interesse em estudos ambientais da região, em particular aqueles que envolvem o elemento climático radiação solar, uma vez que a

fotossíntese é fator chave no crescimento das plantas. Um outro ponto importante é o aumento do uso de energia solar, como substituto renovável de energia elétrica. Nos estudos de quantificação e especificação de painéis solares, é importante ter-se dados de boa qualidade, para estimativas da produção de energia em regiões urbanas e semi-rurais. Por fim, os dados e processos atmosféricos aqui apresentados também podem ser úteis para estudos futuros de validação de modelos numéricos e/ou estimativas feitas por satélites para a região amazônica.

O clima amazônico deve-se a combinação de diversos fatores, sendo o mais importante a disponibilidade de energia solar, pois esta incide com maior intensidade na faixa equatorial. Caracteriza-se por possuir elevado índice pluviométrico, sendo que a precipitação e a cobertura de nuvens são os elementos climáticos com maior variabilidade espacial e temporal na região tropical amazônica (Fisch et al., 1998). Estudos relacionados ao tempo e clima amazônicos foram realizados pela comunidade científica desde meados da década de 70, embora de forma isolada e pontual (Brinkmann et al., 1971; Costa Azevedo et al., 1974; Vila Nova et al., 1976; Almeida et al., 1979; Goldman et al., 1989; Marques Filho et al. 2005; Marques et al., 2012).

No que tange a variabilidade espacial da irradiância solar à superfície, alguns autores (Santos et al., 2013 para Manaus-AM; Andrade e Correa, 2014; para Santarém-PA e Pavão et al., 2015; para Humaitá – AM) mostraram que há mudanças nos fluxos à superfície devido à urbanização. Para a cidade de Manaus, Dos Santos et al. (2014) e Tanaka et al. (2014) salientaram que fatores geográficos, incluindo a proximidade com a confluência dos rios Negro e Solimões, a paisagem urbana e a irregularidade do solo afetam os ciclos meteorológicos.

Durante o período de 2014/2015, ocorreu em Manacapuru-AM, distante aproximadamente 70 km da cidade de Manaus-AM, a realização do experimento denominado Green Ocean Amazon (GOAmazon 2014/15) (<http://campaign.arm.gov/goamazon2014>), descrito em Martin et al. (2016).

Este trabalho objetivou avaliar a variabilidade espacial da radiação solar global na Amazônia central, através de medidas em 3 pontos distantes, representando condições urbana (1) e semi-rural (2). Informações complementares de cobertura de nuvens e precipitação também foram analisados. Estes dados *in situ* fazem parte do projeto GOAmazon 2014/15.

Foram selecionados cinquenta dias representativos da estação chuvosa (denominado IOP1, que compreendeu o período entre 1 de fevereiro e 22 de março) e outros cinquenta dias representativos da estação seca (denominando IOP2, que compreendeu o período entre 1 de agosto a 19 de setembro) do ano de 2014. A área de estudo (Figura 1) compreendeu três sítios para as medidas de irradiância solar e precipitação (T3, EMBRAPA E UEA), e de cobertura de nuvens em outros 2 pontos (Aeroportos de Ponta Pelada e Eduardo Gomes), descrito na Tabela 1. As distâncias entre os sítios variam de 20 (UEA e EMBRAPA) a 80 km (T3 e EMBRAPA), sendo que UEA é caracterizado como um sítio urbano e os outros dois (T3 e EMBRAPA) como semi-rural. Um deles (T3, sítio principal do experimento GOAmazon 2014/15) situa-se a sudoeste e o outro (EMBRAPA) a norte da cidade de Manaus-AM. As medidas de aerossóis somente foram coletadas em T3 e EMBRAPA. Os aeroportos de Ponta Pelada e Eduardo Gomes situam-se na cidade de Manaus, sendo que o primeiro situa-se as margens do Rio Negro.

As medidas de cobertura de nuvens nos aeroportos foram feitas por análise visual de observadores da FAB (Força Aérea Brasileira). No sítio T3 as medidas foram feitas pelo instrumento TSI (Total Sky Imager). As variabilidades destes instrumentos foram calculadas através do cálculo de médias horárias e seus respectivos desvios padrões de cada 30 minutos ao longo dos 50 dias de análise de dados para cada IOP.

É importante ressaltar que o sítio UEA teve uma taxa amostral de 1 dado para cada 5 minutos (Tabela 2), sendo que os demais sítios (T3 e EMBRAPA) tiveram uma taxa amostral de 1 dado por minuto, ou seja o valor médio de cada intervalo de 30 minutos da UEA foi feita com uma amostra de 300 dados (50 dias X 6 amostras), contra 1500 dados (50 dias X 30 amostras) dos sítios T3 e EMBRAPA. Mas esta diferença na taxa amostral não causou mudanças nos resultados encontrados, conforme mostrado no Apêndice G de Macedo (2016). Este fato permitiu comparar vários sítios experimentais com diferentes taxas de amostragem.

