

# **Medição e Avaliação dos dados Solarimétricos da Cidade do Salvador**

Gustavo Hellstrom Varela<sup>1</sup>

Orientador: Prof. Osvaldo Soliano Pereira<sup>2</sup>

## **RESUMO:**

Mapear o comportamento dos dados solarimétricos disponíveis na superfície da terra, em um determinado local, fazendo uma estimativa para outras regiões próximas, é de suma importância quando se quer ter instalações bem dimensionadas e economicamente viáveis. Por este motivo deve-se dar importância às metodologias de estimativa da radiação solar para a região em estudo. Um dos principais modelos de estudo da estimativa da irradiação solar Global é o modelo de ANGSTROM. Este é descrito e analisado para o local de estudo. A UNIFACS, através do convenio de infra-estrutura com a FAPESB, montou um laboratório de energia solar em Salvador. O presente artigo descreve os resultados obtidos por este laboratório, analisando-os e comparando-os. Objetiva-se, através deste artigo, trazer informações solarimétricas da cidade do Salvador, que posteriormente contribuirão para a Rede Solarimétrica Nacional.

## **INTRODUÇÃO:**

Em nosso país, predominantemente, a produção de energia elétrica é de origem hidrelétrica, dependendo sempre das chuvas para manter os níveis dos reservatórios destas sempre estáveis. Nos primeiros anos desta década, tivemos uma escassez de chuva muito agravante nas regiões onde se localizam as principais hidrelétricas brasileiras. Por este motivo e pela falta de planejamento do setor elétrico ocorreu uma

---

<sup>1</sup> Graduando em Eng.Elétrica da Universidade Salvador – UNIFACS.Pesquisador de Iniciação Científica do Grupo de Pesquisa Meio Ambiente, Universalização, Desenvolvimento Sustentável e Energias Renováveis – G-MUDE. E-mail: gustavo.varela@engelet.unifacs.br

<sup>2</sup> Ph. D. em Política Energética. Coordenador do Mestrado em Regulação da Indústria de Energia – MRIE.Coordenador do Grupo de Pesquisa Meio Ambiente, Universalização, Desenvolvimento Sustentável e Energias Renováveis – G-MUDE. Professor e Pesquisador da UNIFACS. E-mail : osoliano@unifacs.br

crise energética no Brasil, acarretando em inúmeras conseqüências negativas para a economia Brasileira.

Por isso, é de fundamental importância investir não somente em fontes de energia tradicionais, mas também em fontes de energia alternativas, prevenindo assim uma crise energética. Prevendo isto, devemos pensar mais um pouco sobre as futuras fontes de energia, as energias alternativas, para assim criarmos uma nova forma de gerar energia e combater futuros problemas.

No mundo inteiro, a energia renovável está conquistando um lugar de destaque na matriz energética dos diversos países por se constituir em fonte de energia limpa e não poluidora, com reduzidos impactos ambientais na instalação das centrais geradoras, a exemplo das energias eólica, solar, biomassa, pequenas centrais hidrelétricas (PCH's), geotérmica e das marés. Estas fontes estão gradativamente substituindo a utilização dos recursos não renováveis da natureza, como carvão e petróleo, com seus associados problemas de poluição e cuja escassez já se avizinha neste século, bem como os grandes empreendimentos com impactos ambientais significativos, notadamente, as grandes centrais hidrelétricas e as usinas nucleares. Por estes motivos a energia Solar se coloca hoje no mundo inteiro como um recurso promissor, pois é a origem de toda as formas de energia que o homem vem utilizando durante sua história e pode ser a resposta para a questão do abastecimento energético no futuro [1] .

O Brasil possui um grande potencial energético solar, mas quase em todo território é inviável a instalação e manutenção de instrumentos de medição solar, por falta de incentivos tecnológicos. O aproveitamento racional da energia solar no sentido de produzir instalações bem dimensionadas e economicamente viáveis só é possível a partir de informações solarimétricas consistentes da região em questão [2]. Estimar o potencial de radiação solar disponível à superfície da terra é de suma importância para vários segmentos, a exemplo, para agricultura, aproveitamento de energia, conservação de alimentos, entre outros [3]. O levantamento da disponibilidade de energia solar é muito caro, pois são necessários equipamentos específicos e mão de obra especializada. Por este motivo, a estimativa é uma alternativa para superar tal impasse, sendo assim, utiliza-se modelos teóricos ajustados para o local de interesse [3] [4].

