

ESTUDO DA VARIAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR NO AMAPÁ: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MUNICÍPIOS DE MACAPÁ, PACUÍ E OIAPOQUE EM 2007.

Derivan Dutra Marques¹, Alaan Ubaiara Brito², Alan Cunha³

1 Graduando em Física, UNIFAP, Bolsista de Iniciação Tecnológica Industrial, 2 Doutor em Energia, 3 Pesquisador III Engenharia Ambiental. Dr. Eng. Civil. Núcleo de Hidrometeorologia e Energias Renováveis - NHMET/IEPA. Macapá - AP, Fone: (96) 32273330, derivan.marques@iepa.ap.gov.br

RESUMO: A caracterização da radiação solar consiste na medição incidente de energia por unidade de área é o primeiro passo para o dimensionamento de sistemas de geração elétrica por meio de geradores fotovoltaicos. No presente caso utilizou-se dados do período de 1969-1974 e 1982-1983, obtidos por meio de actinógrafos, cujo erro relativo variou na faixa de 15 a 20%. Neste contexto, o objetivo da pesquisa foi apresentar resultados preliminares sobre a radiação solar em localidades específicas do estado do Amapá, com o uso de PCDs, em Macapá, Pacuí e Oiapoque. Como resultado da pesquisa foi possível verificar que em 2007 a análise do potencial solar em Macapá e Pacuí apresenta, respectivamente, valores próximos de 14,1 % e 2,1% acima da média do Atlas Solarimétrico do Brasil. Para o Oiapoque este erro foi de 27,8% abaixo com relação ao mesmo Atlas. Verificou-se que há necessidade de melhor analisar os resultados, principalmente devido a possível existência de problemas de manutenção da rede de monitoramento de superfície nas regiões estudadas do Estado do Amapá. Conclui-se que, antes de afirmarmos se as diferenças entre as médias são significativas é necessário avaliar primeiramente as condições de funcionamento dos equipamentos e sensores de radiação solar analisados.

PALAVRAS CHAVES: radiação, energia, PCD, Amapá

ABSTRACT: The characterization of solar radiation incident is the measurement of energy per unit area is the first step in the scaling of systems for electrical generation by means of photovoltaic generators. In this case it was used data from the period of 1969-1974 and 1982-1983, obtained through actinographies, whose relative error varied in the range of 15 to 20%. In this context, the objective of the research was to present preliminary results on the solar radiation at specific locations in the state of Amapa, with the use of PCDs in Macapa, and Pacui Oiapoque. As a result of the research was to see that in 2007 the analysis of the potential solar in Macapá and Pacuí presents, respectively, values close of 14,1% and 2,1% above the average of Atlas Solarimetrico of Brazil. For the Oiapoque this error was 27,8% below with the same Atlas. There was a need to better analyse the results, mainly because the possible existence of problems in maintaining the network tracking of surface regions studied the state of Amapa. It follows that before say that the differences between the averages are significant first it is necessary to evaluate the conditions for the functioning of the equipment and sensors of solar radiation analyzed.

KEYWORDS: radiation, energy, PCD, Amapa

1. INTRODUÇÃO

No Brasil estima-se um contingente de cerca de vinte milhões de pessoas vivendo em pequenas comunidades, sem acesso à energia e água potável. Tais recursos são essenciais para a manutenção da qualidade de vida das pessoas. A ausência das últimas tem sido uma das principais causas de deteriorização das condições de vida de certas comunidades (CARRERA-FERNANDES, 2002). E na Amazônia não é diferente, pois o problema não é a quantidade de água disponível, e sim sua qualidade, pois esta última repercute diretamente sobre a saúde e o bem-estar do cidadão.

No Estado do Amapá existem inúmeras localidades remotas sem acesso à energia elétrica, seja porque não há viabilidade econômica de instalação de redes convencionais, seja porque há enormes dificuldades, impondo soluções técnica e economicamente inviável para implementá-las diante das condições do homem do campo. Este problema tem sido um dos principais fatores impeditivos para o desenvolvimento e a fixação do homem rural em seu local de origem, e tem provocado um aumento do êxodo rural, tão indesejado para os grandes centros urbanos.

Normalmente, as conseqüências indesejáveis destes processos de migração acarretam a diminuição da produção de riquezas no campo e, ao mesmo tempo, eleva consideravelmente os problemas sociais

causados pelo inchaço populacional nas cidades. No Estado do Amapá esse fenômeno ocorre por diversos motivos. O principal é a falta de infra-estrutura, notadamente a oferta de energia elétrica e água potável.