Material e métodos

| | | Distância (km) |
|---------------------|----------------------|-------------------|
| Irradiância Solar | T3 – UEA | 66 |
| | T3 – EMBRAPA | 79 |
| | EMBRAPA – UEA | 22 |
| Cobertura de Nuvens | T3 – E. Gomes | 64 |
| | T3 – P. Pelada | 70 |
| | P. Pelada - E. Gomes | 13 |

Tabela 2–Relação de instrumentos utilizados.

| | Radiação Solar | Cobertura de nuvens |
|---------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| | Instrumento (Taxa amostral obs/tempo) | |
| T3 | Piranômetro (1 obs /min) | Total Sky Imager (1 obs/30s) |
| Embrapa | Radiômetro (1 obs/min) | -- |
| UEA | Piranômetro (1 obs/5 min) | -- |
| Ponta Pelada | -- | Obs. Visual |
| Eduardo Gomes | -- | Obs. Visual |

Resultados e discussão

Chuva e cobertura de nuvens

As Figuras 2 e 3 mostram as precipitações diárias durante os IOP1 e IOP2, respectivamente. O ano de 2014 foi considerado um ano normal, em relação a distribuição de chuva e a normal climatológica de Manaus (Marengo et al., 2017). No IOP1 (Figura 2), observou-se que a precipitação diária na maior parte do período não superou o valor acumulado de 40 mm. O sítio UEA teve os maiores acumulados de chuva, ocorridos nos dias 7 e 8 de março, totalizando 92 mm. Também em 8 de março, o sítio da EMBRAPA apresentou seu maior acumulado: 75 mm. Comparados a EMBRAPA, que foi o sítio que mais acumulou chuva no período, os totais dos sítios UEA e T3 foram 14% e 17% menores, respectivamente. Em síntese, a norte de Manaus ocorreu um total maior de precipitação, diminuindo para uma gradiente norte-sul/sudoeste.

No IOP2 (Figura 3) observou-se uma menor quantidade de chuva, o que é característico da estação seca da região (Fisch et al., 1998). A diferença desta precipitação, nos três sítios e comparado ao IOP1, foi 77% menor. Além disso, nenhum evento ultrapassou o acumulado diário de 30 mm. O sítio que apresentou a maior precipitação acumulada no período também foi a EMBRAPA, com 196 mm. Comparados a esta localidade, os sítios UEA e T3 tiveram totais acumulados 81% e 22% menores, respectivamente.

Observa-se que as diferenças (em percentuais) nas precipitações entre os sítios foram maiores no IOP2. O sítio UEA foi o que menos acumulou precipitação nos dois IOPs, provavelmente devido a localização geográfica entre os Rios Negro e Solimões.

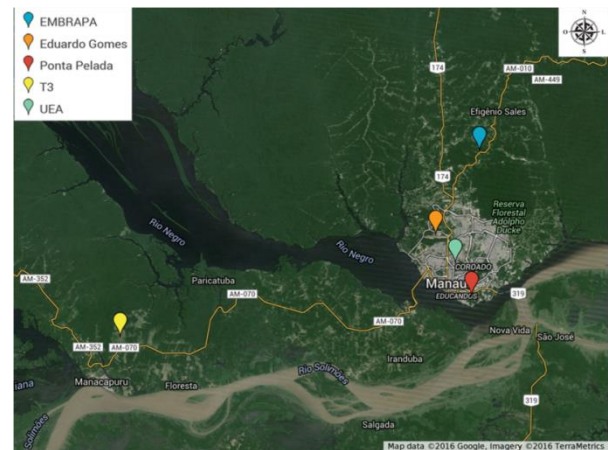


Figura 1 – Sítios de estudo da variabilidade espacial da irradiância solar. Fonte: Google

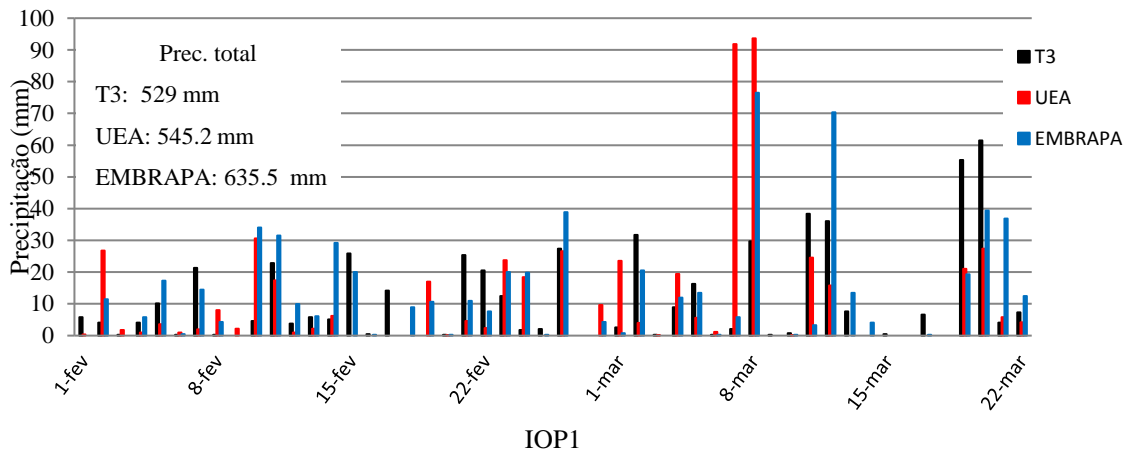


Figura 2- Precipitação diária nos sítios T3, UEA e EMBRAPA durante o IOP1.

