



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 102019015082-3 A2



(22) Data do Depósito: 22/07/2019

(43) Data da Publicação Nacional: 02/02/2021

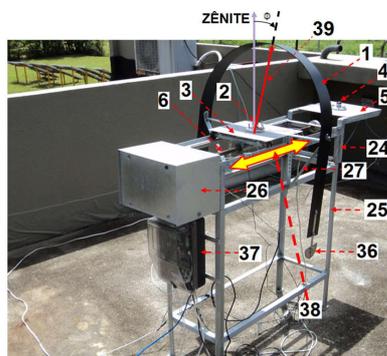
(54) Título: ANEL DE SOMBREAMENTO DE MELO-ESCOBEDO AUTOMATIZADO

(51) Int. Cl.: G01J 1/04; G01J 1/42; G01S 3/78.

(71) Depositante(es): UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO.

(72) Inventor(es): BRENO CRUZ DE GÓIS; CHIGUERU TIBA.

(57) Resumo: ANEL DE SOMBREAMENTO DE MELO-ESCOBEDO AUTOMATIZADO. Para aperfeiçoar um sistema de medição da irradiância solar difusa, chamado anel de sombreamento de Melo-Escobedo, foi proposto a sua automatização, dispensando assim sua operação manual. Este dispositivo consiste em um anel de sombreamento(1), com seu eixo longitudinal(38) alinhado na direção norte-sul verdadeiro, utilizado para medir irradiância solar difusa. Esta é medida através de um piranômetro(2), constantemente sombreado por um anel(1) fixo, montado em uma base horizontal móvel(3) que pode se deslocar para o sul ou para o norte para compensar a variação da declinação solar, fato este que tem como consequência a mudança da posição da sombra do anel diariamente sobre o piranômetro(2). O inconveniente do referido equipamento é a necessidade de um ajuste, por parte de um operador, quase diário da posição da plataforma móvel horizontal(3), onde se encontra o piranômetro(2), através do uso de uma manivela(7) para manter o piranômetro(2) abaixo da sombra do anel(1), visto que esta se desloca, na direção nortesul ou sul-norte, com o passar dos dias devido ao movimento aparente do sol no céu. Para solucionar tal problema, foi feita a automatização da plataforma horizontal móvel(3) de modo que a mesma rastreia (...).



ANEL DE SOMBREAMENTO DE MELO-ESCOBEDO AUTOMATIZADO

CAMPO DE UTILIZAÇÃO

01. Dentro do estudo dos recursos provenientes da energia solar, a solarimetria é a ciência que mede e estuda a irradiância global e suas componentes, direta e difusa. A informação adequada sobre o recurso solar incidente sobre a superfície terrestre é muito importante para uma diversidade de áreas tecnológicas, tais como: agricultura, meteorologia, engenharia florestal, recursos hídricos e particularmente para a engenharia solar. Na conversão da energia solar em outras formas de energia utilizadas pela sociedade, a informação sobre o recurso solar é o requisito fundamental para o dimensionamento de sistemas solares energéticos e, portanto, o seu melhor conhecimento significa um projeto mais preciso e econômico (TIBA, 2000, p. xvii).

02. Siqueira (2008, p.21), afirma sobre a tecnologia solar que, [...] o desenvolvimento e a difusão ampla dessa tecnologia depende fortemente da economicidade e confiabilidade dos sistemas solares instalados, seja em escala restrita ou ampla. Tais requisitos poderão ser alcançados na medida em que se conheça precisamente o recurso solar disponível localmente, pré-requisito básico para a elaboração de projetos de sistemas solares adequadamente dimensionados.

03. A informação sobre o recurso solar, disponível localmente, é obtida através do conhecimento, principalmente, das irradiâncias global, direta e difusa. Em posse de um dispositivo chamado piranômetro é possível fazer a medição da irradiância global disponível em determinado local. Para se medir a irradiância direta, dado importante para o dimensionamento de sistemas de geração de energia elétrica fotovoltaicos ou heliotérmicos, faz-se uso de um dispositivo chamado pireliômetro. Porém, este equipamento tem preço elevado no mercado e portanto, foi desenvolvido um método indireto, mais econômico, de se medir a irradiância solar direta. Através dos anéis de sombreamento ou dos "Shading Balls" é possível

se medir com relativa precisão a irradiância solar difusa. Ao subtrairmos o valor da irradiância difusa do valor da irradiância global obtida por um piranômetro, obtemos o valor da irradiância direta para determinado local. Dentre as tecnologias dos anéis de sombreamento, destacam-se as tecnologias de Drummond, Robinson & Stoch, e a mais recente desenvolvida por Melo-Escobedo.

ESTADO DA TÉCNICA

04. A maioria das medições da irradiância solar difusa disponíveis ao redor do mundo são baseadas nos anéis de sombreamento e nos "Shading Balls" porém "Shading Balls" têm custo elevado pois envolvem tecnologia de rastreamento solar em dois eixos, azimutal e zenital. Com custo razoável, a maioria das medições da irradiância solar difusa são executadas por anéis de sombreamento.

05. Nos dias atuais, as medições da irradiância solar difusa são baseadas, principalmente, nos anéis de sombreamento propostos por Drummond (1956) (Figuras 1 e 2) ou Robinson e Stoch (1964) (Figura 3), possuindo princípios operacionais diferentes. O aparelho proposto por Robinson consiste de um anel (1) com movimento de rotação em torno de seu centro que cobre diferentes setores da esfera celestrial. No aparelho proposto por Drummond, um único anel (1) é deslocado ao longo da direção do eixo da Terra para compensar a variação diária da declinação solar. Em ambos os casos o detector (2) é mantido fixo (OLIVEIRA et al., 2002). “Das duas montagens, a de Drummond é atualmente a mais utilizada e comercializada” (DAL PAI, 2005).

06. Fazendo uso das tecnologias desenvolvidas por Robinson & Stoch ou Drummond os anéis de sombreamento descritos a seguir, cujos documentos de patente são **US 2004/0016865 A1** e **US2011198480 A1**, foram considerados relevantes para demonstrar o estado da técnica em relação ao invento apresentado neste pedido pois têm aplicação semelhante que é a medição da irradiância solar difusa. Para esses dois documentos foram feitas as seguintes considerações:

07. US2004016865 A1 - Piranômetro com banda de sombra rotativa
(ROTATING SHADOWBAND PYRANOMETER) :

08. A invenção que é descrita nesse documento **US2004016865 A1**, assim como a invenção descrita neste pedido, também refere-se a um melhoramento de um invento anterior também citado no documento. Esta invenção mede as irradiâncias direta normal, global horizontal e horizontal difusa da seguinte forma: há um arco de anel de sombreado conectado em uma de suas extremidades ao eixo de um motor podendo fazer o arco girar em torno de um eixo imaginário que passa pelo seu diâmetro e há um piranômetro, montado sobre uma estrutura que passa por esse mesmo eixo imaginário, piranômetro este que será sombreado ou não pelo arco de anel, seguindo assim a filosofia de **Robinson & Stoch**. Este arco de anel faz sombra sobre o piranômetro porém, em algum instante o arco de anel gira no sentido horário descobrindo o piranômetro, isto é, o expondo ao sol, dessa forma é medida a irradiância global. Ora o arco gira no sentido contrário, isto é, anti-horário. Em cada um dos sentidos de giro o arco possui um ponto em que deve parar, isso determinado por um ímã acoplado ao eixo de giro do motor através de uma base circular, e dois sensores de efeito Hall, montados em uma estrutura fixa paralela a essa base circular girante, que quando sentem a presença do ímã, quando há o giro do motor girando a base circular na qual está montado o ímã, mandam um comando para um sistema de controle que manda o motor parar pois o ímã passou por cima do sensor de efeito Hall S1, por exemplo, logo em seguida há um giro em sentido contrário acionado pelo motor também parando quando o ímã passa por sobre o outro sensor de efeito Hall, S2. Esses dois pontos de parada estão separados por um ângulo de 300°. Esse movimento horário e anti-horário perdura indefinidamente, ora bloqueando a incidência direta sobre o piranômetro ora o expondo a luz direta do sol. Dessa maneira, expondo ou não o piranômetro ao sol medindo assim ora a irradiância global ora a irradiância difusa e por subtração uma da outra, de forma simplificada, obtendo-se a irradiância direta.

09. Dessa forma, não foi encontrado neste equipamento disposição construtiva semelhante a que será descrita neste pedido. A invenção que é descrita no referido documento **US2004016865 A1**, trabalha com um motor DC, sensores de efeito Hall, um ímã, um sistema de controle, um datalogger, um piranômetro e um arco de anel.

10. Desta maneira, as características técnicas do modelo de utilidade que será descrito no presente pedido, em comparação à invenção que é descrita no documento **US2004016865 A1**, resulta numa nova disposição construtiva podendo ser analisada, no sentido de viabilizar este pedido como modelo de utilidade.

11. US2011198480 A1 - Conjunto de bandas de sombra para uso com um piranômetro e um piranômetro com bandas de sombra incorporando o mesmo (SHADOW BAND ASSEMBLY FOR USE WITH A PYRANOMETER AND A SHADOW BAND PYRANOMETER INCORPORATING SAME)

12. Este documento de patente **US2011198480 A1** descreve um anel de sombreamento de medição da irradiância solar difusa. Porém, a disposição construtiva é totalmente diferente da disposição construtiva da invenção que será descrita neste pedido.

13. Este equipamento consiste de um arco de anel de 90° sustentado por uma haste fixa para aumentar a estabilidade do anel com o piranômetro que será sombreado apoiado numa plataforma horizontal logo abaixo da extremidade superior do arco de anel. Na extremidade superior do anel de sombreamento, no lado superior, há um piranômetro que não será sombreado servindo para medição da irradiância solar global e logo abaixo, ainda na extremidade superior do anel, se encontra um bocal por onde passa um fluido que servirá para limpar o piranômetro situado logo abaixo. O fluido pode ser água como também outros fluidos específicos para a limpeza do piranômetro. O arco de anel é montado numa base horizontal e a mesma é montada sobre a estrutura de um motor. O arco de anel é oco por dentro para poder passar cabos elétricos para alimentar e coletar dados do

piranômetro situado em sua extremidade superior como também para passar um cano contendo o fluido de limpeza do piranômetro inferior.

14. Há também montado na base horizontal um sensor de rastreamento azimutal do sol. É através desse sensor que toda a estrutura se orienta de modo que o arco de anel faça sombra sobre o piranômetro inferior. Há também, acoplado à estrutura, dois sensores solares que fazem o rastreamento zenital do sol podendo ser um pireliômetro (instrumento que mede a irradiância solar direta), por exemplo, porém este equipamento tem seu próprio sistema motorizado para fazer esse rastreamento zenital do sol.

15. Como será observado, este equipamento, apesar de fazer o mesmo tipo de medição da invenção descrita neste pedido (medição da irradiância solar difusa), tem uma disposição construtiva muito diferente.

16. Uma proposta recente vem atraindo diversos setores das áreas de conversão energética no sentido da facilidade de montagem, manutenção e operação. Essa proposta consiste no método do anel de sombreamento de Melo-Escobedo (ME) (Figuras 4,5 e 6) cujo princípio de operação é inverso à montagem de Drummond. Nesse método de medida, da irradiância difusa, o anel de sombreamento (1) é mantido fixo e inclinado, com relação à vertical local, na latitude do observador e o sensor de irradiância solar (2) (piranômetro), posicionado no plano horizontal, translada paralelamente ao plano do horizonte local para compensar a variação da declinação solar (DAL PAI, 2005).

PROBLEMAS DO ESTADO DA TÉCNICA

17. O inconveniente do equipamento descrito por Melo-Escobedo é que seu funcionamento é manual e não automatizado. Desta forma, há a necessidade quase

diária de um operador para posicionar o dispositivo na posição correta, isto é, manter o piranômetro abaixo da sombra projetada pelo anel (1) visto que esta se desloca na direção norte-sul ou sul-norte, com o passar dos dias devido ao movimento aparente do sol no céu. Para tal faz-se uso de uma manivela (7) acoplada a uma haste rosqueada (6) e esta acoplada a uma plataforma móvel (3) sobre a qual se encontra o detector de irradiância solar global (piranômetro) (2) que deve permanecer sombreado.

OBJETIVO DA INVENÇÃO

18. Com o intuito de solucionar tal inconveniente, desenvolveu-se o presente modelo de utilidade. O objetivo, então, da invenção foi automatizar um processo inovador de medição da irradiância solar difusa chamado de "Anel de Sombreamento de Melo-Escobedo". A partir da automatização retira-se a necessidade de um operador para deslocar a base horizontal móvel (3).

SOLUÇÃO DO PROBLEMA (A INVENÇÃO PROPRIAMENTE DITA)

19. A manivela (7) usada, no anel de sombreamento de Melo-Escobedo, para posicionar a plataforma horizontal móvel (3), que contém o piranômetro (2), sempre abaixo da sombra projetada pelo anel (1) pode ser vista, em detalhes, na Figura 6. Para solucionar o problema da necessidade quase que diária de um operador para posicionar a plataforma horizontal móvel (3) abaixo da sombra projetada pelo anel (1) foi retirada a manivela e foi feita a automatização de todo o mecanismo que desloca a plataforma horizontal móvel (3) dispensando assim a presença constante de um operador, de acordo com a reivindicação 1. Assim, todo o sistema foi batizado de MEA (anel de sombreamento de **Melo-Escobedo Automatizado**).

20. A automação do anel de sombreamento de Melo-Escobedo baseia-se na troca da manivela (7) (vide Figura 6) por um motor DC (8) (Figura 7), ou por um motor de passo, acionado por um sistema de controle eletrônico de malha fechada, ou seja, que tem uma realimentação, baseado em dois foto sensores, fotosensor-

norte (9) e fotosensor-sul (10), que reconhecem a presença de luz ou ausência dela (sombra), de acordo com a reivindicação 1. Estes foto sensores, posicionados estrategicamente sobre a plataforma móvel (3) (vide Figuras 8,9 e 10), isto é, às margens da largura da sombra projetada pelo anel (1), de acordo com a reivindicação 2, enviam um comando para um controle central que aciona ou não o motor DC (8) (ou motor de passo) com o objetivo de posicionar essa base móvel (3) embaixo da sombra do anel (1). Na base móvel se encontra o piranômetro (2) que irá medir, por estar sombreado, a irradiância difusa.

