



UNIVERSIDADE FEDERAL
DO VALE DO SÃO FRANCISCO

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

Luciano Berti Torres Sanjuan

**DESENVOLVIMENTO DE UM RASTREADOR SOLAR PARA
PLACAS FOTOVOLTAICAS**

Juazeiro – BA

2013

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

Luciano Berti Torres Sanjuan

**DESENVOLVIMENTO DE UM RASTREADOR SOLAR
PARA
PLACAS FOTOVOLTAICAS**

Trabalho apresentado a Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, Campus Juazeiro, como Requisito da obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Adeon Cecílio Pinto

Juazeiro – BA

2013

	Sanjuan, Luciano Berti Torres
S227d	Desenvolvimento de um rastreador solar para placas fotovoltaicas / Luciano Berti Torres Sanjuan. -- Juazeiro, 2013.
	xi; 59f.: il. 29 cm.
	Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus, Juazeiro, 2013.
	Orientador: Prof. Drº. Adeon Cecílio Pinto.
	1. Energia solar. 2. Rastreador solar. 3. Desenvolvimento do protótipo de rastreamento. 4. Energia Fontes alternativas I. Título. II. Pinto, Adeon Cecílio. III. Universidade Federal do Vale do São Francisco
	CDD 333.7923

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Integrado de Biblioteca SIBI/UNIVASF
Bibliotecário: Renato Marques Alves



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO UNIVASF
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

PARECER DA BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE TRABALHO DE
CONCLUSÃO DE CURSO

Luciano Berti Torres Sanjuan

A Banca Examinadora composta por: *Prof. Dr. Adeon Cecílio Pinto* (Orientador), *Prof. Dr. Edgardo Guillermo Camacho Palomino* (CENEL) e pelo *Prof. Ricardo Maia Costa* (IF - Sertão), consideram o candidato Aprovado com nota 8,17.

Juazeiro, 19 de abril de 2013.

Prof. Dr. Adeon Cecilio Pinto
(Orientador)

Prof. Dr. Edgardo Guillermo Camacho Palomino

Prof. Ricardo Maia Costa

Declaração de Conformidade

Eu, **LUCIANO BERTI TORRES SANJUAN**, declaro que este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado:

DESENVOLVIMENTO DE UM RASTREADOR SOLAR PARA PLACAS FOTOVOLTAICAS

é de minha autoria e confirmo que:

1. Nenhuma parte deste trabalho foi submetida a nenhum tipo avaliação de qualificação nesta ou em qualquer outra Universidade;
2. Todas as *obras, artigos e/ou divulgações*, de qualquer natureza, de outros autores ou de co-autoria utilizadas para elaboração deste trabalho têm seus créditos devidamente atribuídos;
3. A versão denominada **versão final**, contém as solicitações de correção exigidas pela Banca Examinadora por ocasião da defesa deste trabalho, e atende as normas contidas no Manual de Normatização de Trabalhos Acadêmicos da UNIVASF em vigor.

Juazeiro, 30 de abril de 2013.


Luciano Berti Torres Sanjuan
Matrícula: 1833

Dedicatória:

Dedico este trabalho a Deus e a minha família, alicerce da minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela concessão da vida.

Aos meus avôs Mário Torres (in memorian) e Maria Auxiliadora, símbolo de fé e perseverança e aos meus padrinhos e avôs, pai Pepito (in memorian) e mãe Ivone (in memorian) símbolo de fé e humildade.

Aos meus pais, pelo amor, carinho, dignidade, atenção e dedicação de vida aos seus filhos.

Aos meus irmãos, pelo amor, felicidade e a união.

Ao meu sobrinho que revitaliza o meu ser.

A toda a minha família, símbolo de irmandade.

A Laiane Oliveira, minha namorada, pelo zelo e dedicação.

Ao meu orientador, Adeon Pinto, pelos seus ensinamentos.

A todos os amigos e colegas que torceram e contribuíram para a conclusão deste trabalho.

EPÍGRAFE:

“Julgue seu sucesso pelas coisas que
você teve que renunciar para conseguir.”

Dalai Lama

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido para aumentar a eficiência energética dos painéis fotovoltaicos através do uso de um rastreador solar. Os módulos solares em geral possuem uma eficiência muito baixa. Desta forma, este projeto consiste na construção de um seguidor solar automático para obtenção de uma maior eficiência energética, por parte das placas fotovoltaicas, em relação ao sistema fixo, obtendo em média, aproximadamente 18% de incremento energético. O rastreador desenvolvido tem apenas um grau de liberdade, sendo formado basicamente por dois sensores de luminosidade (LDR1 e LDR2), um atuador, um PIC 16F877A e a estrutura mecânica, que serve de base para o módulo fotovoltaico. Este projeto se mostrou útil pelo aumento da eficiência energética aliado a sua simplicidade construtiva.

Palavras-chave: Eficiência, Seguidor Solar, Sensores, Atuador.

ABSTRACT

This project was designed to increase the energy efficiency of photovoltaic panels by using a solar tracker. The solar modules generally have a very low efficiency. Thus, this project consists of the construction of an automatic solar tracker for achieving greater energy efficiency by the photovoltaic panels, in relation to a fixed system, obtaining in average, approximately 18% higher energy. The tracker developed has only one degree of freedom, being formed essentially by two light sensors (LDR1 and LDR2), an actuator, a PIC 16F877A and mechanical structure, which serves as basis for the photovoltaic module. This project proved useful for increasing energy efficiency combined with its constructive simplicity.

Keywords: Efficiency, Solar Follower, Sensor, Actuator.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I - RASTREADORES E A ENERGIA FOTOVOLTAICA	1
1.1 INTRODUÇÃO	1
1.2 JUSTIFICATIVA.....	3
1.3 ENERGIA SOLAR E AS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS.....	4
1.4 ESTADO DA ARTE DOS RASTREADORES SOLARES.....	9
 CAPÍTULO II - CARACTERÍSTICA DOS RASTREADORES SOLARES	14
2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	14
2.2 RASTREADORES SOLARES	14
2.3 RASTREADORES PASSIVOS	15
2.4 RASTREADORES ATIVOS	17
2.4.1 RASTREADOR SOLAR DE UM EIXO - AZIMUTAL.....	17
2.4.2 RASTREADOR SOLAR DE UM EIXO - HORIZONTAL	18
2.4.3 RASTREADOR SOLAR DE UM EIXO - POLAR	19
2.4.4 RASTREADOR SOLAR DE DOIS EIXOS	20
2.5 RASTREADORES CRONOLÓGICOS.....	21
2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	22
 CAPÍTULO III - DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO DE RASTREAMETO SOLAR.....	23
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	23
3.2 FLUXOGRAMAS DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE RASTREAMENTO	24
3.3 COMPONENTES DO SISTEMA.....	25
3.3.1 SENSORES.....	25
3.3.2 ATUADORES	28
3.3.3 MICROCONTROLADOR.....	32
3.3.4 CHAVES ESTÁTICAS.....	33
3.3.5 OPTOACOPLADOR.....	34
3.3.6 FONTE SIMÉTRICA	35
3.3.7 FONTE SIMÉTRICA	36
3.4 SIMULAÇÃO E MONTAGEM DO PROJETO.....	37
3.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	48

CAPÍTULO IV – CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
ANEXO A	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Perfil do consumidor de energia elétrica no Brasil.....	1
Figura 1.2. Reações nucleares na superfície do sol.....	4
Figura 1.3. Movimento rotacional	5
Figura 1.4. Movimento de translação da terra	6
Figura 1.5. Ângulos de incidência direta, inclinação do painel e azimuth terrestre	7
Figura 1.6. Ilustração do efeito foto elétrico.....	8
Figura 1.7. Modelo de um seguidor sem bateria	10
Figura 1.8. Painéis com ângulos de 165° a 175° entre si	11
Figura 1.9. Circuito de alimentação dos motores	12
Figura 2.1. Rastreador passivo.....	15
Figura 2.2. Fluxo luminoso no início do dia	16
Figura 2.3. Rastreador solar de um eixo com característica azimutal	18
Figura 2.4. (a) Rastreador solar de um eixo horizontal.....	18
Figura 2.4. (b) Movimento do rastreador solar de um eixo horizontal.....	19
Figura 2.5. (a) Rastreador solar de um eixo polar	20
Figura 2.5. (b) Movimento do rastreador solar de um eixo horizontal.....	20
Figura 2.6. (a) Rastreador solar de dois eixos.....	21
Figura 2.6. (b) Movimento do rastreador solar de dois eixos.....	21
Figura 2.7. Representação de um sistema de rastreamento cronológico.....	22
Figura 3.1. Fluxograma de funcionamento do sistema.....	24
Figura 3.2. Resposta da resistência pela intensidade de luz do LDR.....	25
Figura 3.3. Sensor de luminosidade – LDR	26
Figura 3.4. Representação da disposição dos LDRs.....	27
Figura 3.5. Fluxo luminoso majoritário no LDR1.....	27
Figura 3.6. Fluxo luminoso majoritário no LDR2.....	28
Figura 3.7. Motor de passo utilizado no projeto.....	30
Figura 3.8. Motor de passo unipolar	31
Figura 3.9. Sistema de funcionamento do motor de meio passo unipolar usado no projeto	31
Figura 3.10. Microcontrolador PIC16F877A	32
Figura 3.11. Pinos de entrada e saída do PIC16F877A	33

Figura 3.12. Optoacoplador 4N25	34
Figura 3.13. Diagrama elétrico do optoacoplador 4N25	35
Figura 3.14. Fonte simétrica	36
Figura 3.15. Estrutura mecânica do rastreador solar.....	36
Figura 3.16. Circuito elétrico do rastreador solar no Proteus.....	37
Figura 3.17. Sequência da alimentação das bobinas do motor de passo	38
Figura 3.18. Disposição das trilhas de condução na placa fenolítica	39
Figura 3.19. Disposição dos componentes na placa fenolítica	40
Figura 3.20. Circuito de condicionamento dos sinais dos sensores no Proteus	40
Figura 3.21. Circuito de condicionamento dos sensores	41
Figura 3.22. Circuito de controle em conjunto com o circuito condicionamento do motor de passo.....	41
Figura 3.23. Protótipo completo do rastreador	42
Figura 3.24. Sequência de alimentação para sentido LDR1 com luz (anti-horário)	43
Figura 3.25. Sequência de alimentação para sentido LDR2 com luz (horário)	44
Figura 3.26. Alimentação nas extremidades da bobina - motor parado	45
Figura 3.27. Potência ao longo do 1º dia, obtida para o módulo fotovoltaico em sistema fixo e em sistema móvel.....	46
Figura 3.28. Potência ao longo do 2º dia, obtida para o módulo fotovoltaico em sistema fixo e em sistema móvel.....	47
Figura 3.29. Potência ao longo do 3º dia, obtida para o módulo fotovoltaico em sistema fixo e em sistema móvel.....	47

CAPÍTULO I – RASTREADORES E A ENERGIA FOTOVOLTAICA

1.1 INTRODUÇÃO

O fornecimento seguro e crescente da energia elétrica torna-se um dos requisitos básicos do mundo contemporâneo. A sociedade moderna tem a energia elétrica como necessidade fundamental para o desenvolvimento da economia de diversos ramos ligados à agricultura, indústria e serviços, tornando possível e indispensável o seu uso para o desenvolvimento humano (ABREU, 2009).

O incremento na demanda de energia, ocasionado pelo crescimento populacional vem acarretando sérios problemas ambientais (IDEC, 2005). A Figura 1.1 mostra o crescimento do consumo de energia elétrica para todas as classes de consumidoras.

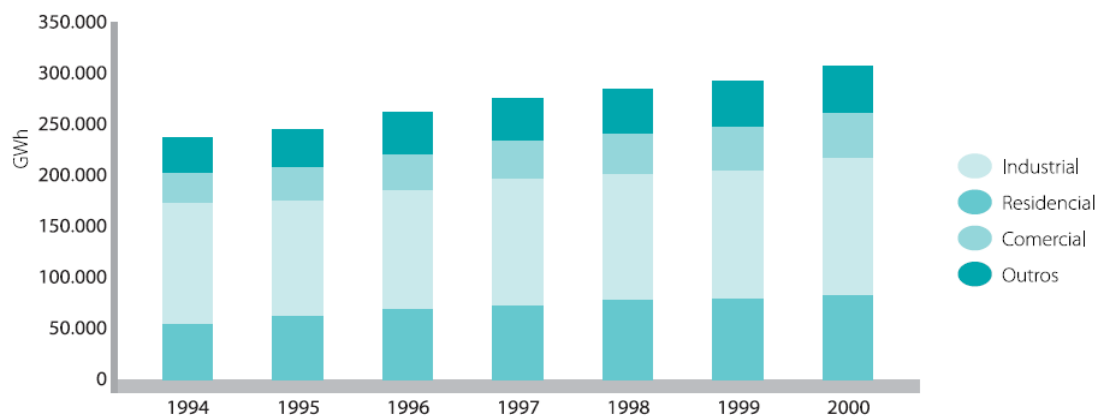


Figura 1.1. Perfil do consumidor de energia elétrica no Brasil
Fonte; PROCEL, 2001, apud IDEC, 2005.

Problemas ambientais são gerados pelas diversas formas de produção de energia e podem ser representados pela poluição do ar; o aumento do efeito estufa, que vem interferindo na temperatura da Terra, ocasionando o aquecimento global; vazamento de radioatividade, como o presenciado em Fukushima no Japão em meados de março de 2011 e, principalmente a

diminuição de fontes de energias não renováveis como petróleo, carvão mineral, gás natural, bem como a redução de urânio.

Desta forma, é extremamente importante o desenvolvimento de políticas públicas para a geração de energia que sejam compatíveis com a capacidade de recuperação dos recursos ambientais e, conseqüentemente, venham minimizar ou até mesmo eliminar os problemas ambientais gerados pela produção de energia elétrica, tornando desse modo, harmoniosa a relação homem natureza.

A gravidade dos impactos ambientais está intimamente ligada ao tipo de fonte de energia usada na geração da eletricidade (IDEC, 2005). Neste sentido, a procura por novos métodos de conversão de energia vem ampliando paulatinamente. A civilização está entrando em uma nova era, em um momento de buscar novas formas de produção de energia que forneça a possibilidade de desenvolvimento atrelado à sustentabilidade do meio ambiente, conhecidas como fontes de energia renováveis.

O termo fontes de energia renováveis emana não apenas de uma opção relativamente eficiente e pouco poluente, ele é sinônimo de uma energia limpa e inesgotável, encontrada de maneira fácil na natureza (CRISPIM, 2010).

Segundo o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica - CRESESB, a energia solar é considerada como pura e inesgotável sendo fornecida, em um ano, o valor energético superior a 10.000 vezes o consumo anual da energia bruta utilizada pela humanidade. Desse modo, a referida energia surge como uma importante alternativa no que tange a produção de energia elétrica a partir de células fotovoltaicas.

Neste sentido, o presente trabalho busca realizar um estudo que permita o aperfeiçoamento da produção de energia elétrica a partir da energia solar, mediante o desenvolvimento de um rastreador solar que possibilite uma maior incidência dos raios solares sobre as células fotovoltaicas, incrementando a transformação de energia solar em energia elétrica.

1.2 JUSTIFICATIVA

O futuro do uso da energia está intrinsecamente relacionado com o aproveitamento e o uso de energias renováveis e alternativas. A natureza disponibiliza diversas formas de energia que, ao passar por transformações, praticamente não agredem o meio ambiente, sendo consideradas formas de energia limpa (CAMPOS et al., 2003).

Os painéis fotovoltaicos são uma alternativa de geração de energia limpa. Porém, ainda não atingiu um nível de eficiência favorável, considerando que os melhores painéis apresentam um índice de eficiência em torno de 25%. A eficiência de conversão das células fotovoltaicas é calculada através da relação entre a radiação solar incidente sobre a superfície da célula e a energia elétrica que é convertida (GREEN et al., 2000, apud CRESESB).