## METODOLOGIAS:

A radiação solar ao atingir a superfície terrestre, passa por alguns processos, como o de espelhamento e o de absorção. No espelhamento são observadas as componentes direta e difusa da irradiação solar, que, ao somá-las, encontra-se a irradiação solar global. O entendimento desses processos de transmitância atmosférica é de fundamental importância para o desenvolvimento de metodologias para estimativa da radiação solar da região em estudo [5].

Um dos modelos clássicos de estudo da estimativa da irradiação solar Global é o de ANGSTROM (1924), um dos pioneiros na utilização deste método. Este modelo permite aumentar o número de informação sobre a radiação solar, sempre que existir uma informação disponível em relação à radiação ou a quantidade de horas de sol [6]. Este modelo tem como base conhecer a distribuição espacial da radiação solar por meio da seguinte equação [3]:

$$Q_g / Q_t = a + b * (n / N)$$

em que:

$Q_g$  = radiação solar global recebida na superfície terrestre (ly/dia).

$Q_t$  = radiação total recebida em uma superfície plana e horizontal, na ausência da atmosfera (ly/dia).

$n$  = insolação diária, (horas).

$N$  = comprimento astronômico do dia, (horas).

$a$  e  $b$  = parâmetros de regressão do modelo que caracterizam a transmitância atmosférica.

Para a determinação da radiação total ( $Q_t$ ) foi utilizada a metodologia de Sellers por meio da seguinte equação:

$$Q_t = ((1440.S) / \pi) \cdot (\check{D} / D)^2 \cdot [ H \cdot \text{sen } \vartheta \cdot \text{sen } \delta + \cos \vartheta \cdot \cos \delta \cdot \text{sen } H ]$$

$S$  = constante solar

$(\check{D} / D)^2$  = correção devida à variação da distância Terra- Sol

$H$  = comprimento do meio dia solar, estimado por:

$H = \text{arc cos } (- \tan \vartheta \cdot \tan \delta)$

$\vartheta$  é a latitude do local.

$\delta$  = declinação solar (graus)

O comprimento astronômico do dia (N) é determinado por:

$$N = 2H/15$$

Os coeficientes “a” e “b” da equação são calculados mediante o uso da regressão linear, utilizando-se de dados diários quinzenais, mensais, sazonais, anuais e recentemente, DAL PAI & ESCOBEDO (1999) vêm estudando a partição instantânea (ou 5 minutos) [5].

Para uma análise de comparação pode-se utilizar a metodologia de Glover e McCullsoh, que determina os coeficientes “a” e “b” para latitudes entre 0° e 60° [3]. Esses valores são citados por Tubelis e Nascimento (1980), sendo:

$$a = 0,29 \cdot \cos \vartheta , \text{ sendo } \vartheta \text{ a latitude do local e } b = 0,52$$

Para o estudo dos coeficientes “a” e “b” do modelo de Angstrom em algumas localidades do Nordeste do Brasil, inclusive para Salvador, pode-se utilizar a fonte de referência Tiba (2000) [6], que propõem os valores destes coeficientes, como mostra a tabela abaixo:

Values of Angstrom's coefficients for locations in the Brazilian Northeast

Location City	State	Geographic coordinates			Angstrom's coefficient			R <sup>2</sup>
		Lat. (S)	Long. (W)	Alt. (m)	a	b	a+b	
Barreiras	BA	12.1	45.0	441	0.31	0.41	0.72	0.94
B.Jesus da Lapa	BA	13.3	43.4	441	0.28	0.39	0.67	0.94
Caitité	BA	14.1	42.5	878	0.28	0.49	0.77	0.88
Caravelas	BA	17.7	39.3	4	0.26	0.44	0.70	0.86
Guaratinga	BA	16.4	39.6	324	0.25	0.50	0.75	0.86
Ilhéus	BA	14.8	39.0	65	0.28	0.45	0.73	0.90
Irecê	BA	11.3	41.9	747	0.35	0.32	0.67	0.81
Lençóis	BA	12.6	41.4	439	0.26	0.58	0.74	0.90
Monte Santo	BA	10.4	39.3	545	0.22	0.52	0.74	0.87
Paulo Afonso	BA	9.4	38.3	250	0.30	0.38	0.68	0.98
Salvador	BA	13.0	38.5	46	0.23	0.49	0.72	0.77
Barbalha	CE	7.3	39.3	406	0.25	0.45	0.70	0.95
Cratús	CE	5.2	40.7	277	0.24	0.50	0.74	0.91
Jaguaruana	CE	4.8	37.8	13	0.25	0.33	0.58	0.82
Quixeramobim	CE	5.2	39.3	211	0.31	0.31	0.62	0.91
Sobral	CE	3.7	40.4	84	0.30	0.37	0.67	0.92
Barra da Corda	MA	5.5	45.3	153	0.29	0.36	0.65	0.97
Carolina	MA	7.3	47.5	185	0.27	0.35	0.62	0.96
S. Luiz	MA	2.5	44.3	36	0.28	0.34	0.62	0.95
Barra de S. Rosa	PB	6.7	36.1	440	0.28	0.42	0.70	0.88
Cabaceiras	PB	7.5	36.1	390	0.31	0.39	0.70	0.71

Esperança	PB	7.0	35.9	600	0.31	0.43	0.74	0.84
João Pessoa	PB	7.1	34.9	7	0.33	0.32	0.65	0.82
Monteiro	PB	7.9	37.1	250	0.33	0.38	0.71	0.80
Patos	PB	7.0	37.3	249	0.25	0.47	0.73	0.97
Pombal	PB	7.0	38.1	200	0.26	0.46	0.72	0.82
S. Gonçalo	PB	6.8	38.2	212	0.23	0.50	0.73	0.77
Cabrobó	PE	8.5	39.3	325	0.27	0.45	0.72	0.86
Recife	PE	8.1	34.9	18	0.27	0.44	0.71	0.94
Surubim	PE	7.8	35.8	418	0.34	0.38	0.72	0.90
Floriano	PI	6.8	43.0	123	0.25	0.45	0.70	0.94
M. do Cavalo	PI	7.8	41.9	242	0.28	0.39	0.67	0.84
Cruzeta	RN	6.4	36.8	266	0.33	0.35	0.68	0.80
Propriá	SE	10.2	36.9	35	0.31	0.44	0.75	0.89

Fonte : C. Tiba / Renewable Energy 22 (2001) 565–578

## MATERIAIS E MÉTODOS:

Estações meteorológicas são utilizadas para mensurar dados atmosféricos, podendo assim coletar informações importantes a respeito da energia eólica e solar. Com unidades instaladas em vários pontos distintos é possível mapear o comportamento dos dados solarimétricos e eólicos de uma região e sua precisão está diretamente associada à quantidade de estações e a qualidade dos dados coletados. Para isso são utilizados sensores específicos, que quando expostos, são capazes de medir, instantaneamente, valores da radiação solar, intensidade e direção do vento, umidade relativa do ar, da região onde se encontra. Um sistema de armazenamento de dados (Data Logger) é utilizado para registrar em memória os dados obtidos a cada instante pelos sensores, podendo ser analisado ao longo do tempo, sendo feita, assim, médias diárias, semanais, mensais, sazonais e anuais.

A UNIFACS, através do convênio de infra-estrutura com a FAPESB, montou um laboratório de energia solar e com isso realizou, conjuntamente com a Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia – COELBA, a instalação de uma estação meteorológica no prédio sede da COELBA em Salvador, entrando em operação desde o dia 17 de março de 2006.