No Brasil, segundo o Censo 2000 realizado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), há cerca de 2,5 milhões de domicílios que não dispõem do serviço de energia elétrica (11 milhões de brasileiros). Dados do Atlas de Energia Elétrica do Brasil (ANEEL, 2005), desenvolvido pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), mostram que 40% da população residente no campo no Estado do Amapá não possuem acesso à eletrificação rural. Tais estatísticas apontam para problemas sociais graves.

Mas, em contraponto, o Estado do Amapá, assim como todo Brasil, conta com boa incidência de radiação solar em sua extensão territorial, o que representa um grande potencial de crescimento e emprego da tecnologia fotovoltaica para geração de energia elétrica e uso mais sustentável de energia.

Todavia, dados confiáveis de radiação solar são de fundamental importância para o correto dimensionamento desses sistemas. O desempenho dos módulos fotovoltaicos é fundamentalmente influenciado pela intensidade luminosa (CEPEL, 1999). No entanto, o processo de caracterização do potencial solar no Brasil foi interrompido há bastante tempo, pois as séries históricas existentes datam de apenas 1969 a 1974 e de 1982 a 1983, as quais integram a base do Atlas Solarimétrico do Brasil (TIBA, 2001) facilmente disponível na atualidade.

Com base nestas informações, o trabalho tem por objetivo retomar o processo de caracterização da radiação solar no Estado do Amapá por meio de equipamentos mais precisos e em diferentes pontos da extensão territorial. Para isso, utilizou-se de Plataformas Automáticas de Coleta de Dados (PCDs) cujos dados foram obtidos remotamente via satélite. Desta forma, foi possível gerar uma série histórica mais atualizada cujo objetivo é complementar as séries existentes, auxiliar na implantação e no dimensionamento de sistemas fotovoltaicos no meio urbano e rural. Deste modo, busca-se contribuir com maior volume de informações sobre o comportamento da radiação solar no Estado, principalmente em vista da enorme defasagem de 25 anos observada nas séries históricas disponíveis.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados utilizados foram oriundos de coletas diárias realizadas de 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2007, do Banco de Dados do Laboratório de Hidrometeorologia e Energias Renováveis – NHMET, do Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá – IEPA. Os registros foram obtidos diariamente *via* satélite, de três em três horas a partir das Plataformas Automáticas de Coletas de Dados (PCD). Em Macapá e Pacuí as PCDs são do tipo Agrometeorológica. No Oiapoque a PCD é do tipo Meteorológica. Os dados enviados telemetricamente ao CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos) / INPE (Instituto de Pesquisas Espaciais) são posteriormente disponibilizados na Internet, ou em contas exclusivas FTP (*File Transfer Protocol*) para os usuários.

Na Figura 1 é apresentada a distribuição espacial das PCDs do tipo meteorológica e agrometeorológica no Estado. As do tipo agrometeorológicas estão instaladas no 34º BIS (Batalhão de Infantaria e Selva, em uma área totalmente urbanizada. A do tipo meteorológica está instalada na Escola Agrícola do Pacuí, área rural de Macapá. As coordenadas geográficas das PCDs agrometeorológicas são, respectivamente: lat. 0,04°; long. 51,06°; alt. 16m e lat. 0,96°; long. 50,86°; alt. 17 m. A PCD do tipo meteorológica instalada no Município Oiapoque encontra-se na localidade lat. 3,81° long. 51,86°; alt. 152m.

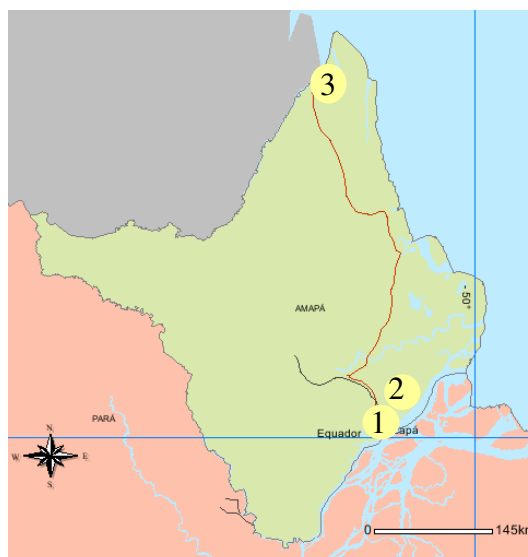


Figura 1: Distribuição espacial das estações. (1) Macapá (2) Pacuí (3) Oiapoque. *Fonte:* CPTEC/INPE (2008) e NHMET/IEPA (2008).

