

RASTREADOR SOLAR PARA PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Marcus Vinicius Mathias¹; Eduardo Dante Pereira Pizorno²; Samuel Leme de Souza³; Gilberto Lameu da Silva⁴; Orlando Homem de Mello⁵

¹ Aluno do Curso Superior de Tecnologia em Eletrônica – Modalidade Automação Industrial – FATEC Tatuí - email: mathias.marcus@bol.com.br

² Aluno do Curso Superior de Tecnologia em Eletrônica – Modalidade Automação Industrial – FATEC Tatuí.- email: pizorno@gmail.com

³ Aluno do Curso Superior de Tecnologia em Eletrônica – Modalidade Automação Industrial – FATEC Tatuí.- email: samuel_lsouza@hotmail.com

⁴ Aluno do Curso Superior de Tecnologia em Eletrônica – Modalidade Automação Industrial – FATEC Tatuí.- email: gilbertolameu@gmail.com

⁵ Professor do Curso Superior de Tecnologia em Eletrônica – Modalidade Automação Industrial – FATEC Tatuí.- email: zzzzzz@gmail.com

RESUMO

Mostra-se cada vez mais importante a busca de sistemas de conversão de energia limpa, renovável e eficiente. Uma opção de energia renovável é a energia solar, que, através da utilização de painéis fotovoltaicos, vem ganhando destaque nos últimos anos. Entretanto, a utilização dessa tecnologia vem enfrentando algumas dificuldades, dentre as quais pode-se destacar o posicionamento das placas fotovoltaicas em relação ao sol. De uma maneira geral, essas placas são instaladas de maneira fixa, não havendo o movimento das mesmas. Sendo assim, em função da posição do sol, esses painéis têm uma eficiência de conversão bastante variável ao longo do dia. Dessa forma, o objetivo desse artigo é evidenciar o desenvolvimento de ferramentas que, de maneira bastante precisa, determinem a posição do sol no céu e, por meio de um sistema de controle, movimentem essas placas, a fim de que o ângulo de incidência em relação ao sol seja de 90° (posição de maior rendimento). Para tanto, foi desenvolvido um software para o cálculo da posição do sol. Os resultados mostraram que o software calcula essa posição em tempo real, com erros na casa dos minutos de grau, comparados com softwares aplicados à astronomia.

Palavras Chaves: painéis solares, solar tracker, energias renováveis.

1. INTRODUÇÃO

A procura por energias renováveis é proporcional à evolução tecnológica das sociedades. A biomassa (lenha), principal fonte energética da sociedade agrícola tradicional, vê diminuído o seu consumo e procura, a partir do séc. XVIII. Ela foi substituída pelo carvão com a Revolução Industrial, no dito primeiro mundo; já, no séc. XIX, com a descoberta do petróleo e do gás natural, o carvão cede lugar (meados do séc. XX) ao domínio do petróleo como fonte energética (MAIA, 2006).

A partir das crises petrolíferas nas décadas de 70 e 80 (séc. XX), emergem novas técnicas de exploração das energias renováveis com desenvolvimento continuado projetado para o futuro. A percentagem de uso das energias renováveis atualmente ainda é baixa, mas muito importante, prevendo-se um aumento gradual, de forma que o cenário futuro aponta o seu domínio a partir de 2050.

Estima-se que aproximadamente um terço da população mundial não tem acesso à energia elétrica e, mesmo em sociedades mais industrializadas, com padrão de vida melhor, ainda coexistem formas rudimentares de transformação e do uso da energia (renováveis). A produção mundial de energia, em 1997, segundo os dados da Agência Internacional de Energia, somou o equivalente a 9,5 mil Mega Toneladas de petróleo, dos quais 86,2% são provenientes de fontes não renováveis – carvão, gás natural e petróleo. As reservas conhecidas de petróleo devem durar mais 75 anos; as de gás natural, um pouco mais de 100 anos; as reservas de carvão, aproximadamente, 200 anos.

Embora tenham uso crescente, as fontes não exauríveis, aquelas que podem se renovar espontaneamente (água, sol e vento) ou por medidas de conservação (vegetação) – são responsáveis por apenas 13,8% do total produzido.

A mais promissora dessas energias renováveis é a energia solar. Infelizmente, devido às características do deslocamento do sol no céu durante o dia, há um baixo rendimento na captação de sua energia.