21. Estas “decisões” do controle central estão baseadas em três modos de trabalho do sistema como um todo (vide Figura 11): o modo de inicialização (18), o modo de busca (19) da sombra projetada pelo anel (1) e o modo de rastreamento (20) desta. No modo de inicialização (18) o sistema manda um comando para deslocar a plataforma móvel horizontal (3) da posição em que estiver para o extremo norte do trilho, de acordo com a reivindicação 4. A partir desse instante a máquina entra no modo de busca (19) no qual se deslocará para o sul até encontrar a sombra projetada pelo anel (1), de acordo com a reivindicação 5. Porém, para implementar esse sistema de busca e em seguida o de rastreamento, a princípio, foi observado que a irradiância solar difusa debaixo da sombra projetada pelo anel (1) não ultrapassa a potência de 450 W/m^2 em um dia com céu limpo de nuvens e ao meio-dia solar, isto é, a uma irradiância global em torno de 800 a 1000 W/m^2 . O circuito transdutor (22) que faz o tratamento do sinal analógico vindo dos foto sensores (9) e (10), que foi construído para detectar a presença da sombra, foi, então, calibrado para interpretar como iluminado uma irradiância global igual ou superior a 450 W/m^2 . Portanto, uma irradiância abaixo deste valor seria interpretada como sombra. A idéia fundamental foi estabelecer uma irradiância global mínima superior a 450 W/m^2 para que o anel de sombreado de Melo-Escobedo Automatizado (MEA) funcionasse corretamente. Pois caso contrário, no momento em que a base móvel (3) estivesse “à procura” (no estado de busca (19)) da sombra do anel (1) e nesse mesmo instante houvesse uma irradiância global abaixo de 450 W/m^2 , por exemplo, com a passagem de uma nuvem, a base móvel (3) interromperia

seu movimento, desligando o motor DC (8), antes de encontrar a sombra do anel (1). Para resolver tal problema foi desenvolvido um programa, instalado em um “datalogger” (13) (sistema de aquisição de dados) que faz um “questionamento” aos dados enviados pelo piranômetro que mede a irradiância global (4) (posicionado na base horizontal fixa (5) (sempre exposta ao sol) e conectado ao “datalogger” (13)) se a irradiância global está igual ou acima de 800 W/m^2 (condição livre de nuvens). Se essa condição for satisfeita o programa habilita a máquina. Isto é, a mesma só entra no modo “ligado” se, e somente se, a irradiância global estiver igual ou acima de 800 W/m^2 . Garantindo que o circuito transdutor (22), que interpreta o sinal vindo dos foto sensores (9) e (10), só irá acionar o desligamento do motor (8) quando o piranômetro (2) que se encontra na plataforma horizontal móvel (3) estiver sob a sombra projetada pelo anel (1). Uma vez habilitada e estando no modo de busca (19) o motor DC (8) é acionado deslocando a base móvel horizontal (3) para o sul. Se a irradiância cair abaixo de 800 W/m^2 , com a passagem de uma nuvem, o motor DC (8) é desligado, porém o estado de busca (19) é mantido (motor armado para giro para o sul). Assim que a irradiância global (obtida pelo piranômetro (4)) voltar a atingir o valor estabelecido a máquina é novamente ligada. Como ainda está no modo busca (19) o motor DC (8) volta a ser acionado, deslocando a base móvel horizontal (3) para o sul. O estado de busca (19) só é desativado quando, estando a irradiância solar global (piranômetro (4)) igual ou superior a 800 W/m^2 , o circuito transdutor (22) encontre uma irradiância menor ou igual a 450 W/m^2 , isto é, seguramente a sombra projetada pelo anel (1). Uma vez que foi encontrada a sombra projetada pelo anel (1) o sistema entra no modo de rastreamento (20), de acordo com as reivindicações 5 a 8. Nesse modo, estando os dois foto sensores ((9) e (10)) abaixo da sombra projetada pelo anel (1), e estando o sistema a operar de dezembro a junho, a medida que o sol se desloca para o norte a sombra projetada pelo anel (1) se deslocará para o sul permitindo assim que o fotosensor-norte (9) fique iluminado com o passar dos dias (vide Figuras 9 e 10). Uma vez que isso aconteça, se o fotosensor-norte (9) estiver por um instante completamente iluminado imediatamente o motor DC (8) será acionado por um

intervalo de tempo de 1,5 s com sentido giro de seu eixo de modo a deslocar a plataforma móvel horizontal (3) para o sul. Sendo este tempo de giro do motor DC (8) (ou motor de passo) suficiente para centralizar o piranômetro (2), montado na plataforma móvel horizontal (3), na região da sombra projetada pelo anel (1) e mais uma vez sombreando o fotosensor-norte (9). Situação análoga acontece caso o período seja de junho a dezembro com o sol se deslocando para o sul e sua respectiva sombra projetada pelo anel (1), para o norte. Dessa vez será o fotosensor-sul (10) que, com o passar dos dias, ficará exposto. E, neste caso, uma ação semelhante e oposta será perpetrada, de acordo com as reivindicações 8 e 9. Dessa forma, o modo de rastreamento (20) garante a manutenção do piranômetro (2), montado na base móvel horizontal (3), sempre abaixo da sombra projetada pelo anel (1) independente da época do ano.

22. A seguir, tem-se a descrição das Figuras apresentadas no texto.

23. Se mostra:

24. Na Figura 1, o anel de sombreamento de Drummond. Adaptado de Dal Pai (2005).

25. Na Figura 2, um anel de sombreamento de Drummond da Kipp & Zonen.

26. Na Figura 3, o anel de sombreamento de Robinson e Stoch. Adaptado de Dal Pai (2005).

27. Na Figura 4, o anel de sombreamento de Melo- Escobedo (ME). Adaptado de Dal Pai (2005).

28. Na Figura 5, o anel de sombreamento de Melo-Escobedo (ME), propriamente dito, em operação.

29. Na Figura 6, o anel de sombreamento de Melo-Escobedo (ME) em operação e detalhe do uso da manivela (7) usada para o deslocamento da base horizontal móvel.

30. Na Figura 7, motor DC BOSCH de 12 V/50W /35-50 rpm utilizado para deslocamento da base móvel horizontal no anel de sombreamento de Melo-Escobedo Automatizado (MEA).

31. Na Figura 8, o Anel de Sombreamento de Melo-Escobedo Automatizado (MEA) em operação mostrando em detalhe: a base fixa horizontal (5) que contém o piranômetro (4) que mede a irradiância solar global, a base móvel horizontal (3) que contém o piranômetro (2) que deve permanecer sombreado pelo anel (1), a haste rosqueada (6) que acoplada ao eixo do motor determina o deslocamento da base móvel horizontal (3) no sentido norte-sul ou sul-norte e ainda, nessa figura, há o posicionamento dos foto sensores norte (9) e sul (10) sobre a base móvel horizontal (3).

32. Na Figura 9, detalhe da base móvel horizontal (3) do MEA em operação (notar a presença da sombra do anel encobrindo o fotosensor-sul (10), o piranômetro (2) e parte do fotosensor-norte (9)), enfatizando o posicionamento dos foto sensores norte (9) e sul (10) eqüidistantes do piranômetro (2), que deve permanecer sombreado, e com distância máxima entre eles, fotosensor-norte (9) e fotosensor-sul (10), igual a menor largura de sombra projetada pelo anel ao longo de um ano para aquela localidade.

33. Na Figura 10, mais um detalhe da base móvel horizontal (3) do MEA em operação, desta vez vista de cima, ressaltando o posicionamento dos foto sensores em relação ao piranômetro (2) e o estado de rastreamento de sombra em que a máquina se encontra. Sendo este o protótipo do equipamento verifica-se, ao notar o fotosensor-norte (9) no limiar da margem norte da sombra, que cabe um ajuste na programação do microcontrolador para que este sensor fique ainda mais centralizado na sombra, centralizando também o piranômetro (2) na mesma, bastando para isso acionar o motor DC (8) por alguns segundos deslocando a base móvel horizontal para o sul.

34. Na Figura 11, tem-se a descrição detalhada de todo o projeto conceitual do Anel de sombreamento de Melo-Escobedo Automatizado (MEA). Sendo o controle central do sistema um microcontrolador (21), a exemplo de PIC (ou ARDUINO), com cinco entradas digitais e três saídas a relé que controlam, a depender das variáveis de entrada e do estado em que se encontra a máquina, inicialização, busca ou rastreamento, o acionamento ou não do motor DC (8) e

também o seu sentido de giro, horário ou anti-horário, determinando assim, através do acoplamento do eixo do motor (8) à haste rosqueada (6), esta acoplada à base móvel (3), o deslocamento da base móvel horizontal (3) para o norte ou para o sul.

35. Na Figura 12, tem-se o desenho mecânico do protótipo do MEA destacando suas características construtivas, dentre elas: as bases fixa (5) e móvel (3) contendo seus respectivos piranômetros; o posicionamento do anel (1) com destaque para as "mãos-francesas" (27) de cada lado da estrutura para fixação do mesmo; a solução encontrada para o motor DC (8) protegido por uma caixa de alumínio (26) contra as intempéries naturais para esse processo de medição; esse motor (8) possui o eixo acoplado a uma haste rosqueada (6) e esta está acoplada à base móvel horizontal (3) fazendo com que o acionamento do motor desloque a plataforma móvel horizontal (3). E por último, ressalta-se a idéia da estrutura superior (24) de 0,15 m ter a possibilidade de ser desacoplada da estrutura base (25) de 0,75 m para ser possível uma fácil manutenção do equipamento em laboratório, de acordo com a reivindicação 13.

36. Nas Figuras 13 e 14, a estrutura básica do anel de sombreamento de Melo-Escobedo Automatizado (MEA) no momento de sua fabricação. Destacando-se a estrutura (24) que se desacopla da estrutura base (25), a haste rosqueada (6) e os mancais e rolamentos (28) que dão sustentação a mesma e o ponto de fixação (29) das "mãos francesas" que fazem a junção do anel com a estrutura mecânica do MEA;

37. Na Figura 15, em detalhe a construção da caixa de sustentação (26) e proteção do motor DC (8); além disso, temos também a visualização da peça metálica(30) que dá suporte ao motor DC (8) acoplado a haste rosqueada (6).

38. Na Figura 16, temos em destaque a peça mecânica (31) que faz o acoplamento do eixo do motor DC (8) com o eixo da haste rosqueada fazendo com que o giro do eixo do motor seja acompanhado do giro da haste rosqueada (6).

39. Na Figura 17, temos em destaque a peça metálica (30) que dá suporte à fixação do motor DC (8) à estrutura metálica, o motor DC (8) e a caixa de proteção do motor (26).

40. Na Figura 18, temos em destaque a peça metálica (30) que dá suporte à fixação do motor DC (8) à estrutura metálica.

41. Na Figura 19, temos em destaque as porcas rosqueadas (32) na haste rosqueada (6) e soldadas aos eixos da base horizontal móvel (3) de modo que um giro na haste rosqueada é "transferido" através das porcas para a base horizontal móvel (3) a fazendo se deslocar.

42. Na Figura 20, temos em destaque o tampo (33) tanto da base horizontal móvel (3) quanto da fixa (5), no qual foram feitos diversos furos para poder comportar piranômetros de diversos fabricantes.

43. Na Figura 21, temos a estrutura metálica do MEA finalizada e antes de ser galvanizada. O destaque de número 34 chama-se Gnomon, instrumento utilizado para determinar o norte geográfico do local onde será feita a medição. Consiste apenas numa haste de ferro de 30 cm de altura com bitola de 1 cm soldada perpendicularmente sobre uma plataforma de alumínio de 30x30 cm usada para a determinação do norte verdadeiro ou norte geográfico com o auxílio de um compasso e uma folha de papel;

44. Na Figura 22, temos a estrutura mecânica do MEA após a galvanização, com destaque para os piranômetros (2) e (4) já instalados. E a presença da sombra do sol sobre o piranômetro (2).

45. Na Figura 23, podemos destacar uma "mão-francesa" (27) que faz a conexão do anel de sombreamento (1) com a estrutura metálica do MEA. Essa conexão também existe no outro lado da estrutura, observando-se também, através desta peça, a possibilidade de ajuste da altura do anel de sombreamento (1) em 7 posições diferentes. E destaca-se também a porca borboleta (35) que faz a conexão do anel (1) a mão-francesa (27) sendo possível ajustar o ângulo de inclinação do anel em relação a vertical local fazendo a folga dessa porca.

46. Na Figura 24, destaca-se um transferidor de ângulo (36), acoplado à extremidade do anel de sombreamento, sendo este necessário para se determinar o ângulo de inclinação do anel em relação a vertical local, de acordo com a reivindicação 11. Destaca-se também a caixa plástica (37) de proteção de toda a

eletrônica de funcionamento do MEA já que este equipamento é exposto continuamente às intempéries.

47. Na Figura 25, destaca-se, em detalhe, o transferidor de angulo (36) anexado ao anel de sombreamento (1).

48. Na Figura 26, destaca-se dois tipos de piranômetros que podem ser empregados para a medição da irradiância solar justificando as diversas furações do tampo (33) (Figura 20) pois existem diversos tipos de piranômetros no mercado, cada um contendo uma base diferente.

49. Na Figura 27, destacam-se as "chaves-fim-de-curso" (11) (fim-de-curso_Norte) e (12) (fim-de-curso Sul) necessárias para que o sistema entenda quando a base horizontal móvel chega no extremo norte do trilho da máquina ou no extremo sul da mesma.

50. Na Figura 28, em detalhe, as "chaves-fim-de-curso" Norte (11) e Sul (12). As chaves-fim-de-curso norte e sul enviam sinais binários para o CLP-PIC (ou ARDUÍNO) sendo 0 (0,0 Volts) o momento em que a chave não está acionada e 1 (12Volts) quando está acionada. Isto é, quando a base móvel a toca. As chaves fim-de-curso fazem parte do projeto elétrico do MEA.

51. Na Figura 29, temos o circuito que faz a interface entre os LDR Norte (9) e Sul (10) e o CLP-PIC (21) (ou ARDUÍNO). Os LDR são sensores pois convertem o sinal luminoso em sinal elétrico. A Figura 29 é de um circuito que faz o interfaciamento entre os LDR e o CLPPIC (ou ARDUÍNO). O mesmo interpreta, através da resistência dos LDR, se a irradiância está ou não abaixo de 450 W/m^2 . Se estiver abaixo de 450 W/m^2 será enviado, de acordo com o circuito, o valor lógico binário 0 (0V) indicando que a plataforma móvel (3) está abaixo da sombra do anel. Se estiver acima de 450 W/m^2 indicará que a plataforma móvel (3) ainda está iluminada pelos raios solares. O estado binário '0' significa que o foto sensor está não-iluminado e portanto encontra-se debaixo da sombra do anel e o estado 1, iluminado, portanto o foto sensor estaria sob o sol.

52. Na Figura 30, temos o CLPPIC (21) (ou ARDUINO) que foi usado para fazer o controle de todo o sistema.

53. Na Figura 31, tem-se o CLPPIC (21) (ou ARDUINO) associado a placa de circuito impresso que faz o interfaciamento entre os LDR e o CLPPIC.

54. Na Figura 32, tem-se todo o circuito de controle do sistema acondicionado numa caixa plástica para proteção (37) contra as intempéries.