Para manter a confiabilidade dos dados é necessária a manutenção preventiva e ou corretiva que consistem, respectivamente na limpeza, verificação e retificação dos sensores, das conexões dos cabos e local onde está instalada a PCD. Para tanto, visitas locais são recomendadas para manter o bom funcionamento das mesmas (CUNHA, 2005). E antes da utilização dos dados é realizada uma verificação qualitativa dos mesmos com o objetivo de verificar possíveis falhas nos sensores das PCDs.

Os dados de radiação solar são obtidos em intervalos de 3 em 3 horas a partir das PCDs disponibilizados na Internet. Tendo em vista o volume de informações elaborou-se tabelas em planilhas eletrônicas para fornecer os dados de radiação solar na forma de valores diários e médias ponderadas mensais e anuais. Por conveniência houve a conversão de unidades para os dados de radiação solar, de MJ/m² para kWh/m². E por fim, foram também confeccionados gráficos mostrando a variação média mensal da radiação solar e o acumulado mensal. Foi aplicado um teste ANOVA, de fator único, utilizando-se apenas a localidade como causadora de possíveis diferenças entre as médias.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Atlas Solarimétrico do Brasil, a média anual da radiação solar H_h (anual) para Estado do Amapá está em torno de 4,3 kWh/m².dia. Contudo, verifica-se que a média anual calculada para o Município de Macapá (5,1 kWh/m².dia) encontra-se acima da média observada no Atlas Solarimétrico do Brasil.

A Figura 2a mostra a variação média mensal da radiação solar H_h (mensal) município de Macapá, distrito de Pacuí e Oiapoque. Verificou-se que a H_h (mensal) variou de 3,9 – 6,3 kWh/m².dia em Macapá, de 3,2 – 6,0 kWh/m².dia em Pacuí, e 3,2 – 5,8 kWh/m².dia em Oiapoque. A variação mínima para o Estado ocorreu em Oiapoque com 2,1 kWh/m².dia nos meses de maio e junho e a máxima chegando a 6,3 kWh/m².dia em Macapá no mese de setembro. A média anual para Macapá ficou em 5,1 kWh/m².dia, Pacuí em 4,5 kWh/m².dia, Oiapoque 3,2 kWh/m².dia. Na tabela 1, são mostrados os valores médios durante o ano de 2007, além de pontos máximos e mínimos.

Localidade	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	Máx.	Min.
Macapá	5,1	4,4	3,9	4,0	4,6	5,0	5,4	5,9	6,3	6,1	5,8	4,2	5,1	6,3	3,9
Pacuí	4,2	3,9	3,2	3,3	3,9	4,3	5,5	5,5	6,0	5,5	5,0	4,0	4,5	6,0	3,2
Oiapoque	3,0	3,3	2,3	2,2	2,1	2,1	2,4	3,4	5,1	4,7	4,4	3,4	3,2	5,1	2,1

Tabela 1. Radiação solar média mensal e anual para Macapá, Pacuí e Oiapoque no ano de 2007.

Ainda em relação a Figura 2a nota-se que entre os meses de janeiro a junho foram registrado os menores níveis de H_h na faixa de 3,0 a 5,2 kWh/m².dia para os municípios de Macapá e distrito de Pacuí. Enquanto que o município de Oiapoque os valores estiveram na faixa de 2,0 a 3,1 kWh/m².dia.

Verifica-se que, para o município de Oiapoque, os valores médios de radiação solar para o período de janeiro a julho estiveram abaixo dos valores de outras localidades. Fatores climáticos foram analisados e a

partir de uma análise simples observou-se que a precipitação pluviométrica acumulada para este município esteve 12% acima comparado com o mesmo período do ano de 2006. Tal fato pode ser atribuído a uma maior e intensa cobertura de nuvens (nebulosidade) sobre a região de Oiapoque. Na Figura 2c, são mostrados os valores de precipitação pluviométrica acumulada ao longo do ano de 2007 para as localidades estudadas.