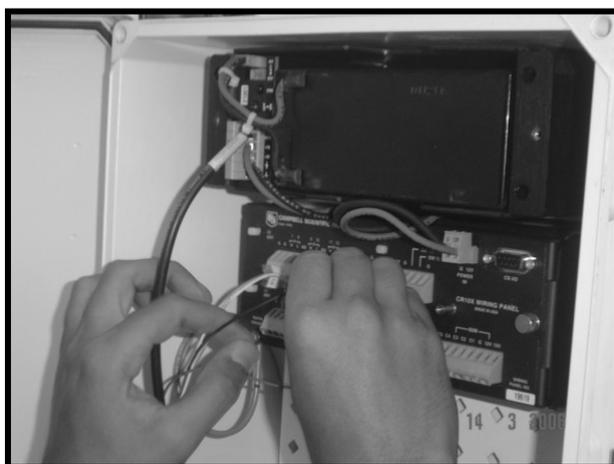
A estação foi colocada sobre uma caixa d'água da unidade (Figura 1), com altura de aproximadamente 18m. Esta escolha foi feita partindo do princípio de que a estação não poderia ser colocada em ambiente sombreado ou com obstáculos que impedissem a passagem do vento, pois causaria interferência direta na qualidade dos dados de radiação solar e dos ventos, registrados no Data Logger. Através de um GPS Garmim, modelo

GPS III Plus, encontramos as seguintes coordenadas geográficas: latitude  $12^{\circ}57'407''$  S; longitude  $38^{\circ}26'093''$  W; altura em relação ao nível do mar 40m.



**Figura 1: Local escolhido para a instalação da estação solarimétrica.**

A estação é composta por um Data Logger CR10X da Campbell Scientific (Figura 2), sendo este um Sistema de Controle e Medidas projetado para realizar coleta automática de dados, completamente programável, possui memória não volátil, relógio interno, constituindo um equipamento compacto, robusto e selado. Um piranômetro CM3 da Kipp & Zonen (Figura 3), projetado para o uso ao ar livre, com sensibilidade espectral de 300 a 3000nm, foi utilizado para coletar a radiação solar. A fim de medir a temperatura e umidade do ar, foi utilizado o sensor HMP45C Temperature and Relative Humidity Probe da Campbell Scientific (Figura 4). Também foi utilizado um 03001 Wind Sentry da Campbell Scientific (Figura 5), anemômetro e sensor de direção do vento, que mede exatamente a velocidade do vento e a sua direção e um MSX10 Solar Panels, da Campbell Scientific, painel solar utilizado como fonte para carregamento da bateria do CR10X, sendo suficiente para a maioria das configurações de um sistema em latitudes temperadas ou tropicais.



**Figura 2: Data Logger CR10X.**



**Figura 3: Piranômetro CM3.**



**Figura 4: Sensor HMP45C.**



**Figura 5: Sensor 03001 Wind Sentry.**

A programação do sistema de aquisição e armazenamento de dados, o Data Logger CR10X da Campbell Scientific, foi realizada utilizando-se o software PC208W 3.3, desenvolvido para permitir a comunicação do PC com o Data Logger. O programa foi escrito no EDLOG, ferramenta do software PC208W utilizado para criar, editar e documentar programas para o Data Logger [7].

O Data Logger foi programado com um tempo de varredura de 10s. Os dados medidos pelos sensores da radiação solar e da velocidade e direção do vento foram armazenados a cada 5 min. Os dados medidos pelo sensor de temperatura e umidade, foram armazenados a cada 30 min assim como a o valor da tensão na bateria do CR10X. Esses tempos foram estabelecidos para uma melhor análise dos dados, a fim de se ter dados padronizados e precisos, que posteriormente irão colaborar na ampliação da Rede Solarimétrica Nacional.

