

SEGUIDOR SOLAR DE LENTE *FRESNEL* COM PLATAFORMA *OPEN SOURCE* DE CONTROLE

Luiz Carlos Marques Junior
luizcarlosyas@gmail.com

Orientador Prof. Laerte Edson Nunes
laerte.edson.nunes@terra.com.br

Faculdade de Tecnologia de Garça “Deputado Júlio Julinho Marcondes de Moura”
Curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial

Abstract: *This article aims to present the different types of solar trackers, as well as show the solar tracker developed using an Open Source programming, hardware platform and Fresnel lens. Such technology is essential for heating devices operating by heat, for example, the Stirling engine, which has the possibility of using various heat sources, especially solar. The use of this technology is directly linked with the generation of energy and work through renewable energy sources. The intention of the proposed tracker is to heat a heat water pump enabling the irrigation of small farms.*

Keywords: *Solar Tracker. Open Source Plataform. Stirling Engine.*

Resumo: *Este artigo tem o objetivo de apresentar os diferentes tipos de seguidores solar, assim como mostrar o seguidor solar desenvolvido utilizando a plataforma Open Source de programação, Hardware e lente Fresnel. Tal tecnologia é essencial para o aquecimento de dispositivos que funcionam através de calor, por exemplo, o motor Stirling, que tem a possibilidade de utilizar diversas fontes de calor, com destaque para a solar. O uso dessa tecnologia está diretamente ligado com a geração de energia e trabalho através de fontes renováveis de energia. A intenção do seguidor proposto é aquecer a bomba d'água de calor possibilitando a irrigação de pequenas propriedades agrícolas*

Palavras Chave: *Seguidor Solar. Plataforma Open Source, Motor Stirling.*

1. Introdução

Este trabalho complementa o artigo “ESTUDO SOBRE MOTORES *STIRLING* DE BAIXA TEMPERATURA COM ENERGIA SOLAR PARA BOMBEAMENTO DE ÁGUA”, previamente publicado na revista eletrônica e-f@tec, da Faculdade de Tecnologia de Garça, no ano de 2015. Enquanto o enfoque do primeiro artigo foi no motor *Stirling* e no desenvolvimento da bomba d'água de calor, este trabalho concentra-se nos sistemas de seguimento solar utilizados para fornecer calor para máquinas térmicas. A demanda pela tecnologia apresentada no artigo anterior e no atual artigo está embasada nos seguintes dados.

O relatório do Ministério do Desenvolvimento Indústria e Comércio Exterior (MDIC), apontou que de janeiro a agosto de 2014 50, 4% da receita de exportação nacional veio de produtos básicos, em outras palavras commodities. Os principais produtos exportados são: minério de ferro, soja, petróleo em bruto, milho e carnes.

Em contrapartida a esses dados de acordo com o Censo Agropecuário (2006), realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e a Secretaria de Agricultura Familiar, cerca de 70% dos alimentos produzidos no Brasil provêm da agricultura familiar. Ainda, segundo o Censo, a agricultura familiar é responsável por 84,4% das propriedades rurais e representa 35% do PIB brasileiro, sendo assim, uma atividade imprescindível para a economia nacional.

Dessa maneira, apesar do Brasil ser uma potência agrícola na produção de carnes, soja e milho, a maior parte dos alimentos consumidos pela população origina-se da agricultura familiar.

Segundo a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) (2015), no Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento de Recursos Hídricos, a demanda por água no mundo crescerá até 55% em 2050. Sendo que, a população mundial crescerá de 7,2 bilhões para 9,1 bilhões até 2050, e cerca de 6,3 bilhões viverão nas áreas urbanas. No mesmo relatório, estima-se que será necessário produzir mais 60% de alimentos até 2050, e que em países em desenvolvimento os números poderão chegar a 100%.

As questões apresentadas, como a otimização dos recursos hídricos e o incentivo à agricultura familiar, refletem a relevância social e científica do tema. Nos próximos capítulos serão apresentados o estado da arte em relação aos sistemas de seguimento solar, assim como a metodologia sobre o protótipo.

2. Sistemas de Seguimento Solar

Um seguidor Solar é um dispositivo que orienta um objeto em direção ao Sol. O objeto que estará em movimento pode ser painéis fotovoltaicos, espelhos parabólicos, lentes *Fresnel* ou heliostatos.

