

# UNIDADE DE MONITORAMENTO AMBIENTAL VISANDO O ESTUDO DA IRRADIÂNCIA SOLAR EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA E UMIDADE

**Celso Israel Fornari** – celso@las.inpe.br

**Antonio Fernando Beloto** – beloto@las.inpe.br

**Waldeir Amaral Vilela** – waldeir@las.inpe.br

**Luiz Angelo Berni** – berni@las.inpe.br

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Laboratório Associado de Sensores e Materiais

**Resumo.** A presença de vapor de água e aerossóis em suspensão na atmosfera terrestre, assim como a variação da temperatura podem alterar o espectro da radiação solar que chega à superfície terrestre. Sistemas fotovoltaicos e sensores baseados em silício possuem uma resposta espectral restrita a faixa entre 400 a 1100 nm, podendo apresentar eficiências diferentes para uma mesma irradiância solar quando ocorrerem mudanças na temperatura e umidade locais. Este trabalho propõe a montagem de uma Unidade de Monitoramento Ambiental para estudo do comportamento de dispositivos fotovoltaicos em função das variáveis ambientais. Descreve resumidamente a construção, as especificações e o princípio de funcionamento dos sensores ambientais, sistema de transmissão e aquisição de dados e a estrutura física da torre. A Unidade de Monitoramento Ambiental descrita neste trabalho faz parte de um projeto do CNPq e tem como objetivo principal testar radiômetros e sensores ambientais desenvolvidos pelo grupo de Célula Solares do Laboratório Associado de Sensores e Materiais – LAS do INPE, e é de fundamental importância neste trabalho, pois permitirá obter os dados ambientais tais como: pressão, temperatura, umidade, irradiância solar, além de permitir comparar os resultados obtidos com os de radiômetros que utilizam termopilhas como elemento sensor. O objetivo principal deste trabalho é estudar as diferenças causadas pela variação do espectro solar devido às variações da temperatura e umidade relativa do ar. Espera-se com este estudo gerar informações sobre eficiência de dispositivos fotovoltaicos em função das variáveis ambientais e determinar fatores de correção que poderão ser aplicados em dados obtidos com radiômetros que utilizam sensores fotovoltaicos em função da temperatura e umidade.

**Palavras-chave:** Radiação solar, Unidade de monitoramento ambiental, Radiômetro fotovoltaico;

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil e na América do Sul, devido a questões econômicas e culturais existe uma crônica carência de dados de medidas de radiação solar em virtude do reduzido número de estações solarimétricas. Visando diminuir esta carência, o INPE tem realizado nos últimos anos atividades de pesquisa e desenvolvimento de produtos com aplicação direta ou indireta nesta área (Vilela, 2010).

O interesse em monitorar as variáveis climáticas remonta à antiguidade. O homem sempre buscou uma maneira de quantificar as grandezas ambientais com o objetivo de sobrevivência, seja para conseguir vantagens em batalhas, para conseguir abrigo durante tempestades e catástrofes ou para aplicação na agricultura. Com o passar do tempo foram sendo desenvolvidos vários dispositivos, capazes de fornecerem medidas sobre grandezas físicas (WMO, 2008).

Estes dispositivos de medidas são denominados sensores ambientais. Um sensor é definido como um dispositivo que recebe e responde a um sinal ou estímulo. Neste caso, estímulo é definido como uma quantidade, propriedade ou condição que é percebida e convertida em um sinal elétrico. A ideia de um sensor é responder a algum tipo de estímulo de certa propriedade física, e converte-la em um sinal elétrico que possa ser lido por um circuito elétrico (Fraden, 2004).

A partir de 1980, sistemas integrados de sensores começaram a ser produzidos e foram denominados de PCDs (Plataforma de Coleta de Dados) ou AWS (*Automatic Weather System*) em inglês. Estes sistemas integrados consistem de uma torre, que funciona como suporte para todo o conjunto, os sensores de medidas ambientais e um sistema de aquisição de dados (DeFelice, 1998). Quando instalado em locais remotos, o sistema pode contar com um sistema de transmissão de dados sem fio, além de geradores próprios de energia. (Brock, 2001) Portanto, para que os dados fornecidos por estas estações tenham validade e sejam coerentes, é necessário realizar periodicamente a calibração de todos os sensores em laboratórios credenciados, além de seguir as normas e recomendações das agências competentes (WMO, 2008).

