Cálculo das coordenadas horizontais do Sol

Winnie Queiroz Brandão[1]; Germano Pinto Guedes[2]

1. Bolsista PIBIC/CNPq, Graduanda em Bacharelado em Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: inny@live.com

2. Orientador, Departamento de Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: germano@uefs.br

PALAVRAS-CHAVE: Energia Solar, Coordenadas solares, Instrumentação

INTRODUÇÃO

Segundo o artigo de Roberto Grena (2008) [2] os algoritmos encontrados na literatura podem ser classificados em dois tipos. O primeiro grupo são aqueles que utilizam expressões simples, e tem como dado de entrada utiliza-se apenas o dia do ano, estão agrupados nesta classe os autores: Copper (1969), Lamm (1981) [5], Spencer (1971) [6] e Swift (1976). O segundo grupo consiste de algoritmos mais complexos, (Blanco Muriel (2001) [1], Michalsky (1988) [7], Pitman e Vant-Hull(1978); Walraven (1978) [8]), que dada á localização precisa (latitude e longitude do lugar) e o horário imediato de observação, o algoritmo calcula as coordenadas locais (azimute e altura). Spencer foi um dos primeiros autores a apresentar um algoritmo para a localização do Sol. Ele corrigiu a fórmula da declinação solar e equação do tempo, obtendo assim um algoritmo com o erro máximo de 0,25°.

Pitman e Vant-Hull foram um dos primeiros autores a apontar que os algoritmos de alta precisão eram necessários para utilização em sistemas de rastreamento, em seu artigo mostram que os cálculos das coordenadas do Sol foi reduzidas para 0,02°, fazendo modificações nas equações que calculam a declinação do Sol e a equação do tempo. O algoritmo de Walraven que foi publicado em 1978, utiliza uma linguagem de programação em Fortran. Para facilitar o uso do algoritmo Walraven, alguns autores como Archer em 1980 propôs uma sub-rotina para calcular o número de dias, uma vez ao ano, mês e dia como entrada. O artigo de Michalsky inclui uma expressão para estimar o efeito de refração na elevação aparente do Sol e possui um erro máximo de 0,011°.

Por fim, o algoritmo utilizado em nosso trabalho: o *PSA* (Blanco-Muriel *et al.*), surgiu do algoritmo publicado por Michalsky, no qual foram feitas algumas modificações, melhorando assim a sua eficiência e precisão. Alguns exemplos desta melhoria foi o acréscimo da equação que calcula o dia Juliano a partir da data do calendário e Tempo Universal, ele também eliminou algumas equações desnecessárias, conseguindo assim um erro máximo de 0,008°.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para determinar a posição de um astro, é preciso inicialmente, definir um sistema de coordenadas (em geral coordenadas esféricas) de forma seja determinada por apenas dois ângulos:Altura e Azimute. Utilizamos o algoritmo *PSA* (*Position Solar Algorithm*) proposto por Blanco-Muriel [1], adaptado para o hemisfério Sul com o qual fizemos vários testes analisando o comportamento do Sol em diferentes latitudes, do Equador ao Pólo-Sul, e finalmente para a latitude de Feira de Santana.

As coordenadas locais são divididas em: azimute e altura e o plano fundamental utilizado é o plano do horizonte. O azimute (A) é um ângulo medido a partir do norte ou sul geográfico seguindo em sentido horário até o astro, o ângulo azimutal varia de 0° a 360°, enquanto a altura (h) é medida através do plano vertical do astro, o ângulo é contado a partir do horizonte até o astro e varia de -90° a 90°. A altura possui um ângulo complementar contado a partir do zênite (*Ze*) até o astro, este ângulo é chamado de distância zenital (z) e varia de 0°a 180°, assim podemos escrever:

$$\boxed{h + z = 90°}$$

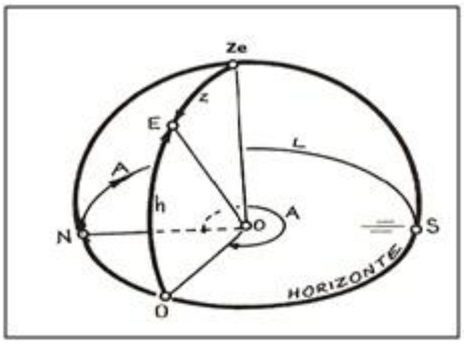

Figura1: Representação das Coordenadas horizontais do Sol.