Desta forma, a busca por maiores rendimentos nos sistemas de energia fotovoltaica é de extrema importância. Outro aspecto a ser considerado é que a geração de energia elétrica a partir de painéis fotovoltaicos ainda hoje tem um custo relativamente alto, quando comparados a outros meios de geração convencionais. Portanto, novas tecnologias que venham a tornar esse tipo de energia mais eficiente e viável economicamente, tornam-se atraentes (BARBOSA, 2010).

O seguidor solar é um dispositivo utilizado para orientar um painel ou um arranjo de painéis fotovoltaicos, concentradores de energia, de forma que estejam sempre voltados para o sol, objetivando proporcionar uma maior incidência de raios solares perpendiculares à superfície dos mesmos. Deste modo, o rendimento do sistema aumenta com a maior incidência da energia solar.

Procurar-se através deste trabalho projetar um rastreador solar de baixo custo e de boa confiabilidade para tornar os painéis fotovoltaicos mais eficientes, favorecendo maior acessibilidade à energia fotovoltaica, ou seja, melhorando a relação custo benefício do sistema.

1.3 A ENERGIA SOLAR E AS CÉLULAS FOTOVOTÁICAS

A energia eletromagnética proveniente do Sol é gerada a partir de uma chuva de reações nucleares que ocorrem na superfície do mesmo, como ilustra a Figura 1.2 (DEMANBORO et al., 2006).

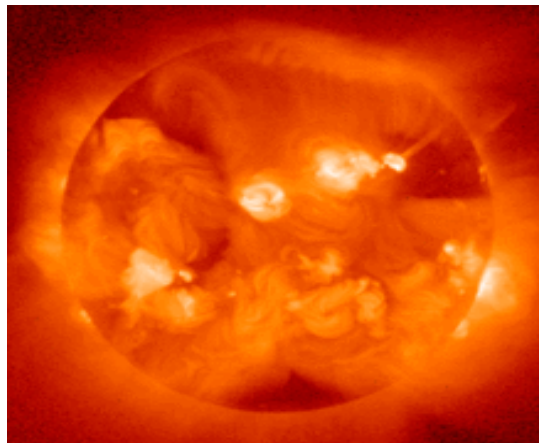


Figura 1.2. Reações nucleares na superfície do sol
Fonte: WIKIPEDIA, 2012.

Quando essa energia incide no planeta terra diversas transformações são geradas, a exemplo da mudança para energia luminosa, térmica e eólica. A energia eletromagnética proveniente do sol não é feita uniformemente por toda a terra pois depende do ângulo de incidência dos raios solares no planeta Terra, pois este ângulo influencia no fluxo de energia que a terra ou determinada região deste planeta irá absorver.

O planeta Terra realiza basicamente dois movimentos em relação ao Sol. Estes movimentos são os de rotação e translação (GRIMM, 1999). O movimento de rotação é realizado diariamente pela Terra através do giro em seu próprio eixo, como ilustrado na Figura 1.3.

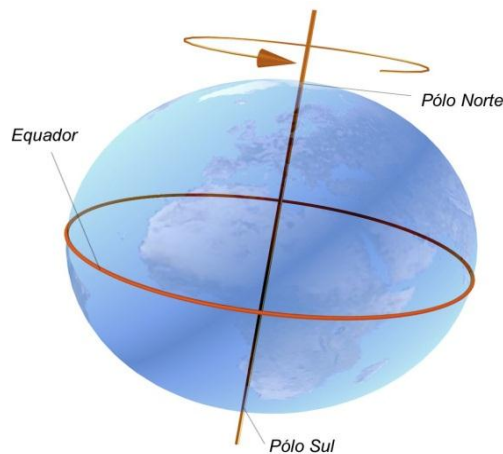


Figura 1.3. Movimento Rotacional
Fonte: NAUTILUS, 2012.

Esta circulação é feita no sentido anti-horário, de oeste para leste, com duração de aproximadamente vinte e quatro horas.

Já o movimento de translação é o movimento que a terra gira em torno do sol. Neste movimento de característica elíptica, a terra localiza-se em alguns momentos acima do eixo do equador celeste e, em outros momentos abaixo do mesmo, criando uma diferença de irradiação solar por determinados períodos, que são conhecidas como as estações do ano.

A inclinação dessa trajetória em relação ao equador celeste é de aproximadamente 23° , no afélio e no periélio. O Afélio é o período que a Terra está a uma distância maior em relação ao Sol, com 23° abaixo da linha do equador celeste, provocando o Inverno. O periélio é o período em que a Terra está mais próxima do Sol, com 23° acima do equador celeste, proporcionando o verão. A Figura 1.4 ilustra esse movimento com seus respectivos ângulos.

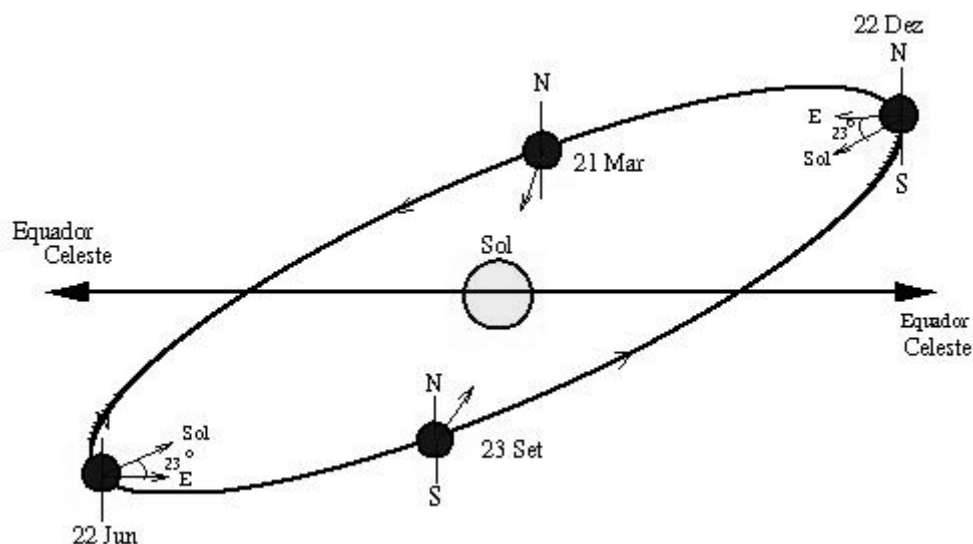


Figura 1.4. Movimento de translação da Terra
Fonte: ANGELISA, 2012.

No movimento de translação da Terra em relação ao Sol a mesma recebe 1410 W/m^2 de energia (medição feita numa superfície normal em ângulo reto com o Sol), sendo aproximadamente 19% dessa energia absorvida pela atmosfera e 35 % refletida pelas nuvens. Ao passar pela atmosfera terrestre, a maior parte da energia solar está na forma de luz visível e luz ultravioleta (SCHORR, 2010).

Uma forma para aproveitar e transformar a energia solar em energia elétrica é através das células fotovoltaicas, que se caracterizam por serem fotossensíveis à luz e, portanto, apresentarem a propriedade de converter parte da luz incidente em energia elétrica.

O ângulo de incidência dos raios solares em relação à superfície das células fotovoltaicas é de extrema importância para o maior aproveitamento desta energia. Estes ângulos estão em plena mutação durante os dias e anos, conforme pode ser observado na Figura 1.5.

Na figura 1.5, observam-se retas e ângulos, que são descritas da seguinte forma: r é a reta auxiliar ao plano local, n é a reta normal ao plano, s é a reta que vai da Terra ao centro do Sol e Z é o zênite local; β é o ângulo de inclinação do painel, α é o ângulo de altitude solar, θ_s é o ângulo de incidência direta, θ_z é o ângulo de zênite, γ_s é o ângulo de azimute solar e γ o ângulo de azimute da superfície.

Ainda na Figura 1.5, pode-se observar que o ângulo de incidência direta (θ_s) sobre uma superfície é formado pela reta normal desta e o vetor Sol-Terra. O ângulo de azimute da superfície (γ) é medido entre a projeção da normal da superfície no plano horizontal e o meridiano local e o ângulo de inclinação da superfície (β) o qual é medido em relação ao plano horizontal.

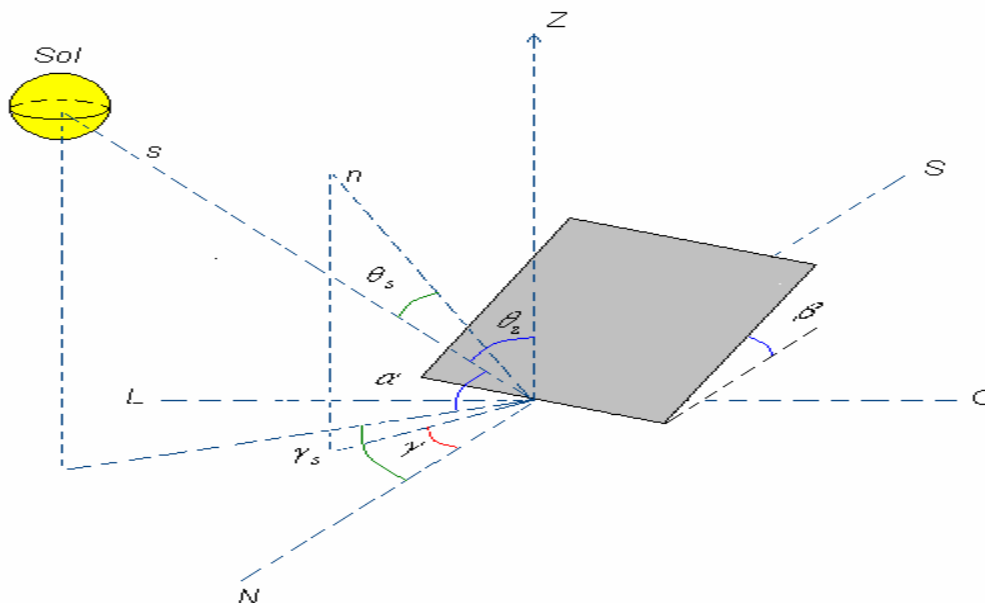


Figura 1.5. Ângulos de incidência direta, inclinação do painel e azimute terrestre
Fonte: OLIVEIRA, 2008.

Parte dos ângulos discutidos na figura anterior servirá de base para o entendimento dos movimentos das células fotovoltaicas ilustrados no Capítulo II.

Além dos ângulos de incidência da luz nas células fotovoltaicas, as características do material que compõe as mesmas são de extrema importância para a relação da transformação de energia luminosa em energia elétrica, de modo que, através da absorção da luz, parte dessa energia é coletada pelo material semiconductor que compõe a célula, levando pacotes de energia para a liberação de elétrons deste material, como ilustra a Figura 1.6 (RESENDE, 2004).

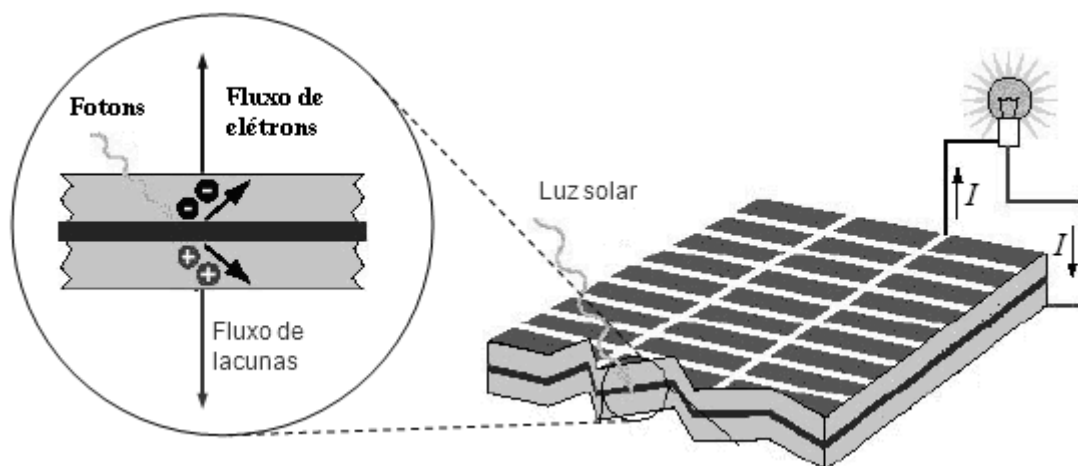


Figura 1.6. Ilustração do efeito foto elétrico

Fonte: EMANUEL, 2009.

Desse modo, parte da luz é absorvida pelo material semicondutor quando a mesma incide na célula fotovoltaica, ou seja, os pacotes de fótons são transferidos para as placas e alguns elétrons são excitados. Os fótons absorvidos pelo material semicondutor permitem que os elétrons sejam liberados da última camada de energia, também denominada camada de valência, de forma que os mesmos se tornam livres.

Considerando que as placas fotovoltaicas são conectadas a baterias para captação da energia elétrica gerada, os campos elétricos gerados por estas baterias farão com que os elétrons excitados pela luz fluam em um determinado sentido, podendo assim extrair esta corrente para uso externo.

Vários fatores são levados em consideração para uma maior conversão de energia, como por exemplo, a qualidade, a quantidade e o tamanho das placas fotovoltaicas. Além dessas características, outra maneira de melhorar a eficiência desse sistema energético é adequar à captação solar. Para tanto, é necessário que a incidência dos raios solares seja perpendicular às células, ou o mais próximo possível, o que promove um maior aproveitamento de energia solar (VÉRAS, 2004).

Uma forma de corrigir a incidência dos raios solares pode ser através de um equipamento conhecido como rastreador solar (*Sun Tracker*). Este dispositivo realiza a orientação dos painéis na direção do Sol, tornando o fluxo radiante, em funcionamento ideal, sempre perpendicular às placas. Os

rastreadores são caracterizados como passivo, ativo e cronológico. Vale destacar que os mesmos estão abordados no capítulo II.

Neste sentido, nos últimos anos vários pesquisadores desenvolveram pesquisas e equipamentos de rastreamento solar, os quais são descritos sucintamente em alguns trabalhos respeitáveis no contexto atual, conforme revisão da literatura apresentada a seguir.

1.4 ESTADO DA ARTE DOS RASTREADORES SOLARES

Existem diversos trabalhos inerentes ao desenvolvimento e construção de rastreadores solares voltados tanto para os sistemas passivos, que têm um funcionamento mais simples, quanto para os sistemas ativos, que tem características de maior complexidade. A eficiência dos rastreadores solares está relacionada com a maximização da conversão de energia solar em energia elétrica.

Neste referencial teórico, são descritos trabalhos desenvolvidos, seguindo uma ordem crescente de complexidade, com diferentes métodos para criação de rastreadores.

Lorenzo (2003) apud Adán (2007) afirma que, mediante estudos de campo, o uso dos rastreadores solares em sistemas fotovoltaicos tem obtido em média, eficiência superior a 20% em relação aos sistemas fixos.

Em 1998, Poulek & Libra descreveram um rastreador que não necessita de baterias para a sua alimentação. O movimento realizado pelo eixo do motor de corrente contínua, tem como força eletromotriz uma célula fotovoltaica extra, que é posicionada a um ângulo de 20° em relação ao eixo Leste e a 90° em relação aos painéis fotovoltaicos, como ilustrado na Figura 1.7 (POULEK e LIBRA, 1998).

Estes autores afirmam ainda que, quando o Sol nasce a incidência no painel extra fará com que haja energia suficiente para acionar o motor CC até o momento em que o Sol se posicione a oeste, em relação à célula extra. Desse modo, para que o sistema retorne a posição inicial, haverá o acionamento do motor no sentido contrário. Neste trabalho não houve necessidade de um circuito de controle já que as células extras realizam o acionamento e a parada

do motor. Este dispositivo pode realizar movimentos no sentido leste-oeste ou polar.