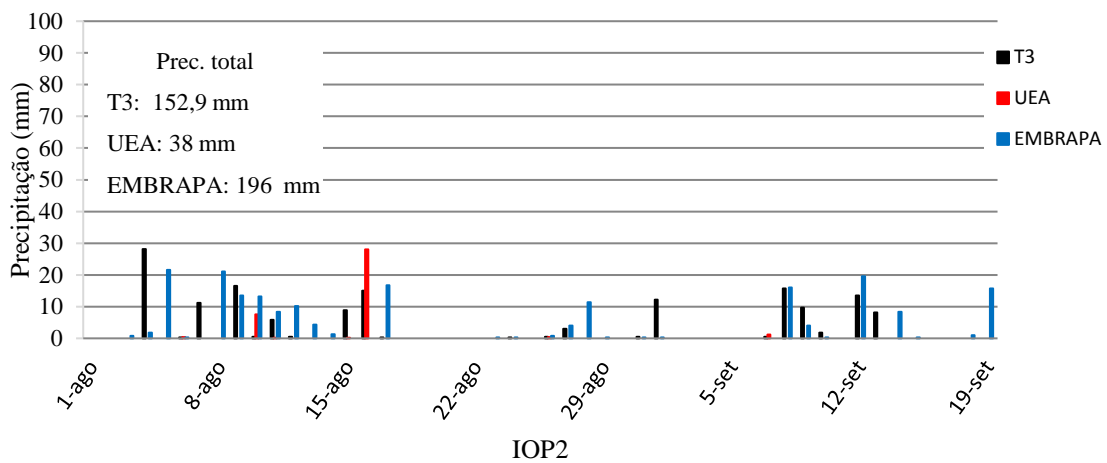


Figura 3 - Precipitação diária nos sítios T3, UEA e EMBRAPA durante o IOP2.

Com relação a variabilidade espacial da cobertura de nuvens, observou-se que a fração de nuvens no IOP1 foi superior comparado ao IOP2 (Tabela 3), o que era esperável tendo em vista a maior atividade convectiva do período chuvoso. A cobertura de nuvens observada na Base Aérea de Ponta Pelada (PP) foi a mais elevada nos dois IOPs. De modo geral, isto pode ser explicável pela localização geográfica de PP na margem do Rio Negro. Observou-se também que as menores diferenças ocorreram entre a Base Aérea de Ponta Pelada e o Aeroporto Eduardo Gomes (EG), para

os dois IOPs, sendo que em T3 apresenta-se os menores valores de cobertura de nuvem. É importante ressaltar que as medidas em T3 foram feitas por um instrumento (TSI) e as de PP e EG por observadores (observação visual) da Força Aérea Brasileira (FAB). A aplicação de teste de significância estatística, pelo método de T-Student, contudo, mostrou que os valores médios de fração de nuvem entre os sítios foram estatisticamente diferentes entre si, nos dois IOPs.

Tabela 3 – Média e desvio padrão cobertura de nuvens (em percentual) no IOP1 e IOP2, dos sítios: PP (Ponta Pelada), EG (Eduardo Gomes) e T3 (sítio T3).

| Hora Local | IOP1 | | | IOP2 | | |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | EG | PP | T3 | EG | PP | T3 |
| 6 | 76±18 | 81±12 | 18±32 | 53±22 | 60±18 | 19±24 |
| 7 | 77±18 | 80±16 | 31±39 | 51±27 | 62±18 | 24±33 |
| 8 | 78±20 | 82±15 | 35±40 | 62±21 | 64±19 | 26±34 |
| 9 | 78±20 | 80±17 | 38±41 | 50±23 | 63±21 | 28±36 |
| 10 | 76±17 | 81±14 | 41±43 | 42±20 | 58±24 | 31±38 |
| 11 | 76±17 | 77±16 | 40±42 | 44±19 | 57±20 | 36±41 |
| 12 | 77±14 | 80±13 | 41±41 | 49±21 | 59±19 | 37±41 |
| 13 | 78±14 | 80±12 | 40±42 | 51±16 | 57±19 | 37±40 |
| 14 | 77±14 | 80±12 | 38±40 | 53±16 | 58±19 | 36±40 |
| 15 | 73±17 | 78±14 | 37±41 | 53±20 | 56±21 | 32±39 |
| 16 | 71±18 | 80±12 | 33±38 | 51±20 | 57±23 | 27±37 |
| 17 | 73±18 | 78±14 | 24±37 | 50±23 | 57±25 | 21±35 |
| 18 | 68±22 | 78±14 | 21±39 | 46±26 | 57±27 | 20±34 |