A metodologia adotada para o estudo da correlação entre dados de radiação obtidos por diversos dispositivos e variáveis ambientais consistirá no monitoramento do espectro solar, irradiação solar, temperatura, umidade, precipitação e pressão atmosférica. Para montagem do experimento foram especificadas três torres de monitoramento ambiental que estão sendo instaladas nas dependências do INPE de São José dos Campos e servirão também para testes em campo de sensores ambientais e radiômetros desenvolvidos pelo grupo de pesquisas em Células Solares (CELSOL) do LAS/CTE. O radiômetro fotovoltaico desenvolvido no LAS utiliza como elemento sensor uma célula solar de silício,

desenvolvida no Laboratório de Microeletrônica (LME) da USP. Elementos sensores que utilizam silício possuem uma resposta espectral entre 300 e 1100 nm, e possuem um pico de resposta em torno de 900 nm. Em contraste com isto, um radiômetro que utiliza como elemento sensor uma termopilha, possui uma resposta razoavelmente linear entre 300 e 3000 nm (Zhou, 1995). Assim, mudanças ocorridas no espectro devido à presença de vapor d'água, por exemplo, que acontecem para comprimentos de onda entre 1000 e 3000 nm (McCartney, 1983) não serão percebidas por elementos sensores baseados em silício. Como 97% da radiação incidente na superfície terrestre está confinada entre 290 e 3000 nm (Würfel, 2005), esta resposta limitada do silício pode causar erro na medida de irradiância. As medidas do espectro solar não são incluídas nos padrões de dados meteorológicos, pois os sensores não são em geral projetados para trabalhar em campo. Assim, o único dado disponível é a irradiação incidente no local, isto é, a integral do espectro em todos os comprimentos de onda (Gottschalg, 2003). A instalação das torres de monitoramento ambiental no INPE permitirá o teste e a comparação de diversos tipos de radiômetros solares, bem como o estudo da influência das intempéries da natureza na eficiência apresentada por painéis fotovoltaicos de células de silício, bem como capacitará o LAS no desenvolvimento de sensores ambientais e sistemas de aquisição de dados.

O ideal para dimensionar um sistema de captação de energia solar para uma determinada área, seja ele térmico ou fotovoltaico, é que sejam feitos estudos do local através de medidas sistemáticas de radiação solar por certo período de tempo e o estudo das variações ambientais. A radiação solar em uma determinada área específica está intimamente relacionada às condições climáticas da região e às condições de irradiação do local (Valley, 1965). Fatores como transparência da atmosfera, presença de sombras e alterações climáticas devido a fatores locais como montanhas, lagos e outros, só são detectados se houver um monitoramento contínuo da irradiação solar no local e das variáveis ambientais.

De uma forma geral, a motivação deste trabalho deve-se à constatação de poucos estudos mais aprofundados que vise relacionar as variações ambientais e as medidas de radiação global obtidas por dispositivos fotovoltaicos, bem como a eficiência de células solares de silício utilizadas em painéis solares. O objetivo deste trabalho consistirá na montagem de três unidades de monitoramento ambiental e o estudo da correlação entre medidas de irradiância solar, temperatura e umidade para dispositivos e sensores fotovoltaicos. As unidades de monitoramento ambiental ou plataformas de coleta de dados são constituídas por uma torre, onde estão instalados um sistema de aquisição e armazenamento de dados, sensores de monitoramento ambiental, sistema de alimentação de energia autônomo e transmissão de dados via cabo e sem fio. Com isso, espera-se também capacitar o laboratório na área de instrumentação em monitoramento ambiental e permitir o teste em campo dos produtos desenvolvidos.

## 2. UNIDADE DE MONITORAMENTO AMBIENTAL

Nas unidades de monitoramento ambiental para este estudo, utilizaremos três torres que estão montadas em diferentes locais dentro das instalações do INPE, em São José dos Campos-SP. As torres estão dispostas conforme a Tab. 1.

Tabela 1. Localização e referência das torres.

REFERÊNCIA	ALTURA (m)	LOCALIZAÇÃO
A – Caixa d'água	3	-23° 12' 41", -45° 51' 32"
B – Prédio Materiais	3	-23° 12' 31", -45° 51' 33"
C – Próximo à portaria principal	10	-23° 12' 30", -45° 51' 43"