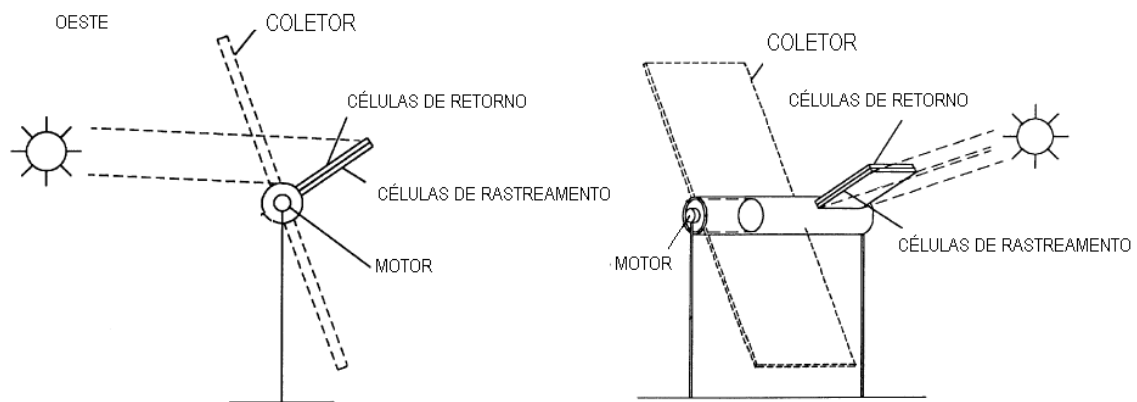


Figura 1.7. Modelo de um seguidor sem bateria

Fonte: POULEK, 1998.

Outro trabalho que não necessita de bateria e nem circuito de controle foi o proposto por Karimov et al. (2005), apud Oliveira (2008), uma vez que o movimento de um motor CC é alimentado pelos próprios painéis solares, onde os mesmos estão posicionados em ângulos de 165° a 175° entre si, como mostra a Figura 1.8. Neste sistema o sensoriamento é feito pelos próprios painéis, nos quais a diferença de tensão entre os pares de células acionará um motor para que as tensões sejam neutralizadas (OLIVEIRA, 2008). Este seguidor é de característica polar e tem um desvio de 10% positivamente e negativamente.

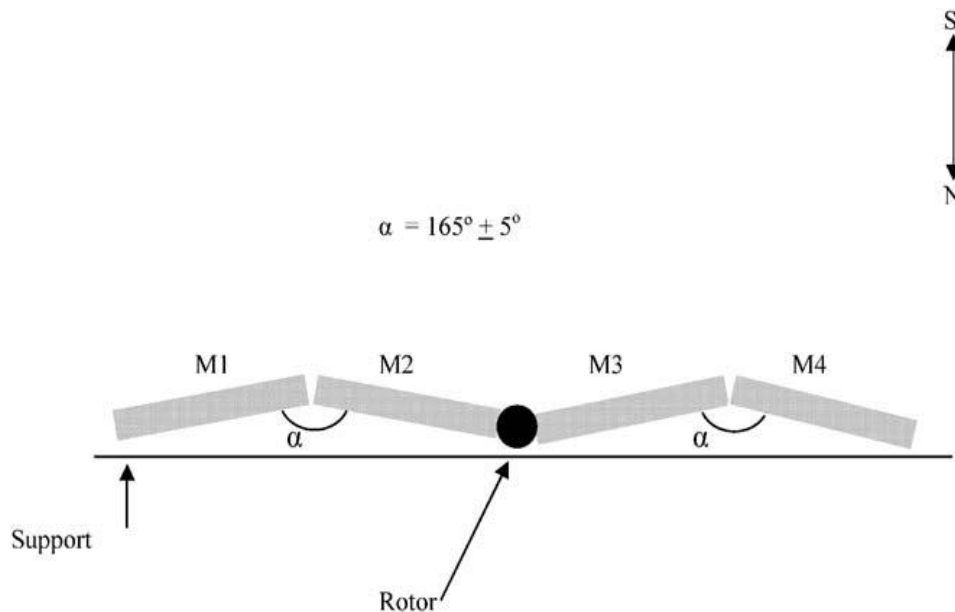


Figura 1.8. Painéis com ângulos de 165° a 175° entre si

Fonte: KARIMOV et. al., 2005.

Oliveira (2007) apresenta um seguidor solar, de característica polar, que também dispensa o uso de baterias para o acionamento do motor, de forma que a alimentação do motor e do circuito de controle é feita diretamente pelos painéis fotovoltaicos. São usados dois sensores de luz (LDR – Light Dependent Resistor). Estes sensores são compostos por sulfeto de cádmio (CdS) ou seleneto de cádmio (CdSe) e tem a sua resistência alterada inversamente proporcional à quantidade de luz incidente no mesmo. Estes sensores estão dispostos na parte superior das placas e com um obstáculo entre eles para que haja um sombreamento sempre que os mesmos não estiverem alinhados ao sol (frontalmente ao Sol). Um sistema de engrenagens com caixa de redução, contrapeso e carretel para os painéis é utilizado de forma que seja realizada a movimentação do rastreador.

Já Rizk & Chaiko (2008), mostram os benefícios de um sistema de rastreamento solar usando um motor de passo, um circuito microcontrolado alimentado por uma bateria de 12 V e uma lógica baseada na comparação de tensão de saída de dois LDRs.

Christopher et al. (2011), apresenta um projeto de hardware que garante um perfil perpendicular do sistema de rastreamento em relação ao sol, de forma a extrair o máximo de energia luminosa sobre o mesmo. São utilizados

sensores LDRs com um sistema de controle que gera energia adicional de 25% a 30% com eficiência e baixo custo. A lógica do circuito, mostrada na Figura 1.9, é baseada no acionamento do motor CC através da comparação de tensão dos sensores, em que o fechamento de apenas um dos contatores dará um sentido de rotação (horário ou anti-horário).

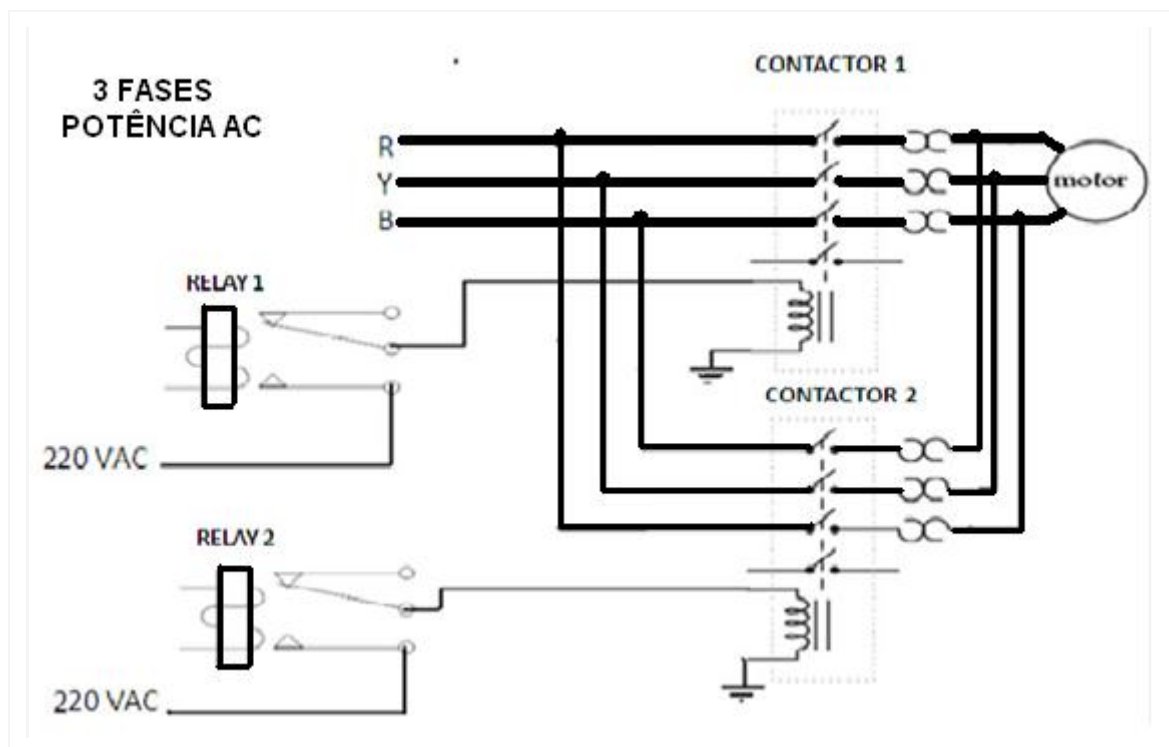


Figura 1.9 Circuito de alimentação dos motores

Fonte: CHRISTOPHER, 2011.

Mavromatakis et al. (2008), apud Oliveira (2008), apresenta um projeto no qual foi desenvolvido um novo seguidor solar de característica azimutal. Neste projeto é realizado o movimento de correção do azimute, através de uma mecânica com um sistema de engrenagens e apenas um motor elétrico. Além desse movimento, existe o ajuste da inclinação em relação ao solstício de verão e inverno, feito de forma manual, o que gera um ganho de até 98% em relação aos seguidores de dois eixos automáticos.

Uma nova estrutura mecânica para os seguidores solares é apresentada por Kadir et. al. (2010), na qual um microcontrolador PIC 18F4560 é o dispositivo que permite uma simples estratégia de programação através da linguagem C, que controla a rotação de motores nos eixos X e Y, através da

intensidade de radiação de energia solar que é captada por um dispositivo sensível à luz ultravioleta conhecido como Pirômetro. O sistema foi testado e os resultados mostram um impacto de extrema significância sobre a concepção mecânica, algoritmo de controle e custo de desenvolvimento.

Finalmente foi desenvolvido por Canãda et al. (2007), apud Oliveira (2008), um seguidor de dois eixos utilizado para medidas de radiação solar através de um espectro radio-métrico. Com um sistema totalmente controlado por um computador, na concepção de software e hardware, em que o software é desenvolvido em um compilador C, são utilizados dois motores de passo para o posicionamento do rastreador em relação ao Sol com um cálculo cronológico.

Portanto, observa-se que diversos rastreadores solares estão disponíveis no mercado. Porém, algumas dificuldades são encontradas para a aquisição desse sistema, o que acaba restringindo o seu uso. Uma delas deve-se aos rastreadores comerciais existentes serem, na sua grande maioria, importados, o que eleva o custo de um sistema de rastreamento para geração de energia fotovoltaica. Outra dificuldade fica por conta da manutenção destes rastreadores, que por utilizarem componentes que muitas vezes não são encontrados no mercado local, torna-se necessário importá-los, implicando em um tempo indesejado para a manutenção e consequentemente na perda de geração de energia fotovoltaica.

Nesse contexto, além deste capítulo introdutório, este trabalho é composto pelos capítulos:

Capítulo II: Características dos Rastreadores Solares; Este capítulo realizará uma abordagem histórica dos rastreadores solares discutindo as suas características de funcionamento bem como as tecnologias usadas para construção dos mesmos.

Capítulo III: Desenvolvimento do protótipo de rastreamento solar; Neste capítulo serão discutidos os elementos físicos que compõem o protótipo de rastreador solar, de modo a compreender o seu modo de funcionamento.

Capítulo IV: Conclusão; Serão discutidas a viabilidade do projeto e as necessidades de melhoramento do mesmo.

CAPÍTULO II - CARACTERÍSTICA DOS RASTREADORES SOLARES

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este capítulo descreve uma introdução histórica dos rastreadores solares bem como as suas características de funcionamento, discutindo as tecnologias relacionadas à sua construção através da necessidade de alimentação, dos tipos de movimentos de rastreamento e do sistema de sensoriamento dos mesmos.

2.2 RASTREADORES SOLARES

O emprego de sistemas de rastreamento solar não era bem visto pela comunidade acadêmica no início das aplicações de sistemas fotovoltaicos. Esta desconfiança se dava devido ao risco de ocorrerem falhas deixando os módulos fotovoltaicos numa posição em que a conversão média diária de energia coletada fosse muito baixa. Porém, com o desenvolvimento dos estudos, percebeu-se que os rastreadores podem ser confiáveis, além da simplicidade e benefícios consideráveis alcançados com a utilização dos mesmos (VERAS, 2004).

O seguidor solar é um dispositivo utilizado para orientar um painel ou um conjunto de painéis fotovoltaicos, fazendo com que estes estejam sempre voltados para o Sol, de modo que absorvam os raios solares perpendicularmente. Desta forma, o “fluxo” de raios incidentes na superfície do painel fotovoltaico aumenta e consequentemente o rendimento da transformação de energia solar em elétrica também.

Segundo Marques (2012), os seguidores solares são divididos basicamente em três tipos, passivos, ativos e cronológicos. Estas topologias são discutidas nos próximos tópicos, elucidando suas características e modo de funcionamento.

2.3 RASTREADORES PASSIVOS

Os seguidores solares de característica passiva, como o apresentado na Figura 2.1, necessitam, para o seu funcionamento, de um conjunto impulsor baseado no deslocamento de um fluido, geralmente na forma de gás. Este fluido, quando aquecido pela energia solar, será deslocado dentro da sua estrutura mecânica, gerando um novo ponto de equilíbrio através da mudança da força de gravidade do coletor solar (ADÁN, 2007).



Figura 2.1. Rastreador passivo

Fonte: CRESESB, 2012.

Esse sistema tem dois cilindros localizados nas extremidades leste e oeste com um tubo que faz a comunicação entre os mesmos, implicando em um movimento em relação ao eixo polar. A incidência solar será diferente quando o ângulo dos raios solares incidirem com valores diferentes nos cilindros do rastreador. Esta diferença fará o fluido de um cilindro dilatar mais que o outro, fazendo com que o mesmo se desloque pelo tubo de ligação, e a força da gravidade se iguale com o peso redistribuído de um cilindro para o outro. O fluido utilizado, geralmente, é o Freon.

Com a incidência dos raios solares há uma constante movimentação de fluido dentro da estrutura, mesmo quando o seguidor estiver parado, buscando igualar constantemente a força peso dos dois cilindros.

Quando este tipo de rastreador trabalha em altas temperaturas, o mesmo se torna mais eficiente (ABOUZEID, 2001, apud VERAS, 2004), porém existe a desvantagem de sofrerem distúrbios pela força do vento e pela falta parcial de radiação solar, como dias nublados, diminuindo a captação de

energia diariamente (CLIFFORDET et. al., 2004, apud VERAS, 2004). Para contrastar a força do vento, Zomeworks (2007), apud Adán (2007), propõe o uso de amortecedores hidráulicos e Marques (2012) defende a necessidade de mecanismos para o uso de lubrificantes bastante viscosos, de forma a prevenir estes movimentos bruscos no sistema.

Outro problema é observado quando o Sol nasce, pois o módulo está virado para o oeste, ocasionando uma redução na energia captada diariamente. Assim para a placa solar retornar a sua face para o leste é necessário que haja incidência solar apenas no tubo do lado oeste da placa, que acontecerá através de uma construção mecânica na qual não permitirá a incidência do fluxo luminoso no tubo do lado leste no início do dia, causando assim o deslocamento do fluido do tubo do lado oeste para o tubo do lado leste, até haver o equilíbrio das forças. A Figura 2.2 representa o seguidor polar passivo, fazendo referência da proteção de isolamento às incidências solares, relacionando-as ao movimento do módulo rastreador.

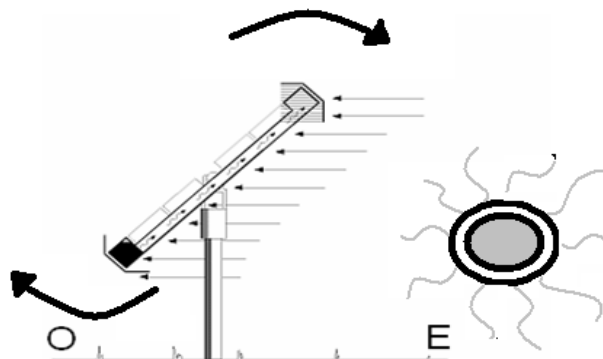


Figura 2.2. Fluxo luminoso no início do dia

Como pode ser observado na Figura 2.2, no início do dia o fluxo luminoso atingirá somente o líquido que se encontra ao lado esquerdo (oeste) do protótipo fazendo com que este fluido se desloque para o lado direito (leste) do sistema e haja o movimento para posição inicial da placa.