Sistemas de seguimento solar fazem parte de um grupo de tecnologias denominadas de sistemas de concentração solar. Para Reif e Alhalabi (2014, p.1), estes são dispositivos ópticos que concentram a energia solar para a conversão em energia útil.

Tanto o sistema de concentração solar por espelhos parabólicos, quanto o de concentração solar por lentes *Fresnel* lineares possuem um concentrador. Assim consistem em um refletor que funciona com um único concentrador alinhado no eixo norte sul. O refletor é rotacionado para seguir o movimento do Sol, e a energia solar concentrada é refletida e captada por um receptor solar, que coleta a energia concentrada. Dependendo da aplicação, ambos os concentradores podem atingir a relação de concentração de 40:1.

Heliostatos são utilizados para concentrar calor em torres solares. A energia concentrada nos heliostatos é focada continuamente ao longo do dia em uma torre solar, é por meio de tubos que são aquecidos, e o calor é conduzido para uma turbina a vapor que converte o vapor em energia elétrica. O calor concentrado na torre pode atingir um potencial de concentração de 40:1, como os sistemas anteriores. Na figura 01, os principais sistemas de concentração são apresentados.

Figura 01 – Sistemas de seguimento solar de lente *Fresnel*, Heliostato e Concentrador Parabólico



Fontes: Ntkj.co (2015). Psu.edu (2015). Agp.ro (2015).

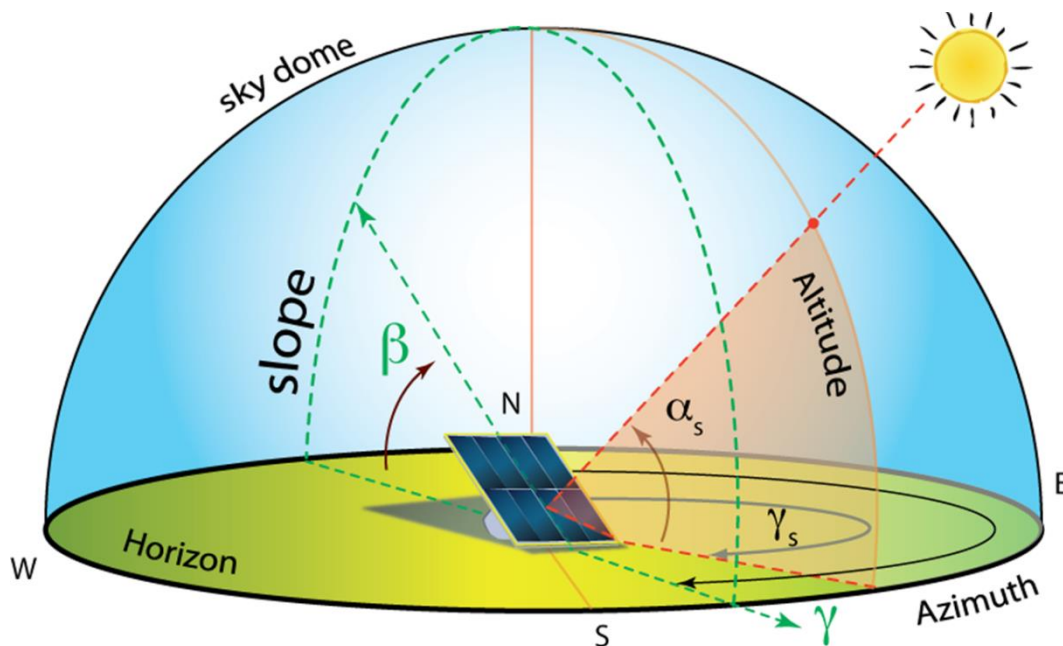
Ainda dentre os sistemas de concentração solar distinguem-se os de concentrador ativo e os de concentrador passivo. Sistemas de concentração passivos não fazem uso de seguidores solar, portanto são estáticos, como um painel de aquecimento de água doméstico, que por meio de tubos evacuados, implantados no telhado de uma casa aquece e armazena calor. Os sistemas de concentração ativos são sistemas no qual há um ou mais dispositivos que seguem o movimento do Sol ao longo do dia para que possa obter maior eficiência na conversão da energia fotovoltaica para elétrica, térmica para elétrica ou térmica para mecânica. Existem diversos tipos de seguidores solar variando em custo, sofisticação e desempenho, porém, os dois modelos principais são os de um eixo de movimentação e os de dois eixos de movimentação.