Uma plataforma de coleta de dados ambientais pode ser dividida em quatro partes: a estrutura física, os sensores, o sistema de aquisição, processamento e transmissão dos dados e o sistema de alimentação. A estrutura física é responsável por unir e fornecer sustentação à plataforma, para que os sensores possam ser instalados de acordo com as recomendações das agências competentes. Os sensores são os responsáveis por quantificarem as variáveis meteorológicas e fornecerem um sinal elétrico ao sistema de aquisição. O sistema de aquisição de dados processa os sinais provenientes dos sensores e transmite os dados para um terminal. A alimentação da plataforma de coleta de dados é fornecida por um painel solar e uma bateria, para armazenar e fornecer energia em momentos de baixa irradiância. A Fig. 1 representa um esquema de montagem da torre. Onde os itens 1, 2 e 3 correspondem à estrutura física, os itens 4, 5, 6 e 7 são aos sensores ambientais, o item 8 representa o sistema de fornecimento de energia e o item 9 representa o espectrofotômetro. As torres utilizadas neste trabalho e as caixas ambientais foram fornecidas pela Campbell e são confeccionadas em alumínio sendo que as bases são feitas de concreto. As bases de concreto e a montagem das torres foram realizadas de acordo com as recomendações e especificações do fabricante. Os sensores utilizados neste trabalho são importados e foram obtidos através de representantes aqui no Brasil com exceção do pluviômetro que é produzido por uma empresa nacional, também foram utilizados radiômetro fotovoltaico, desenvolvido pelo próprio laboratório. O espectro solar será medido em diversas situações ambientais utilizando-se para isso um espectrômetro que permitirá obter diversas curvas espectrais da radiação solar que serão utilizadas no estudo comparativo entre os radiômetros fotovoltaicos e os de termopilhas. Os sensores ambientais representados na Fig. 1 são: (4) sensor de temperatura e umidade relativa do ar, (5) Sensor de velocidade e direção do vento, (6) Sensor de radiação solar e (7) Sensor de precipitação.

O conceito de temperatura ambiental está associado ao conceito de equilíbrio térmico da atmosfera na região próxima ao sensor. Neste trabalho utilizaremos para medida da temperatura o sensor do tipo termistor, modelo S2095,

de fabricação da Rotronic e o abrigo meteorológico modelo S2160. Para medida da umidade do ar este sensor utiliza um transdutor capacitivo. As especificações do sensor estão contidas na Tab. 2.

A velocidade do vento é uma grandeza física que pode ser expressa por um vetor tridimensional. Portanto, para aplicações ambientais, é aceitável medir a velocidade do vento em um plano paralelo à superfície terrestre. Assim, ela pode ser expressa em duas grandezas, velocidade e direção. A unidade de medida padrão para a velocidade do vento é o metro por segundo [m/s]. Neste trabalho utilizaremos o sensor modelo S2014, de fabricação da MetOne. Este sensor utiliza um *reed switch* magnético, que produz dois pulsos a cada revolução das pás do cata vento. Para medir a direção do vento o sensor utiliza um potenciômetro linear de precisão de 0 e 10 k $\Omega$ . Pelo potenciômetro circula uma corrente contínua e regulada e o sinal de saída é obtido através da queda de tensão sobre os terminais do potenciômetro que é diretamente proporcional ao ângulo do azimute. As especificações do sensor são mostradas na Tab. 2.

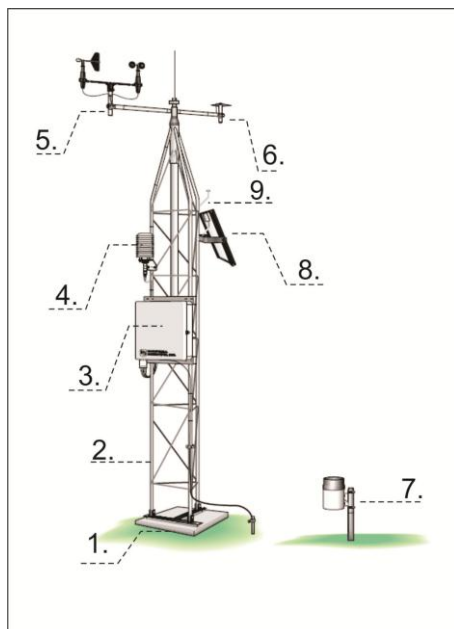


Figura 1- Esquema de montagem de uma Unidade de Monitoramento Ambiental (Campbell Sci, 2011). Onde 1 a 3 correspondem à estrutura da torre, 4 a 7 os sensores, 8 o sistema de energia e 9 à parte integrante do espectrofotômetro.

O sensor de precipitação é responsável por medir a quantidade de chuva que ocorre em certa região. Utilizaremos como sensor de precipitação um pluviômetro automático modelo S2163, de fabricação nacional, que atende recomendações da Organização Meteorológica Mundial. Ele tem como princípio de funcionamento um funil com diâmetro de cerca de 20 cm no topo para captação da chuva, a água da chuva é encaminhada a um pequeno reservatório que se enche e tomba, um sensor do tipo balsa aciona um componente magnético que gera pulsos que são transmitidos ao sistema de aquisição de dados. O volume de precipitação é obtido contando quantas vezes o número de tombamentos ocorreu e um determinado intervalo de tempo. Na Tab. 2 estão contidas as especificações do sensor.