2.4 RASTREADORES ATIVOS

Os seguidores com denominação ativa devem-se a necessidade de consumirem energia para o seu funcionamento, em contraponto aos passivos, discutidos anteriormente. Estes seguidores são compostos basicamente por sensor, controlador e atuador. Estes elementos que compõem os seguidores ativos são constituídos por elementos baseados em eletrônica analógica ou digital, priorizando sempre a confiabilidade do sistema.

A alimentação do seguidor solar, na maioria dos sistemas comerciais, é feita por uma bateria que acompanha o grupo de conversão solar (célula fotovoltaica, inversor, controlador de carga e bateria), podendo ser alimentado também pela própria célula fotovoltaica. Outro ponto a ser enfatizado é que estes seguidores existentes no mercado são diferenciados pelo número de movimentos automáticos que realizam e o volume de trabalho que podem realizar (IEC, 2007, apud ADÁN, 2007). Os seguidores solares também podem ser de um eixo azimutal, horizontal e polar ou de dois eixos.

2.4.1 RASTREADORES SOLAR DE UM EIXO - AZIMUTAL

Os seguidores ativos de um eixo com característica azimutal se movimentam sobre o eixo vertical e a superfície dos painéis tem uma inclinação igual latitude do lugar da instalação para obter um melhor rendimento ao longo do ano. O valor do ângulo de azimute do Sol influencia de forma direta no movimento do rastreador. Este modelo apresenta sempre o mesmo ângulo em relação à altitude, o que acaba restringindo a eficiência em relação a outros seguidores. A Figura 2.3 representa o sistema abordado neste tópico.

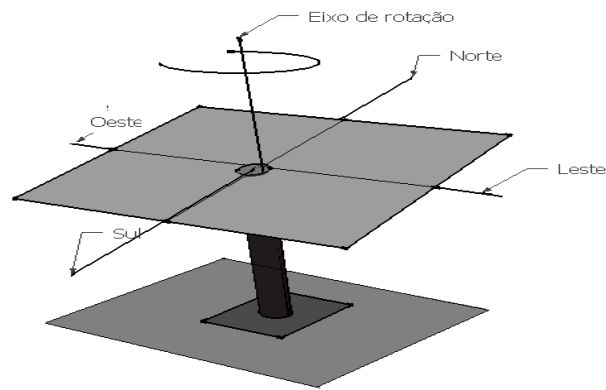


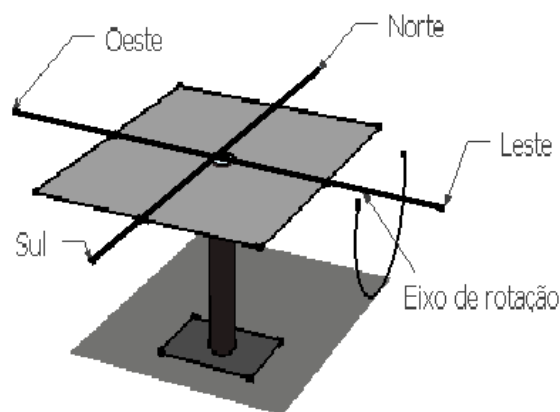
Figura 2.3. Rastreador solar de um eixo com característica azimutal

2.4.2 RASTREADOR SOLAR DE UM EIXO - HORIZONTAL

O rastreador ativo de característica horizontal tem um movimento no sentido Norte-Sul e é perpendicular ao plano horizontal no sentido Leste a Oeste. Este modelo tem a função de acompanhar o Sol nos movimentos referentes às estações do ano, ou seja, se movimenta em relação à altitude.

Na Figura 2.4(a), é representado o rastreador de um eixo do tipo horizontal e na Figura 2.4(b), é ilustrado o movimento realizado por esse rastreador solar.

Este sistema mostra-se mais eficiente que o seguidor solar de um eixo do tipo azimutal, porém ainda tem um baixo rendimento em relação aos outros seguidores, pois não apresenta um rastreamento diário, somente em relação às estações.



(a)

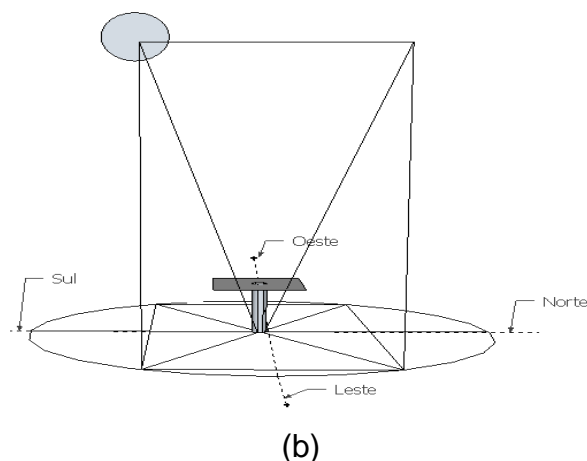


Figura 2.4. (a) Rastreador solar de um eixo horizontal (b) Movimento do Rastreador solar de um eixo horizontal

2.4.3 RASTREADOR SOLAR DE UM EIXO - POLAR

O rastreador ativo de característica polar tem o eixo orientado na direção Norte-Sul. Este rastreador acompanha o movimento latitudinal, o que faz obter um melhor desempenho em relação ao de característica horizontal, pois apresenta um melhor rastreamento com uma inclinação mais voltada para o Sol.

Para a inclinação dos módulos, no sentido da altitude, há a opção manual o que coincide com a trajetória do Sol somente nos equinócios de Primavera e Outono (ADÁN, 2007). A Figura 2.5(a) ilustra um seguidor polar de um eixo. Estes seguidores realizam o seu movimento no sentido leste-oeste, obtendo rendimento maior que o rastreador solar de um eixo – horizontal. O movimento deste seguidor é representado pela Figura 2.5(b).

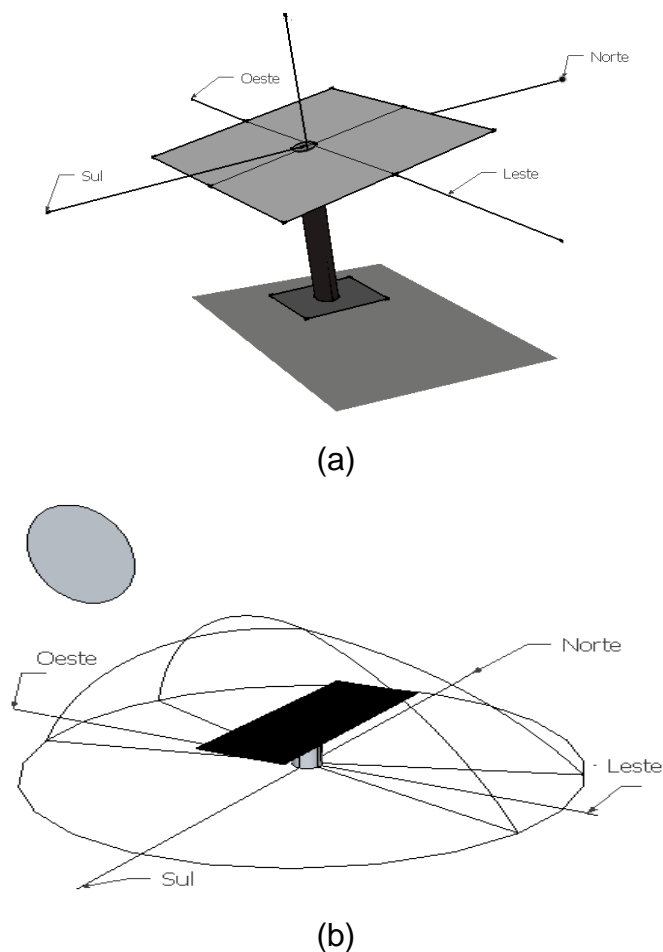


Figura 2.5. (a) Rastreador solar de um eixo polar (b) Movimento do Rastreador solar de um eixo polar

2.4.4 RASTREADORES SOLAR DE DOIS EIXOS

O rastreador solar de dois eixos é o único que a superfície do mesmo está sempre ortogonal ao Sol durante todo o dia e o ano. Pode-se observar na Figura 2.6 que o seu movimento abrange uma superfície, diferentemente dos seguidores de apenas um eixo que tem a característica linear em sua trajetória.

Esta topologia tem a melhor conversão de energia, pois é o sistema que possibilita o acompanhamento de todos os movimentos solares. Em contrapartida este sistema é aquele que tem o maior custo de produção, pois necessita de dois atuadores para realização do seu rastreamento.

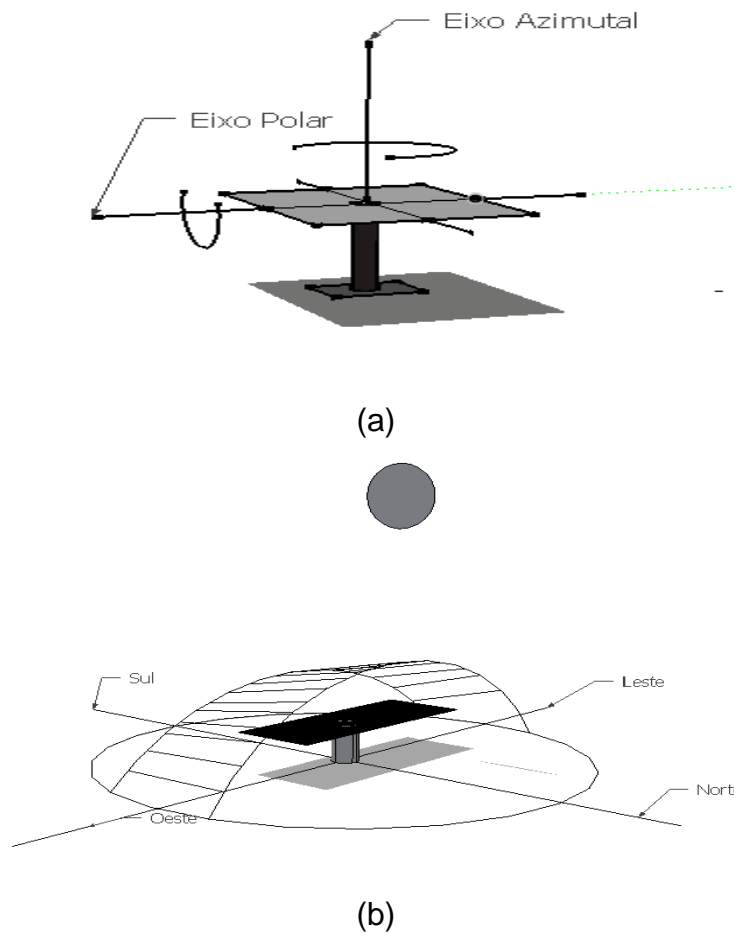


Figura 2.6. (a) Rastreador solar de dois eixos (b) Movimento do Rastreador solar de dois eixos

2.5 RASTREADORES CRONOLÓGICOS

O rastreador cronológico é um modelo que neutraliza a rotação da terra, ou seja, tende a ficar parado em relação ao Sol, através de um controle de movimento do módulo fotovoltaico, em que a variação dos ângulos é realizada com o tempo e posição do módulo em relação ao Sol.

O sistema microcontrolado é definido por funções em que o tempo determinará a posição dos painéis. A Figura 2.7 ilustra um sistema de rastreamento em que o microcontrolador é controlado por um relógio externo para efetuar o posicionamento dos painéis.

Este sistema tem a vantagem de não usar o sensoriamento para rastreamento do Sol, o que reduz os custos do rastreador. Porém existe a

desvantagem na dificuldade de projeção dos movimentos solares, já que os cálculos destes movimentos são de extrema importância para o sistema ter o maior aproveitamento de energia.

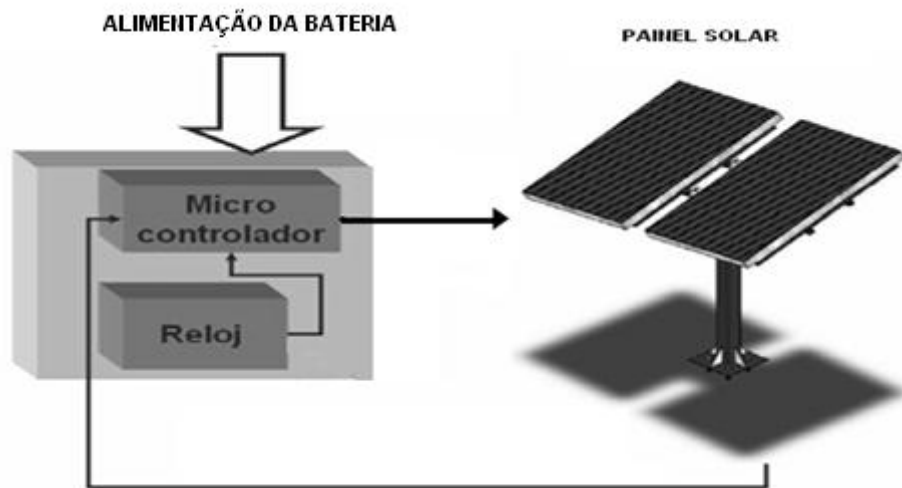


Figura 2.7. Representação de um sistema de rastreamento cronológico

Fonte: ADÁN, 2007 (Modificado).

2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo explorou os princípios de funcionamento dos rastreadores solares, buscando desta forma esclarecer as características relacionadas às tecnologias de construção dos mesmos. Assim, foram abordados os rastreadores passivos, com um grau de liberdade, os rastreadores ativos, com um e dois graus de liberdade e, por último, os rastreadores cronológicos, abordando dessa forma todas as topologias de rastreamento existentes.

CAPÍTULO III - DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO DE RASTREAMETO SOLAR

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste capítulo são discutidos os elementos físicos constituintes do protótipo do rastreador solar, visando compreender o seu modo de funcionamento.

A diversidade de propostas e desenvolvimento de modelos para rastreamento solar é enorme. Assim, uma forma prática foi desenvolvida com auxílio de dois sensores e apenas um motor de passo, tendo como diferencial a sua simplicidade mecânica.

O protótipo de rastreamento solar desenvolvido tem movimento latitudinal (movimento leste-oeste), isto é, um grau de liberdade. O elemento impulsor é um motor de passo acoplado diretamente a uma placa de madeira, a qual visa fornecer o suporte para o painel fotovoltaico. A fonte de energia que alimenta o sistema de controle e o motor de passo é de 5 V em corrente contínua (CC).

Para monitorar o movimento do sol são utilizados dois sensores do tipo LDR (Light Dependent Resistor) que variam as resistências com a variação da luminosidade, fornecendo uma determinada tensão de característica analógica como sinal de entrada para o microcontrolador, no qual através da lógica presente no programa, ativará, ou não, o circuito de acionamento do motor de passo para realização do rastreamento no sentido leste-oeste ou oeste-leste.

O sistema de controle faz uso de um microcontrolador PIC16F877A e um circuito eletrônico, formado pelo circuito condicionador de sinais e por um circuito de acionamento do motor de passo, de forma a realizar o movimento de rastreamento da estrutura. Vale destacar que o microcontrolador foi programado na linguagem C.

3.2 FLUXOGRAMAS DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE RASTREAMENTO

O fluxograma ilustrado na Figura 3.1, foi desenvolvido para ilustrar como é realizado o rastreamento, baseado no funcionamento do rastreador solar.