Nosso projeto visa contornar esse problema, fazendo com que o painel solar acompanhe o trajeto aparente do sol no céu, utilizando um algoritmo matemático e um sistema de sensoriamento óptico, magnético, e de inclinação para realimentar o sistema com valores do posicionamento atual do painel solar, e, com isso, efetuar as devidas correções. Dessa forma, podemos manter os painéis solares mais tempo perpendiculares ao sol, aumentando, assim, a quantidade de energia convertida por eles, quando iluminados pelos raios solares.

Além disso, é importante ressaltar que nosso projeto aborda diversas áreas de estudo, desde a eletrônica e a mecânica, até a astronomia, e, por meio delas, foi possível idealizar nossa pesquisa. A seguir, abordaremos cada uma delas.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Energia Solar

O Sol fornece, anualmente, para a atmosfera terrestre, $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia. Trata-se de um valor considerável, correspondendo a 10.000 vezes o consumo mundial de energia nesse período. Além de ser responsável pela manutenção da vida na Terra, a radiação solar constitui-se numa inesgotável fonte energética, que pode ser utilizada por meio de sistemas de captação e de conversão em outra forma de energia (térmica, elétrica...).

A energia solar é uma das fontes alternativas que pode suprir com grandes vantagens determinadas necessidades, apesar de não podermos afirmar ser a solução total ou definitiva para a questão energética. Em sua condição de energia limpa, não gera qualquer resíduo poluente como as fontes de energia de combustível fóssil; é renovável, pois sua fonte de matéria prima é a luz solar; é segura, pois não lida com processos que agridem ou colocam a vida em perigo, como, por exemplo, usinas nucleares. Também permite a utilização individual ou coletiva, em sistemas que podem gerar energia desde para uma pequena lâmpada até para cidades inteiras (NASCIMENTO,2004).

A energia captada do Sol, devidamente acondicionada, é uma das tecnologias mais importantes para o desenvolvimento sustentável. Sua utilização é de altíssimo interesse para aqueles que vislumbram um mundo equilibrado, ecologicamente correto, sem agressão à natureza. As vantagens da captação de energia através de sistemas com painéis fotovoltaicos são:

- A descentralização da geração, ficando acessível a qualquer comunidade em qualquer local, por mais remoto que seja;
- A facilidade e baixo custo da instalação, em comparação a outros tipos de usinas, como a hidroelétrica e a nuclear, com a transmissão e com a manutenção quase inexistentes;
- A longa durabilidade dos componentes, sua estabilidade e modulariedade proporcionam grande satisfação e retorno do investimento ao usuário;

Neste sentido, muitas aplicações vêm sendo desenvolvidas de forma acelerada nos últimos anos, para o uso da energia solar. Tudo que é acionado por eletricidade é passível de utilizar essa

energia. E, uma das possíveis formas de conversão da energia solar é conseguida através do efeito fotovoltaico que ocorre em dispositivos conhecidos como *células fotovoltaicas*. Essas células são componentes optoeletrônicos que convertem diretamente a radiação solar em eletricidade. São basicamente constituídas de materiais semicondutores, sendo o silício o material mais empregado (BRITO,2009).

Diversos países, que não possuem potencial hidroelétrico e que estão se empenhando em reduzir as emissões de CO₂, exploram a energia solar. Exemplo de grandes usinas solares são:

Potência	País	Usina	Entrada em funcionamento
60 MW	Espanha	Usina de Olmedilla	2008
54 MW	Alemanha	Usina de Straßkirchen	em construção
53 MW	Alemanha	Usina de Turnow-Preilack	2009
50 MW	Espanha	Usina de Puertollano	2008
46 MW	Portugal	Usina de Moura	2008

Tabela 1 – Maiores Usinas Solares do Mundo (LARGE-SCALE photovoltaic power plants,2009)

Serpa, em Portugal, uma das mais conhecidas, só gera 11MW de energia, e a Espanha possui 36 das 50 maiores usinas solares do mundo (LARGE-SCALE photovoltaic power plants,2009).