Seguidores solar de um eixo podem se mover no sentido do ângulo de Altitude ou ângulo de Azimute. Sendo que o ângulo de Altitude é o ângulo perpendicular no sentido vertical da placa ou painel em relação ao Sol, e o ângulo de Azimute é o ângulo rotacional em relação à trajetória do Sol com na placa ou painel (movimento de leste a oeste).

Seguidores solar de dois eixos de movimentação podem se mover tanto no ângulo de Altitude quanto no ângulo de Azimute, assim permitindo o controle mais refinado e preciso do seguimento ao longo do dia.

Na figura 02, um sistema de seguimento solar de dois eixos, aplicado a painéis fotovoltaicos é apresentado, juntamente com a ilustração dos ângulos de Altitude e Azimute;

Figura 02 – Sistema de Seguimento Solar de dois eixos



Fonte: PennState (2015).

Após a pesquisa, para o protótipo será utilizado um sistema de seguimento solar de dois eixos, com uma lente *Fresnel* como concentrador de calor.

3. Sistema de seguimento solar desenvolvido

Um sistema de seguimento solar é proposto para aquecer o tubo de cobre que aloja o pistão quente da bomba d'água desenvolvida previamente. Optou-se por um sistema de seguimento solar de dois eixos devido à possibilidade de se ter o foco constante do sol no protótipo e os atuadores selecionados são motores de passo.

Alguns sistemas de seguimento solar fazem uso de sensores como (Diodos Dependentes de Luz) LDRs, e baseando-se nos dados fornecidos por esses sensores tanto o ângulo Azimute quanto o ângulo Altitude vão sendo corrigidos em tempo real. No caso do protótipo optou-se por se basear no Algoritmo desenvolvido por *Gabriel Miller* do site *Cerebral Meltdown* para Heliostatos e adaptá-lo para que funcione baseado na localização do sistema (Coordenadas Geográficas) e nas características

físicas do sistema desenvolvido. Os limites físicos de movimento da base e da lente são definidos por meio sensores de fim de curso.

O algoritmo para seguimento solar foi selecionado devido à possibilidade de adaptação de um algoritmo de seguimento solar inicialmente de Heliostatos, para a lente *Fresnel* do protótipo. Além de que, é possível customizar o protótipo de acordo com a localidade em que a tecnologia será implantada.

Por exemplo, de acordo com o **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística** (IBGE), Garça está localizada na Região Sudeste, tendo as seguintes coordenadas.

Latitude: 22° 12' 38" S. Longitude: 49° 39' 22" W.

Altitude: 683m em relação ao nível do mar. Com base nesses dados pode-se desenvolver e adaptar o algoritmo para o *hardware* utilizado e as coordenadas geográficas desejadas.

3.1 Componentes do Sistema de Seguimento Solar

O sistema de seguimento solar do protótipo é composto por componentes de controle, de atuação mecânica e elétrica, e por sensores. Dessa maneira contendo componentes que refletem os conteúdos abordados no curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial na Faculdade de Tecnologia de Garça. Sendo estes componentes:

- Lente *Fresnel*;
- Micro controlador Atmega328 (Arduíno Uno);
- 2 Motores de Passo bipolares de 4,6 kgf e 6 kgf de Torque;
- 2 Drivers de Motor de Passo A4988;
- Relógio de Tempo Real (Real-Time-Clock-DS1307);
- Joystick para controle manual;
- Botões e chaves para o circuito de controle
- Reduções para o motor de passo (Movimento da lente);

- Sistema polias sincronizadas (Movimento da Base);
- Base de Madeira, móvel;
- Base de sustentação de aço;
- Fonte de alimentação.

Após a descrição dos principais componentes do protótipo, a transmissão mecânica do sistema é apresentada a seguir.

3.2 Transmissão utilizada

Dois sistemas de transmissão são usados para locomover tanto a lente quanto a base do sistema. Essas transmissões são:

- Transmissão por engrenagens para a lente;
- Transmissão por polias sincronizadas para a base móvel de madeira.