55. Na Figura 33 tem-se o MEA em pleno funcionamento. Com destaque para o eixo longitudinal (38) do equipamento e a inclinação (39) do anel de sombreamento (1) em relação ao zênite local. O eixo longitudinal (38) do equipamento deve estar alinhado com a direção norte-sul verdadeiro. O norte verdadeiro (ou geográfico) diferente do norte magnético pode ser obtido fazendo uso de um Gnomon (34), um compasso e uma folha de papel milimetrado. O anel de sombreamento (1) deve ter uma inclinação Φ (39) em relação ao zênite local para o norte no valor da latitude do local (Φ) caso esteja o equipamento no hemisfério sul ou inclinado em relação ao zênite local para o sul no valor da latitude do local (Φ) caso esteja o equipamento no hemisfério norte. A parte frontal do MEA, ou seja, aquela que ficará voltada para o norte geográfico, no sentido do eixo longitudinal (38), não pode ser invertida pois toda a programação do microcontrolador, relativa aos LDRs, chaves-fim-de-curso e sentido de giro do motor, está baseada numa orientação fixa. A parte frontal do MEA deve ser aquela em que se encontra o piranômetro (4) que mede a irradiância global montado na base horizontal fixa (5) convencionando-se este ser o lado norte do equipamento.

56. Na Figura 34, tem-se a máquina de estado do sistema de controle embarcado no CLPPIC (21) (ou ARDUINO).

57. Na Figura 35, tem-se o esquema de ligação dos relés para o projeto eletrônico de acionamento do motor DC (8).

58. Na Figura 36, tem-se a variação da largura de sombra W , ao longo de um ano, para um anel de sombreamento de largura igual a 3 pol (0,0762 m).

59. Na Figura 37, tem-se a fotografia de um "encoder" (40), dispositivo/sensor eletro-mecânico cuja funcionalidade é transformar posição em sinal elétrico digital. Com a utilização de encoders (40) é possível quantizar distâncias, controlar velocidades, medir ângulos, número de rotações, realizar

posicionamentos, rotacionar braços robóticos e etc. A partir do uso deste equipamento será possível posicionar a plataforma horizontal móvel (3) sob a sombra projetada pelo anel a partir da localização astronômica do sol.

60. O projeto conceitual de todo o sistema MEA está descrito na Figura 11. Na Figura pode-se observar o desenho de um CLPPIC (21) (ou ARDUINO). O CLPPIC (21) é um Controlador Lógico Programável (CLP) baseado num microcontrolador PIC (ou ARDUINO). No CLPPIC (21) (ou ARDUINO) está embarcado um software, escrito na linguagem C, desenvolvido para controlar o acionamento do motor DC (8) de modo a posicionar a plataforma móvel horizontal (3) abaixo da sombra projetada pelo anel (1). Este controle está baseado em cinco entradas digitais oriundas de dois foto sensores (LDRs) especificados na Figura 11 como FS_Norte (9) (Entrada Digital 1 ou E.DIG1) e FS_Sul (10) (E.DIG2), de duas chaves de fim de curso FC_Norte (11) (E.DIG3) e FC_Sul (12) (E.DIG4) e de um sinal vindo do piranômetro (4) totalmente exposto ao sol tratado por um datalogger (13) denominado de Rad_Ok (14) (E.DIG5) que indica se a irradiância solar global está igual ou acima de 800 W/m^2 . O sinal proveniente dos foto sensores indicando luminosidade ou sombra precisa ser interpretado. Para tal foi desenvolvido uma PCI (Placa de Circuito Impresso) (22), um controle externo em que o sinal proveniente dos foto sensores sai tratado para o CLPPIC (21) (ou ARDUINO), que identifica se a base móvel (3) encontra-se ou não abaixo da sombra do anel (1) servindo assim de controle da posição da mesma. O sinal analógico proveniente de dois piranômetros, o piranômetro que mede a irradiância global (4) e o piranômetro que mede a irradiância difusa (sombreado) (2), seguem para duas entradas analógicas existentes no "Datalogger" (13), podendo ser monitorado através do supervisor do "Datalogger", o "Loggernet" (13), instalado em um computador. O "Datalogger" (13) é programado para efetuar a leitura de valores da irradiância solar global e difusa a cada segundo armazenando a média de 60 leituras em 60 s, ou seja, armazenando um valor médio a cada minuto. São três as saídas do CLPPIC (21) (ou ARDUINO), a saber: a saída do Relé1 (S.Relé1) (15), a saída do Relé2 (S.Relé2) (16) e a saída do Relé3 (S.Relé3) (17). A saída S.Relé1 (15) e a saída

S.Relé3 (17) estão em contato direto com os terminais do motor DC (8) controlando o mesmo a partir das “decisões” do CLPPIC (21) (ou ARDUINO). Estas “decisões” do CLPPIC (21) estão baseadas em três modos de trabalho do sistema como um todo, como já mencionado: o modo de inicialização (Modo_I) (18), o modo de busca da sombra do anel (Modo_B) (19) e o modo de rastreamento (Modo_R) (20) desta. O motor DC (8), por sua vez, é alimentado por uma bateria de 12 V que é carregada por um painel fotovoltaico (23). O CLPPIC (21) é alimentado por uma fonte DC de 12 V ligada a rede elétrica devido às oscilações inerentes a um sistema fotovoltaico. Por fim, pode ser visto na Figura 11 que toda a estrutura do Anel de Melo-Escobedo Automatizado (MEA) é orientada na direção norte-sul geográfico.

61. O projeto mecânico do protótipo do MEA está descrito na Figura 12. A primeira parte a ser construída foi a estrutura básica de sustentação, Figura 13. Toda a estrutura foi feita em ferro, com cantoneira 1 ¼ pol com dimensões: 0,9 m de altura, 0,8 m de comprimento e 0,3 m de largura. A estrutura foi executada com o intuito de permitir desacoplar a parte superior (24) (de 0,15 m de altura) da estrutura-base inferior (25) (de 0,75m de altura), para possibilitar o trabalho em uma bancada para ajustes do equipamento, caso necessário, de acordo com a reivindicação 13. Nota-se, em destaque, na Figura 14 que na metade superior da estrutura há o local (29) onde será instalado o anel de sombreamento. Na Figura 13, nota-se o parafuso-sem-fim (haste rosqueada) (6), feito em aço inoxidável de 0,016 m de bitola. O mesmo está sendo sustentado por dois mancais (28) em suas extremidades e acoplado a estes mancais há rolamentos para diminuir a resistência ao giro. A etapa seguinte foi a construção da caixa de sustentação e proteção (26) do motor DC (8), como pode ser vista na Figura 15. A função básica desta caixa (26) é a sustentação do motor DC (8) na estrutura física do anel de sombreamento de Melo-Escobedo Automatizado (MEA), mas também serve para proteção contra as intempéries, pois como será visto adiante ela será coberta com paredes de alumínio. Dois pontos fundamentais da construção desta estrutura do MEA foram ligar o eixo do motor DC (8), visto em detalhes na Figura 7, à haste rosqueada (6) através da peça mecânica (31) vista na Figura 16 e fixar o motor DC (8) à estrutura.

Uma peça metálica (30) (Figuras 15,16,17 e 18) foi criada para conectar os três parafusos do motor DC (8) à estrutura do MEA e a base desta peça (30) (Figura 18) foi fixada à estrutura dentro da caixa de proteção (26) do motor DC (8). Um detalhe importante de ser mencionado foi a colocação de buchas de plástico entre os parafusos do motor DC (8) e a peça (30) que acopla o motor DC (8) à carenagem da estrutura da máquina evitando assim acúmulo de carga eletrostática na estrutura mecânica, o que poderia afetar o funcionamento do CLPPIC (21) (ou ARDUINO). A fase seguinte foi a fixação dos eixos (32) da base móvel horizontal (3) à haste rosqueada para viabilizar o deslocamento do piranômetro (2) ao longo da linha norte-sul e manter-se dentro da faixa sombreada. A solução foi soldar porcas, já rosqueadas ao parafuso-sem-fim (haste rosqueada) (6), aos eixos da base horizontal móvel de modo que ao girar o parafuso tem-se o deslocamento da mesma (Figura 19). Foi feita uma estrutura (base horizontal fixa (5)) para sustentar o piranômetro (4) que mede a irradiância solar global horizontal como pode ser visto na Figura 21. As bases horizontais, móvel (3) e fixa (5), foram instaladas de modo a que ficassem na mesma altura para que os piranômetros possam medir em iguais condições. Foi feita a furação das bases para que fosse possível fixar até três tipos de piranômetros de diferentes tamanhos e marcas de acordo com a Figura 20. Por fim, foi construído e fixado o arco de anel de sombreamento (1) feito de alumínio com 3 pol (0,0762 m) de largura e raio igual a 0,3 m como pode ser visto na Figura 21. Foi escolhido o arco de anel ao invés do anel propriamente dito por ser de mais fácil construção e por ser o arco de anel também utilizado em anéis de sombreamento comerciais. A fixação do arco de anel (1) foi feita usando-se dois apoios tipo mão-francesa (27) (Figura 23) associadas a parafusos providos de porcas do tipo borboleta (35) (Figura 23) para facilitar o posicionamento do mesmo com relação a latitude local. Na Figura 21 nota-se também a presença do Gnomon (34), usado para traçar o norte geográfico ou norte verdadeiro. Terminada a etapa da construção mecânica do MEA, foi feita a sua galvanização para aumentar sua vida útil uma vez que o equipamento ficará exposto às intempéries ininterruptamente; o resultado final pode ser visto na Figura 22 com todo equipamento mecânico já montado, e com seu eixo

longitudinal (38) (Figura 33) alinhado com a direção norte-sul geográfica. Na sequência o arco de anel (1) foi pintado na cor preto fosco (Figura 33) para diminuir reflexões devido ao albedo. Um transferidor de ângulo (36) (Figura 24) foi acoplado à extremidade do anel (1) para que fosse possível o posicionamento (39) correto do anel de sombreamento (1) a depender da latitude em questão, de acordo com a Figura 33 e de acordo com a reivindicação 11.

62. Para o projeto do sistema de controle primeiramente foi desenvolvida a máquina de estado de todo o sistema, descrita na Figura 34. Nessa Figura,destacam-se:

ENTRADAS DO CLPPIC (ou ARDUINO)

1. Fotosensor_Norte (FSN): X000;
2. Fotosensor_Sul (FSS): X001;
3. Chave-Fim-de-Curso_Norte (CFCN): X010;
4. Chave-Fim-de-Curso_Sul (CFCS): X011;
5. Irradiância ou Rad_Ok (I): X100;
6. RESET.

SAÍDAS DO CLPPIC (ou ARDUINO)

1. Armar Giro para o Norte (GN): Z1 = 1;
2. Armar Giro para o Sul (GS): Z1 = 0;
3. Acionar_Motor (AM): Z2 = 1;
4. Desligar_Motor (DM): Z2 = 0.

ESTADOS

1. S0: Posição Qualquer;
2. S1: Modo_Inicialização;

3. S2: Posição Inicial;
4. S3: Modo_Busca;
5. S4: Posição Abaixo da Sombra do Anel (Modo_Rastreamento);
6. S5: Erro (sistema de alerta de mensagens, de acordo com a reivindicação 12).

63. De acordo com a Figura 34, inicialmente a plataforma horizontal móvel (3) está em uma posição qualquer, estado S0, sobre o eixo norte-sul geográfico (eixo longitudinal (38)). Quando o botão de RESET é acionado a máquina entra no Modo_Inicialização (estado S1) armando o sentido do movimento, no caso Giro_Para_Norte (GN) (o sentido Norte foi escolhido como referência) através do comando de saída $Z1 = 1$ e logo em seguida aciona o motor DC pelo comando de saída $Z2 = 1$ (AM), de acordo com a reivindicação 4. Quando a plataforma móvel (3) atingir a Chave-Fim-de-Curso_Norte (11), a entrada CFCN será levada a 1, ou, $X010 = 1$ portanto um comando de saída para desligar o motor (DM) será acionado: $Z2 = 0$. Entrando a máquina no estado S2 (posição inicial). A partir desse instante será verificado se a entrada X100, proveniente de um sinal digital vindo do “datalogger” que está recebendo os sinais analógicos do piranômetro (4) que mede a irradiância global, está no nível lógico 1 ou 0. Se estiver no nível lógico 0 significa que não há uma irradiância solar global maior ou igual a 800 W/m^2 e portanto, não há distinção suficiente entre o que é sombra do anel (1) e a região do entorno da sombra. Se estiver no nível lógico 1 significa irradiância solar global igual ou acima de 800 W/m^2 , garantido uma região sombreada passível de ser detectada pelos foto sensores. Então se a entrada $X100 = 0$, a plataforma móvel (3) deve se manter na posição inicial (S2), mas se $X100 = 1$ (Irradiância global $\geq 800 \text{ W/m}^2$) será questionado pelo software instalado no CLPPIC (21) (ou ARDUINO) se o Fotosensor_Norte (FSN) (9) está ou não iluminado pelo sol. Se estiver iluminado $X000 = 1$ caso contrário $X000 = 0$ (abaixo da sombra do anel). Então estando a plataforma móvel na posição inicial (S2), se $X100 = 1$ e $X000 = 1$ um comando de saída mandando armar o sentido de giro para o sul (GS) será declarado fazendo $Z1$

= 0 e logo em seguida o motor será acionado ($Z2 = 1$). A partir desse instante a máquina entra no Modo_Busca (S3) sendo questionado se a irradiância (I) e o Fotosensor_Norte (FSN) estão no nível lógico 1 caso positivo, mantém-se o giro para o sul ($Z1 = 0$) e o motor acionado ($Z2 = 1$), de acordo com as reivindicações 5 e 6. Caso uma nuvem passe encobrendo o sol no instante em que a plataforma móvel (3) está se deslocando para o sul, $X100 = 0$, mantém-se a máquina armada para girar para sul, mas desliga-se o motor ($Z2 = 0$), isto é, a base horizontal móvel (3) pára, de acordo com a reivindicação 7. Quando a nuvem sair da frente do sol e a irradiância estiver igual ou acima de 800 W/m^2 mais uma vez o sistema é acionado mantendo-se no modo de busca e se deslocando para o sul até que a entrada do Fotosensor_Norte vá a zero, $X000 = 0$, e caso isso ocorra, significará que o foto sensor norte “encontrou” a borda norte da sombra do anel (1). Nesse mesmo instante um comando para desligar o motor (8) é acionado, a plataforma móvel (3) pára com o piranômetro (2) posicionado exatamente abaixo da sombra do anel (1) e também com os dois foto sensores sombreados exatamente nas bordas da sombra. A máquina entra no Modo_Rastreamento, estado S4, de acordo com a reivindicação 8. Nesse estado, caso a irradiância $X100 = 1$ e o Fotosensor_Sul (10) se iluminar $X001 = 1$ significa que o período seria de junho a dezembro em que o sol, em seu movimento aparente, se desloca para o sul e a sombra para o norte “descobrimo” o fotosensor sul (10); um comando de saída para armar a máquina para girar para o norte será acionado, $Z1 = 1$ (GN) e logo em seguida o motor (8) será acionado por um intervalo de 1,5 s (pulso) deslocando a plataforma móvel (3) para o norte em aproximadamente 0,002 m fazendo a entrada X001 (FSS) voltar para o nível lógico 0. Situação análoga para o caso do foto sensor norte (9) ficar iluminado $X000 = 1$ (estando a irradiância $X100 = 1$), a sombra estaria se deslocando para o sul (período de dezembro a junho). Portanto um pulso de 1,5 s seria dado para o sul fazendo a entrada $X000 = 0$. Caso a entrada X000 ainda não vá para zero quer dizer que o FSN (9) ainda está sob a luz do sol, portanto mais um pulso será dado deslocando mais uma vez a base móvel para o sul; esse processo se repetirá até que o foto sensor norte (9) seja encoberto pela sombra do anel (1), de acordo com a reivindicação 9.