Por outro lado, o aproveitamento efetivo da energia solar está intimamente ligado ao estudo e à compreensão de alguns fenômenos astronômicos. Por essa razão, apresentamos seus principais conceitos

2.2. Conceitos astronômicos do Projeto

2.2.1. Movimentos da Terra

Conforme Oliveira Filho e Saraiva (2009), a Terra possui dois movimentos básicos, os quais podem, dependendo de suas causas, ser decompostos em diversos componentes. Mas, os componentes do movimento da Terra que nos interessam são:

- **Movimento de rotação:** esse movimento é o que nos dá a sensação de dia e noite. Dessa forma, a Terra gira em torno de um eixo imaginário, o qual passa pelos pólos norte e sul geográficos e tem uma inclinação de $23^{\circ}27'$ em relação ao plano orbital da Terra. O período de rotação real da Terra é de cerca de **23 horas 56 minutos 04 segundos**, e o dia oficial de **24 horas 00 minuto e 00 segundo**.
- **Movimento de translação:** o movimento de translação da Terra é aquele componente responsável pelo movimento da Terra em torno do Sol. Esse movimento tem um período de cerca de **365 dias 06 horas 09 minutos 09,5 segundos**. O movimento de translação, associado com a inclinação do eixo de rotação da Terra em relação ao seu plano orbital, é o responsável pelo aparecimento das estações do ano.

Esses conceitos são importantes, pois devido às características de movimento da Terra, o movimento aparente do sol não é constante ao longo do ano. Isso causa diversos problemas quando falamos em um sistema que acompanha o sol. A forma encontrada para contornar essa questão foi a de desenvolver um software que contém algoritmos, alimentados com valores de data e hora, além da posição geográfica, para determinar a posição do sol no plano celeste, em coordenadas celestes equatoriais.

2.2.2. Insolação

A Insolação é definida como a quantidade de energia solar que atinge uma área na superfície terrestre perpendicular aos raios solares incidentes; ela varia com a posição geográfica, com a época do ano e com a hora do dia.

A quantidade de energia solar que chega à distância média Terra-Sol chama-se **constante solar** e vale 1367W/m^2 . Esse valor é medido por satélites localizados acima da atmosfera terrestre.

Em geral, estamos interessados em conhecer a quantidade de energia por unidade de área que chega a um determinado lugar da superfície da Terra, o que chamamos **insolação** do lugar. Se definirmos **insolação solar** como a quantidade de energia solar que atinge uma unidade de área da Terra, $I = E_z / A$, e considerando que quando o Sol está a uma altura θ em relação ao horizonte, a mesma energia é espalhada por uma área $A' = A / \text{sen } \theta$.

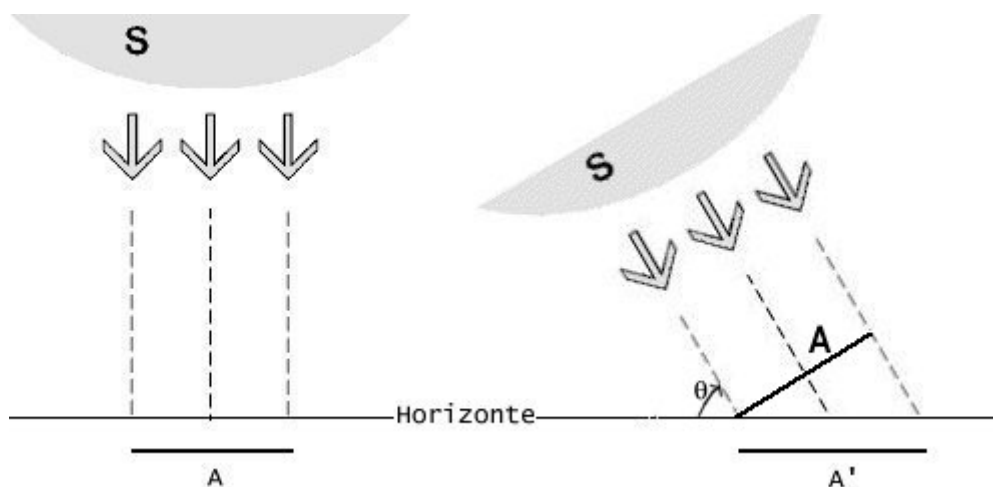


Figura 1 – Variação da Insolação em função do Ângulo de Incidência

É principalmente devido à insolação solar, que temos uma variação no rendimento do painel solar ao longo do dia, sendo que o mesmo terá seu rendimento máximo quando o sol estiver perpendicular à sua superfície. Quando movimentamos o painel, procuramos deixá-lo o maior tempo possível perpendicular à incidência dos raios solares.