Para medida da pressão atmosférica utilizaremos o barômetro modelo S2021, de fabricação da Setra. Este barômetro possui como elemento sensor uma capsula cerâmica que se deforma proporcionalmente à pressão aplicada sobre ela. Esta deformação causa uma mudança na capacitância que é proporcional à pressão atmosférica. As especificações do sensor estão na Tab. 2.

A radiação solar que chega ao planeta Terra ao penetrar na atmosfera é espalhada ou absorvida pelas partículas e moléculas constituintes da atmosfera, apresentando pontos de absorção em certos pontos do espectro. Mudanças no espectro solar na superfície da Terra podem também ocorrer devido a diversos fatores tais como alteração do trajeto da radiação (coeficiente Massa Ar) ao longo do dia, declinação solar ao longo do ano e fatores ocasionais tais como alteração da temperatura, umidade e concentração de aerossóis na atmosfera. Para medir o espectro solar utilizaremos um espectrômetro portátil modelo *GetSpec* USB-2048 que responde numa faixa espectral de 200 a 1100 nm, possui resolução de 0,04 a 20 nm e sensibilidade de 5000 *counts*/ $\mu$ W por tempo de integração [ms]. Para medida da radiação solar global utilizaremos radiômetros com termopilhas e fotovoltaicos, importados e desenvolvidos pelo grupo de Células Solares do LAS – INPE. O radiômetro fotovoltaico do LAS utiliza como elemento sensor uma célula solar de silício monocristalino convencional desenvolvida no LME/USP (Vilela, 2010). Os radiômetros fotovoltaicos importados utilizam como elemento sensores fotodiodos de silício e foram fabricados pela Kipp & Zonen. Como padrão de referência foi utilizado o radiômetro de termopilhas, modelo CM11, fabricado pela Kipp & Zonen. As especificações dos sensores estão descritas na Tab. 2:

Tabela 2. Especificações dos sensores utilizados.

SENSOR	FAIXA DE OPERAÇÃO	RESOLUÇÃO	EXATIDÃO
Umidade Relativa	0 a 100 % UR	0,02 %	1,5 %
Temperatura do ar	-40 a +85°C	0,06°C	0,2°C
Velocidade do vento	0 a 75 m/s	2 pulsos por revolução	$\pm 0,1$ m/s
Direção do vento	0 a 356°	$< 0,5^\circ$	4°
Precipitação	0 a 70°C	0,25 mm	5 mm/h
Pressão atmosférica	800 a 1100 hPa	0,0005 % Fundo de Escala (FE)	$\pm 0,25$ % FE
Fotovoltaico – LAS	0 a 1500 W/m <sup>2</sup>	14 $\mu$ V/W/m <sup>2</sup>	$\pm 5$ % do máximo
PAR - Licor	0 a 1500 W/m <sup>2</sup>	200 W/m <sup>2</sup> /mV	$\pm 5$ % do máximo
Fotovoltaico – K&Z	0 a 1000 W/m <sup>2</sup>	10 $\mu$ V/W/m <sup>2</sup>	$\pm 1$ %
Termopilha – K&Z	0 a 2000 W/m <sup>2</sup>	5 a 20 $\mu$ V/W/m <sup>2</sup>	$< \pm 1$ %

Serão utilizados diferentes sistemas de aquisição e transmissão de dados nas torres. A Tab. 3 apresenta a configuração dos sistemas de aquisição de dados utilizados nas torres:

Tabela 3. Sistemas de aquisição e transmissão dos dados de cada torre.

TORRE	SISTEMA DE AQUISIÇÃO	SISTEMA DE TRANSMISSÃO
A – 3 m	CR1000 – Campbell Sci	Transceptor Wireless (RS-232)
B – 3 m	DataRad – Orbital Engenharia	Cabo (USB)
C – 10 m	CR1000 – Campbell Sci	Rádio (RF-401)