O sistema de transmissão por engrenagens possui uma taxa de redução de 4, 7:1. Dessa maneira, para o motor de 4,6 kgf de torque que moverá a lente Fresnel, o torque resultante será:

Torque Total = Torque do Motor X Taxa de redução das engrenagens;

Torque Total = 4,6 kgf X 4,7 = 21,6 Kgf de Torque.

Já a transmissão por polias é feita por uma polia menor de 45 mm de diâmetro acoplada ao motor de passo de 6 Kgf de Torque, e uma polia maior de 155 mm de diâmetro, responsável pela movimentação da base. O torque total e a relação de transmissão entre as polias é determinada da seguinte maneira:

Taxa de transmissão entre as polias = $155/45 = 3,44$;

Torque Total = Torque do Motor X Taxa de transmissão entre as polias;

Torque Total = 6 kgf X 3,44 = 20, 6 kgf de Torque.

As transmissões utilizadas no sistema, juntamente com a lente *Fresnel* que focará a irradiação solar são apresentadas na figura 03.

Figura 03 – Sistema de Transmissão do seguidor solar



Fonte: O autor (2015).

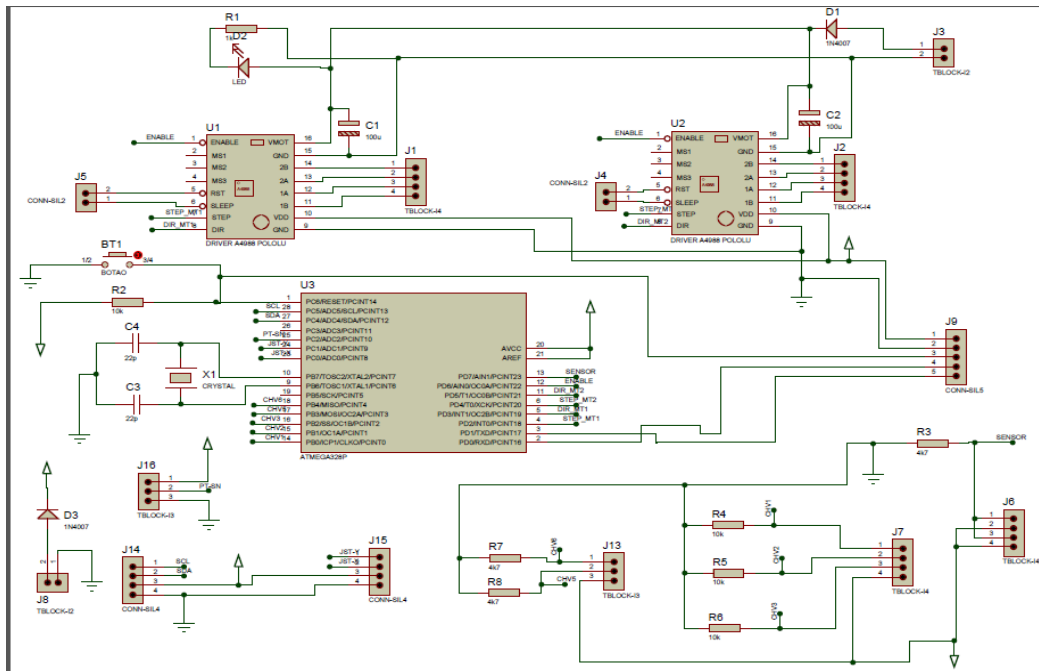
4. Circuito elétrico do sistema

Para que possa ser feito o controle dos motores de passo, e para que estes atuadores se integrem ao micro controlador selecionado para o projeto o circuito e a placa de controle do sistema foram desenvolvidos.

Os principais componentes do circuito são o micro controlador Atmega 328p, responsável pelo controle dos processos pré-definidos no algoritmo. Os *drivers* de motores de passo A4988, para que a potência necessária para energizar as bobinas dos motores seja fornecida corretamente, sem danificar o micro controlador. A fonte de alimentação ATX, que fornecerá 12 *Volts* para os motores e 5 *Volts* para o circuito. Chaves que representam a ativação ou desativação de processos do algoritmo de controle. Sensores fim de curso, que estabelecem os limites físicos onde a base e a lente podem se mover. E, por final, os motores de passo, que são os atuadores do sistema responsáveis pela movimentação do eixo *Altitude e Azimute*. O diagrama elétrico das