Segue a baixo, uma tabela que mostra teoricamente como varia a insolação ao longo do dia baseada nessa fórmula. A variação da posição do sol foi calculada, para o dia 1 de janeiro de 2009, nas coordenadas geográficas de Tatuí (Lat. $23^{\circ}21'21''$ Sul Long. $047^{\circ}51'25''$ Oeste).

Tabela1: Variação da Insolação ao longo do dia

horas	Graus	$I = 1367\text{W/m}^2$ $I' = I * \text{seno}(x)$
6h	$5,70^{\circ}$	$135,77\text{ W/m}^2$
8h	$31,90^{\circ}$	$722,38\text{ W/m}^2$
10h	$59,03^{\circ}$	$1172,12\text{ W/m}^2$
12h	$86,50^{\circ}$	$1364,45\text{ W/m}^2$
14h	$65,90^{\circ}$	$1247,84\text{ W/m}^2$
16h	$38,60^{\circ}$	$852,84\text{ W/m}^2$
18h	$12,15^{\circ}$	$287,71\text{ W/m}^2$

2.2.3. Sistemas de Coordenadas

Observando o céu em uma noite estrelada, não podemos evitar a impressão de que estamos no meio de uma grande esfera incrustada de estrelas. Isso inspirou, nos antigos gregos, a ideia do céu como uma **Esfera Celeste**.

Com o passar das horas, os astros se movem no céu, nascendo a leste e se pondo a oeste. Isso causa a impressão de que a esfera celeste está girando de leste para oeste, em torno de um eixo imaginário, que intercepta a esfera em dois pontos fixos, os **Pólos Celestes**. Na verdade, esse movimento, chamado **movimento diurno dos astros**, é um reflexo do movimento de rotação da Terra, que se faz de oeste para leste. O eixo de rotação da esfera celeste é o prolongamento do eixo de rotação da Terra, e os pólos celestes são as projeções, no céu, dos pólos terrestres.

Os antigos gregos definiram alguns planos e pontos na esfera celeste, que são úteis para a determinação da posição dos astros no céu. São eles:

- **Horizonte**: plano tangente à Terra no lugar em que se encontra o observador.
- **Zênite**: ponto no qual a vertical do lugar (perpendicular ao horizonte) intercepta a esfera celeste, acima da cabeça do observador.
- **Equador Celeste**: círculo máximo em que o prolongamento do equador da Terra intercepta a esfera celeste.
- **Pólo Celeste Norte**: ponto em que o prolongamento do eixo de rotação da Terra intercepta a esfera celeste, no hemisfério norte.
- **Pólo Celeste Sul**: ponto em que o prolongamento do eixo de rotação da Terra intercepta a esfera celeste, no hemisfério sul.

Para definirmos uma posição sobre uma esfera precisamos definir um eixo e um plano perpendicular a este eixo.

- **Círculo vertical**: qualquer semicírculo máximo da esfera celeste contendo a vertical do lugar.
- **Ponto Geográfico Norte**: É também chamado **Ponto Cardeal Norte**.
- **Ponto Geográfico Sul**: É também chamado **Ponto Cardeal Sul**.
- **Círculo de altura**: qualquer círculo da esfera celeste paralelo ao Horizonte. É também chamado **almucântara**, ou **paralelo de altura**.

Um dia é definido como uma volta completa do Sol, isto é, o Sol percorre 360° em 24 horas, e a velocidade aparente é : $V_{aparente} = 360^\circ/24h = 15^\circ/h$. Mas, antes de entrarmos nos sistemas de coordenadas astronômicas, convém recordarmos o sistema de coordenadas geográficas, usadas para medir posição sobre a superfície da Terra. Nesse sistema, as coordenadas são a **latitude** e a **longitude**:

- **longitude geográfica (λ)**: é o ângulo medido ao longo do equador da Terra, tendo origem em um meridiano de referência (o meridiano de Greenwich);foi definida como variando de 0 a $+180^\circ$ (Oeste de Greenwich) e de 0 a -180° (Leste). Na convenção usada em astronomia, varia entre -12h (Oeste) e +12h (Leste).
- **latitude geográfica (ϕ)**: ângulo medido ao longo do meridiano do lugar. Varia entre -90° e $+90^\circ$. O sinal negativo indica latitudes do hemisfério sul e o sinal positivo hemisfério norte.