A precipitação acumulada anual para Oiapoque foi de 3.052,5 mm, Pacuí 2.591,8 mm e Macapá 2.163,5 mm. De acordo com estudos realizados por MARQUES (2006), os níveis de radiação solar para o ano de 2006 observados em Oiapoque foram de 3,2 a 5,8 kWh/m².dia, cuja média anual foi de 4,1 kWh/m².dia. Para as demais localidades como Macapá e Pacuí, respectivamente, observou-se valores de 3,6 a 6,2 kWh/m².dia e 3,2 a 6,0 kWh/m².dia.

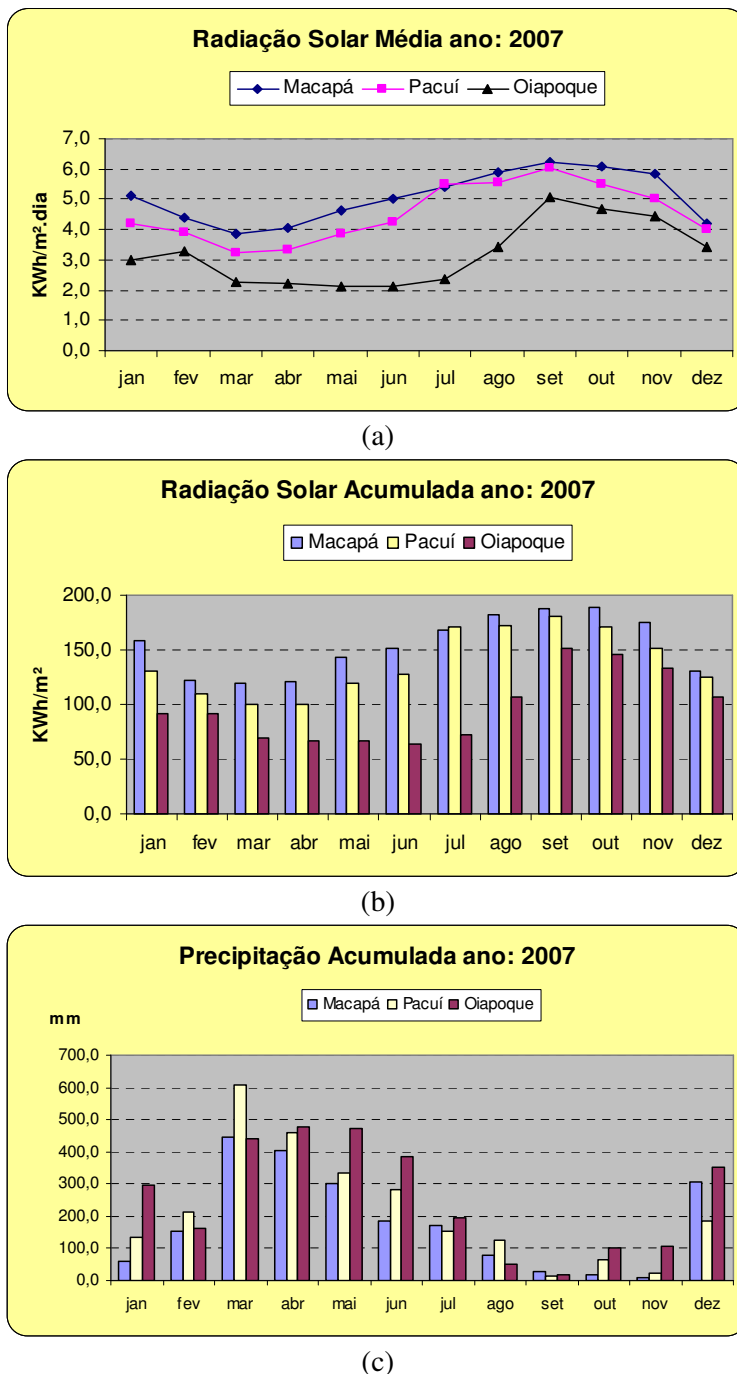


Figura 2:(a) Radiação solar média mensal (b) Radiação solar acumulada (c) Precipitação acumulada.

A Figura 2b mostra o acumulado mensal ao longo do ano, tendo como máximo acumulado o município de Macapá no mês de outubro atingido o valor de 188,2 kWh/m² e mínimo no município de Oiapoque chegando a 66,3 kWh/m² no mês de abril. Em Pacuí os valores ficaram na faixa de: máximo 180,4 kWh/m² (setembro) e mínimo de 99,9 kWh/m² (abril).