Para a aquisição de dados foram utilizados dois tipos diferentes de data logger. O DataRad, é um data logger desenvolvido especialmente para atender as necessidades de engenheiros e pesquisadores da área de energia solar e pode ser utilizado para adquirir, processar e armazenar sinais proveniente de diversos tipos de sensores de radiação solar (Vilela, 2010). Ele foi projetado e desenvolvido pelo laboratório de Células Solares do LAS – INPE com transferência da tecnologia para Orbital Engenharia, empresa nacional do setor aeroespacial especializada em energia solar, situada em São José dos Campos-SP. O dataRad pode operar de forma remota, sem assistência e é capaz de suportar as intempéries da operação em campo. Este dispositivo de aquisição dados, de 12 bits com cinco Mbyte de memória, capaz de adquirir e armazenar dados simultaneamente de quatro radiômetros e dois termopares, durante mais de um ano na menor periodicidade. As entradas para o radiômetro permitem operação nas escalas de 25 mV, 50 mV, 100 mV, 200 mV, 500 mV, 1 V e 2 V. A periodicidade de aquisição é de 1, 5 ou 10 minutos. O dispositivo necessita de uma alimentação entre 9 e 15 Vdc. O DataRad possui uma memória interna de 1 Mb e se conecta a um terminal via cabo USB.

O outro data logger utilizado é o CR1000, produzido pela Campbell Scientific. Ele é um dispositivo de aquisição de dados muito comum nas estações solarimétricas e ambientais no Brasil. Possui capacidade de ler e armazenar dados da maioria dos sensores ambientais. Este sistema de aquisição de dados possui oito entradas de tensão, com escalas de 2,5 mV, 7,5 mV, 25 mV, 250 mV, 2,5 V e 5 V. A periodicidade de aquisição é programável, e o dispositivo necessita de uma alimentação entre 9,6 e 16 Vdc. O CR1000 possui uma memória interna de 4 Mb e se conecta a um terminal utilizando conexão via cabo RS-232 ou rádio.

Para a transmissão de dados foram utilizados dois sistemas. Um rádio para cobrir uma distância grande e um transceptor wireless para uma distância menor. O rádio utilizado para a comunicação neste trabalho é do modelo RF401, fornecido pela Campbell Scientific, e opera numa frequência de 915 MHz. A fonte de alimentação não deve exceder 16,5 Vdc sem carga. O sistema de transmissão e recepção dos dados utiliza antenas do tipo Yagi 900 MHz e 9 dBd. O protocolo utilizado na comunicação é o PakBus, desenvolvido pela Campbell Scientific e visa facilitar a comunicação entre os dispositivos e o terminal, além de evitar interferência com outros sistemas e perda de dados.

O transceptor wireless cria uma conexão sem fio entre duas portas seriais RS-232. Isto permite isolar eletricamente o sistema além de transmitir os dados a uma distancia maior (~80 m, com taxa de 19600 kbps) se comparado à conexão com fio (~ 15 m, com taxa de 19600 kbps).

O sistema de aquisição e transmissão de dado e os sensores das torres são alimentados por um painel solar conectado a uma bateria de. O armazenamento da energia na bateria é feito por meio de um controlador, que gerencia a demanda de energia do sistema para que não haja sobrecarga. A potência média incidente para o painel solar é de 690 W/m<sup>2</sup> para o meio dia solar. O painel utilizado no sistema possui 0,205 m<sup>2</sup> de área. A eficiência do painel solar utilizado na torres, produzido a partir de células solares poli cristalinas de silício, é de aproximadamente 10 %.

### 3. DISCUSSÃO

A irradiância solar extraterrestre é definida como sendo 1,3 kW/m<sup>2</sup> (Würfel, 2005). Na superfície terrestre (AM1), o espectro sofre uma série de alterações, devido à presença da massa de ar, aumento da dispersão devido à temperatura, absorção devido à presença de gases e umidade, poluição e outros. Na Fig. 2 são representados quatro espectros para

São José dos Campos, simulados com o programa Espectro Solar onde se avalia os efeitos da variação da temperatura (inferior) e os efeitos da variação da umidade relativa (superior):