O Sistema Horizontal utiliza como plano fundamental o Horizonte celeste. As coordenadas horizontais são **azimute** e **altura**:

- **Azimute (A)**: é o ângulo medido sobre o horizonte, no sentido horário (Norte-Leste-Sul-Oeste). O azimute varia entre 0° e 360° .
- **Altura (h)**: é o ângulo medido sobre o círculo vertical do astro. A altura varia entre -90° e $+90^\circ$.

É importante ressaltar que o sistema horizontal é um sistema. As coordenadas Azimute e Altura *dependem* do lugar e do instante da observação, e não são características do astro.

O Sistema Equatorial Celeste utiliza como plano fundamental o Equador celeste. Suas coordenadas são a **ascensão reta** e a **declinação**:

- **Ascensão reta (α ou **AR**):** ângulo medido sobre o equador, com origem no meridiano que passa pelo ponto Áries, e extremidade no meridiano do astro. A ascensão reta varia entre 0h e 24h (ou entre 0° e 360°) aumentando para leste.
- **Ponto Áries**, também chamado **Ponto Gama (γ)**, ou **Ponto Vernal**, é um ponto do equador, ocupado pelo Sol no equinócio de primavera do hemisfério norte, isto é, quando o Sol cruza o equador vindo do hemisfério sul (geralmente em 22 de março de cada ano).
- **declinação (δ):** ângulo medido sobre o meridiano do astro (perpendicular ao equador), com origem no equador e extremidade no astro. A declinação varia entre -90° e +90°. O complemento da declinação se chama **distância polar (Δ)**.

O sistema equatorial celeste é fixo na esfera celeste e, portanto, suas coordenadas *não dependem* do lugar e do instante de observação.

O sistema equatorial celeste e o sistema equatorial horário, juntos, definem o conceito de **tempo sideral**. O tempo sideral, assim como o tempo solar, é uma medida do tempo, e aumenta ao longo do dia. Observemos as definições abaixo:

- **Hora sideral (HS):** ângulo horário do ponto Áries
- **Dia Sideral:** é o intervalo de tempo decorrido entre duas passagens sucessivas do ponto γ pelo meridiano do lugar.
- **Dia Solar:** é o intervalo de tempo decorrido entre duas passagens sucessivas do Sol pelo meridiano do lugar. É 3 minutos 56 segundos mais longo do que o dia sideral. Essa diferença é devida ao movimento de translação da Terra em torno do Sol, de aproximadamente 1 grau (4 minutos) por dia ($360^\circ/\text{ano}=0,986^\circ/\text{dia}$).

2.2.4. Conversão de Coordenadas

A astronomia de posição diz respeito fundamentalmente às direções nas quais os astros são vistos, sem se preocupar com sua distância. É conveniente expressar essas direções em termos das posições sobre a superfície de uma esfera - a Esfera Celeste. Essas posições são medidas unicamente em ângulos. Dessa forma, o raio da esfera, que é totalmente arbitrário, não entra nas equações.

O algoritmo matemático utilizado na nossa pesquisa leva em consideração todas as informações dos dados astronômicos apresentadas, para chegar a um valor de posicionamento do sol nas coordenadas Ascensão Reta / Declinação; e para chegar a uma conversão de coordenadas de Ascensão Reta / Declinação para Altura / Azimute, que são justamente as coordenadas em que nosso sistema funciona; utilizamos ainda a trigonometria esférica para convertê-las.

A conversão final é apresentada a seguir:

$$\begin{aligned} \cos Alt &= \sin \phi * \sin \delta + \cos \phi * \cos \delta * \cos H \\ \cos A &= (\sin Alt * \sin \phi - \sin \delta) / (\cos Alt * \cos \phi) \end{aligned}$$

Onde: Alt = Altura ; ϕ = Latitude ; δ = declinação ; H = Ângulo Horário ; A = Azimute.

Dentro do estudo da astronomia, esse cálculo já é feito para a movimentação de telescópios, que “seguem” os objetos estelares pelo céu, estudando-os. O SkyMap PRO, Celestia, The SKY, Stellarium (Gratuito), entre outros, são programas de astronomia que executam esse cálculo.