Irradiância solar global

A Figura 4 mostra o comportamento do valor médio e de sua variabilidade (representada pelo desvio-padrão) da irradiância solar global ao longo do ciclo diário nos três sítios estudados (T3, EMBRAPA e UEA), para o IOP1 (Figura 4a) e IOP2 (Figura 4b). Nota-se que os valores médios observados no IOP1 foram inferiores ao IOP2. Isto é justificado pelo fato do IOP1 ser representativo da estação chuvosa, onde há conseqüentemente mais nebulosidade atuando fortemente na atenuação do fluxo de irradiância solar que chega à superfície (Cirino et al., 2014). No IOP2, representativo da estação seca, as nuvens presentes são mais rasas, esparsas e isoladas, permitindo uma maior quantidade de irradiância solar atingir a superfície. Isto também pode ser confirmado quando observa-se a distribuição de chuvas nos IOPs (Figuras 2 e 3). Observou-se ainda que durante o IOP1 (Figura 4a), o valor médio da irradiância solar global no sítio da UEA

(considerado como representativo das condições urbanas) foi inferior aos outros dois sítios (EMBRAPA e T3). No IOP1, os valores médios da irradiância solar foram 347 Wm^{-2} no T3, 300 Wm^{-2} na EMBRAPA e 267 Wm^{-2} na UEA. Os valores médios horários típicos para cada sítio estão na Tabela 4 e, entre 10 e 15 horas, estes estiveram entre 290 e 460 Wm^{-2} na UEA, entre 460 e 580 Wm^{-2} no T3 e entre 450 e 600 Wm^{-2} na EMBRAPA. Comparando-se, especialmente o sítio T3 apresentou, para todo o ciclo diário integrado, valores médios 23% maiores do que a UEA, sendo que o sítio EMBRAPA teve valores médios 19% maiores que a UEA.

As máximas diferenças da irradiância solar global da UEA comparadas ao T3 foram de 150 Wm^{-2} e ocorreram às 14 horas. Similarmente, a máxima diferença entre EMBRAPA e UEA foi de 158 Wm^{-2} às 12 horas. Os valores médios da irradiância solar nos sítios T3 e EMBRAPA estiverem próximos entre si ao longo de todo o ciclo diário, sendo que as diferenças máximas observadas foram de 60 Wm^{-2} às 11 horas.

Os menores valores de desvios padrões, assim como os valores médios, também foram observados na UEA (Tabela 4), sendo os valores mínimos foram observados no início e fim do dia (horários de baixa elevação solar). Os valores típicos de desvio padrão, entre 10 e 15 horas, foram na UEA de 220 a 315 Wm^{-2} , no T3 de 290 a 380 Wm^{-2} e na EMBRAPA de 280 a 360 Wm^{-2} . O sítio T3 teve, para todo o ciclo diário, valores de desvios padrões 15% maiores do que a UEA e valores 13% maiores do que o sítio EMBRAPA.

No IOP2 (Figura 4b), a variabilidade espacial teve um comportamento diferente daquele apresentado no IOP1. As diferenças entre os sítios T3 e EMBRAPA foram maiores quando comparadas ao IOP1. Além disso, assim como no IOP1, o sítio T3 teve os maiores valores médios ao longo de todo o ciclo diário e o sítio UEA os menores valores. Os valores médios típicos da irradiância solar foram 220 Wm^{-2} no T3, 213 Wm^{-2} na EMBRAPA e 175 Wm^{-2} no UEA. Os valores típicos, entre 10 e 15 horas estiveram entre 200 e 307 Wm^{-2} na UEA, entre 430 e 730 Wm^{-2} na EMBRAPA e entre 490 e 815 Wm^{-2} no T3. O sítio T3 teve, para todo o ciclo diário, valores médios 19% maiores do que a UEA e valores 8% maiores do que a EMBRAPA. Os valores típicos de desvio padrão, entre 10 e 15 horas, foram na UEA em torno de 200 a 260 Wm^{-2} , no T3 de 200 a 340 Wm^{-2} e na EMBRAPA de 190 a 305 Wm^{-2} . O sítio T3 teve, para todo o ciclo diário, valores de desvios padrões 7% maiores do que a UEA e valores 12% maiores do que a EMBRAPA. Ainda sobre os desvios padrões, notou-se que no IOP2 as variabilidades de começo de dia são menores do que aquelas do final de dia (Figura 5b, Figura 6b, Figura 7b), uma vez que os dias amanhecem com céu limpo (pouca cobertura de nuvens), aumentando a convecção e nuvens ao longo do dia. A partir do cálculo das diferenças entre os valores da Tabela 5, observa-se que as maiores variações espaciais ocorreram entre o sítio UEA e os demais sítios. Os valores máximos ficaram em torno de 600 Wm^{-2} para T3 e EMBRAPA e em torno de 400

Wm^{-2} para a UEA, durante a estação chuvosa. Na estação seca, estes valores máximos foram entre 730 e 820 Wm^{-2} nos sítios T3 e EMBRAPA, sendo de 650 Wm^{-2} no sítio UEA. Todos os sítios apresentam os valores máximos antes do meio-dia no IOP2.