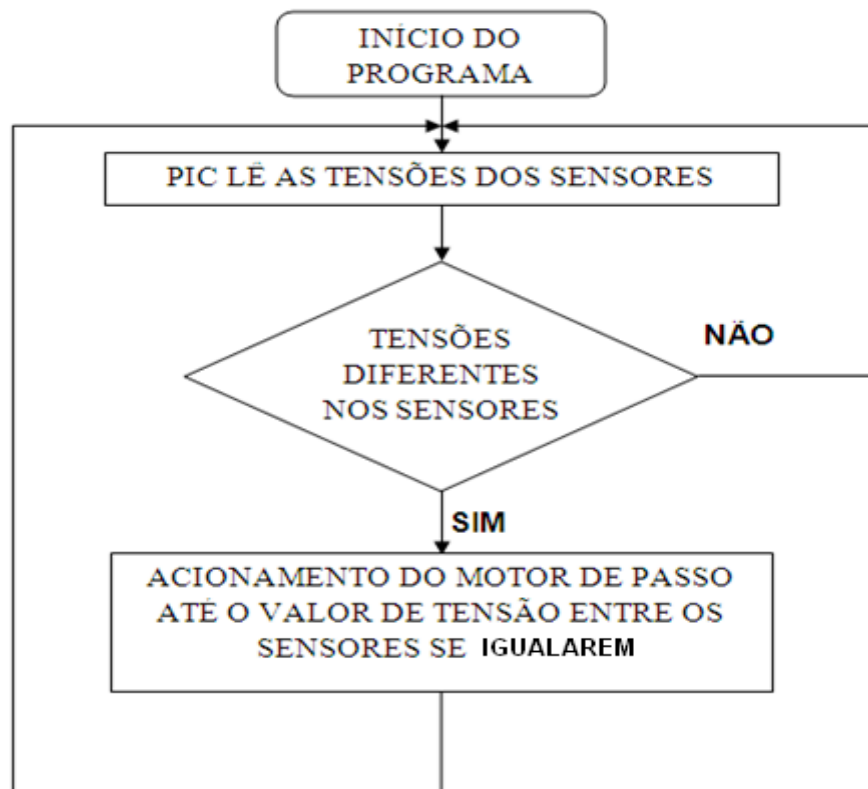


Figura 3.1. Fluxograma de funcionamento do sistema

No momento que é iniciado o programa, o PIC realizará leituras nas tensões dos sensores LDR. Caso estas sejam diferentes, o microcontrolador enviará um sinal para o circuito atuador (motor), de forma que as tensões fornecidas pelos LDRs ao PIC se igualem. Caso os sensores voltem a apresentar tensões diferentes o processo se reiniciará.

As leituras de tensão dos sensores de luminosidade são as entradas do sistema. Essas entradas são lidas na forma de tensão, servindo como entrada para a lógica de controle implementada no microcontrolador de acordo com a lógica programada, fornecendo desta forma, o comando de movimento para o motor de passo.

Não existe realimentação para o funcionamento deste protótipo, pois a posição que o motor de passo atinge não depende da última posição, apenas da sequência de alimentação que o sistema executa. A inexistência de realimentação torna o projeto mais simples.

3.3 COMPONENTES DO SISTEMA

Este tópico discute os principais componentes para confecção do rastreador solar, de modo a referenciar suas características e seu modo de funcionamento.

3.3.1 SENSORES

Os sensores usados na construção do protótipo são foto-resistivos do tipo LDR, os quais variam a sua resistência através da variação de luz. Segundo Emanuel (2009), o Sulfeto de Cádmio, material formador destes sensores, caracterizam-se por um comportamento tal que a resistência diminui com o aumento da luminosidade. Com esta afirmação percebe-se que em locais “claros” a resistência de saída deste sensor será baixa, em contrapartida, em locais “escuros” a resistência de saída deste sensor será alta.

A característica de resposta dos LDRs é ilustrada na Figura 3.2, em que a mesma representa a queda no valor de resistência com o aumento da intensidade luminosa.

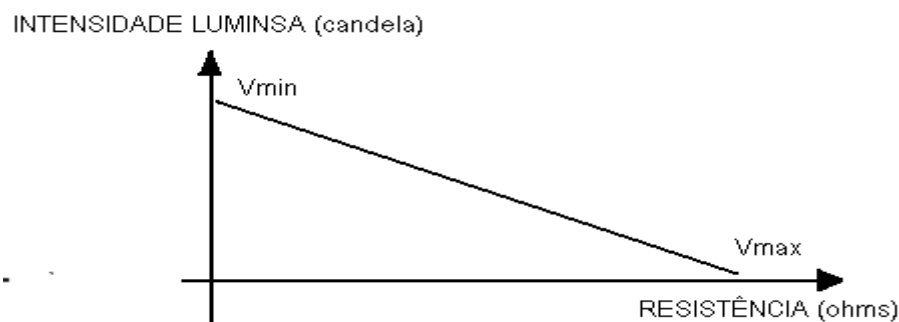


Figura 3.2 – Resposta da resistência pela intensidade de luz do LDR

Estes sensores medem grandezas analógicas (tensão) as quais são utilizadas como entradas, nos pinos A1 e A2, do microcontrolador PIC16F877A, que realizará comando para o motor de passo de acordo com a lógica do programa.

A Figura 3.3 mostra o sensor LDR com seu respectivo símbolo elétrico.

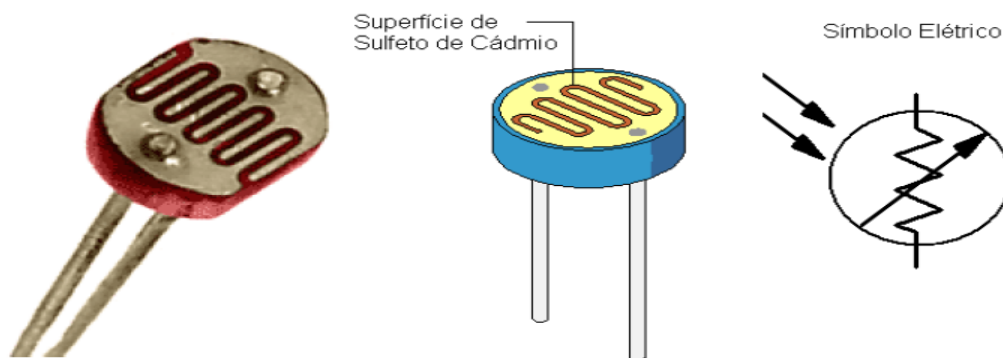


Figura 3.3. Sensor de luminosidade – LDR

Fonte: WENDLING, 2010

Os dois LDRs usados no projeto estão dispostos em um aparato que fornece um ângulo de 90° entre os mesmos. Este ângulo foi escolhido para que haja uma face do sensor voltada para o leste e a face do outro sensor para o oeste, possibilitando o rastreamento desde o início até o final do dia, através de uma lógica que compara a luminosidade do Sol a partir da tensão nos terminais dos sensores.

A Figura 3.4 mostra a disposição dos sensores utilizados para um fluxo luminoso incidindo igualmente nos dois sensores.

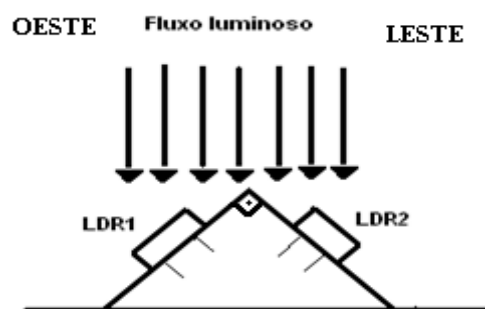


Figura 3.4. Representação da disposição dos LDRs

Como pode ser observada na Figura 3.4, quando o fluxo luminoso incide igualmente nos dois sensores, as tensões geradas pelos LDRs nas entradas RA1 e RA2 do PIC serão iguais, conseqüentemente o PIC não enviará nenhum comando para o circuito de acionamento, representando o estado de repouso.

Na condição do fluxo luminoso incidir majoritariamente no LDR1, como ilustrado na Figura 3.5, a tensão nos terminais do LDR1 será menor, implicando no acionamento do atuador para rodar no sentido de leste para oeste, devido à lógica presente no PIC, buscando assim igualar o fluxo luminoso nos dois sensores. No momento em que o fluxo luminoso nos dois sensores se igualar a tensão nos terminais dos mesmos também se igualarão, implicando na condição de parada.

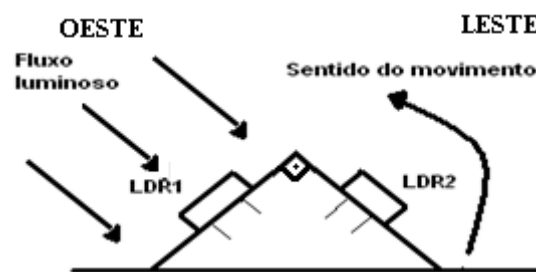


Figura 3.5. Fluxo Luminoso majoritário no LDR1

Para uma maior incidência luminosa no LDR2, como ilustrado na Figura 3.6, o PIC aciona o atuador para rodar no sentido de LDR1 para LDR2, buscando assim igualar o fluxo luminoso nos dois sensores. No momento em que o fluxo luminoso nos dois sensores se igualar a tensão nos terminais dos mesmos também se igualarão, entrando novamente na condição de parada.



Figura 3.6. Fluxo Luminoso majoritário no LDR2

O grande benefício deste tipo de sistema é a facilidade de implementação aliado ao baixo custo dos componentes elétricos e mecânicos que formam este protótipo.

3.3.2 ATUADORES

Os motores de passo são largamente empregados na eletrônica e na mecatrônica. Sua precisão aliada a sua força, fazem deste motor uma interessante ferramenta para posicionamento, realizando a transformação de pulsos elétricos em deslocamentos mecânicos. Desta maneira, o uso dos motores de passo é interessante quando se trata de uma interligação com lógicas digitais (ELETRÔNICA TOTAL, 2004).

O seu funcionamento é dado pelo uso de enrolamentos alinhados dois a dois de forma que quando energizados atrairão o rotor fazendo-o se alinhar com o eixo determinado pelos enrolamentos, gerando assim uma pequena variação rotacional que é chamada de passo (BRITES & SANTOS, 2008).

O número de passos é relacionado com o número de alinhamentos gerados entre o rotor e as bobinas, tendo um número maior de passos quanto maior for o número de bobinas.

Esses motores realizarão um determinado movimento através de uma sequência na alimentação das suas bobinas. Após realizar o movimento baseado na sequência de alimentação dos enrolamentos o motor não realizará nenhum movimento, ficando parado até que outra sequência de alimentação em suas bobinas seja realizada. A sequência utilizada para o motor de passo do projeto é determinada de acordo com a Tabela 3.1.

Para funcionamento do motor de passo, as bobinas serão alimentadas por 0 V ou 5 V, ou seja, nível baixo e nível alto, respectivamente. Como a referência do motor de passo está no nível de tensão de 5 V, a alimentação na bobina só será realizada quando o nível de tensão for igual a 0 V, pois assim haverá diferença de tensão e, conseqüentemente, a passagem de corrente. Esta alimentação é realizada por uma ou duas bobinas de uma vez, ou seja, deslocando o nível de tensão 0 V a cada passo.

A sequência realizada em uma ou duas bobinas por vez é caracterizada pela lógica ilustrada na Tabela 3.1.

A opção pela alimentação de uma ou duas bobinas do motor caracteriza “meio passo” por vez e é justificada pela redução da variação angular. Ao invés de ser realizada uma rotação de $1,8^{\circ}$ por passo, foi escolhida uma rotação de $0,9^{\circ}$ por passo, possibilitando uma maior precisão no rastreamento, já que o passo realizado pelo motor é menor.

Para o motor girar no sentido anti-horário as bobinas são alimentadas de acordo com a Tabela 3.1. Porém, caso seja necessário que o rotor gire no sentido horário, basta inverter a sequência de alimentação dos enrolamentos, sendo ilustrado na Tabela 3.2.

Tabela 3.1. Tabela de alimentação dos enrolamentos do motor (sentido anti-horário)

	A1	B1	B2	A2
Sequência 1	0	0	1	1
Sequência 2	1	0	1	1
Sequência 3	1	0	0	1
Sequência 4	1	1	0	1
Sequência 5	1	1	0	0
Sequência 6	1	1	1	0
Sequência 7	0	1	1	0
Sequência 8	0	1	1	1

Tabela 3.2. Tabela de alimentação dos enrolamentos do motor (sentido horário)

	A1	B1	B2	A2
Sequência 1	0	0	1	1
Sequência 2	0	1	1	1
Sequência 3	0	1	1	0
Sequência 4	1	1	1	0
Sequência 5	1	1	0	0
Sequência 6	1	1	0	1
Sequência 7	1	0	0	1
Sequência 8	1	0	1	1

A frequência de chaveamento foi delimitada pelo algoritmo do projeto, de modo há possibilitar um tempo necessário para que não haja consumo de

energia desnecessário. Os sensores não interferiram neste tempo já que os mesmos têm velocidade de resposta da ordem de dezenas de quilohertz, definindo-o como 1 Hz.

O motor de passo utilizado para construção do protótipo é unipolar com seis fios, ilustrado na Figura 3.7



Figura 3.7. Motor de passo utilizado no projeto

O motor de passo unipolar tem duas bobinas por fase, uma para cada sentido da corrente, conforme mostrado na Figura 3.8. Estas bobinas bifásicas podem ter os seus comuns unificados internamente, obtendo apenas cinco ligações. Porém no motor de passo utilizado, os fios são expostos e curtos-circuitados externamente.

A impedância entre o fio comum e o fio de excitação da bobina será sempre metade do valor encontrado entre os fios de excitação da bobina devido ao comprimento entre o fio comum e o fio da extremidade estarem justamente no meio das extremidades da bobina.

Nestes motores pode haver condução apenas pelos fios das extremidades das bobinas, o que não é realizado neste projeto (BRITES & SANTOS, 2008).

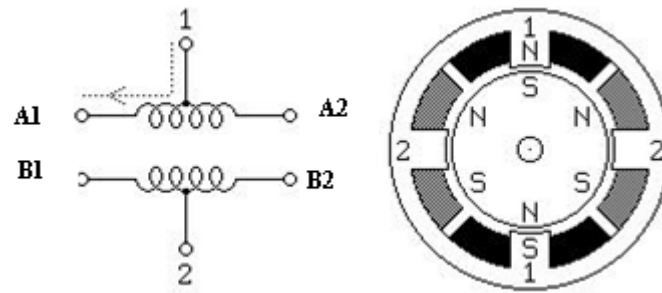


Figura 3.8: Motor de passo unipolar

Fonte: BRITES & SANTOS, 2008.

O motor terá deslocamento gerado pela excitação das suas bobinas, com característica de meio passo, sendo demonstrado na Figura 3.9 abaixo.

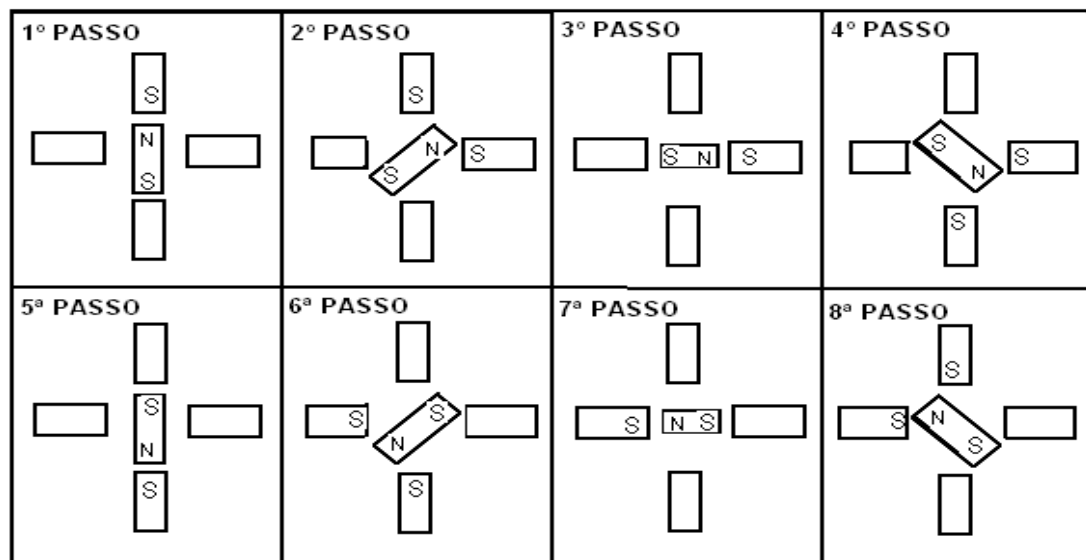


Figura 3.9. Sistema de funcionamento do motor de meio passo unipolar usado no projeto

Fonte: BRITES & SANTOS, 2008.