No nosso caso, não será o telescópio que moveremos, e sim um painel solar; não serão todos os objetos estelares o foco de nosso interesse, e sim o SOL. Assim, é possível afirmar que o princípio de funcionamento do sistema é o mesmo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O software desenvolvido precisou de alguns conceitos de astronomia, uma vez que diversas variáveis utilizadas provêm das informações astronômicas. Ele foi desenvolvido usando a plataforma Visual Basic 6.0, com base no modelo proposto por Oliveira (2004) e contém algoritmos de contagem de tempo e de conversão de coordenadas.

O algoritmo inicialmente converte a data e horário local em “Minutos Após Meia Noite”, e os dias em “Dias Após 01/jan”. Feito isso, os meses são corrigidos em função do ano bissexto. Como esses valores, e inserindo os de latitude, longitude, e fuso horário, é calculado o valor do tempo sideral, com base no tempo da duração do ano astronômico (**365 dias 06 horas 09 minutos 09,5 segundos**). De posse desses dados, são, então, calculados o Horário Angular, Ascensão Reta e Declinação. Porque o sistema que pretendemos aplicar essas ferramentas utilizaria as variáveis de Altura e Azimute, fazemos a conversão final conforme fórmula mostrada anteriormente em Conversão de Coordenadas.

A seguir, é mostrada a tela do software desenvolvido com algoritmo para o cálculo do posicionamento do sol.

The screenshot shows a window titled "Calculo Solar" with a menu bar containing "Localização", "Horario", "Hab Auto", and "Intervalo". The main area is divided into two sections: "Entrada dos Dados" and "Resultado do Sol".

Entrada dos Dados:

- Latitude: 23,355834 (radio buttons for Norte and Sul, with Sul selected)
- Longitude: 47,856945 (radio buttons for Leste and Oeste, with Oeste selected)
- Fuso Horário: -3 (GMT +/- xx horas)
- Horario: 10 : 35 (formato 24h)
- Data: 22 / 11 / 2009 (formato dd/mm/yyyy)
- Horario de Verão: Sim and Não (radio buttons, with Não selected)

Resultado do Sol:

- Altura: 70,588 - 70 ° 35 ' 17,77 ''
- Azimute: 84,624 - 84 ° 37 ' 29,51 ''
- Aurora: 5 : 21
- Ocaso: 18 : 34

Buttons for "Calculo Manual" and "Automatico" are located below the input fields.

Figura 2

Neste software desenvolvido, temos os campos de Entrada de Dados. Digitamos, então, a Latitude e a Longitude, o Fuso Horário GMT, o horário e a data local e a correção de horário de verão, além dos comandos de cálculo manual e de cálculo automático (tempo real).

Nos campos de Resultado do Sol, temos os resultados dos cálculos, onde é apresentado o valor da Altura e Azimute do Sol, assim como a Aurora e o Ocaso (nascido e pôr do sol).

No menu, temos os seguintes comandos: Localização, onde temos alguns locais com latitude e longitude pré-determinados; horário, onde o programa sincroniza com o relógio do micro; Hab. Auto, onde é habilitado o uso do cálculo em tempo real; Intervalo, onde definimos o intervalo de tempo entre um cálculo e outro (foram programados intervalos de 100ms a 10s).

No exemplo da figura 2, as coordenadas são de Tatuí, no dia 22/11/09, às 10h35, sem correção de horário de verão. O resultado do cálculo posiciona o sol a uma Altura de $70^{\circ}35'$ e a um Azimute de $87^{\circ}37'$ aproximadamente. É justamente esse resultado que usamos para posicionar o painel solar.

4. DISCUSSÃO E RESULTADOS

Testes feitos com o programa de cálculo mostraram que podemos determinar com razoável precisão a posição do sol em qualquer local do mundo. Usamos como comparativo o programa de astronomia Stellarium, que se apresenta na forma de um planetário virtual, e nos informa a posição do sol também em tempo real. O erro obtido foi de menos de 15 minutos de arco de grau, o que é mais do que satisfatório, já que o sol percorre um ângulo de 1° a cada 4 minutos em média.

5. CONCLUSÃO

É importante obtermos um sistema que gere energia elétrica, que se utilize dos recursos naturais renováveis disponíveis, para, assim, reduzirmos principalmente o uso de combustíveis fósseis e as emissões de dióxido de carbono na atmosfera.