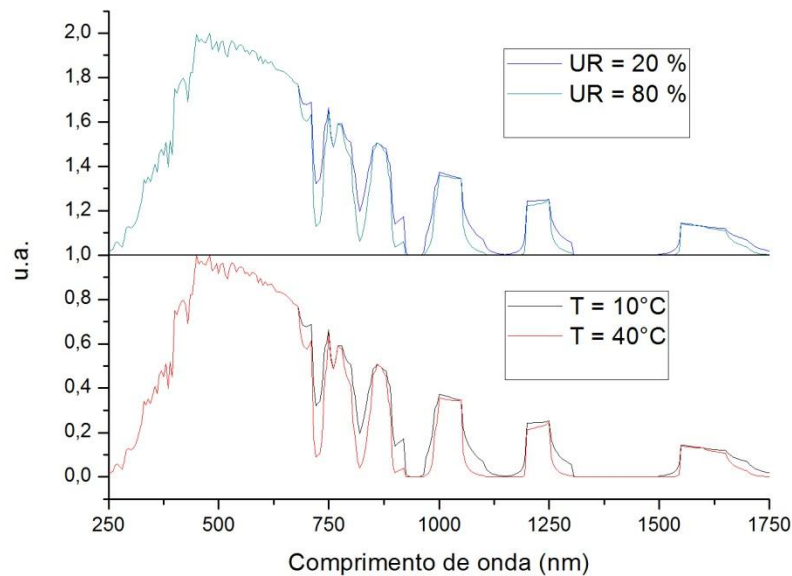


Figura 2- Comparação do espectro solar AM1 para diferentes condições de temperatura e umidade.

Através da Fig. 2, podemos perceber que ocorrem variações do espectro para comprimentos de onda a partir de 600 nm, devido à absorção de fótons do infravermelho pelas moléculas de água em suspensão na atmosfera e devido à dispersão destes causada pelo aumento da temperatura.

Os dispositivos fotovoltaicos de silício têm uma resposta espectral entre 380 a 1100 nm, não sendo sensível para toda a alteração do espectro fora desta faixa.

De acordo com a simulação, podemos observar que haverá uma diferença de irradiância ao integrarmos todo o espectro solar comparada com a irradiância obtida teoricamente por um elemento sensor baseado em silício. Na Fig. 3 podemos ver a comparação entre as respostas espectrais para dois tipos de elementos sensores em relação ao espectro solar AM1. A resposta espectral para um radiômetro que utiliza uma célula solar de silício está representada pela linha azul, já a resposta espectral de um radiômetro comercial que utiliza como elemento sensor uma termopilha está representada pela linha preta. O espectro solar incidente sobre a região de São José dos Campos é representado pela linha vermelha.

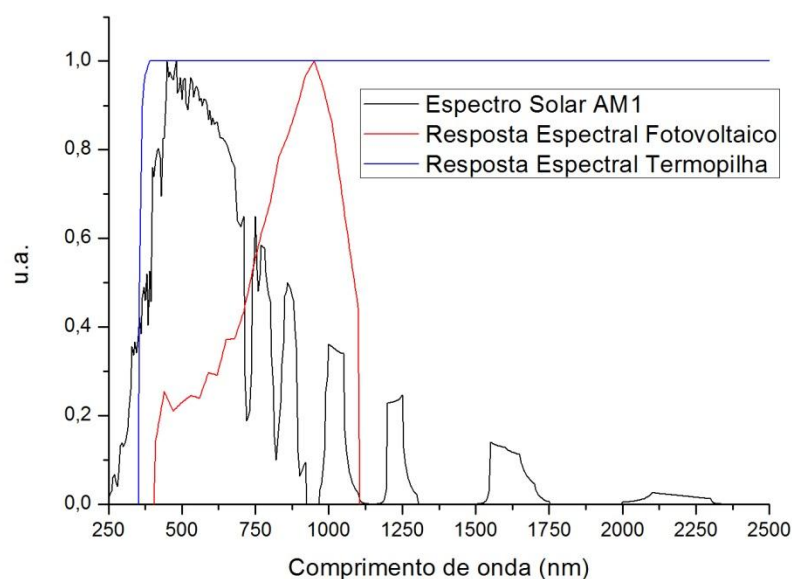


Figura 3- Espectro solar AM1 e resposta espectral de radiômetros fotovoltaicos.

A variação da irradiância solar para São José dos Campos, ao meio dia, simulada para os dias primeiro de janeiro e primeiro de julho, em função da temperatura e umidade são representadas na Fig. 4:

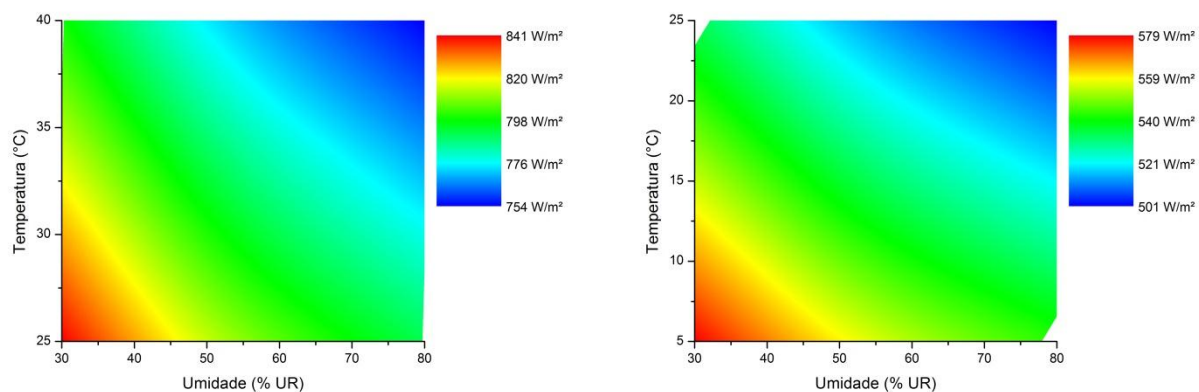


Figura 4- Variação da irradiância solar em função da temperatura e umidade relativa do ar simulada para São José dos Campos ao meio dia para os dias 1º de janeiro e 1º de julho respectivamente.

Conhecendo a resposta espectral do radiômetro fotovoltaico, é possível estimar a diferença na medida para determinados valores de temperatura e umidade. A Fig. 5 apresenta a variação percentual entre a medida de irradiância fornecida por um radiômetro fotovoltaico e a irradiância simulada para o primeiro dia de janeiro.

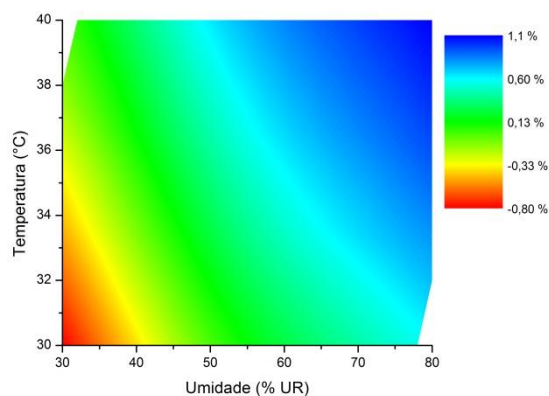


Figura 5- Erro percentual da leitura de um radiômetro fotovoltaico em função da temperatura e umidade relativa do ar para o primeiro dia de janeiro.

A Fig. 6 apresenta a variação percentual entre a medida de irradiância fornecida por um radiômetro fotovoltaico e a irradiância simulada para o primeiro dia de julho.

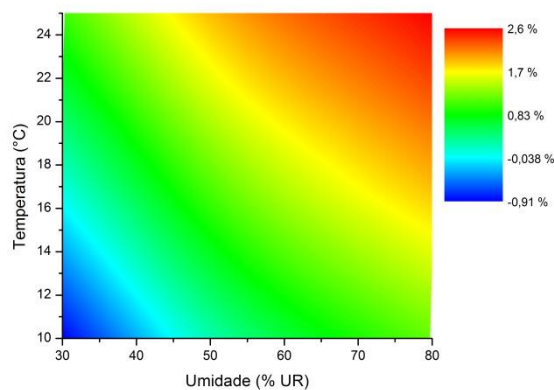


Figura 6- Erro percentual da leitura de um radiômetro fotovoltaico em função da temperatura e umidade relativa do ar para o primeiro dia de julho.

Neste trabalho não foram consideradas variações da resposta espectral em função da temperatura. Apesar de a resposta espectral desviar para o infravermelho com o aumento da temperatura (Müllejans, 2004).

#### 4. CONCLUSÃO

Estudos preliminares realizados no LIM (Laboratório de Instrumentação Meteorológica) no INPE em Cachoeira Paulista-SP mostraram que existem fortes indícios de que as constantes de calibração de certos tipos de radiômetros fotovoltaicos podem sofrer variações em sua determinação dependendo das condições ambientais que estas calibrações são realizadas.

Células solares de silício e radiômetros fotovoltaicos possuem uma resposta basicamente no visível e infravermelho próximo, toda a alteração que o espectro sofre devido à umidade e temperatura para comprimentos de onda maiores do que 1100 nm acabam passando despercebidos, causando uma diferença de valores da irradiação medida ou da eficiência da célula. Já os radiômetros baseados em termopilha possuem uma resposta aproximadamente plana e muito mais ampla, cobrindo grande parte do infravermelho. Além disto, a incerteza de radiômetros fotovoltaicos é maior se comparada a radiômetros de termopilhas, devido à limitação espectral. Mas radiômetros fotovoltaicos possuem um custo muito menor do que os radiômetros que utilizam termopilhas que são importados. Este trabalho possibilitará obter fatores de correção para radiômetros fotovoltaicos, em função das variáveis ambientais, que possibilita melhorar a sua qualidade. Com este trabalho também será possível agregar informações a projetos de sistemas de energia fotovoltaica, permitindo um melhor dimensionamento destes dispositivos para a região em estudo. Vale ressaltar que a simulação foi feita para um céu limpo e sem nuvens, já que a presença de nuvens possui uma forte influência no fluxo de radiação que atinge a superfície da Terra. (Guedes, 2008)

A variação máxima estimada para medidas de irradiação utilizando um radiômetro fotovoltaico, considerando uma calibração a 25 °C e 50 % UR, ocorre para os maiores valores de umidade calculados e varia entre -0,9 % e 2,6 %. Já para um radiômetro baseado em termopilha, nas mesmas condições de calibração, a variação fica entre -0,12 % e 0,25 %.