Os motores de passo possuem como vantagem a utilização de uma sequência lógica digital, alta precisão em seu posicionamento além da excelente resposta à aceleração e desaceleração.

3.3.3 MICROCONTROLADOR

A utilização dos microcontroladores tem contribuído para grandes transformações tecnológicas nas mais diversas áreas. Projetos microcontrolados têm ganhado destaque, pois viabilizam o desenvolvimento de soluções personalizadas e de baixo custo, o que vêm se tornando uma enorme exigência nas empresas modernas (ZANCO, 2010).

Segundo Emanuel, (2009), *“Um microcontrolador nada mais é que um circuito integrado de baixo custo que contém memória, unidade de processamento e circuitos de entradas/saídas num mesmo circuito integrado”*.

Existem diversos tipos de microcontroladores, porém a escolha pelo microcontrolador PIC16F877A foi devido ao seu baixo custo, excelente documentação referente ao seu modo de funcionamento, bem como a sua compatibilidade com a maioria dos microcontroladores da Microchip. Outra vantagem deste componente é a sua gravação. Ela pode ser feita com um pequeno circuito eletrônico, de custo muito baixo, através da porta paralela ou serial de qualquer computador.

A Figura 3.10 ilustra o PIC usado neste projeto.



Figura 3.10. Microcontrolador PIC16F877A

Fonte: SOLARBOTICS, 2013.

As características principais do PIC16F877A são:

- frequência de operação (*clock*) até 20 MHz;
- memória *flash* de programa com 8192 palavras de 14 bits;
- memória RAM com 368 *bytes*;

- memória EEPROM com 256 *bytes* e;
- função *watchdog timer*.

Além das características referidas, o microcontrolador pode funcionar com alimentação de 2V a 5,5V, com corrente de entrada ou de saída dos seus pinos de 1 μ A. Este microcontrolador tem 40 pinos, conforme representado na Figura 3.11.

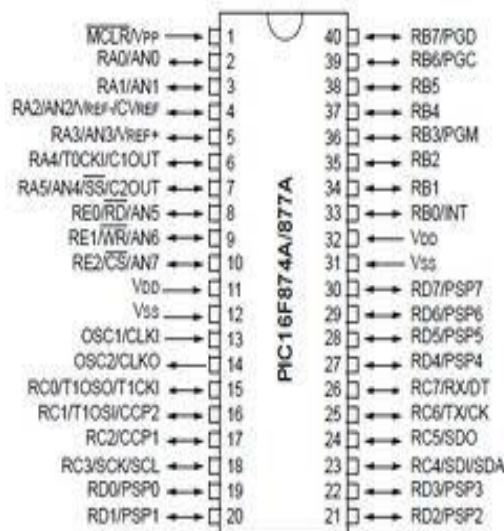


Figura 3.11. Pinos de entrada e saída do PIC16F877A

Fonte: VARALELETRONICO, 2013.

3.3.4 CHAVES ESTÁTICAS

A chave escolhida para o projeto foi o Transistor de Efeito de Campo (MOSFET) IRF640. Segundo Rezende (2004), o transistor é um dispositivo de três terminais, empregados para o controle de sinais elétricos, no qual um sinal aplicado aos dois terminais de entrada controla eletricamente o sinal nos dois terminais de saída, sendo um deles comum com a entrada.

Basicamente os transistores são divididos em dois grupos, os transistores bipolares de junção e os transistores de efeito de campo. Os bipolares são controlados por corrente e aqueles de efeito de campo por tensão, sendo o motivo para utilização do MOSFET, ou seja, o controle através da tensão.

O Transistor de efeito de campo tipo metal-óxido-semicondutor (MOSFET), pode ser usado tanto como amplificador quanto chave, dependendo da finalidade (SEDRA, 2000).

O MOSFET teve seu uso neste projeto apenas para realizar a ativação da alimentação do motor de passo, ou seja, apenas com a função de chaveamento. Assim, quando a tensão é transmitida pelo pino de saída do microcontrolador, o gate do seu respectivo MOSFET é acionado, fazendo com que a fonte de alimentação do motor de passo energize as bobinas desejadas, através da lógica desenvolvida pelo software presente no microcontrolador.

O motivo para uso destes MOSFETS em conjunto com a fonte alimentação, deve-se ao fato que o PIC não suporta alimentar diretamente o circuito do atuador do sistema (motor de passo) já que a corrente exigida pelo mesmo é da ordem de 1,25 A, isto danificaria o microcontrolador do projeto. Portanto, usa-se uma fonte independente para realizar a alimentação do motor de passo de forma segura.

3.3.5 OPTOACOPLADOR

No hardware do rastreador solar desenvolvido, foram utilizados quatro optoacopladores do tipo 4N25, ilustrado na Figura 3.12.



Figura 3.12. Optoacoplador 4N25

Fonte: CARRODELECTRONICA, 2013.

Estes optoacopladores foram utilizados para separar o acionamento do motor de passo do microcontrolador, com o objetivo de assim evitar danos ao sistema de controle do circuito, pois o circuito de controle ficará separado fisicamente do circuito de atuação por meio de fotoemissores e fotoreceptores

internos ao CI 4N25. Os fotoemissores e os receptores realizam uma transferência de tensão entre seus terminais servindo para acionar os MOSFETs e, conseqüentemente, a alimentação do motor de passo. A Figura 3.13 ilustra o circuito interno do optoacoplador usado no projeto. Este optoacoplador tem 6 pinos conforme ilustrado abaixo. Os pinos 1 e 2 compõem o fotoemissor e os pinos 4, 5 e 6 o fototransistor receptivo, assim os pinos 5 e 6 realizam a transmissão de tensão para o *gate* do respectivo MOSFET. Quando o PIC ativa uma determinada porta de saída, entre RB0, RB1, RB2 e RB3, a mesma fará com que haja circulação de corrente entre o pino 1 e 2 do respectivo optoacoplador. Assim, com a passagem dessa corrente será criada uma tensão nos terminais V_{BE} do transistor interno ao optoacoplador que se encontra nas portas 4 e 6 do CI 4N25. Caso haja tensão no pino 5 haverá uma transmissão desta tensão para o pino 6 do lado da saída do optoacoplador, ativando assim o *gate* do respectivo MOSFET.

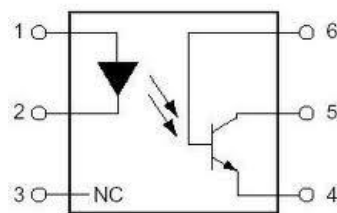


Figura 3.13. Diagrama elétrico do Optoacoplador 4N25

Fonte: DZ863, 2013.

3.3.6 FONTE SIMÉTRICA

A fonte simétrica utilizada tem a potência de 300 W com saídas de +12 V, -12 V, +5 V e -5 V e 0 V. Esta fonte foi escolhida por sua facilidade de ser encontrada no comércio.



Figura 3.14. Fonte simétrica

3.3.7 ESTRUTURA MECÂNICA

A estrutura mecânica construída para rastreamento solar consiste basicamente em um eixo de liberdade de característica polar, priorizando uma simples construção que ofereça confiabilidade e baixo custo.

A estrutura montada é formada basicamente por uma estrutura fixa de madeira, que serve para sustentar os módulos fotovoltaicos.

O suporte móvel, construído em madeira, é acoplado à parte fixa através do eixo do rotor do motor de passo, e um rolamento, formando o eixo de rotação do sistema. A Figura 3.15 ilustra a estrutura do rastreador.



Figura 3.15. Estrutura mecânica do rastreador Solar

O centro de massa da estrutura móvel desse sistema se concentra no eixo de rotação, tornando os movimentos de rotação do rastreador mais

simples, pois exigem menor torque por parte do atuador, já que existe um equilíbrio mecânico.

Para essa estrutura não foi utilizada caixa de redução sendo o eixo acoplado diretamente à estrutura móvel. Não foram necessários contrapesos para balanceamento da estrutura móvel, além de não haver proteção contra ventos intensos, pois o rotor do motor de passo fica parado, enquanto não houver um novo acionamento do motor.

3.4 SIMULAÇÃO E MONTAGEM DO PROJETO

O sistema de rastreamento foi simulado no software Proteus à partir de do arquivo que contém a lógica de rastreamento, criado no software PIC C Compiler. O software foi desenvolvido na linguagem C, visto que a mesma é uma linguagem de alto nível, facilitando o desenvolvimento do programa. O programa desenvolvido possui basicamente uma rotina destinada ao acionamento do motor de passo, apresentada no Anexo A. Esta rotina resume-se à comparação das tensões dos LDRs nas entradas do PIC, implicando no movimento do motor de passo para realização do rastreamento. As Figuras 3.16 e 3.17 ilustram a simulação do rastreador no Proteus.

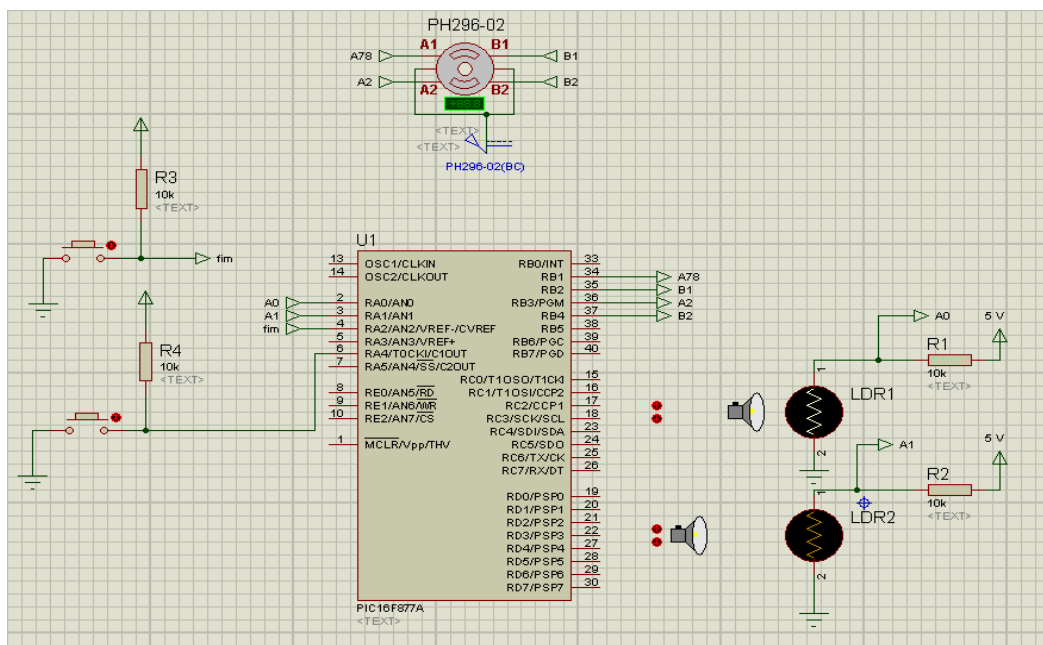


Figura 3.16 – Circuito elétrico do rastreador solar no Proteus

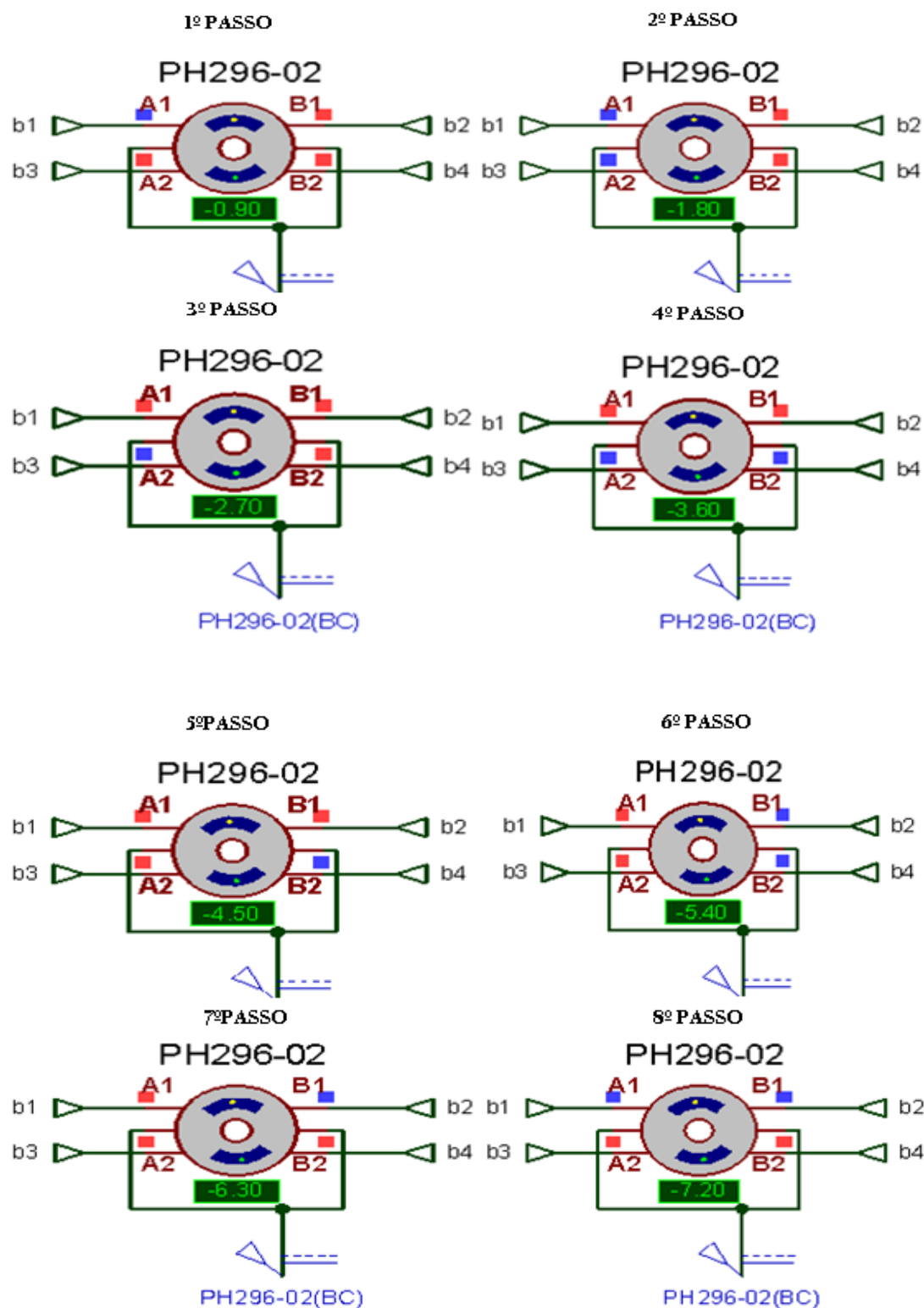


Figura 3.17. Sequência da alimentação das bobinas do motor de passo

De acordo com a simulação de rastreamento desenvolvida no Proteus e ilustrada na Figura 3.16, percebe-se a montagem geral do circuito do rastreador, através dos sensores, atuador e PIC. Na Figura 3.17 observa-se a

sequência de alimentação das bobinas A1, B1, B2 e A2, do primeiro ao oitavo passo, no sentido de rotação anti-horário, que pode ser vista pelos pontos vermelhos nas extremidades das bobinas, representando quais bobinas estão sendo alimentadas, além do movimento do motor que está ilustrado a partir dos valores dos ângulos de posição abaixo do mesmo. O sentido de rotação anti-horário dá-se pela maior aproximação da fonte luminosa em relação ao sensor LDR1, quando a sua tensão for no mínimo menor que 0,25 V em relação a tensão do LDR2. Esta sequência funciona de acordo com a Tabela 3.1 e tem os seus passos incrementados em $0,9^\circ$. As condições de movimento no sentido horário e de parada também foram analisadas nas simulações.