Caso a máquina esteja no modo rastreamento e por algum motivo, estando a irradiância acima de 800 W/m^2 , os dois foto sensores FSN (9) e FSS (10) estejam iluminados, isto é, $X000 = 1$ e $X001 = 1$ o sistema voltará para o estado S0 se “auto-resetando” e uma mensagem de erro, via celular, será enviada a um operador (para o caso de algum incidente derrubar o anel de sombreamento (1), por exemplo), de acordo com a reivindicação 12. Há ainda o estado S5 (ERRO) que acontece caso a máquina, estando no modo de busca (estado S3), com a irradiância $X100 = 1$, e tanto o Fotosensor_Norte (9) quanto a Chave-Fim-de-Curso_Sul (12) assumirem o nível lógico 1, $X000 = 1$ e $X011 = 1$, respectivamente. Significando que a plataforma móvel (3) cruzou toda a extensão do seu percurso sem encontrar a sombra do anel (1); imediatamente ao tocar a CFCS (12) o motor (8) será desligado e um sinal de erro ativado também enviando uma mensagem de erro a um operador, via celular, de acordo com a reivindicação 12.

64. Na seqüência tem-se o esquema de ligação dos relés para o projeto eletrônico de acionamento do motor DC (8). As três saídas à relé do CLPPIC (21) (ou ARDUINO) controlam, além da ativação ou a desativação do motor DC (8) que está acoplado à haste rosqueada (6), o sentido de giro do mesmo. A haste rosqueada (6) está acoplada à base móvel (3) onde se encontra o piranômetro (2) que deve permanecer sombreado. Na Figura 35 tem-se os relés 1,2,3 e 4 que vêm na placa CLPPIC (21) mas o relé 4 não está sendo utilizado. Cada relé possui três terminais, a saber:

- Relé 1: terminais 1 (normalmente aberto - NA), 2 (comum - C) e 3 (normalmente fechado - NF);
- Relé 2: terminais 4 (NA),5 (C) e 6 (NF);
- Relé 3: terminais 7 (NA),8 (C) e 9 (NF).

65. Os terminais do motor DC (8) estão ligados aos terminais dos relés. O contato positivo do motor está conectado ao terminal 2 (Comum), do relé 1, que está desconectado. E o contato negativo do motor (8) está conectado ao terminal 8

(comum) do relé 3 que está ligado ao terra. Para que a plataforma móvel siga na direção norte, por exemplo, o programa embarcado no CLP-PIC (21) (ou ARDUINO) manda um comando para acionar o relé 1; uma vez acionado o contato móvel do relé muda da posição 3 para a 1 que está ligada pelo “jumper” 15 a Vcc (12 V). Dessa forma o contato positivo do motor DC (8) recebe 12 V estando o contato negativo já ligado ao terra acionando o motor (8). Para que a plataforma móvel (3) siga para o sul (sentido contrário) e para que não haja uma mudança brusca de direção, já que a base horizontal móvel (3) estava indo na direção norte, primeiramente o relé 1 será desativado fazendo o contato positivo do motor DC (8) ficar em aberto, logo em seguida os relés 2 e 3 serão acionados fazendo o contato negativo do motor DC (8) ficar com 12 V (terminal 7, relé 3) e o terminal 1 do relé 1, ligado pelo “Jumper” 15, conectado ao terra (terminal 4, relé 2). Como o relé 1 está desligado o motor permanece desativado mas já armado para o giro sul, desta vez. Ao acionar o relé 1 o contato positivo do motor DC (8) estará ligado ao terra enquanto que o negativo a Vcc (12V) invertendo assim o sentido do movimento de giro do motor e dessa forma fazendo a plataforma móvel se deslocar para o sentido sul.

66. Quanto ao posicionamento dos dois foto sensores (norte e sul), estes foram estrategicamente posicionados na plataforma móvel (3) de modo que o piranômetro (2) ficasse equidistante de ambos (na direção norte-sul), de acordo com as reivindicações 2 e 3, e que a distância entre os dois fosse igual ou menor que a mínima largura de sombra que acontece ao longo de um ano de acordo com a equação mostrada na equação 1 a seguir, de acordo com a reivindicação 3. No caso, para este protótipo do MEA foi usada uma banda de sombra (ou anel de sombreamento) (1) com largura $b = 3 \text{ pol} (0,0762 \text{ m})$ causando uma largura de sombra mínima de 0,0725 m para o mês de dezembro (para latitude $\Phi = -8,05^\circ$, Recife, Pernambuco, Brasil) sendo, então, esta distância, 0,0725 m, a distância máxima entre os foto sensores. Fazendo, dessa forma, assegura-se que, estando o sistema no modo de busca (19) (plataforma horizontal (3) se deslocando do final do trilho, ao norte, para o sul), o fotosensor-sul (10) também estará sombreado quando

o fotosensor-norte (9) encontrar a borda norte da sombra atingindo assim um equilíbrio estável. O posicionamento dos foto sensores pode ser visto nas Figuras 8,9 e 10.

67. Quanto ao projeto da largura do anel de sombreamento (1) (banda de sombra) do MEA, esta dependerá, a princípio, da largura do piranômetro que está sendo utilizado para aferição da irradiância difusa, pois, como o piranômetro precisa estar sombreado durante todo o ano, a largura da sombra projetada deve ser maior ou igual a largura da área sensível do piranômetro; dessa forma, da equação a seguir, pode-se determinar a largura de sombra 'W' projetada, pelo anel (1), para cada dia do ano a partir da largura do anel de sombreamento (1) 'b' e dos seguintes parâmetros: 'δ', a declinação solar que depende do dia do ano e 'Φ' a latitude do local, de modo que a largura de sombra 'W' mínima deve ser maior ou igual a largura da área sensível do piranômetro.

$$W = \frac{b \cos(\delta)}{\cos(\Phi - \delta)} \quad (1)$$

68. Um exemplo da variação da largura de sombra 'W' ao longo de um ano para uma banda de sombra (1) de largura $b = 3$ pol (0,0762 m) pode ser visto na Figura 36. Pode-se verificar na Figura que a largura da sombra projetada, ao longo de um ano, varia de 0,0725 m em dezembro a 0,082 m em junho.

69. A precisão na medida da irradiância difusa é afetada pela própria banda de sombra (1) pois a mesma, ao bloquear a irradiância direta, também bloqueia parte da difusa, sendo este outro fator que deve ser considerado na hora de se dimensionar a largura da banda de sombra (1). Portanto, faz-se necessário proceder uma correção das leituras e para isso é usada a equação a seguir específica para o anel de sombreamento de Melo-Escobedo, conhecida como Fator de Correção:

$$F_{C,ME} = \left\{ 1 - \left(\frac{2b}{\pi R} \cos(\delta) \left[\frac{\cos(\phi - \delta)}{\cos(\phi)} \right]^2 (\cos(\phi) \cos(\delta) \text{sen}(\omega_p) + \omega_p \text{sen}(\phi) \text{sen}(\delta)) \right) \right\}^{-1} \quad (2)$$

70. Sendo 'b' a largura do anel de sombreamento (1), 'R' o raio do anel de sombreamento (1), ' δ ' a declinação solar, ' Φ ' a latitude local e W_P é o ângulo horário do pôr-do-sol. Portanto, de maneira simplificada, o valor da irradiância difusa medida pelo MEA a cada minuto (a média de 60 leituras a cada 60 segundos) deve ser multiplicado pelo fator de correção e armazenado no sistema de aquisição de dados (Datalogger).

71. Todo o sistema MEA pode ser aperfeiçoado para um sistema de localização astronômica do sol e por conseguinte prever o posicionamento da sombra projetada pelo anel (1) sobre o trilho, alinhado na direção norte-sul verdadeiro, com maior precisão, posicionando a base horizontal móvel (3) com o uso de um "encoder" (40) (Figura 37) acoplado a haste rosqueada (6), de acordo com a reivindicação 14.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

72. COLLARES PEREIRA, M.; RABL, A. **The average distribution of solar radiation correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values**, Solar Energy, 22 (2), 155-164, 1979.

73. DAL PAI, A.; ESCOBEDO, J.F. **Anisotropia da irradiância solar difusa medida pelo método de sombreamento Melo-Escobedo: fatores de correção anisotrópicos e modelos de estimativa**. Energia na Agricultura - FCA/UNESP – Botucatu-SP – Brasil, 2005.

74. DUFFIE, John A.; BECKMAN, William A. **Solar Engineering of Thermal Processes**. 2nd ed. A Wiley-Interscience Publication. JOHN WILEY & SONS, INC., 1991. 10 p.

75. FRAIDENRAICH, Naum; LYRA, Francisco. **Energia Solar: fundamentos e tecnologias de conversão heliotermoeétrica e fotovoltaica**. Ed. Universitária da UFPE, Recife, PE, Brasil, 1995.471p. ISBN 85-7315-024-6

76. MELO, J. M. D., 1993: **Desenvolvimento de um sistema para medir simultaneamente radiações global, difusa e direta** (in Portuguese). Tese de Doutorado, Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP-Botucatu-SP-Brasil, 130 pp.

77. OLIVEIRA, A. P.; MACHADO A. J.; ESCOBEDO, J. F. **A new shadow-ring device for measuring diffuse solar radiation at the surface**. Journal of Atmospheric and oceanic technology, São Paulo, 2002. Vol. 19.

78. SIQUEIRA, ADALBERTO NUNES DE. **Geração sintética da irradiação solar diária no Brasil para aplicações energéticas**. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, 2008.

79. TIBA, CHIGUERU. **O Recurso solar no Brasil: dados Terrestres**, Ed. Universitária da UFPE, Recife, PE, Brasil, 2000.

80. HI Tecnologia - Automação industrial. [ENCODERS]. Disponível em: <<https://www.hitecnologia.com.br/blog/o-que-%C3%A9-encoder-para-que-serve-como-escolher-como-interfacear/>>. Acesso em: 04 fev. 2019.

REIVINDICAÇÕES

1. Anel de sombreamento de Melo-Escobedo Automatizado (MEA), caracterizado pela automação do anel de sombreamento(1) de Melo-Escobedo que se dá através da troca da manivela(7) por um motor (8) acionado por um sistema de controle eletrônico de malha fechada baseado em foto sensores que reconhecem a presença de luz ou ausência dela (sombra).
2. Anel de sombreamento de Melo-Escobedo Automatizado (MEA), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo posicionamento de foto sensores (LDRs),(9) e (10), às margens da sombra projetada pelo anel de sombreamento (1), sobre a plataforma móvel horizontal (3);
3. Anel de sombreamento de Melo-Escobedo Automatizado (MEA), de acordo com as reivindicações 1 e 2, caracterizado por ter a largura de sombra W sobre o detector dada pela Equação $W = \frac{b \cdot \cos \delta}{\cos(\varphi - \delta)}$ onde b é a largura do anel de sombreamento, φ a latitude local e δ a declinação solar.
4. Anel de sombreamento de Melo-Escobedo Automatizado (MEA), de acordo com as reivindicações 1 a 3, caracterizado pela solução em que ao reiniciar o sistema, a base horizontal móvel(3) parte de onde estiver no trilho em direção ao sentido norte do mesmo já que a máquina tem seu eixo longitudinal(38) alinhado com a direção norte-sul;
5. Anel de sombreamento de Melo-Escobedo Automatizado (MEA), de acordo com as reivindicações 1 a 4, caracterizado por entrar no modo de busca(19) a partir do momento em que a base horizontal móvel(3) atinge o fim-de-curso norte(11) e agora no modo de busca(19) a base horizontal móvel(3) irá na direção sul até encontrar a sombra projetada pelo anel.
6. Anel de sombreamento de Melo-Escobedo Automatizado (MEA), de acordo com as reivindicações 1 a 5, caracterizado por , no modo de busca(19), que enquanto a base horizontal móvel(3) segue em direção sul, há dois questionamentos ao sistema, sendo que o primeiro questionamento pergunta se há, no entorno, uma irradiância solar global maior ou igual a $800\text{W}/\text{m}^2$, e

o segundo questionamento refere-se a saber se o fotosensor(LDR) norte(9) encontrou, no caminho no sentido sul, a sombra projetada pelo anel(1) de sombreamento, ou seja, uma irradiância menor ou igual a 450W/m^2 .

7. Anel de sombreamento de Melo-Escobedo Automatizado (MEA), de acordo com as reivindicações 1 a 6, caracterizado por ter no modo de busca(19) o questionamento se a irradiância solar global está maior ou igual a 800 W/m^2 , caso esteja menor, a base horizontal móvel(3) pára, só voltando seu percurso em sentido sul caso a irradiância solar global volte a ser maior ou igual a 800W/m^2 .
8. Anel de sombreamento de Melo-Escobedo Automatizado (MEA), de acordo com as reivindicações 1 a 7 caracterizado por ter no modo de busca o segundo questionamento, caso o primeiro tenha sido satisfeito, o qual pergunta se o LDR_Norte(9) encontrou uma irradiância menor ou igual a 450 W/m^2 no caminho em sentido sul e que caso positivo a base horizontal móvel (3) entra no modo de rastreamento(20) nesse instante por ter encontrado a sombra projetada pelo anel de sombreamento.
9. Anel de sombreamento de Melo-Escobedo Automatizado (MEA), de acordo com as reivindicações 1 a 8, caracterizado por ter no modo de rastreamento(20) dois algoritmos, um questiona se a irradiância solar global está maior ou igual a 800W/m^2 e caso positivo, questiona o LDR_Norte(9) se o mesmo encontra-se iluminado, caso positivo há um comando de mover a base horizontal móvel(3) por um certo tempo no sentido sul, o outro algoritmo também questiona se há uma irradiância maior ou igual a 800 W/m^2 e caso positivo, questiona o LDR_Sul(10) se o mesmo encontra-se iluminado, caso positivo há um comando de mover a base horizontal móvel(3) por um certo tempo no sentido norte, a depender se a trajetória aparente do sol está se deslocando no sentido norte (de dezembro a junho) ou se está se deslocando no sentido sul (de junho a dezembro), respectivamente.