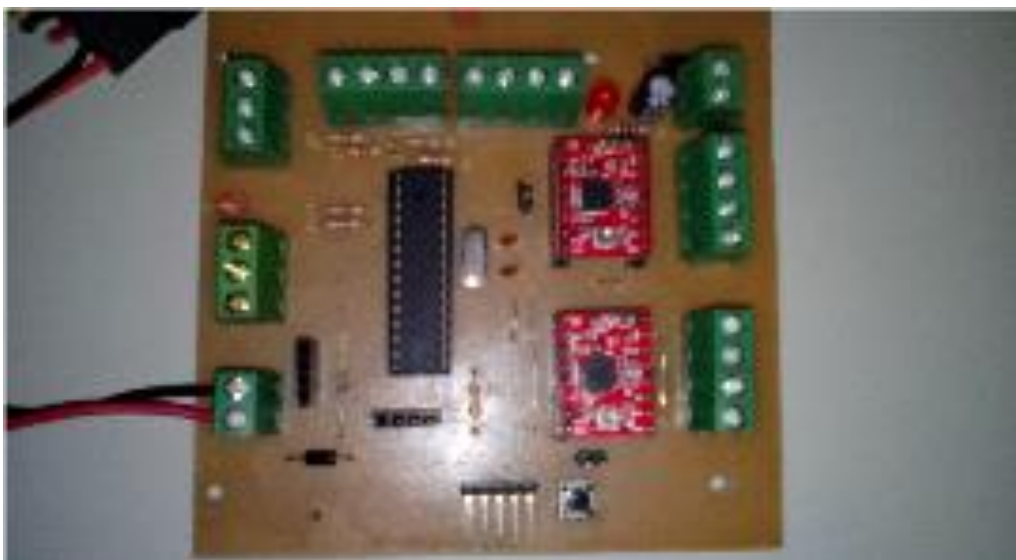
ligações dos componentes descritos, juntamente com a placa de controle do sistema são apresentados nas figuras 04 e 05.

Figura 04 – Diagrama elétrico do sistema de seguimento solar



Fonte: O autor (2015)

Figura 05 – Placa de controle do sistema de seguimento solar



Fonte: O autor (2015).

5. Algoritmo de Controle

O algoritmo de controle é baseado em um algoritmo para heliostatos, o qual foi produzido pelo autor *Gabriel Miller*. Esse algoritmo foi adaptado e teve algumas funcionalidades removidas e outras adicionadas para que se adapte ao sistema. Obedecendo as seguintes instruções.

Quando o sistema é iniciado, as primeiras ações realizadas pelos seguidos são girar os motores de passo até os limites físicos que são representados pelos sensores de final de curso. Assim que o limite dos dois eixos é estabelecido, os motores retornam a posição inicial estabelecida no programa.

O sistema de seguimento funcionará em três estados. O primeiro estado é o de seguimento automático no qual o intervalo de tempo e os passos que cada motor irá realizar já são predeterminados no programa, por meio das informações obtidas como latitude, longitude do local, juntamente com informações como pontos de ajuste, obtidos através de testes.

O segundo estado permite que o controle dos dois eixos de movimentação do sistema seja feito por meio de um *Joystick*. Pode-se inverter a rotação de ambos os motores de acordo com o movimento do *Joystick* e também a velocidade de rotação de acordo com a força que o *Joystick* é pressionado.

O terceiro estado é o estado de proteção contra o vento ao qual a lente se inclina até uma posição horizontal, afinal por se tratar de uma tecnologia que faz uso de lentes para focar e ampliar a irradiação solar, detritos e poeira trazidos pelo vento reduzem a eficiência da lente.

Cada estado é representado fisicamente por uma chave liga/desliga. Após definir os limites de movimentação dos dois eixos, o sistema já irá se iniciar no estado de um seguidor solar automático. Caso se queira mudar o estado do sistema é preciso mudar a posição da chave e habilitar a chave do estado de controle desejado. Tanto a bomba d'água quanto o seguidor solar são mostrados na figura 06.

Figura 06 – Protótipo do sistema de seguimento solar



Fonte: O autor (2015).

Dessa maneira, tanto a bomba quanto o sistema de seguimento solar foram projetados e alguns resultados e considerações podem ser inferidos por meio deste projeto.