Após a simulação do projeto, realizou-se a montagem do projeto através dos componentes do circuito de condicionamento do motor de passo, conforme está elucidado na Figura 3.18, que ilustra o projeto das trilhas de condução da placa fenolítica e a Figura 3.19, que ilustra a disposição dos componentes na placa fenolítica.

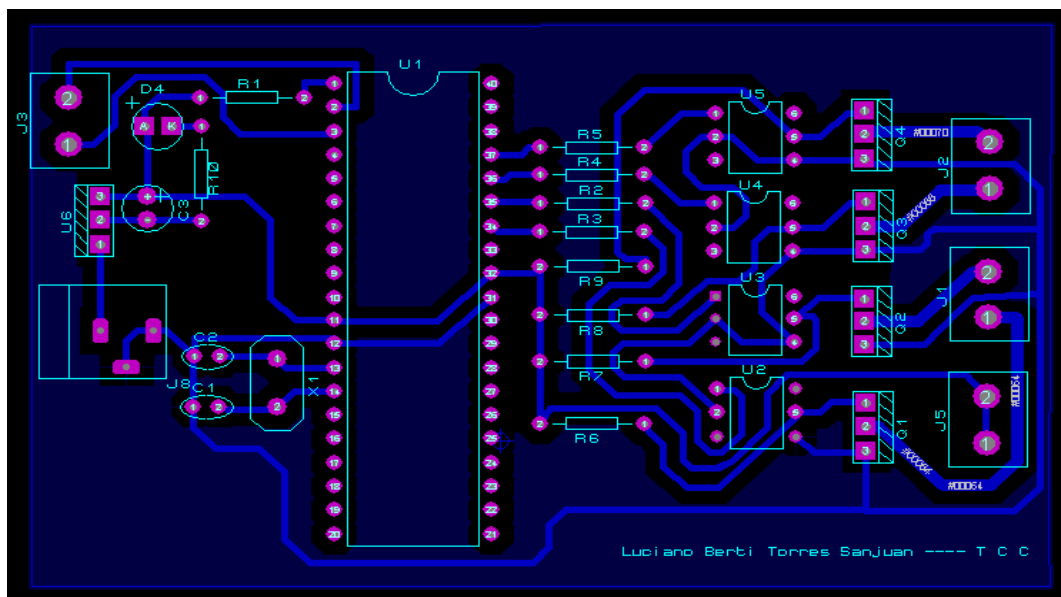


Figura 3.18. Disposição das trilhas de condução na placa fenolítica

Como pode ser observado, os pinos de entrada AN0 e AN1 do PIC recebem os sinais das tensões dos sensores e os pinos de saída RB1, RB2, RB3 e RB4 ativam o circuito de alimentação do atuador. Os outros pinos são utilizados intrinsecamente ao funcionamento do PIC 16F877A.

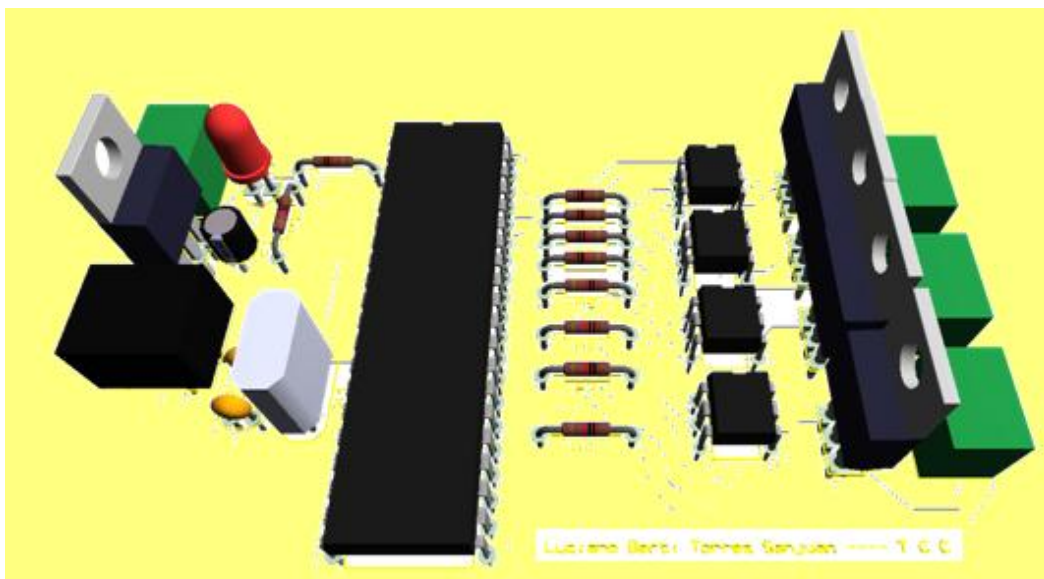


Figura 3.19. Disposição dos componentes na placa fenolítica

Os sensores também necessitam de um circuito de condicionamento para que haja níveis de tensão de entrada compatíveis com os limites de tensão determinados nas entradas do PIC. A Figura 3.20 representa o projeto do circuito de condicionamento dos sensores.

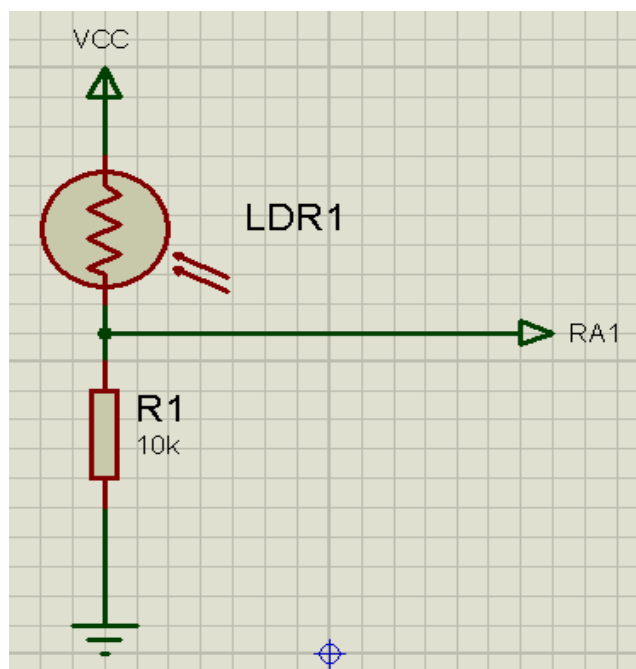


Figura 3.20. Circuito de condicionamento dos sinais dos sensores no Proteus

Após a criação do projeto iniciou-se a construção do circuito impresso a partir da corrosão da placa e, logo após, soldagem dos componentes necessários ao funcionamento do PIC 16F877A, além dos componentes do circuito de condicionamento do motor de passo e dos sensores, ilustrados respectivamente nas Figuras 3.21 e 3.22.

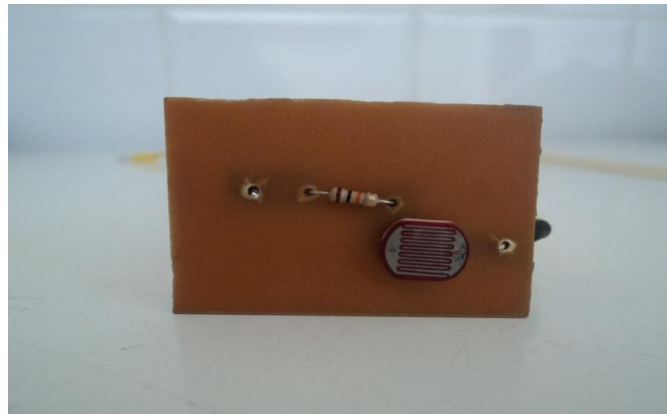


Figura 3.21. Circuito de condicionamento dos sensores

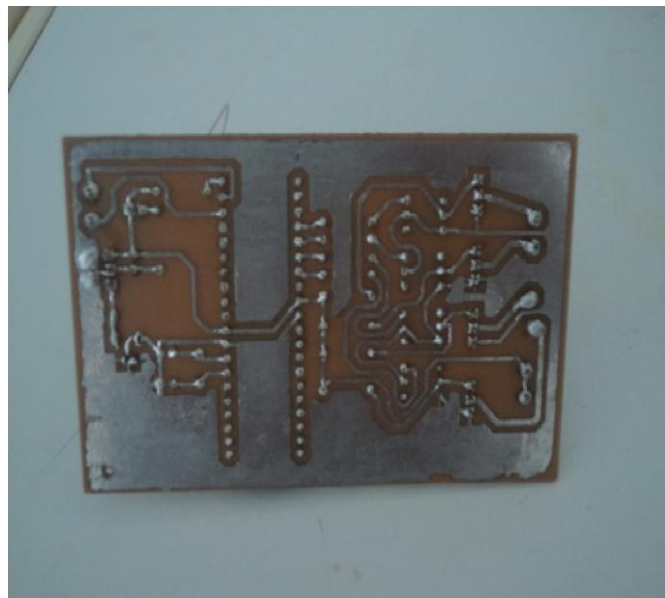


Figura 3.22. Circuito de controle em conjunto com o circuito condicionamento do motor de passo

Após a montagem do circuito de controle foi realizado a gravação do PIC16F877A a partir do software gravador Pickit2.

Finalmente, realizou-se a conexão dos componentes do sistema, representado na figura 3.23, possibilitando assim o seu funcionamento e a análise dos resultados do rastreamento.



Figura 3.23. Projeto completo do rastreador

3.5 RESULTADOS

Inicialmente, para análise de funcionamento do protótipo, observaram-se as tensões nas extremidades das bobinas do motor de passo no momento do acionamento do mesmo, de acordo com as condições de luminosidade para os sensores LDR1 e LDR2, comparando desta forma com a lógica de alimentação das mesmas, apresentada na Tabela 3.1. As tensões nas entradas das bobinas foram analisadas a partir de um osciloscópio da marca Agilent, modelo DSO6054A, que tem como característica 4 canais de entrada, possibilitando a apreciação de todas as tensões de alimentação das bobinas por passo, em apenas uma imagem. O Osciloscópio foi programado para 10 V/divisão (eixo Y) e 2 seg/divisão (eixo X).

Inicialmente, observou-se a condição de rastreamento para maior luminosidade no LDR1.

Desta forma, no momento em que o Sol incidiu majoritariamente no LDR1, o microcontrolador entrou na rotina para o motor de passo girar no

sentido anti-horário, apresentando uma sequência de alimentação ilustrada na figura 3.24.



Figura 3.24. Sequência de alimentação para sentido LDR1 com luz (anti-horário)

Como observado na Figura 3.24, as bobinas foram alimentadas justamente na sequência apresentada na Tabela 3.1. A Figura 3.24 ilustra essas tensões nas extremidades das bobinas. Os níveis de tensão próximo de 5 V, para níveis altos, e próximo de 0 V, para níveis baixos, são alternados a cada passo de acordo com a rotina para o sentido anti-horário.

No momento em que o Sol incidiu majoritariamente no LDR 2, o mesmo apresentou uma sequência de alimentação nas extremidades das bobinas de acordo com a rotina para o sentido horário. A figura 3.25 ilustra essa sequência.



Figura 3.25. Sequência de alimentação para sentido LDR2 com luz (horário)

Como pode ser observado na Figura 3.25, as tensões nas bobinas alternaram justamente como esperado, ou seja, em conformidade com a Tabela 3.2. Os níveis de tensão próximo de 5 V, para níveis altos, e próximo de 0 V, para níveis baixos, são alternados a cada passo de acordo com a rotina para o sentido horário.

Os níveis de tensões foram praticamente os mesmos observados para rotina anti-horário, porém com a sequência inversa da mesma.

Por último, observou-se que quando o motor de passo está parado, este mesmo terá nas extremidades de suas bobinas os últimos níveis de tensão apresentados anteriormente a condição de parada. A figura 3.26 representa essa condição, em que B2 e A2 estão em nível alto e A1 e B1 estão em nível baixo de tensão, até que finalize a condição de parada.



Figura 3.26. Alimentação nas extremidades das bobinas - motor parado

Este comportamento na condição de parada será o mesmo independente do sentido de rotação.

Além da análise dos comportamentos das tensões durante o acionamento do motor de passo, também foram observados os ganhos obtidos pelo módulo fotovoltaico com o uso do seguidor solar de característica polar, em comparação com um módulo fotovoltaico em estrutura fixa. Desta forma, colocou-se o módulo sobre o seguidor solar e o mesmo módulo fotovoltaico sobre uma estrutura fixa com sua face paralela ao solo.

O módulo tem como característica 5 W de potência, tensão máxima de 21 V e corrente máxima de 0,33 A. O mesmo alimentou uma carga resistiva de aproximadamente 65 Ω . Diversas amostras de tensão e corrente foram coletadas ao longo do dia para a mesma carga resistiva, com intervalo de 1 hora entre as medidas, durante três dias consecutivos. A partir das tensões e correntes coletadas, foram determinadas as potências fornecidas pelo módulo através da Equação 3.1.

$$P = V.I \quad (3.1)$$

Assim, Foram realizadas medições de potência do módulo durante três dias, ilustradas na Tabelas 3.3.

Tabela 3.3. Potência coletada para o sistema fixo e móvel durante três dias consecutivos.

	1º DIA		2º DIA		3º DIA	
Hora	W(Fixo)	W/movel	W(Fixo)	W/movel	W(Fixo)	W/movel
7	1.089	1.655	1.182	1.796	1.179	1.698
8	1.600	2.320	1.532	2.236	1.591	2.219
9	2.708	3.520	2.687	3.460	2.589	3.332
10	3.519	4.046	3.328	3.730	3.297	3.771
11	3.743	4.189	3.813	4.070	3.699	3.969
12	4.180	4.190	4.023	4.027	4.021	4.025
13	3.933	4.129	3.817	3.969	3.796	3.987
14	3.709	4.089	3.439	3.820	3.521	3.786
15	3.120	3.996	3.078	3.444	2.973	3.562
16	1.701	2.501	1.997	2.695	1.872	2.701
17	1.170	1.813	1.672	2.340	1.563	2.228

Assim, com os valores das potências ilustradas na Tabela 3.3, foram construídos três gráficos de potência para cada dia, comparando a variação de potência do sistema fixo e móvel, ilustrados nas Figuras 3.27, 3.28 e 3.29.

Desta forma, os resultados evidenciam que no momento em que o Sol está a pino, ou seja, às 12 horas, o fornecimento de potência é praticamente o mesmo nos dois sistemas, fixo e móvel, durante os três dias. Fora deste período observa-se um melhor aproveitamento do módulo quando colocado no sistema móvel, em todas as medidas.