10. Anel de sombreamento de Melo-Escobedo Automatizado (MEA), de acordo com as reivindicações 1 a 9, caracterizado por ter todos os processos descritos embarcados em um microcontrolador(21).
11. Anel de sombreamento de Melo-Escobedo Automatizado (MEA), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por fazer uso de um transferidor de ângulo(36) para determinar a posição angular do anel de sombreamento em relação a vertical local(zênite).
12. Anel de sombreamento de Melo-Escobedo Automatizado (MEA), de acordo com as reivindicações 1 a 10, caracterizado por possuir um sistema de alerta de mensagens que envia uma mensagem de erro como mensagem de texto para o celular de um operador caso haja dois tipos de erro no sistema, ou o sistema estando no modo de busca(19), com a base horizontal móvel(3) se dirigindo para o sul em busca da sombra do anel(1), não encontra a sombra em todo o percurso e toca a chave-fim-de-curso Sul(12) ou estando o sistema no modo rastreamento(20) com o piranômetro(2) da base horizontal móvel(3) sombreado pela sombra do anel com os dois foto sensores LDR_Norte(9) e LDR_Sul(10) sombreados de repente ficarem expostos ao sol configurando uma possível queda do anel de sombreamento(1) devido provavelmente a uma ventania, animais ou vandalismo.
13. Anel de sombreamento de Melo-Escobedo Automatizado (MEA), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por possuir um sistema de desacoplamento da estrutura superior(24) da base(25) fixada ao ambiente possibilitando a fácil manutenção e análise do equipamento em laboratório para possíveis reparos.
14. Anel de sombreamento de Melo-Escobedo Automatizado (MEA), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por utilizar um sistema de localização astronômica do sol e por conseguinte prever o posicionamento da sombra projetada pelo anel(1), com maior precisão, posicionando a base horizontal móvel(3) com o uso de um "encoder" (40).