O software desenvolvido mostrou-se de grande valor para uma automação efetiva do movimento do painel solar, já que não existe a necessidade do desenvolvimento de sistemas dedicados a uma localidade em particular, como é o caso de diversos sistemas de movimentação existentes no mercado.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MAIA, Leticia. **Energias Renováveis**. Disponível em:

<<http://www.minerva.uevora.pt/odimeteosol/energias.htm>. Acesso em: 14 mar. 2009.

BERKELEY, University of California. **Cloudy Outlook For Solar Panels: Costs Substantially Eclipse Benefits, Study Shows**. ScienceDaily. Disponível em:

<http://www.sciencedaily.com/releases/2008/02/080220224901.htm>. Acesso em: 10 set. 2009.

IEA, International Energy Agency. **Trends in photovoltaic applications, 2005**. Disponível em:

<http://iea-pvps.org/products/download/rep1_14.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2009.

ENERGIA Solar – Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_solar>. Acesso em: 15 mar. 2009.

CÉLULA Fotovoltaica. **Revista Super Interessante**, set. 1988. Disponível em:

<http://super.abril.com.br/superarquivo/1988/conteudo_111304.shtml>. Acesso em: 15 nov. 2009.

NASCIMENTO, Cássio A., **princípio de funcionamento da célula Fotovoltaica**, Minas Gerais – 2004. Disponível em <http://www.solenerg.com.br/figuras/monografia_cassio.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2009.

BRITO, Sergio S. **Energia solar - princípios e aplicações**, CRESESB, Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/tutorial/tutorial_solar.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2009.

LARGE-SCALE photovoltaic power plants. Disponível em: <<http://www.pvresources.com/en/top50pv.php>>. Acesso em: 15 nov. 2009.

KALANG Solar Tracker, 2008. Disponível em <<http://www.solartrackers.com.au/performance.htm>>. Acesso em: 12 nov. 2009.

PAINEL Solar – Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Painel_solar>. Acesso em: 15 mar. 2009.

UTC Tempo Coordenado Universal, IERS Central Bureau, 2007 – Disponível em: <http://www.iers.org/MainDisp.csl?pid=95-104>. Acesso em: 15 mar. 2009.

UTC Tempo Coordenado Universal, ITS Institute for Telecommunications Sciences, 1996 – Disponível em: <http://www.its.blrdoc.gov/fs-1037/dir-009/_1277.htm>. Acesso em: 10 mar. 2009.

Manuais Técnicos, **SOLAR Tracker Systems** – Disponível em: <http://www.solazone.com.au/tracker.htm>. Acesso em: 10 mar. 2009.

OLIVEIRA FILHO, Kepler S.; SARAIVA, Maria F.O., **Astronomia e Astrofísica**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004 – Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br>>. Acesso em: 12 mar. 2009.

OLIVEIRA FILHO, Kepler S.; SARAIVA, Maria F.O., **A Esfera Celeste**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004 – Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/esf.htm>. Acesso em: 20 mar. 2009.

OLIVEIRA FILHO, Kepler S.; SARAIVA, Maria F.O., **Sistemas de Coordenadas**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004 – Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/coord.htm>. Acesso em: 15 mar. 2009.

OLIVEIRA FILHO, Kepler S.; SARAIVA, Maria F.O., **Trigonometria Esferica**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004 – Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/trigesf/trigesf.htm>>. Acesso em: 21 mar. 2009.

OLIVEIRA FILHO, Kepler S.; SARAIVA, Maria F.O., **Posições Características do Sol** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004 – Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/sol/sol.htm>>. Acesso em: 11 mar. 2009.

OLIVEIRA FILHO, Kepler S.; SARAIVA, Maria F.O., **Movimento Anual do Sol e as Estações do Ano**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004 – Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/tempo/mas.htm>>. Acesso em: 26 mar. 2009.

OLIVEIRA FILHO, Kepler S.; SARAIVA, Maria F.O., **Insolação Solar**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004 – Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/estacoes/estacoes.htm>>. Acesso em: 17 mar. 2009.

OLIVEIRA FILHO, Kepler S.; SARAIVA, Maria F.O., **Calculo do Posicionamento do Sol**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004 – Disponível em:
<<http://astro.if.ufrgs.br/sol/calcsol.htm>>. Acesso em: 26 mar. 2009.

ASTRONOMICAL Applications, Naval Oceanographic Portal, Disponível em:
<<http://www.usno.navy.mil/USNO/astronomical-applications>>. Acesso em: 15 nov. 2009.