Visando analisar a formação de nuvens ao longo do ciclo diário para os 3 sítios, apresenta-se os valores médios e seus respectivos desvio padrões nas Figuras 5,6 e 7. Desta análises foi possível observar que os valores da irradiância solar global na UEA, que fica na área urbana de Manaus, apresentou os menores valores médios dos três sítios durante os dois IOPs.

Este comportamento concorda com os resultados de diversos outros estudos, os quais afirmaram-se que urbanização altera os fluxos de irradiância solar envolvidos, diminuindo a irradiância solar a superfície (Santos et al., 2013 para Manaus-AM; Andrade e Correa, 2014; para a Santarém-PA e Pavão et al., 2015 para Humaitá – AM). A substituição da vegetação natural por área urbana também pode modificar o padrão de energia disponível, as atividades convectivas e a formação de nuvens. Gonçalves et al. (2015) afirmaram, também, que partículas de aerossóis provenientes de atividades antrópicas (por exemplo, emissão veicular) podem afetar significativamente as propriedades microfísicas das nuvens, a cobertura de nuvens, precipitação e até o clima regional. Para a cidade de Manaus, Dos Santos et al. (2014) e Tanaka et al. (2014) salientaram que fatores geográficos, incluindo a confluência dos rios Negro e Solimões, uma paisagem urbana e irregularidade do solo afetam os ciclos meteorológicos, em particular as nuvens e chuvas. Dos Santos et al. (2014) frisaram que a cidade sofre a ação da brisa fluvial e que, nestas condições, a umidade é transportada para o interior do continente, favorecendo a formação de nuvens e maior cobertura de nuvens distante da margem do rio.

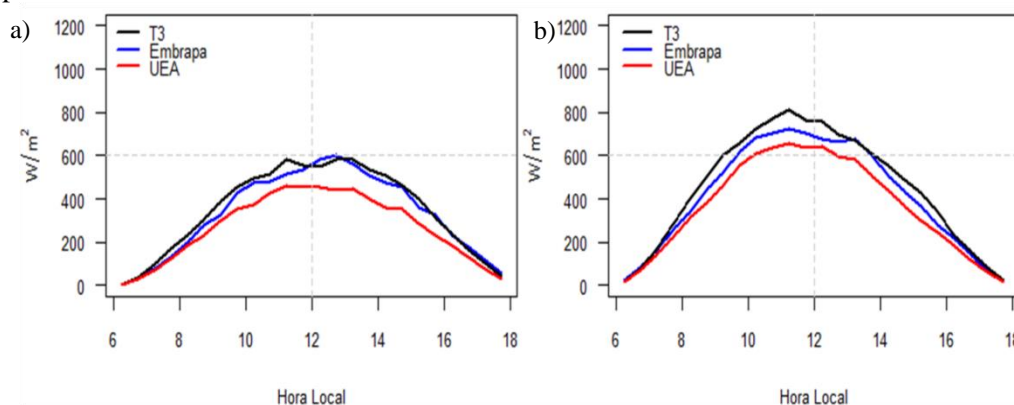


Figura 4 - Ciclo diário da irradiância solar global média a) IOP1 e b) IOP2.

Tabela 4 – Média e desvio padrão da irradiância solar global dos sítios:T3, EMBRAPA e UEA