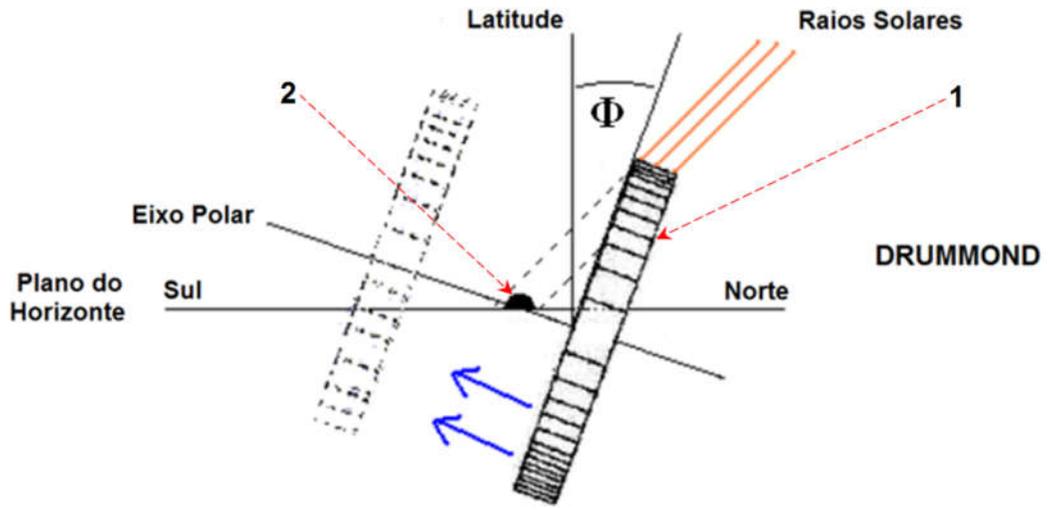


Figura 1



Figura 2

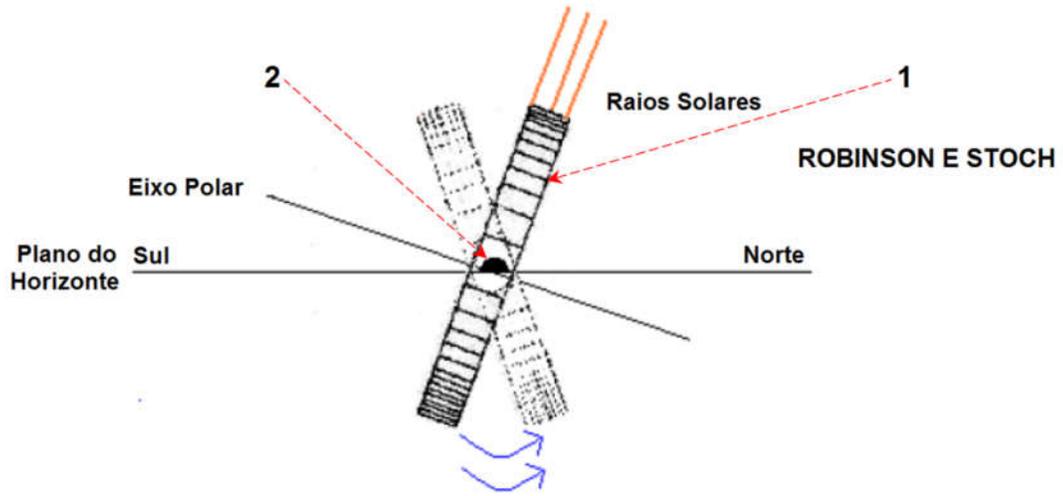


Figura 3

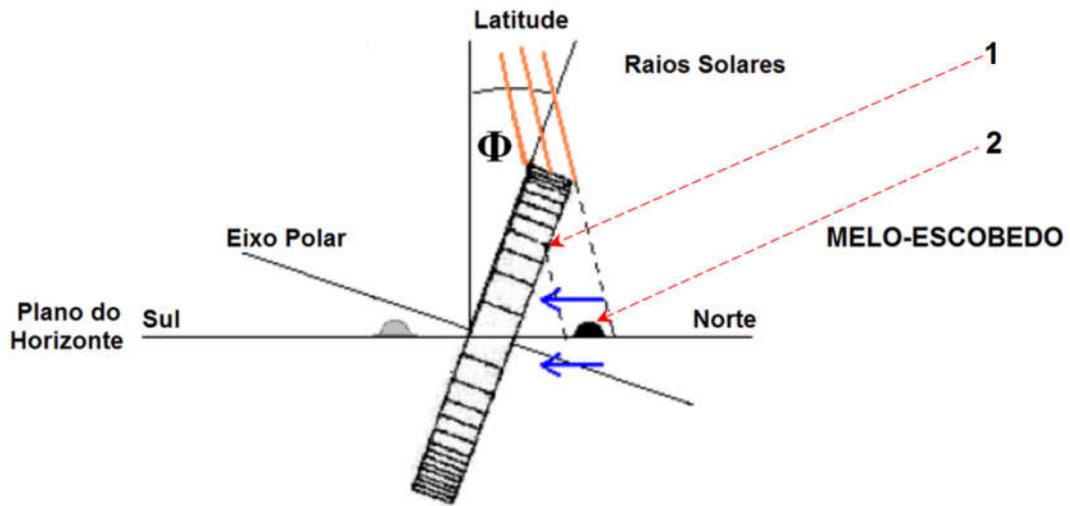


Figura 4

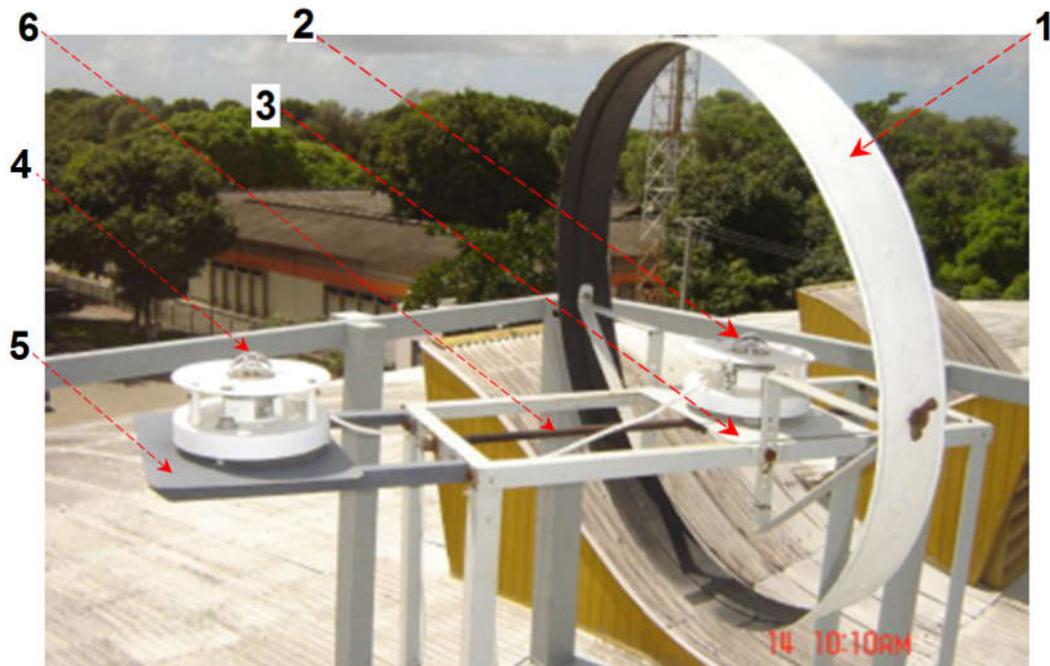


Figura 5

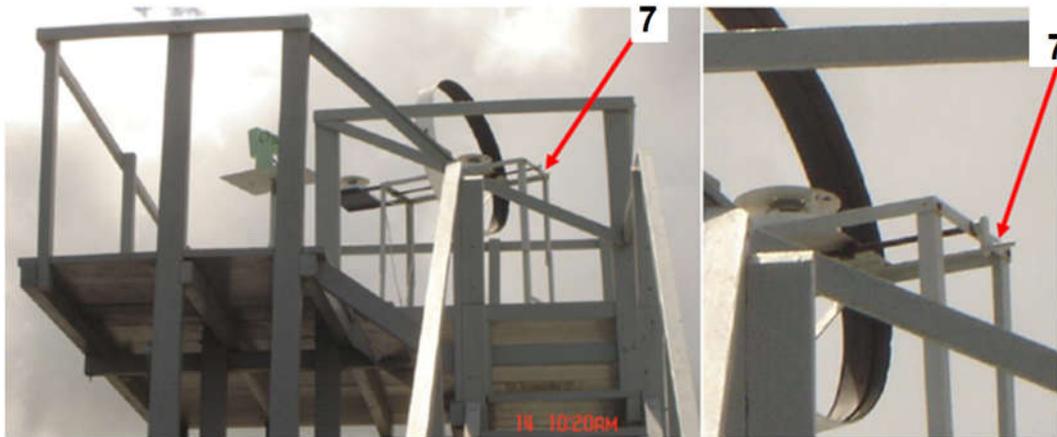


Figura 6



Figura 7

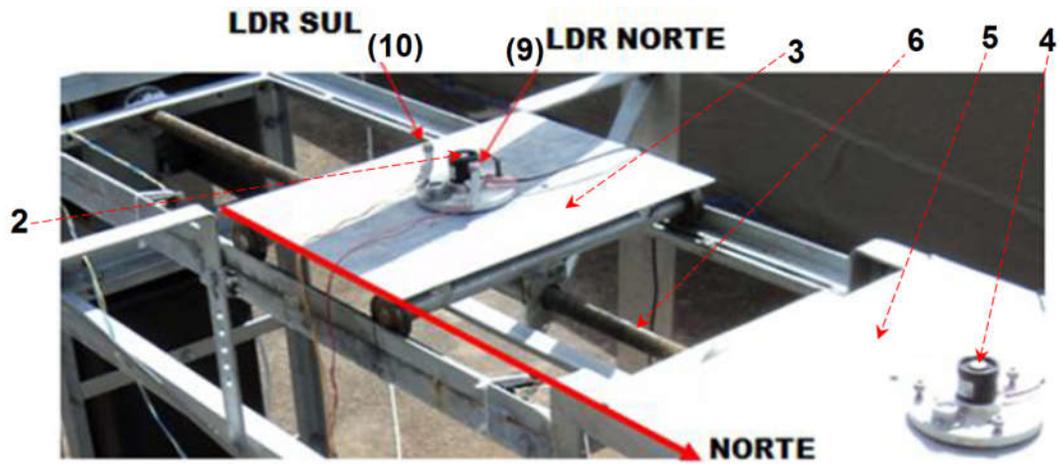


Figura 8

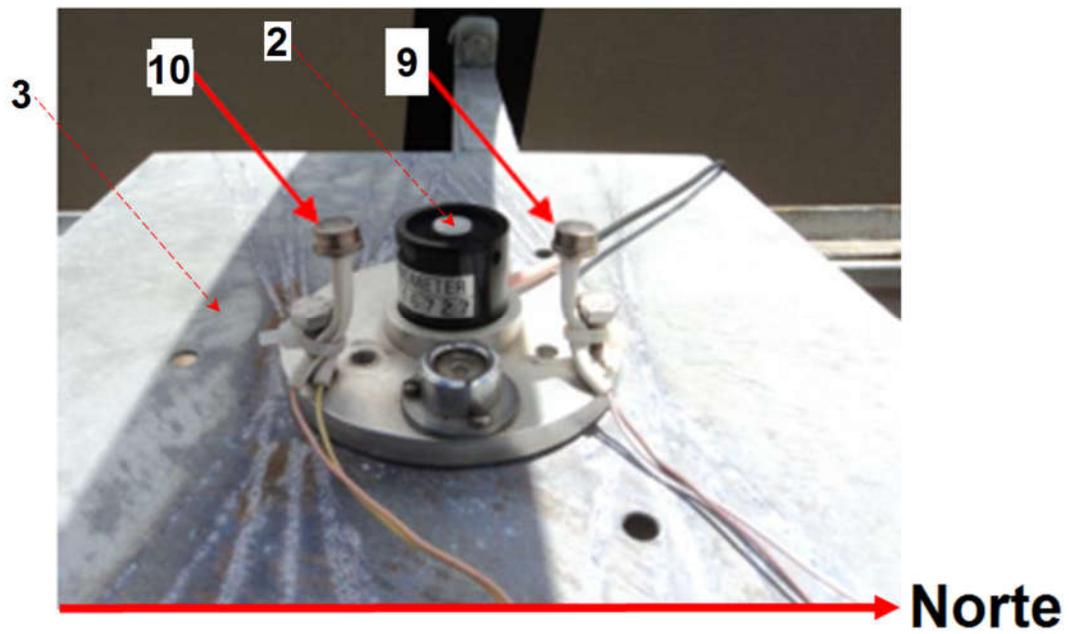


Figura 9

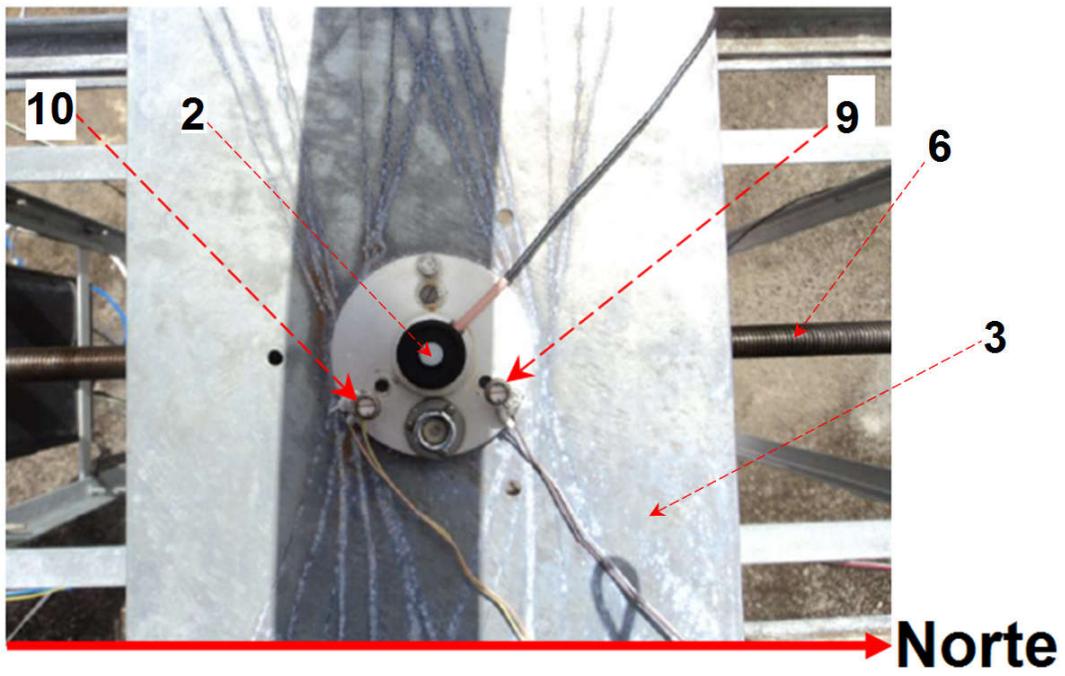


Figura 10

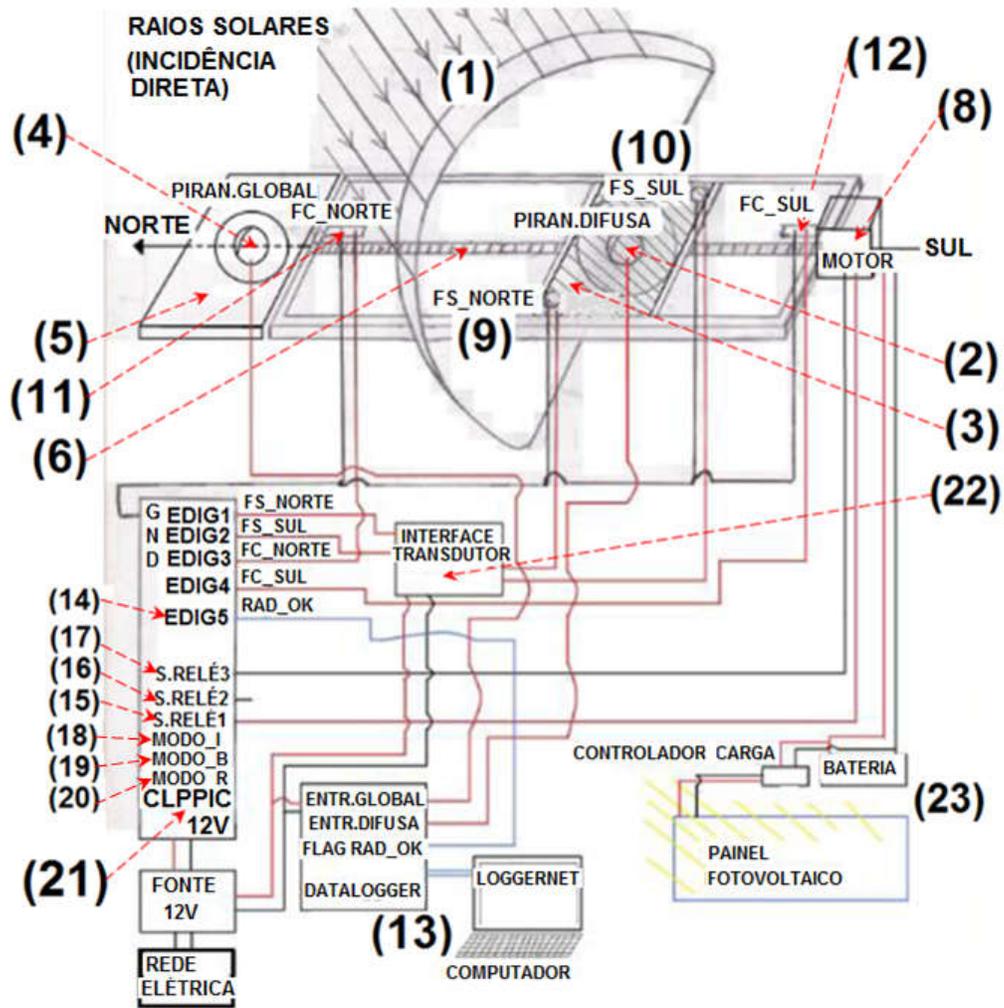


Figura 11