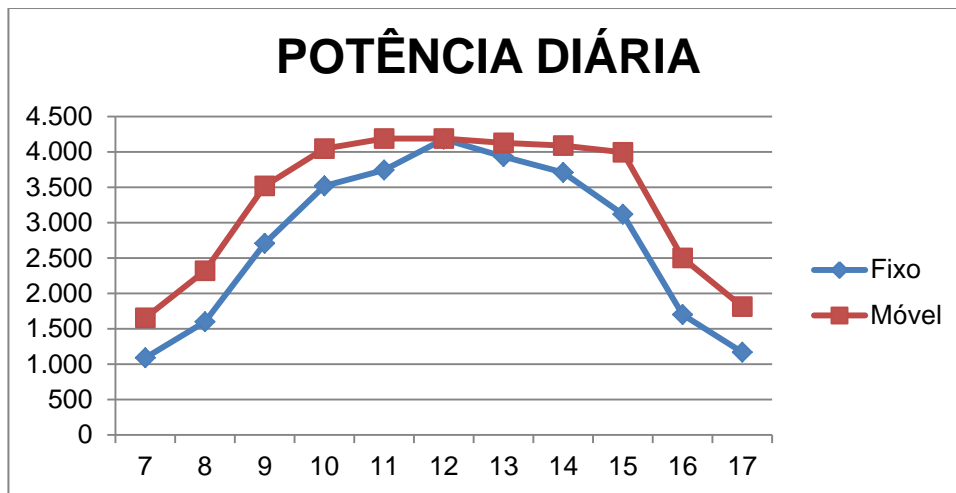


Figura 3.27. Potência ao longo do 1º dia, obtida para o módulo fotovoltaico em sistema fixo e em sistema móvel

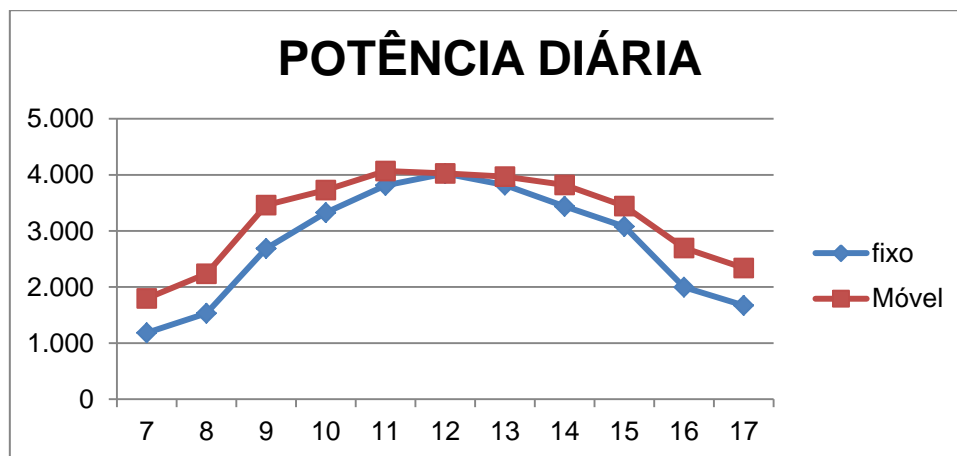


Figura 3.28. Potência ao longo do 2º dia, obtida para o módulo fotovoltaico em sistema fixo e em sistema móvel

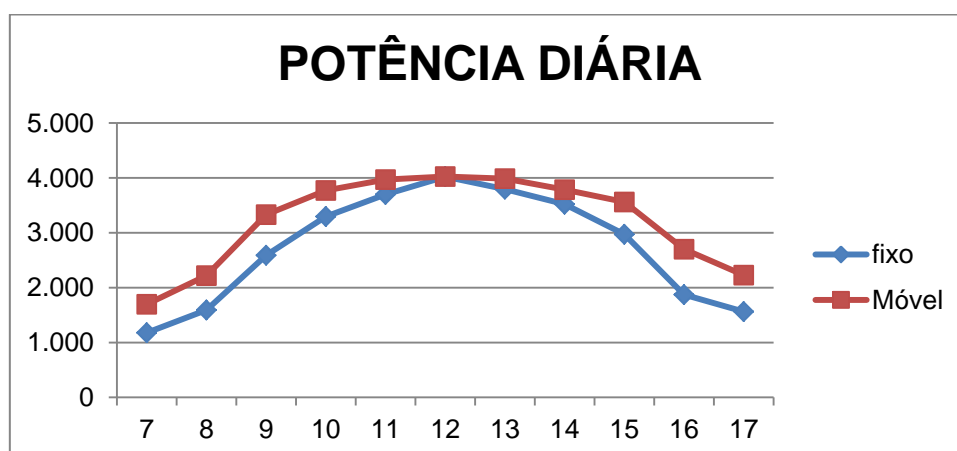


Figura 3.29. Potência ao longo do 3º dia, obtida para o módulo fotovoltaico em sistema fixo e em sistema móvel

Para o cálculo das potências foram feitos os cálculos da área gerada pela estrutura fixa e móvel dos gráficos das potências diárias através do método da superposição, ou seja, foram somadas as áreas individuais dos intervalos linearizados, obtendo a área total.

No gráfico da potência gerada no primeiro dia, o módulo do seguidor polar produziu aproximadamente 18,3% de energia a mais que o módulo colocado em um sistema fixo.

No gráfico da potência gerada no segundo dia, o módulo do seguidor polar produziu aproximadamente 15% de energia a mais que o módulo colocado em um sistema fixo.

Por último, no gráfico da potência gerada no terceiro dia, o módulo do seguidor polar produziu 16% de energia a mais que o módulo colocado em um sistema fixo. Assim, a média no incremento da energia atingida pelo o módulo colocado no rastreador polar, em relação ao sistema fixo, durante todos os dias, foi de aproximadamente 16,45%.

3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo apresentou-se todos os componentes constituintes do rastreador, com suas características de funcionamento, abordando assim toda a descrição do projeto do protótipo do rastreador.

Além disso, o funcionamento do protótipo reagiu conforme esperado, de forma que os resultados práticos estão de acordo com os resultados simulados, pois tiveram a mesma sequência de alimentação nos enrolamentos do motor de passo, demonstrando o sentido de rastreamento para as condições de luminosidade em cada sensor, além de ter incrementado em média a produção de energia elétrica em aproximadamente 16,45% com o sistema de rastreamento desenvolvido.

CAPÍTULO IV - CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho projetou e construiu um protótipo de rastreador solar objetivando incrementar o aproveitamento energético de uma placa fotovoltaica.

Diferentes tipos de rastreadores existentes no mercado foram discutidos, relatando as características de cada um de acordo com as tecnologias usadas na sua construção, bem como os seus movimentos.

Desta forma, foi definido e construído o rastreador solar de característica polar, considerando que o mesmo tem a maior eficiência para um rastreador de um eixo de liberdade. Para tanto, foram realizadas simulações computacionais e posteriormente a montagem prática.

Após sua montagem prática foram analisados os ganhos de energia elétrica, podendo concluir que o uso do sistema de rastreamento se mostrou útil considerando a sua estrutura física simples e o incremento da produtividade de energia, de aproximadamente 18%, em relação a um sistema fotovoltaico de característica fixa.

Vale ressaltar que existe a necessidade de evolução deste projeto, considerando os seguintes pontos:

- Análise comparativa por longo período de tempo entre os sistemas fixos, seguidores de um eixo e seguidores de dois eixos;
- Desenvolvimento de protótipos em tamanho real com os mesmos tipos de sistemas;
- Análise de viabilidade econômica do seguidor;
- Análise de viabilidade energética dos seguidores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, Y. V.; AZEVEDO, M. R. M. **Racionamento de Energia Elétrica de 2001 – O Estado do Tocantins**. Palmas Brasil, 2009.

ADÁN, J. B.. **Prototipo Fotovoltaico con Seguimiento del Sol para Procesos Electroquímicos**. Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico - Coordinación de Mecatrónica Dissertação. 2007.

ANGELISA, www.if.ufgrs/mpef/mef008/mef008_02/angelisa/translacao.html, acessado: 09/12/2012.

BARBOSA, M. F.; SOUZA, T. M.. **Projeto de um Rastreador Solar Ativo de Baixo Custo para Painéis Fotovoltaicos**. Revista SODEBRAS - Soluções para o Desenvolvimento do País, Volume 5, nº 49, Janeiro, 2010.

BRITES, F. G.; SANTOS, V. P. A.. **Motor de Passo**. UFF - Curso de Engenharia de Telecomunicações, Niterói, 2008.

CAMPOS, J. P. M. et al. **Sistema Fotovoltaico con Rastreador Solar**. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2002.

CARRODEELECTRONICA, www.carrodeelectronica.com, acessado 23/01/2013

CHRISTOPHER, I.W.; RAMESH R.; SARAVANAN, C.. **Low Cost Automatic Solar Energy Trapping System**. Electrical Energy System (ICEES), IEEE Conference Publications, pp. 227-232, 2011.

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **TUTORIAL SOLAR** Disponível em: www.cresesb.cepel.br/tutorial/tutorial_solar.pdf. Acesso em 03/07/12.

CRISPIM, J. E., **Considerações Sobre Produção de Energia no Brasil**, Urussanga, 2010.

DEMANBORO, C. A. et al. **A sustentabilidade através de empreendimentos energéticos descentralizados**. Encontro Energético do Meio Rural, 6, Campinas, 2006. Acesso: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022006000100003&lng=em&nrm=ABN>, 2012.

DZ863, www.dz863.com, acessado: 25/01/2013.

EMANUEL, F. M.. **Módulo Fotovoltáico com Seguimento da Posição Solar**. Monografia. Departamento de Energias Renováveis do Instituto Nacional de Engenharia Tecnologia e Inovação, 2009.

GRIMM, A. M.. **Notas de Aula da Disciplina de Meteorologia Básica**, UFPR,1999.

IDEC. **CONSUMO SUSTENTÁVEL: Manual de educação**. Brasília: Consumers International/ MMA/ MEC/IDEC, 2005.

KADIR, A. S. et al. **Improved Structure of Solar Tracker with Microcontroller based Control**, Second International Conference on Advances in Computing, Control and Telecommunication, IEEE Conference Publications, 2010.

KARIMOV, K. S. et al. **“A simple photo-voltaic tracking system”**. **Solar Energy Materials & Solar Cells**, vol.87, pp.49-59. 2005.

MARQUES, A.. **Energias Renováveis**. Disponível em: http://www.profafonso.com/index.php?option=com_content&view=article&id=122%3Aseg-solares&catid=20&Itemid=24&lang=pt, 2012.

NAUTILUS, www.nautilus.fis.uc.pt, acessado: 07/10/2012.

OLIVEIRA, C. A. A.. **Desenvolvimento de um Protótipo de rastreador Solar de Baixo Custo e sem Baterias**, Dissertação de Mestrado em Ciências – Centro de Tecnologia e Geociências, UFPE, Programa de Pós-graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, 2007.

OLIVEIRA, M. M.. **Análise do Desempenho de um Gerador Fotovoltaico com Seguidor Solar Azimutal**. Dissertação para obtenção do Título de Mestre em Engenharia - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFRGS, Porto Alegre, setembro de 2008

POULEK, V., LIBRA, M., 1998. **New solar tracker**. **Solar Energy Materials and Solar Cells** 51, 113-120. 2006.

REZENDE, S. M. **Materiais e dispositivos eletrônicos** - 2. ed / 2004 - Livros. São Paulo, Livraria da Física, 2004.

RIZK, J.; CHAIKO, Y.. **Solar Tracking System: More Efficient Use of Solar Panels**. Universidade de Western Sydney, Penrith south DC, 2008.

SEDRA, A. S.. **Microeletrônica**, Editora Prentice Hall, 2000.

SCHORR, A. A.. **Apostila da disciplina “Recursos Naturais e Energia”**, Centro Universitário La Salle, 2010.

SOARES, M. J.. **Três Circuitos Práticos com PIC 16F628A**. **Eletrônica Total**, nº 101, Julho – Agosto, 2004.

SOLARBOTICS, www.solarbotics.com, acessado: 20/01/2013.

VARALELETRONICO, www.varaleletronico.webnode.com.br,

acessado:20/01/2013

VÉRAS, P. C.. **Estudo dos Benefícios e Proposta de um Modelo de Controle de um Rastreador Solar Ativo**. Monografia. Universidade de Pernambuco - Escola Politécnica de Pernambuco. Recife, PE, 2004.

WENDLING, M.. **Notas de aula “ Sensores”**. UNESP- Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá. 2010.

WIKIPEDIA, www.wikipedia.org.pt, acessado: 02/10/2012.

YAZIDIL, A. et al. **Low cost two-axis solar tracker with high precision positioning**. First international Symposium on Environment Identities and Mediterranean Area (ISEIMA), IEEE Conference Publications, 2006.

ZANCO, V. S.. **Microcontroladores “Uma abordagem prática e objetiva”**. Editora Érica, 2005.

ANEXO A – Programa

```
#include "D:\pendrivetemp\programas em c\motorpasso.h"
//#include <stdio.h>
//#include <math.h>

void motorida(int i)
{
    switch (i){
    case 0:
        output_low(pin_B1); //vermelho
        output_high(pin_B2);
        output_high(pin_B3);
        output_high(pin_B4);
        delay_ms(100);
        break;

    case 1:
        output_low(pin_B1); //vermelho
        output_high(pin_B2);
        output_low(pin_B3); //preto
        output_high(pin_B4);
        delay_ms(100);
        break;

    case 2:
        output_high(pin_B1);
        output_high(pin_B2);
        output_low(pin_B3); //preto
        output_high(pin_B4);
        delay_ms(100);
        break;
```

```
case 3:  
output_high(pin_B1);  
output_high(pin_B2);  
output_low(pin_B3); //preto  
output_low(pin_B4); //azul  
delay_ms(100);  
break;
```

```
case 4:  
output_high(pin_B1);  
output_high(pin_B2);  
output_high(pin_B3);  
output_low(pin_B4); //azul  
delay_ms(100);  
break;
```

```
case 5:  
output_high(pin_B1);  
output_low(pin_B2); //verde  
output_high(pin_B3);  
output_low(pin_B4); //azul  
delay_ms(100);  
break;
```

```
case 6:  
output_high(pin_B1); //A1  
output_low(pin_B2); //B1 verde  
output_high(pin_B3); //A2  
output_high(pin_B4); //B2  
delay_ms(100);  
break;
```

```
case 7:  
output_low(pin_B1);
```

```

output_low(pin_B2);
output_high(pin_B3);
output_high(pin_B4);
delay_ms(100);
break;
}
}

void motorvolta(int i)
{
switch(i){
case 0:
output_high(pin_B1); //A1
output_low(pin_B2); //B1
output_high(pin_B3); //A2
output_high(pin_B4); //B2
delay_ms(1000);
break;

case 1:
output_high(pin_B1);
output_low(pin_B2);
output_high(pin_B3);
output_low(pin_B4);
delay_ms(1000);
break;

case 2:
output_high(pin_B1);
output_high(pin_B2);
output_high(pin_B3);
output_low(pin_B4);
delay_ms(1000);
break;

```

```
case 3:  
output_high(pin_B1);  
output_high(pin_B2);  
output_low(pin_B3);  
output_low(pin_B4);  
delay_ms(1000);  
break;
```

```
case 4:  
output_high(pin_B1);  
output_high(pin_B2);  
output_low(pin_B3);  
output_high(pin_B4);  
delay_ms(1000);  
break;
```

```
case 5:  
output_low(pin_B1);  
output_high(pin_B2);  
output_low(pin_B3);  
output_high(pin_B4);  
delay_ms(1000);  
break;
```

```
case 6:  
output_low(pin_B1);  
output_high(pin_B2);  
output_high(pin_B3);  
output_high(pin_B4);  
delay_ms(1000);  
break;
```

```
case 7:
```

```

    output_low(pin_B1);
    output_low(pin_B2);
    output_high(pin_B3);
    output_high(pin_B4);
    delay_ms(1000);
    break;
}
}

void main()
{
    float valor1, valor2; // declara as variáveis como reais
    int i=0; //declara a variável como contadora inteira

    setup_adc_ports(AN0_AN1_AN3); //criartrêsportas ABC
    setup_adc (ADC_CLOCK_DIV_2);//ATIVAR CONVERSOR ANALÓGICO
DIGITAL
    setup_psp(PSP_DISABLED);//DESABILIBILITAR    COMUNICAÇÃO
PSP
    setup_spi(SPI_SS_DISABLED);//DESABILIBILITAR    COMUNICAÇÃO
PSP
    setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_1);
    setup_timer_1(T1_DISABLED);
    setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
    setup_comparator(NC_NC_NC_NC);
    setup_vref(FALSE);

    while(1){
        //! set_adc_channel(0);//habilita a leitura do pino A0
        //! valor1=read_adc();////obterá o valor analógico de A0
        //! valor1=valor1*0.01952301 + 0.012198245;//curva de calibração do
PIC
        //!
        //!

```

```

//! set_adc_channel(1);//habilita a leitura do pino A1
//! valor2=read_adc();///obterá o valor analógico de A1
//! valor2=valor2*0.01952301 + 0.012198245;//curva de calibração do

```

PIC

```

//! if(valor1>valor2+0.25){
    motorida(i);
    i++;
//! }
//! if(valor2>valor1+0.25){
//!     motorvolta(i);
//!     i++;
//! }
    if(i==8)
        i=0;
}
}

```