6. Considerações Finais

Utilizar a ciência e tecnologia em prol do bem-estar das pessoas é um dos principais deveres do profissional que trabalha diretamente na área de tecnologia. Nesse artigo, um sistema de seguimento solar foi proposto, desenvolvido e apresentado, os resultados são mostrados na sequência.

Tanto a lente quanto a bomba d'água funcionaram. Sendo que para a bomba d'água funcionar utilizou-se um soprador térmico. Testes para aquecer a bomba com lente *Fresnel* foram realizados, no entanto o calor fornecido pela luz focada pela lente não foi o suficiente para aquecer a bomba. O ponto focal da lente teve cerca de 1 cm de diâmetro. Como o tubo de cobre possui 15 cm de comprimento e 2,54 cm de diâmetro, a

lente foi capaz de aquecer o tubo, mas a temperatura necessária para o funcionamento da bomba não foi atingida.

O algoritmo de controle funcionou para o sistema, sendo que o objetivo principal foi atingido, que era o de demonstrar o funcionamento de um motor *Stirling* de Baixa temperatura. O seguidor solar foi proposto como possível fonte de calor para o sistema, sendo que os próximos passos a serem tomados será aprimorar a bomba d'água para que a mesma funcione a uma temperatura mais baixa.

Com a crescente demanda por sistemas que utilizem fontes renováveis de energia para seu funcionamento, a tecnologia apresentada aparece como uma possibilidade promissora. Uma vez que além do seguidor solar ser um sistema de aquecimento solar de tubos evacuados, ele pode ser utilizado para aquecer a água, permitindo que a mesma possa ser bombeada para o uso doméstico e o uso em pequenas propriedades agrícolas.

Referências

ANIRUDH NAMBIAR'S DESIGN BLOG. *eSolar's Heliostat Fields: A paradigm shift in Concentrated Solar Power (CSP)*. Disponível em: < <https://sites.psu.edu/anirudhnambiar/2013/09/30/esolars-heliostat-fields-a-paradigm-shift-in-concentrated-solar-power-csp/> >. Acesso em: 10 ago. 2015.

CEREBRAL MELTDOWN. *The Open Sun Harvest Project*. Disponível em: <<http://www.cerebralmeltdown.com/open-sun-harvesting-project> >. Acesso em: 10 mar. 2015.

FOLHA DE SÃO PAULO. **Puxada pelos BRICS, demanda por água crescerá 55% até 2050, diz UNESCO**. Disponível em: < <http://www1.folha.uol.com.br> >. Acesso em: 15 mar. 2015.

GREEN POWER. **Energia Solar**. Disponível em: <http://www.agp.ro/ro/energia_solar/ >. Acesso em: 10 ago. 2015.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Censo Agropecuário 2006**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/2006/> >. Acesso em: 30 jun. 2013.

MDIC, Ministério do Desenvolvimento Indústria e Comércio Exterior. **Relatórios**. Disponível em: < <http://www.mdic.gov.br/sitio/interna/interna.php?area=1&menu=591> > Acesso em: 18 set. 2015.

NIHON TOKUSHU KOGAKU JUSHI. *Fresnel lens for solar concentrator*. Disponível em: < http://www.ntkj.co.jp/product_fresnel_solar_en.html >. Acesso em: 10 ago. 2015.

REIF, H. J; ALHALABI, W. *Design and Analysis of a High-Efficiency, Cost-Effective Solar Concentrator*. Disponível em:

<<https://users.cs.duke.edu/~reif/paper/solar/SolarConcentrator/SolarConcentrator.pdf>> Acesso em: 08 ago. 2015.

SEBRAE. **Merenda Fresquinha Direto do Campo**. Disponível em:

<<http://www.sp.agenciasebrae.com.br>> Acesso em: 18 mar. 2015.

KANSAL, R. **PIC Based Automatic Solar Radiation Tracker** . Disponível em:

<http://files.spogel.com/abstracts/p-0456--automatic_solar_rad_tracker.Pdf>

Acesso em: 08 ago. 2015.

O ESTADO DE SÃO PAULO. **Cresce a Depêndencia Brasileira das Commodities, mas os preços caem**. Disponível em:

<<http://economia.estadao.com.br>>. Acesso em: 15 mar. 2015.

PENN STATE. **COLLECTOR ORIENTATION**. Disponível em: < <https://www.education.psu.edu/eme810/node/576> >. Acesso em: 08 ago. 2014.