Para calcular o ângulo da distância zenital usa-se uma das relações fundamentais da trigonometria esférica, obtendo a seguinte equação:

$$\cos z = \text{sen}\,\delta\,\text{sen}\,\Phi + \cos\delta\,\cos\Phi\,\cos H \quad \text{ou}$$

$$z = \arccos(\text{sen}\,\delta\,\text{sen}\,\Phi + \cos\delta\,\cos\Phi\,\cos H)$$

Onde δ é a declinação do Sol, Φ é a latitude do lugar e H é o ângulo horário. Como buscamos a altura do Sol (z) então:

$$\text{Altura} = 90° - z$$

$$tgA = \frac{-sen\ H}{\cos\phi tg\delta + sen\phi cosH}$$

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Realizamos testes comparativos entre os dados dos ângulos das coordenadas locais (azimute, altura ou distância zenital) obtidos com o algoritmo adaptado e dados disponíveis no site ***NREL (National Renewable Energy Labotatory)***, que utiliza o algoritmo utilizado ***SPA*** (***Solar Position Algorithm***), desenvolvido por Roberto Grena [2]. A Figura 3 mostra gráficos com dados calculados para o dia 14 de março de 2011, inverno no hemisfério Norte, para uma região de latitude de 39.74°N e longitude 105.18°W.

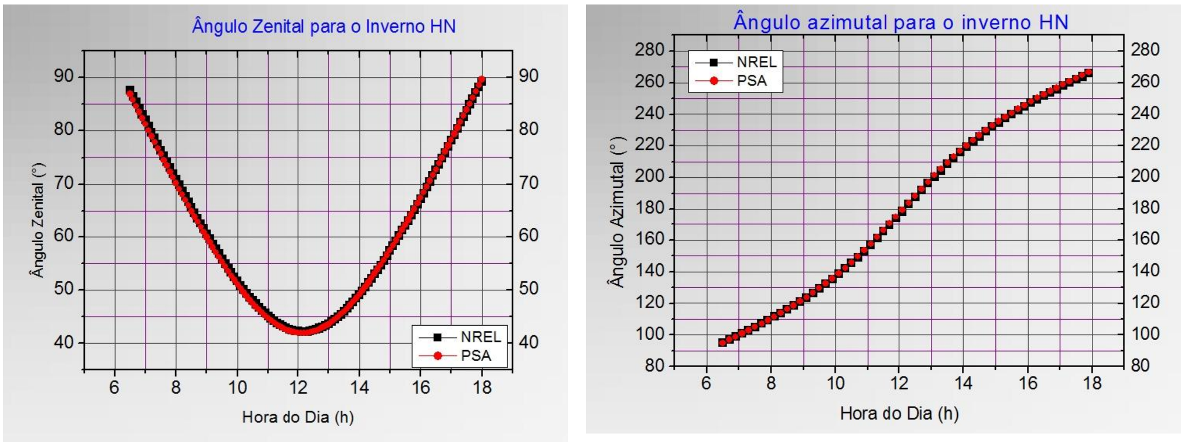

Figura 2: Comparação dos dados obtidos pelo NREL e calculados pelo nosso algoritmo PSA adaptado para o dia 14 de março de 2011

A Figura 3 mostra um bom casamento entre os dados calculados pelo *PSA* e aqueles calculados pelo algoritmo *SPA* (*NREL*). Utilizamos, então, o algoritmo para o hemisfério Sul testando diferentes latitudes: desde a linha do equador (Latitude 1º) até próximo do pólo Sul (Latitude 89º) apresentado na Figura 4.

Analisamos também o comportamento do Sol para com ênfase na latitude de Feira de Santana. As datas escolhidas para a realização dos testes foram os dias de solstícios de verão e inverno, dia em que se dar início ao verão e inverno e os equinócios de primavera e outono.