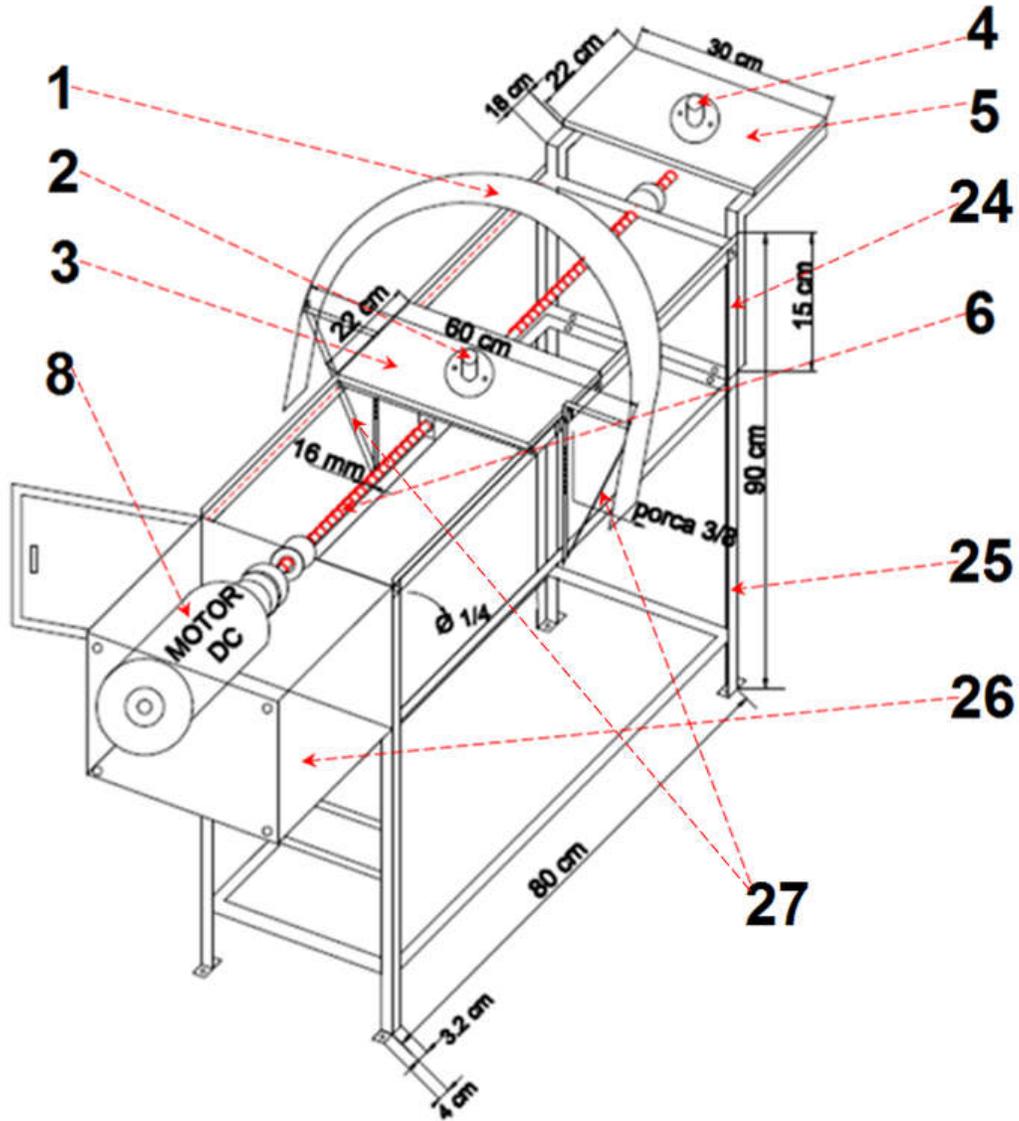


Figura 12

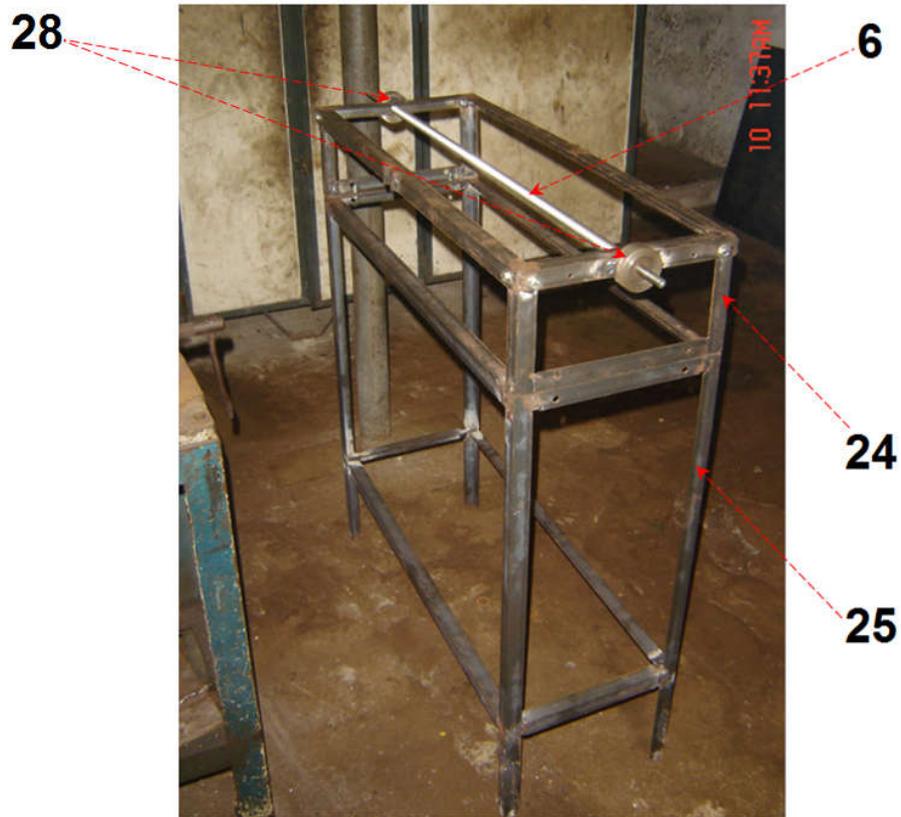


Figura 13



Figura 14

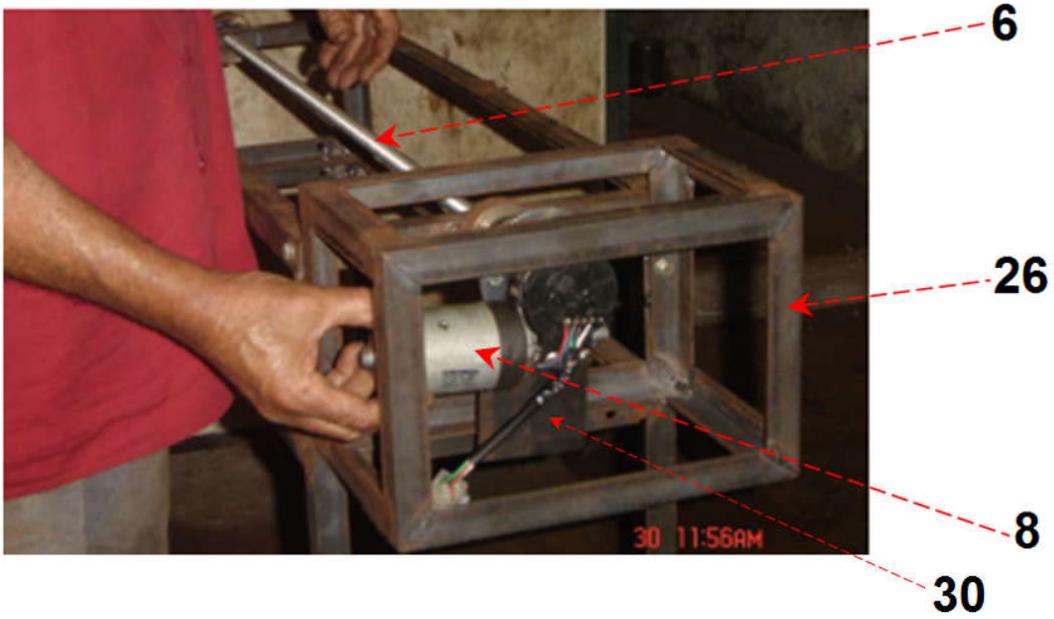


Figura 15

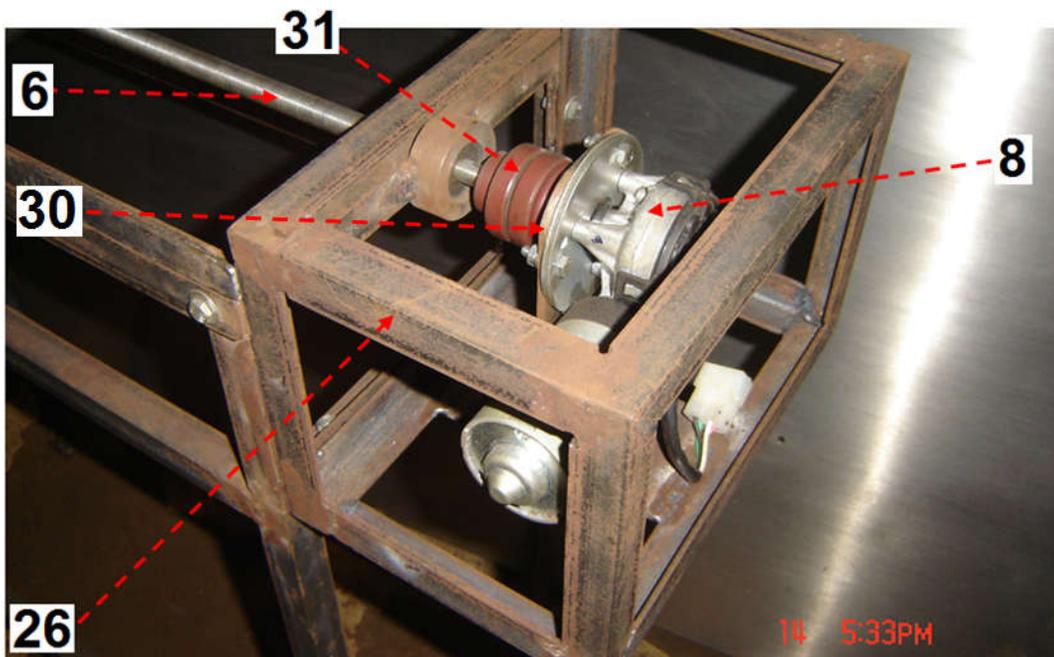


Figura 16

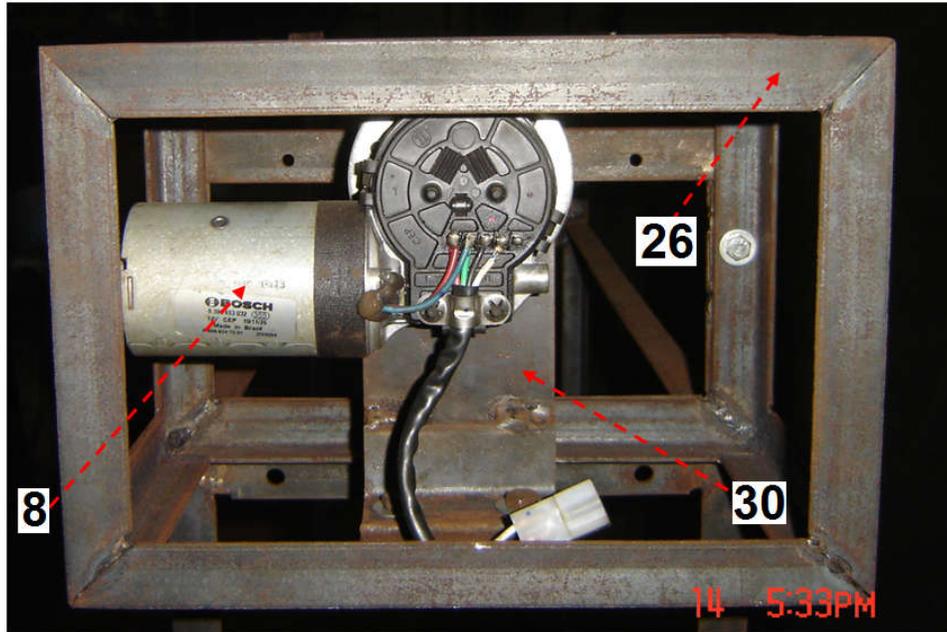


Figura 17

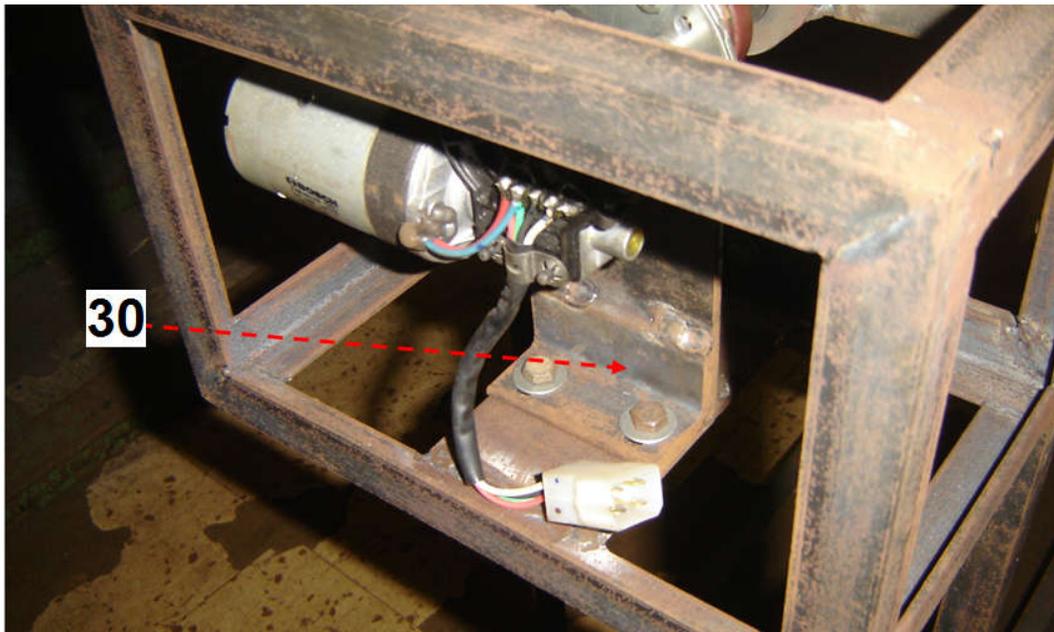


Figura 18

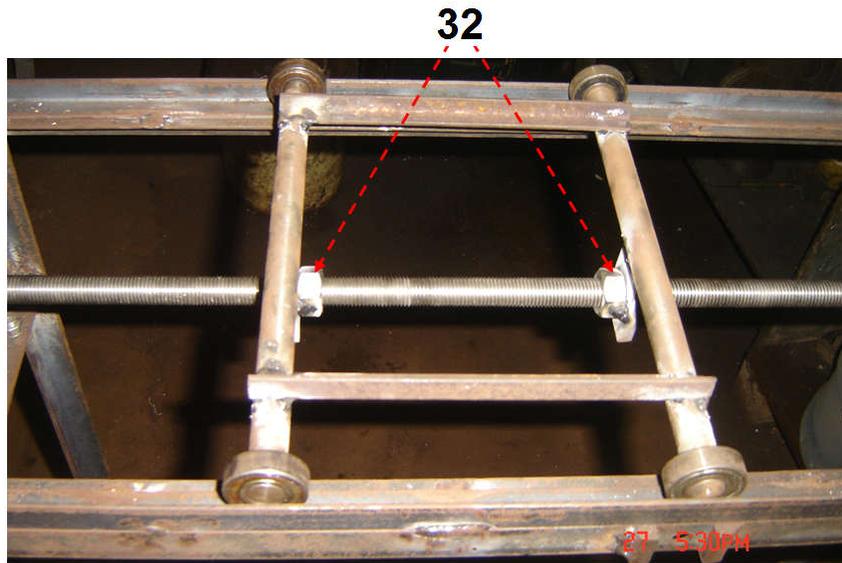


Figura 19

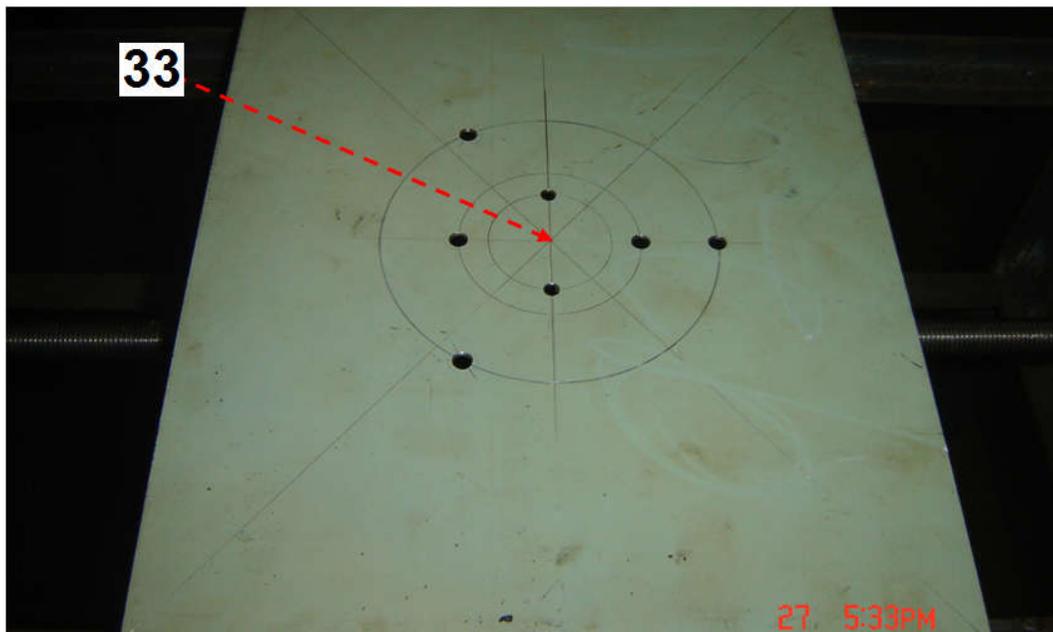


Figura 20

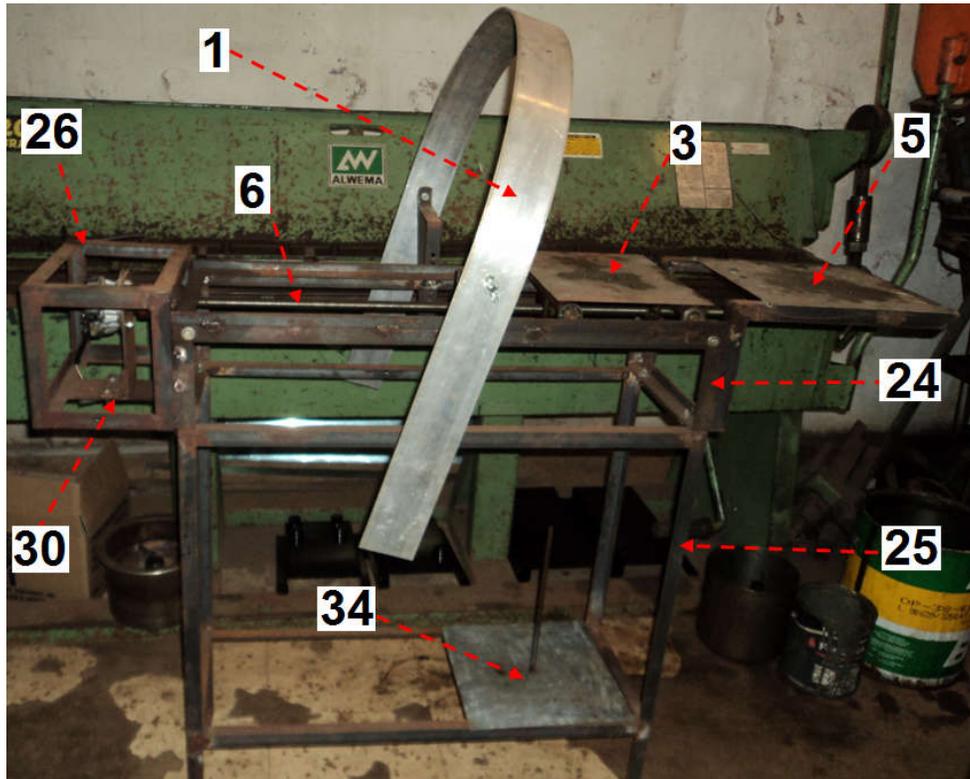


Figura 21