#### Agradecimentos

Projeto financiado pelo CNPq, processo 554887/2010-0 (Desenvolvimento de sistema para monitoramento ambiental remoto).

#### REFERÊNCIAS

- Campbell Scientific Incorporation – <http://www.campbellsci.com> – Site acessado dia 28/03/2012.
- DeFelice, T. P., 1998. Meteorological Instrumentation and Measurement, Editora Prentice Hall, – ISBN 0-13-243270-6.
- Fraden, J., 2003. Handbook of modern sensors – Physics designs and applications, 3ª Edição, Springer.
- Fritschen L. J., Lloyd W. G., 1979. Environmental Instrumentation, Springer – ISBN 0-387-90411-5.
- Guedes, M. et al, 2008. Correlações entre umidade relativa, nebulosidade e irradiação solar no Observatório Espacial do Sul, Especial Micro meteorologia – UFSM – Santa Maria, RS.
- Gottschalg, R., Infield, D. G. & Kearney, M. J., 2003. Experimental study of variations of the solar spectrum of relevance to thin film solar cells. Solar Energy Materials & Solar Cells, pp. 527-537.
- Manual CR1000, Campbell Scientific, revisão 07/2011, disponível em <http://www.campbellsci.com> – Site acessado dia 28/03/2012.
- McCartney, E. J., 1983. Absorption and emission by atmospheric gases. John Wiley & Sons.
- Müllejjans, H., Wagner, T., Merli, F., Jäger-Waldau, A., Dunlop, E. D., 2004. Changes in spectral response with temperature and irradiance intensity, Thin Solid Films, 145-151.
- Valley, S. L., 1965. Handbook of geophysics and space environments. Cambridge, United States Air Force.
- Vilela, W. A., 2010. Estudo, desenvolvimento e caracterização de radiômetros para medidas da radiação solar, Tese de doutorado do curso de pós graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais.
- Software Espectro Solar, desenvolvido pelo Grupo de Estudos Térmicos e Energéticos (GESTE) da UFRGS, disponível em <http://www.solar.ufrgs.br/> - Site acessado dia 28/03/2012.
- Squitter Ambiental – <http://www.squitter.com.br> - Site acessado dia 28/03/2012.
- WMO, 2008. World Meteorological Instruments and Methods of Observation, 7ª Edição.
- Wurfel, P., 2005. Physics of solar cell. Wiley. ISBN 3-527-40428-7.
- Zhou, C., Michalsky, J. & Harrison, L., 1995. Comparison of irradiance measurements made with the multi-filter rotating shadow band radiometer and first-class thermopile radiometers. Solar Energy, pp. 487-491.

#### ENVIRONMENTAL MONITORING UNIT AIMING STUDY OF SOLAR IRRADIANCE IN FUNCTION OF TEMPERATURE AND HUMIDITY

**Abstract.** *The presence of water vapor in the atmosphere, as well as the variation of the earth's surface temperature significantly changes the solar spectrum. Photovoltaic systems and silicon-based sensors have a spectral response restricted for the range from 400 to 1100 nm, and may present different efficiencies*



*for the same solar irradiance when changes occur in the local temperature and humidity. This paper proposes the installation of a monitoring system to study the behavior of photovoltaic devices as a function of environmental variables. Briefly describes the construction, specifications, and operating principle of environmental sensors, the transmission system and data acquisition and the physical structure of the tower. This tower is designed to test in field the photovoltaic radiometer for measurements of global radiation developed by the Solar Cell Associate Laboratory of Sensors and Materials - LAS INPE, comparing the results obtained with the radiometer using thermopile as sensing element. The main objective is to study the differences caused by variations of the solar spectrum due to variations in temperature and relative humidity. It is expected that this study generates information about the efficiency of photovoltaic devices as a function of environmental variables and determine correction factors that can be applied to data obtained with radiometers that use photovoltaic sensors as a function of temperature and humidity.*

**Key words:** Solar radiation, Environmental monitoring unit, Photovoltaic radiometer;