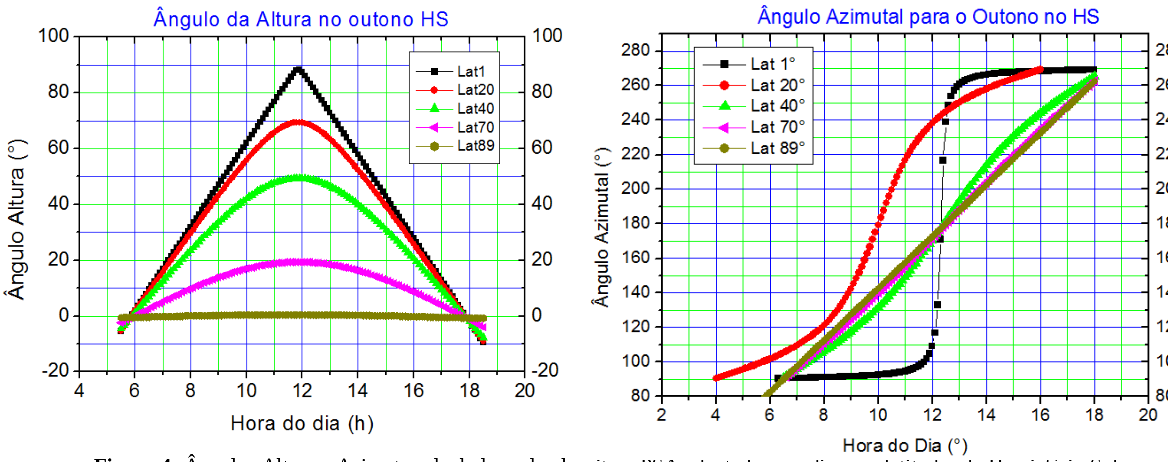

Figura 4: Ângulos Altura e Azimute calculados pelo algoritmo PSA adaptado para diversas latitudes do Hemisfério Sul no Equinócio de outono.

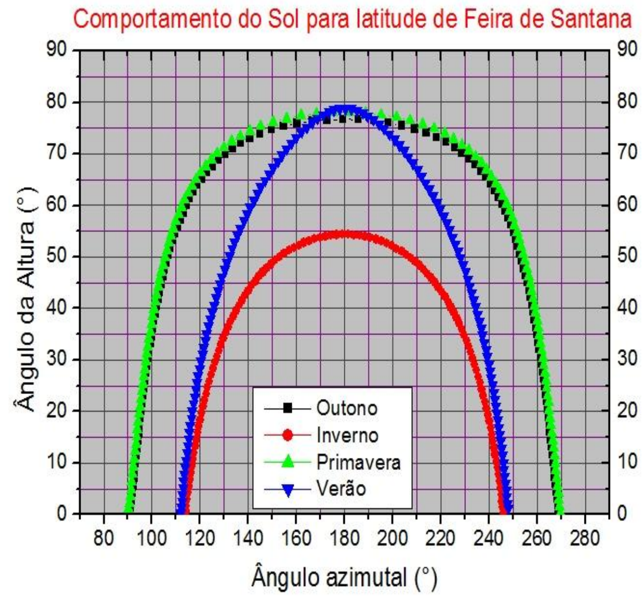

Figura 5: Representação dos ângulos da altura e azimutal nos dias em que se iniciam as estações do ano na região de Feira de Santana.

Podemos notar na Figura 5 que no solstício de verão, a altura do Sol é máxima, chegando próximo a 80° comparado aos outros períodos, este dia é considerado como sendo o mais longo do ano e o solstício de inverno é como sendo o mais curto do ano.

CONCLUSÕES

A adaptação do algoritmo PSA mostrou-se eficiente e na análise comparativa com os dados do laboratório NREL, usado como padrão na nossa comparação, o algoritmo apresentou erro máximo de 0,5% para o ângulo Azimutal e 1,12%, para o ângulo Zenital. Estes resultados indicam que o nosso algoritmo pode ser utilizado em qualquer dispositivo digital para localização e acompanhamento do Sol.

REFERÊNCIAS

[1] BLANCO-MURIEL, M., Alarcon-Padilla, D.C., Lopea-Moratalla, T., Lara-Coira, M.,. **Computing the solar vector**. *Solar Energy* 70 (5), 431–441 (2001).

[2] GRENA, Roberto, *An algorith for computation of the solar position*, *Solar Energy,* Vol.82, pp.462-470 (2008).

[3] BOCZKO, Roberto. **Conceitos de Astronomia**. São Paulo, Ed. Blucher, 1984.

[4]-**Baseline Measurement System (BMS)**. Disponível em*:* http://www.nrel.gov/midc/srrl_bms/, Acesso em 16 Mar.2011.

[5]- LAMM L. O. (1981) **A new analytic expression for the equation of time**. *Solar Energy, Vol.* 26, p. 465, 1981.

[6]-J.W.Spencer, **Fourier Series representation of the position of the Sun.**Search,Vol.2,No.5,May.

[7]- MICHALSKY, J. J. The **Astronomical Almanac's Algorithm for Approximate Solar Position** (1950-2050)". *Solar Energy.* Vol. 40, No. 3, 1988.

[8]- WALRAVEN, R., 1978. **Calculating the position of the Sun**. *Solar Energy* 20,393–397.