| Hora Local | IOP1 | | | IOP2 | | |
|-------------|---------------------------|--------------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| | T3 (W/m ²) | EMBRAPA (W/m ²) | UEA (W/m ²) | T3 (W/m ²) | EMBRAPA (W/m ²) | UEA (W/m ²) |
| 06:00-6:29 | 4±8 | 2±4 | 5±5 | 15±15 | 23±18 | 16±14 |
| 06:30-7:59 | 39±31 | 27±22 | 29±26 | 80±38 | 81±34 | 71±32 |
| 7:00-7:29 | 99±66 | 75±50 | 74±54 | 174±57 | 167±55 | 145±49 |
| 7:30-7:59 | 169±105 | 136±84 | 124±89 | 288±77 | 258±85 | 228±70 |
| 8:00-8:29 | 232±139 | 201±128 | 185±125 | 404±94 | 337±114 | 311±97 |
| 8:30-9:59 | 303±172 | 277±174 | 232±136 | 502±120 | 444±130 | 379±121 |
| 9:00-9:29 | 385±219 | 325±187 | 300±188 | 599±137 | 525±155 | 461±138 |
| 9:30-9:59 | 452±245 | 426±250 | 350±222 | 660±172 | 618±170 | 554±160 |
| 10:00-10:29 | 496±293 | 477±284 | 375±234 | 727±207 | 682±191 | 612±200 |
| 10:30-10:59 | 513±317 | 484±311 | 428±296 | 768±251 | 707±224 | 636±257 |
| 11:00-11:29 | 584±362 | 515±338 | 460±308 | 814±268 | 726±254 | 655±282 |
| 11:30-11:59 | 557±382 | 533±340 | 453±312 | 767±313 | 706±290 | 634±308 |
| 12:00-12:29 | 547±365 | 581±366 | 454±302 | 756±326 | 677±315 | 644±306 |
| 12:30-12:59 | 586±381 | 599±358 | 441±314 | 695±344 | 664±306 | 598±303 |
| 13:00-13:29 | 581±363 | 559±367 | 449±275 | 673±333 | 675±288 | 583±286 |
| 13:30-13:59 | 538±340 | 504±352 | 398±251 | 610±313 | 601±281 | 506±274 |
| 14:00-14:29 | 511±327 | 471±307 | 360±238 | 554±298 | 508±283 | 439±215 |
| 14:30-14:59 | 460±292 | 453±296 | 354±223 | 489±252 | 433±251 | 368±196 |
| 15:00-15:29 | 403±258 | 358±234 | 287±175 | 428±204 | 366±212 | 299±169 |
| 15:30-15:59 | 315±207 | 321±228 | 230±148 | 337±165 | 280±177 | 246±143 |
| 16:00-16:29 | 237±163 | 231±165 | 188±123 | 234±122 | 221±131 | 187±111 |
| 16:30-16:59 | 168±125 | 178±129 | 132±82 | 158±83 | 147±92 | 116±74 |
| 17:00-17:29 | 105±76 | 119±83 | 74±49 | 85±44 | 72±49 | 64±41 |
| 17:30-17:59 | 44±39 | 61±44 | 31±20 | 22±19 | 16±16 | 19±17 |

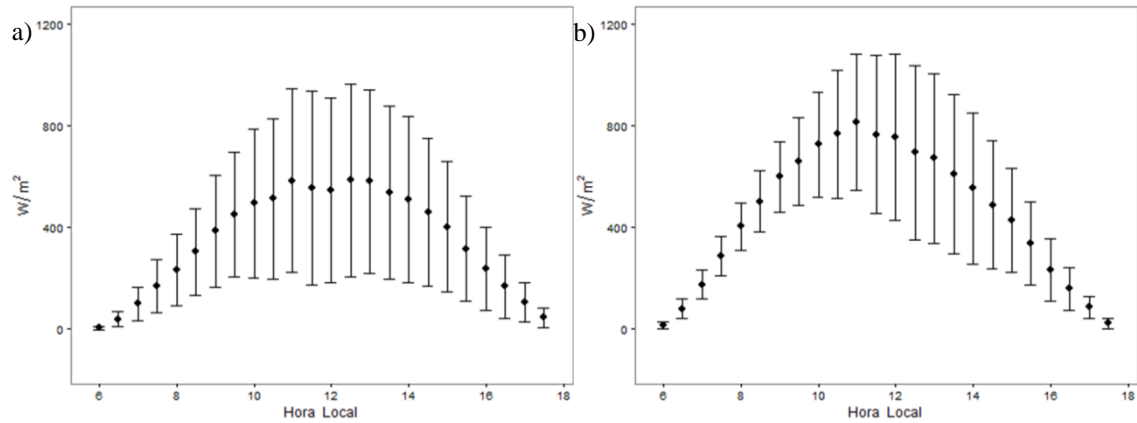


Figura 5 – Variabilidade da irradiância solar global no sítio T3: a) IOP1 e b) IOP2.

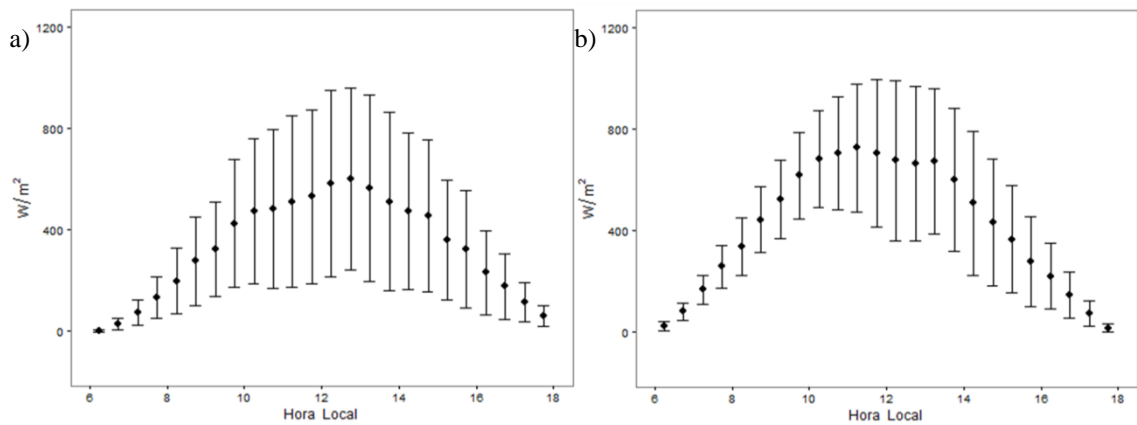


Figura 6– Variabilidade da irradiância solar global no sítio Embrapa: a) IOP1 e b) IOP2.