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES:**

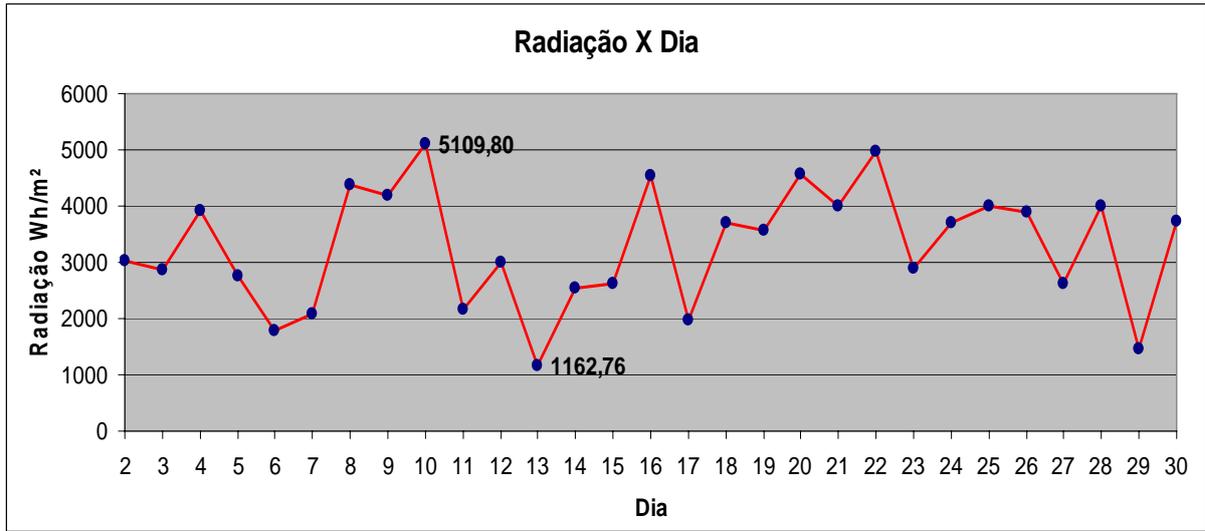
Ao entrar em operação a estação passou por uma fase de teste para analisar o funcionamento dos seus equipamentos e a precisão dos dados. Após isto, a estação começou a coletar os dados a partir do 2º dia do mês de junho de 2006. Até o presente momento foram analisados os dados coletados dos meses de junho e julho.

A análise partiu do princípio de subdividir os mais de 50.000 (cinquenta mil) dados coletados mensalmente em diários, fazendo assim os máximos, mínimos e as medias diárias. Após esta etapa, foram reunidos todos esses dados diários do mês a ser analisado, chegando-se ao seguinte resultado mensal:

Dados de Junho:

Media Mensal da Radiação Total (Wh/m <sup>2</sup> )	<b>3282,96</b>
Media Mensal da Irradiação (W/m <sup>2</sup> )	<b>282,32</b>
Media Mensal de Horas de Sol Pleno (h)	<b>3,28</b>
Maximo Mensal de Horas de Sol Pleno (h)	<b>5,11</b>
Mínimo Mensal de Horas de Sol Pleno (h)	<b>1,16</b>

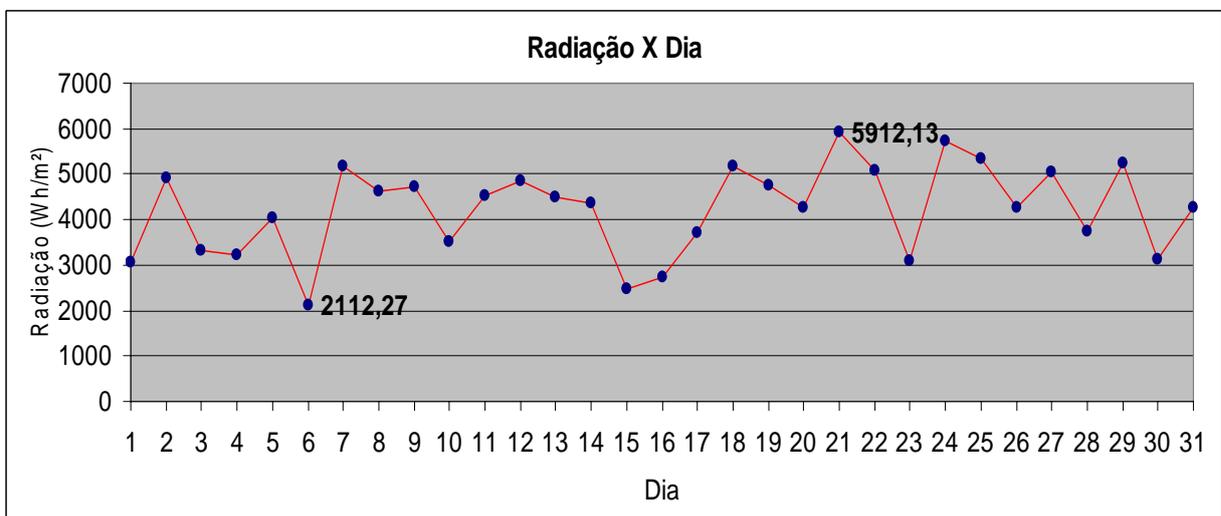
Gráfico da Radiação Mensal em Junho:



Dados de Julho:

Media Mensal da Radiação Total (Wh/m <sup>2</sup> )	<b>4223,03</b>
Media Mensal da Irradiação (W/m <sup>2</sup> )	<b>351,92</b>
Media Mensal de Horas de Sol Pleno (h)	<b>4,22</b>
Maximo Mensal de Horas de Sol Pleno (h)	<b>5,91</b>
Mínimo Mensal de Horas de Sol Pleno (h)	<b>2,11</b>

Gráfico da Radiação Mensal em Julho:



Os resultados obtidos são próximos aos valores fornecidos pelo centro de referência para Energia Solar e Eólica de Salvo Brito - CRESESB, que para o mês de junho e julho forneceu a radiação diária média mensal ( $\text{kWh/m}^2\cdot\text{dia}$ ) de 3,53 e 5,14 respectivamente [8].

Com apenas 2 meses de dados analisados podemos perceber o potencial energético solar de Salvador, já que, mesmo tendo feita a coleta dos dados na estação do ano referente ao inverno, cuja a radiação solar é menor no ano, percebemos que seus valores são muito significativos quando comparados com os valores encontrados na Alemanha [9], país que é um dos maiores utilizadores desta fonte de energia.

## **CONCLUSÃO:**

Através deste atual estudo e da sua continuidade, pode-se melhorar a quantidade e qualidade da informação atualmente existente sobre a radiação solar na cidade do Salvador, sendo de fundamental importância para uma melhor utilização dos sistemas fotovoltaicos, possibilitando um melhor dimensionado, tornando-se financeiramente mais viável.

Através das metodologias de estimativa da radiação solar, descritas no presente artigo e da série de dados obtidos pela estação solarimétrica da UNIFACS, torna-se possível encontrar os valores das constantes “a” e “b” do modelo de Angstrom para a cidade do Salvador, a fim de ter uma melhor análise desses valores.

## REFERÊNCIAS:

- [1] Energia Solar, <http://www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/esolar/esolar.html> .
- [2] Referencia ambiental, <http://www.ambientebrasil.com.br> .
- [3] Estimativa da Irradiação Solor Global em Lavras-MG, ANTONIO AUGUSTO AGUILAR DANTAS, LUIZ GONSAGA DE CARVALHO, ELIZABETH FERREIRA Ciênc. agrotec., Lavras. V.27, n.6, p.1260-1263, nov./dez., 2003.
- [4] Estimativa da Radiação Solar Global Diária em Ilha Solteira São Paulo, RONALDO A. SANTOS, FERNANDO B.T. HERNANDEZ, CELSO D. FIORAVANTI, RONALDO C. LIMA, WALTER V. VALERIO FILHO. XXXII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2003 Goiânia - GO, 28 de julho a 01 de agosto de 2003.
- [5] Estimativa da Irradiação Solor Global em Cascavel – PR , MELANIA I. VALIATI, REINALDO P. RICIERY, Eng. Agríc., Jaboticabal, v.25, n.1, p.76-85, 2005.
- [6] Solar Radiation in the Brazilian Northeast , CHIGUERU TIBA , Renewable Energy 22 (2001) 565–578.
- [7] PC208W Datalogger Support Software Instruction Manual, COPYRIGHT (c) 1996-2001 CAMPBELL SCIENTIFIC, INC.
- [8] Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito - CRESESB, <http://www.cresesb.cepel.br/abertura.htm> .
- [9] Solar radiation and PV maps –Europe, <http://sunbird.jrc.it/pvgis/pv/countries/countries-europe.htm> .
- [10] The Sun's total and spectral irradiance for solar energy applications and solar radiation models, SOLAR ENERGY-Volume 76 – ISES.
- [11] Coletânea de Artigos Energia Solar e Eólica, Volume 1, CRESESB – CEPEL.
- [12] Estudo Observacional da Radiação Solar na Cidade de São Paulo, Amauri PEREIRA DE OLIVEIRA, ANTONIO JASCHKE MACHADO, Grupo de Micrometeorologia, Departamento de Ciências Atmosféricas, IAG/USP, Junho de 1999.