Como avaliação complementar dos dados utilizou-se a análise de variância (ANOVA) para verificar se pelo menos uma das médias diferiram significativamente uma das outras ao nível de 95% de confiança. A análise serviu para apontar as possíveis variabilidades espaciais entre as médias observadas ($\alpha = 0,05$ de significância). Com o uso do fator estatístico de Fisher, utilizado na análise estatística, foram encontradas diferenças significativas entre as médias de radiação solar de Macapá e Oiapoque ($F_{\text{calculado}} = 18,45 > F_{\text{crítico}} = 4,35$) e Pacuí e Oiapoque ($F_{\text{calculado}} = 10,53 > F_{\text{crítico}} = 4,30$). Quando se comparam as médias de radiação solar entre Macapá e Pacuí verificou-se a igualdade entre as médias ($F_{\text{calculado}} = 2,14 < F_{\text{crítico}} = 4,30$). Portanto, Macapá e Pacuí mostraram-se significativamente iguais e Oiapoque difere significativamente das demais, ou seja, de Macapá e Pacuí. Podemos inferir que, a PCD de Oiapoque apresenta diferenças significativas dos valores, mas as causas podem ser atribuídas tanto à diferença de localidade quanto com relação aos sensores das PCDs.

4. CONCLUSÕES

Verificou-se, por intermédio das Figuras - 2a e 2b, que a variação anual média da radiação solar H_h nas localidades de Macapá, Pacuí e Oiapoque, apresenta valores compatíveis com os do mapa solarimétrico brasileiro (TIBA, 2001). Neste aspecto, para o Município de Macapá valores de $H_h = 5,1$ kWh/m².dia e distrito de Pacuí com $H_h = 4,5$ kWh/m².dia, com desvio positivo, respectivamente, de 14,1% e 2,4% quando comparados com valores do Atlas Solarimétrico.

Por outro lado, os dados observados para o município de Oiapoque acusaram $H_h = 3,2$ kWh/m².dia, desvio negativo, de aproximadamente 27,8%, isto é, abaixo do previsto por TIBA (2001). Na figura 2c observa-se que em Oiapoque a precipitação pluviométrica acumulada no período de março a julho foi de 1.969 mm, o que provavelmente contribuiu para a diminuição dos níveis de radiação solar abaixo das médias mensais e anuais para 2006.

A partir da análise estatística (ANOVA) constou-se que as médias de radiação solar de Macapá e Pacuí são significativamente iguais. Por outro lado, verificou-se que as médias de radiação solar de Oiapoque diferem das demais estudadas. Contudo, é possível atribuir tais variações tanto às diferentes características climáticas das respectivas localidades quanto aos efeitos causados por erros sistemáticos decorrentes de problemas nos sensores das PCDs. A análise desses potenciais efeitos foge dos objetivos deste trabalho, mas é necessário estudos mais aprofundados para avaliar a confiabilidade dos dados da estação de Oiapoque.

AGRADECIMENTOS:

Os autores agradecem aos projetos *REMETAP* (Modernização da Rede Estadual de Meteorologia para previsão de Tempo, Clima e Recursos Hídricos), *AERBOM* (Acoplamento de Motobombas à Sistemas de Geração Eólica com uso de Inversor de Frequência).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Brasília: ANEEL, 2005. 1 CD-ROM.
- CARRERA-FERNANDEZ, J. Avaliação de fontes alternativas de energia em pequenos sistemas de abastecimento. In: **Economia dos Recursos Hídricos**. Rio de Janeiro: Edufba, 2002. Cap. 16, p. 325-344.
- CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CRESESB, 1999. 47p.
- CUNHA, A.C. **Dossiê – Implementação do Centro Estadual de Tempo, Clima e Recursos Hídricos**. Macapá, 2005. 93p.
- MARQUES, D. D, BRITO, A. U, e CUNHA, A. C. Caracterização da Radiação Solar Estado do Amapá. In: WORKSHOP ECOLAB, 8., 2007, Macapá. **Boletins de Resumos Expandidos**. Macapá: DIDOC, 2007. p. 400-404.
- TIBA, C. **Atlas Solarimétrico do Brasil: Banco de Dados Terrestres**. 1ª Edição. Recife: Ed. Universitária de UFPE, 2001.