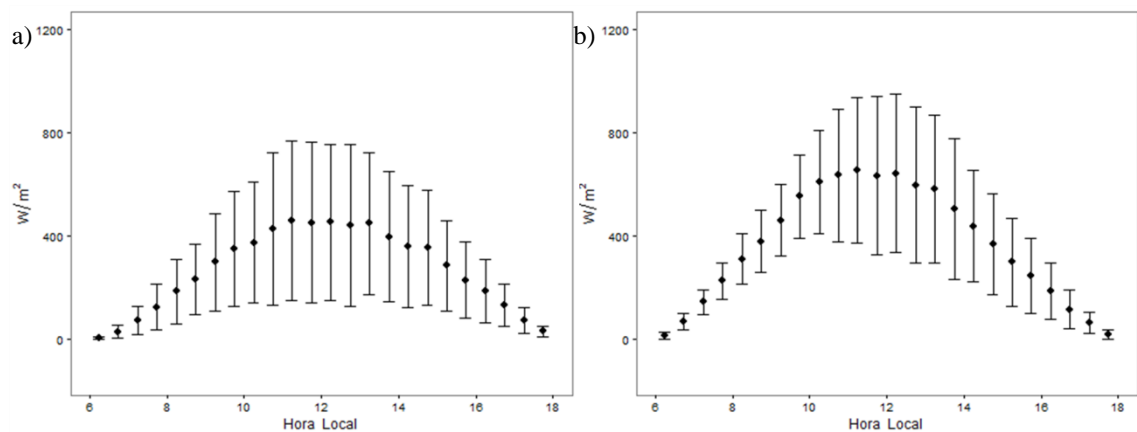


Figura 7 – Variabilidade da irradiância solar global no sítio UEA: a) IOP1 e b) IOP2.

A quantidade de irradiância solar a superfície ao longo de um dia (dado pela sua integral diária) é uma importante variável, quer seja
Macedo, A. S. ; Fisch, G..

para caracterizar processos ambientais, quer seja para estimar a produção de energia elétrica a partir de painéis solares. Visando uma análise estatística,

aplicou-se o teste de significância estatístico das integrais diárias de um sítio contra os outros. Os resultados estão apresentados na Tabela 5 e mostraram que, para o IOP1, apenas as diferenças observadas entre os sítios T3 e UEA (distantes entre si em 66 km) e entre EMBRAPA e UEA (distantes entre si 22 km) foram significativas a um nível de 5%. No IOP2 esta diferença foi significativa para os três casos.

Tabela 5 – Significância estatística da irradiância solar global nos sítios T3, EMBRAPA e UEA. S (Significante), N (Não significativa), no IOP1 e IOP2.

| | IOP1 | IOP2 |
|---------------|------|------|
| T3 - UEA | S | S |
| T3- EMBRAPA | N | S |
| EMBRAPA - UEA | S | S |

Conclusões

Os resultados apresentam valores típicos da irradiância solar, no que diz respeito ao ciclo diário (valores horários), para as diferentes localizações (urbana e semi-rural) e estações do ano (períodos chuvoso e seco), mostrando o quanto a radiação solar à superfície pode variar com relação as localidades analisadas, bem como com relação as interações nuvem- precipitação. Os valores máximos observados estão entre 450 e 600 Wm^{-2} na estação chuvosa (fevereiro/março) com um desvio padrão alto de 300 a 350 Wm^{-2} e entre 650 e 800 Wm^{-2} na estação seca (agosto-setembro) com desvio padrão de 200 e 300 Wm^{-2} . Estes valores apresentados podem ser úteis em projetos de especificação do uso de energia solar, pois o ano de 2014 foi considerado como ano normal na climatologia.

Na estação chuvosa, a chuva e cobertura de nuvens predominam em toda a região, com valores menores de irradiância solar devido a alta cobertura de nuvens. Por outro lado, na estação seca, ocorrem valores maiores de irradiância solar, associados a uma menor cobertura de nuvens e chuva mais esparsas. De modo geral, a região urbana apresenta menores valores de radiação solar a superfície do que nas redondezas, provocando um gradiente horizontal de nuvens/chuva e radiação solar entre a

cidade de Manaus (área urbana) e os sítios semirurais (T3 e EMBRAPA)

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq por financiar o desenvolvimento desta pesquisa, através de bolsa de Mestrado (134099/2014-1) para o primeiro autor e de produtividade de pesquisa (bolsa PQ 303720/2010-7) para o segundo autor.

Referências

- Almeida, R., Salati, E., Villa Nova, N. A., 1979. Distribuição espectral e Coeficiente de transmissão da radiação solar para condições de céu limpo em Manaus. *Acta Amazônica*, 9, 279-285.
- Andrade, S. C. P., Correa, J. A. J., 2014. Estimativa do saldo de radiação instantâneo à superfície para a cidade de Santarém-PA, através de imagens do Landsat 5-TM, 2014. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 7, 653-661.
- Brinkmann, W. L. F., Weinman, J. A., Ribeiro, M. N. G., 1971. Air temperatures in Central Amazônia. *Acta Amazônica*, 1, 75-76.
- Cirino, G. G., Souza, R. A. F., Adams, D. K., Artaxo, P., 2014. The effect of atmospheric aerosol particles and clouds on net ecosystem exchange in the Amazon, *Atmospheric Chemistry and Physics* [online], 14. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5194/acp-14-6523->. Acesso em: 15 ago. 2017
- Costa Azevedo, D., Pinto, M. M., Azevedo, M. L., 1974. Distribuição da radiação solar na região amazônica. *Simpósio Brasileiro de Energia Solar*, João Pessoa.
- Dos Santos, M. J., Silva Dias, M. A. F., Freitas, E. D., 2014. Influence of local circulations on wind, moisture, and precipitation close to Manaus City, Amazon Region, Brazil, *Journal of Geophysics Research*, 119, 13233–13249.
- Fisch, G., Marengo, J.A., Nobre, C.A., 1998. Uma Revisão Geral do Clima da Amazônia. *Acta Amazônica*, 28, 101-126.
- Goldman, G. H., Fattori, A. P., Januario, M., 1989. Variação espacial e temporal da irradiância solar e da razão entre vermelho e vermelho-extremo que chegam ao solo em diferentes micro habitats na região de Tucuruí - PA. *Acta Amazônica*, 19, 243-248.
- Gonçalves, W. A., Machado, L. A. T., Kirstetter P., 2015. Influence of biomass aerosol on precipitation over central Amazon: an observational study. *Atmospheric Chemistry*

- and Physics [online], 15. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5194/acp-15-6789-2015>. Acesso em: 15 ago. 2017.
- Macedo, A. S., 2016. Variabilidade temporal e espacial da radiação solar na região de Manaus - AM durante o experimento GOAmazon 2014/2015. Dissertação (Mestrado), São José dos Campos, INPE.
- Marengo, J.A., Fisch, G., Alves, L.M., Souza, N.V., Fu, R., Zhuang, Y., 2017. Meteorological context of the onset and end of the rainy season in Central Amazonia during Go Amazon 2014/15. Atmospheric Chemistry and Physics [online], 17. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5194/acp-17-7671-2017>. Acesso em: 15 ago. 2017.
- Marques, D.D., Brito, A.U., Cunha, A.C. da, Souza, L.R., 2012. Variação da radiação solar no estado do Amapá: estudo de caso em Macapá, Pacuí, Serra do Navio e Oiapoque no período de 2006 a 2008. Revista Brasileira de Meteorologia, 27, 127 – 138.
- Marques Filho, A. de O., Dallarosa, R.G., Pacheco, V.B., 2005. Radiação solar e distribuição vertical de área foliar em floresta – Reserva Biológica do Cuieiras – ZF2, Manaus. Acta Amazônica, 35, 427-436.
- Martin, S.T., Artaxo, P., Machado, L. A. T., Manzi, A. O., Souza, R. A. F., Schumacher, C., Wang, J., Andrae, M. O., Barbosa, H. M. J., Fan, J., Fisch, G., Goldstein, A. H., Guenter, A., Jimenez, J. L., Poschl, U., Silva Dias, M.A., Smith, J.N., Wendisch, M., 2016. Introduction: Observations and Modeling of Green Ocean Amazon (GOAmazon 2014/15) Atmospheric Chemistry and Physics [online], 15. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5194/acp-16-4785-2016>. Acesso em: 15 ago. 2017.
- Pavão, V. M., Querino, C. A. S., Beneditti, C. A., Pavao, L. L., Querino, J. K. A. S., 2015. Temperatura e albedo da superfície por imagens tm landsat5 em diferentes usos do solo no sudoeste da amazônia brasileira, Revista Brasileira de Climatologia, 16, 169-183.
- Santos, C.A. dos, Lima, J.R.A., 2013. Análise dos Efeitos da Expansão Urbana de Manaus-AM Sobre Parâmetros Ambientais Através de Imagens de Satélite. Revista Brasileira de Geografia Física, 6, 1-14.
- Tanaka, L. M. D. S., Satyamurthy, P., Machado, L. A. T., 2014. Diurnal variation of precipitation in central Amazon basin. International Journal of Climatology, [online], 34. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1002/joc.3929>. Acesso em: 15 ago. 2017.
- Villa Nova, N. A., Salati, E., Matsui, E., 1976. Estimativa da evapotranspiração na bacia amazônica. Acta Amazônica, 6, 215-228.