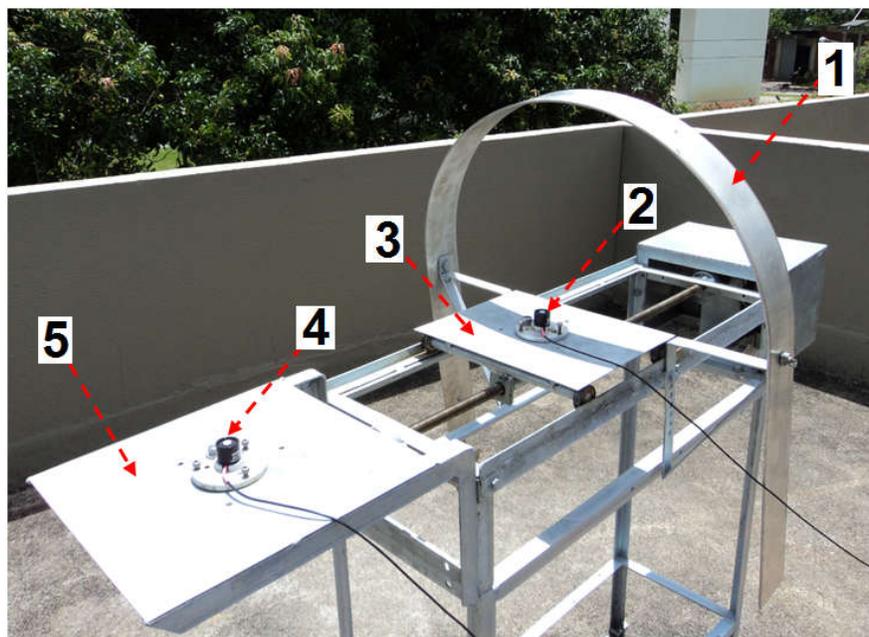


Figura 22

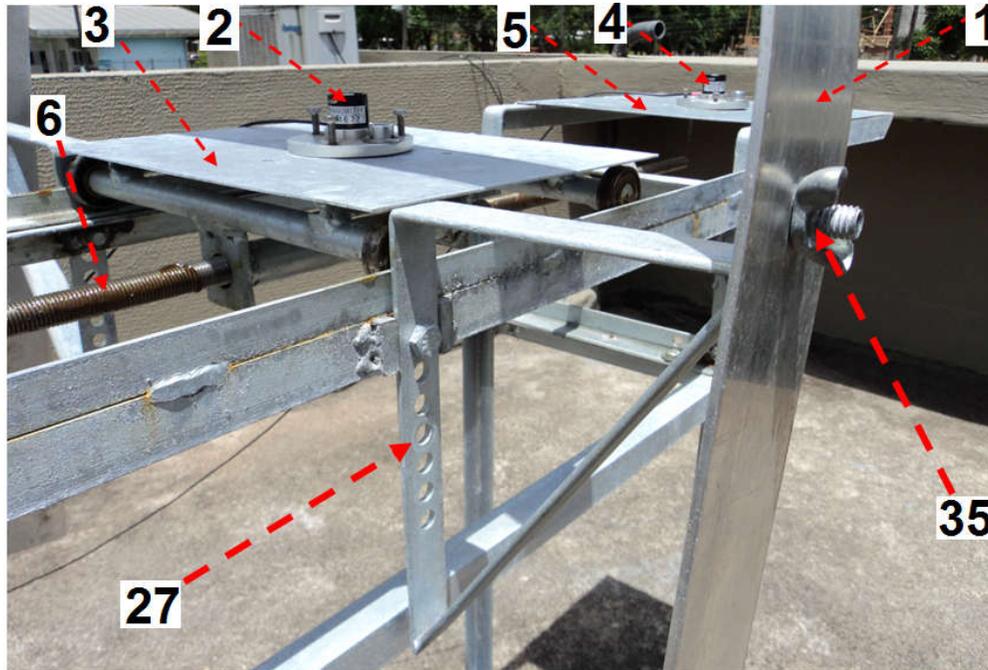


Figura 23

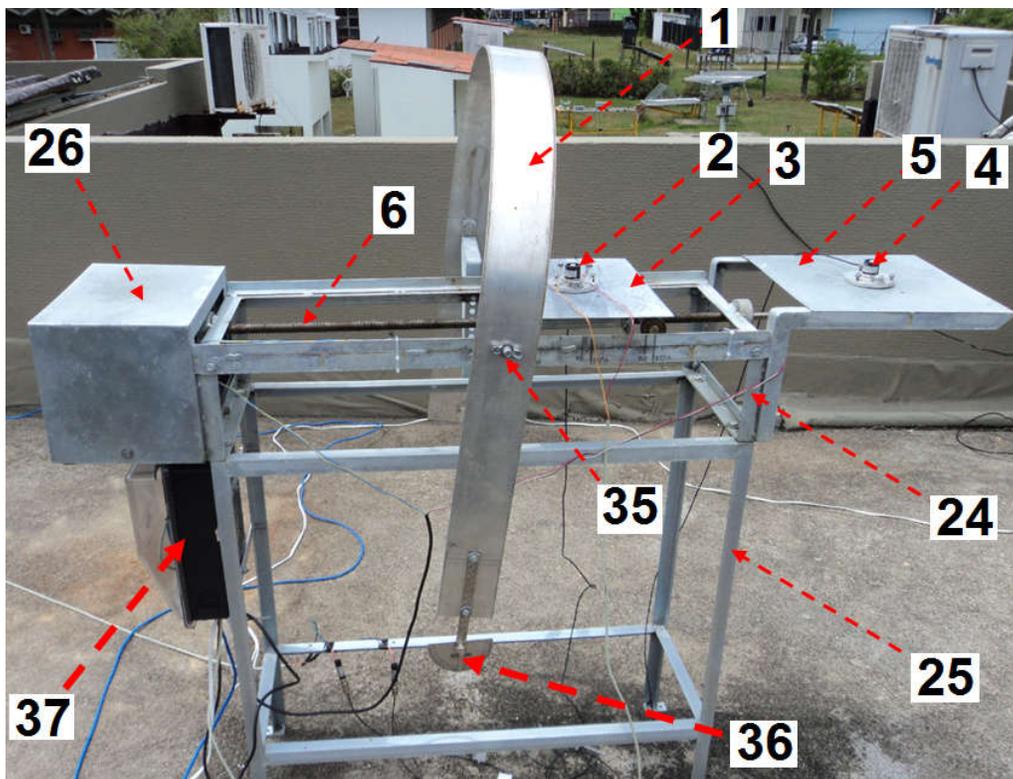


Figura 24

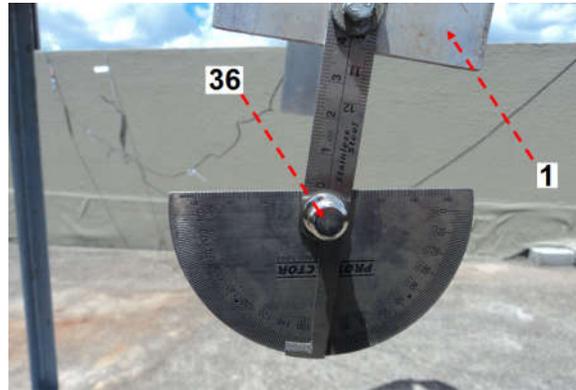


Figura 25



Figura 26

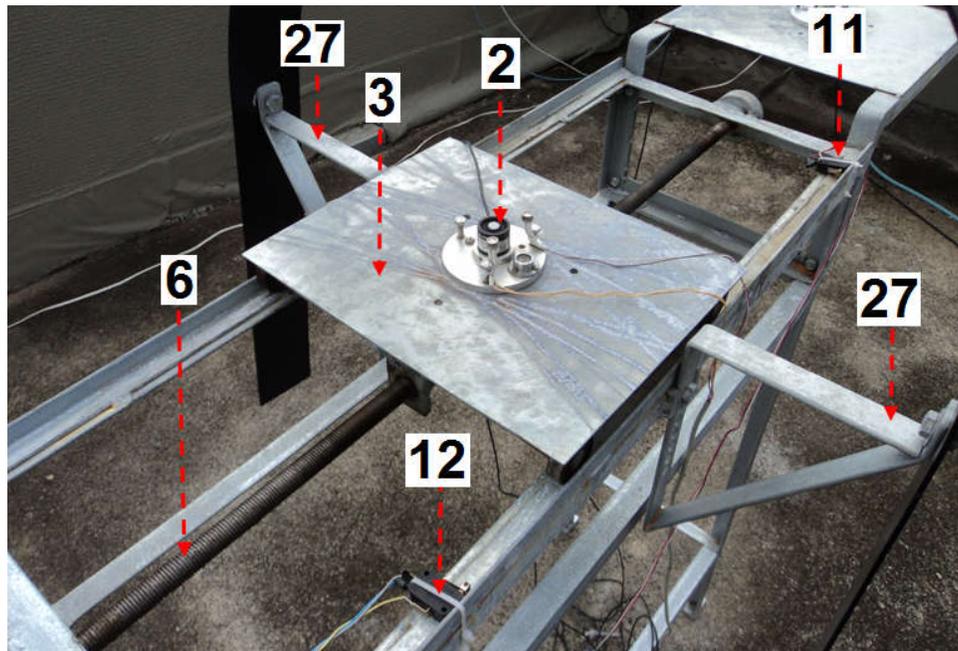


Figura 27

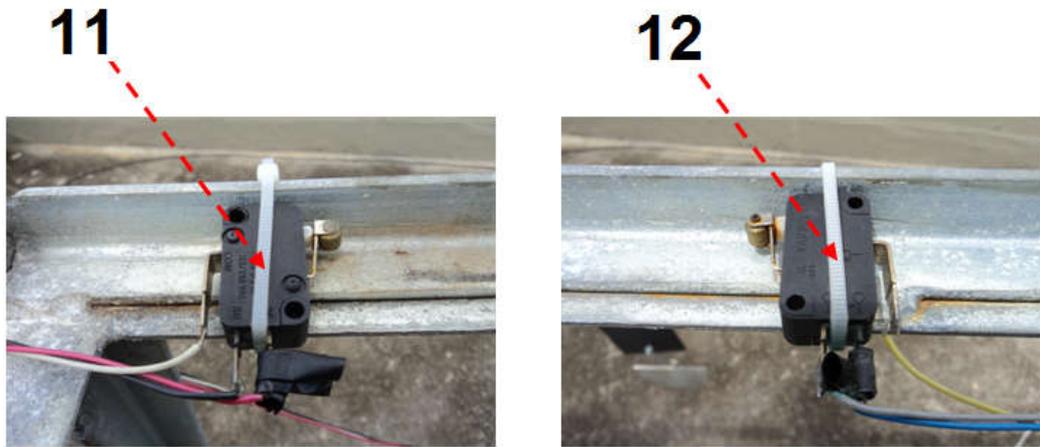


Figura 28

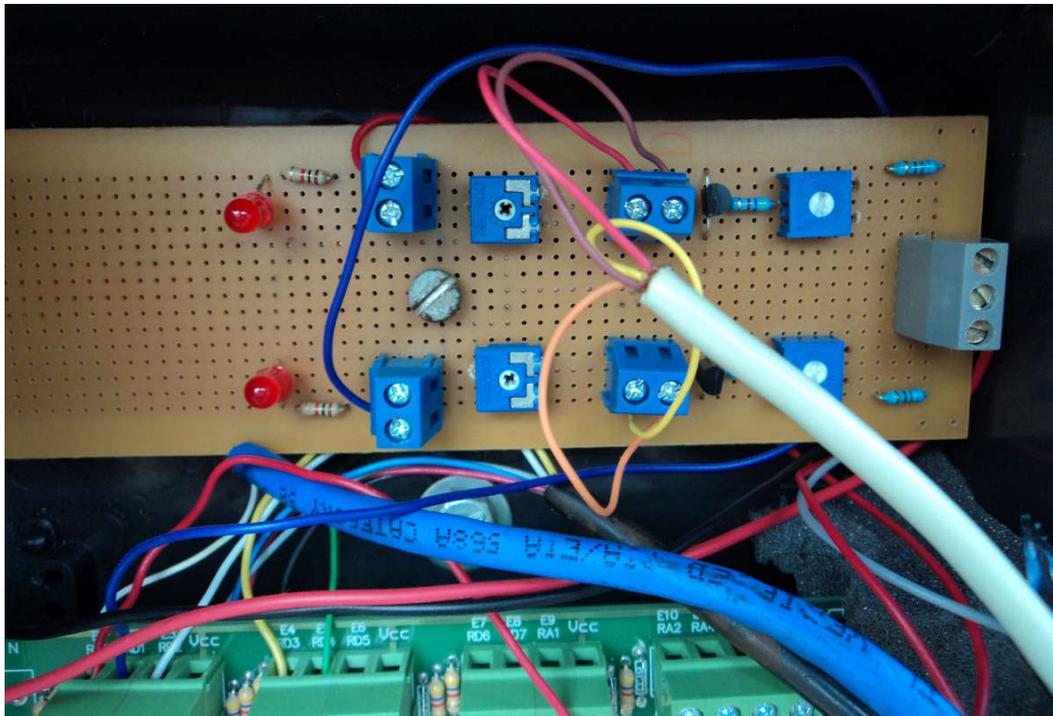


Figura 29

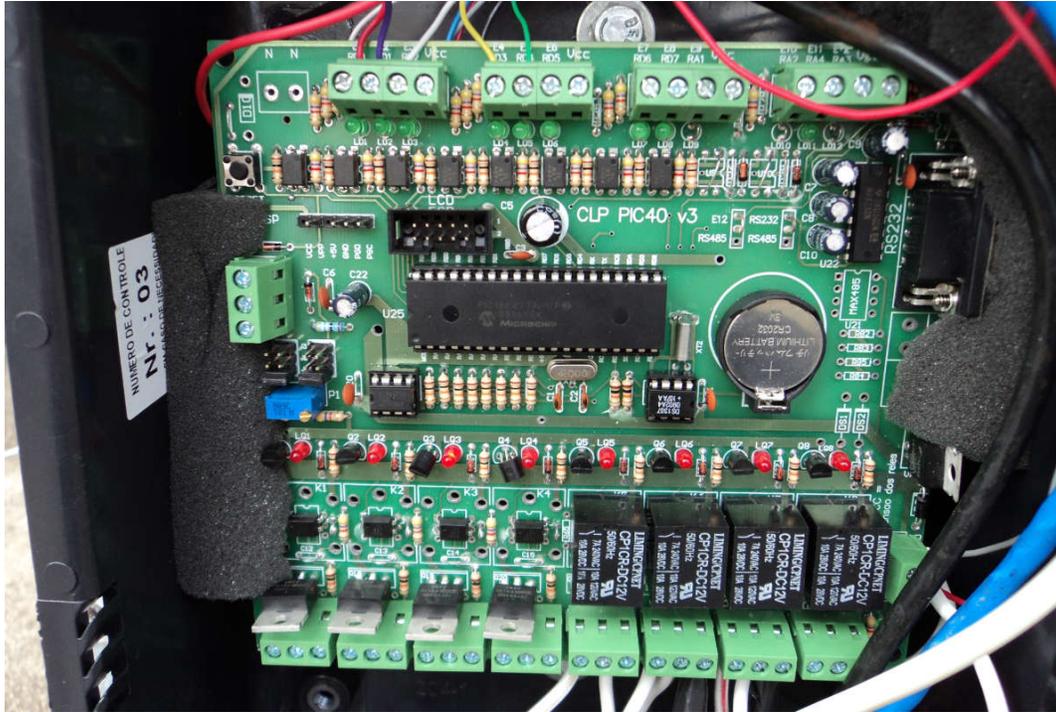


Figura 30

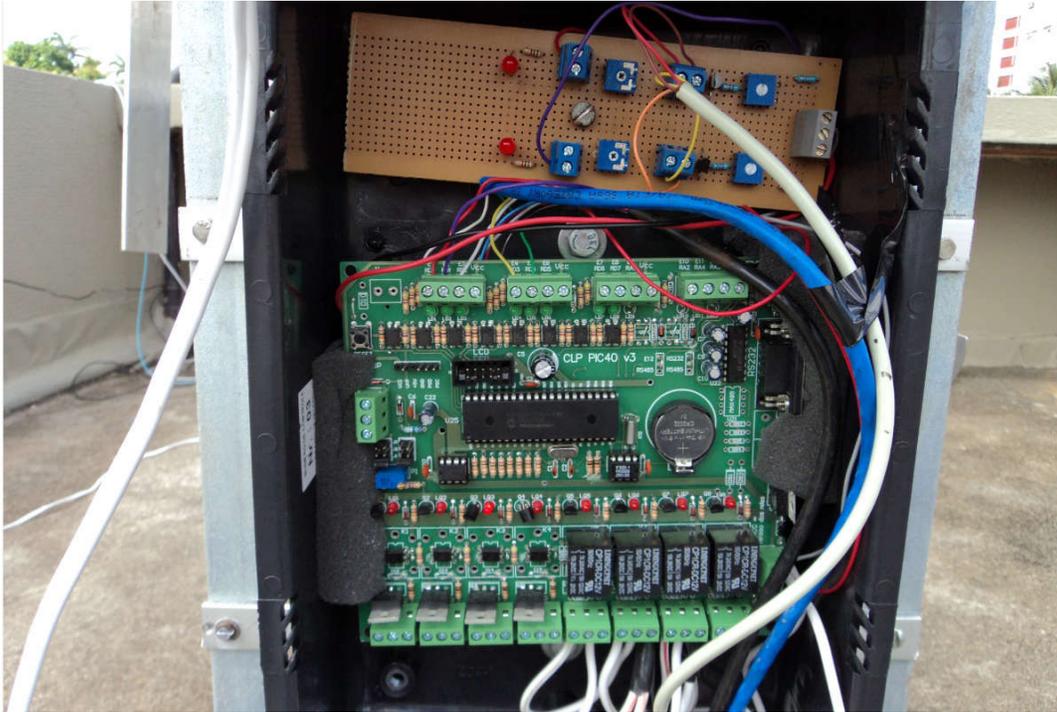


Figura 31

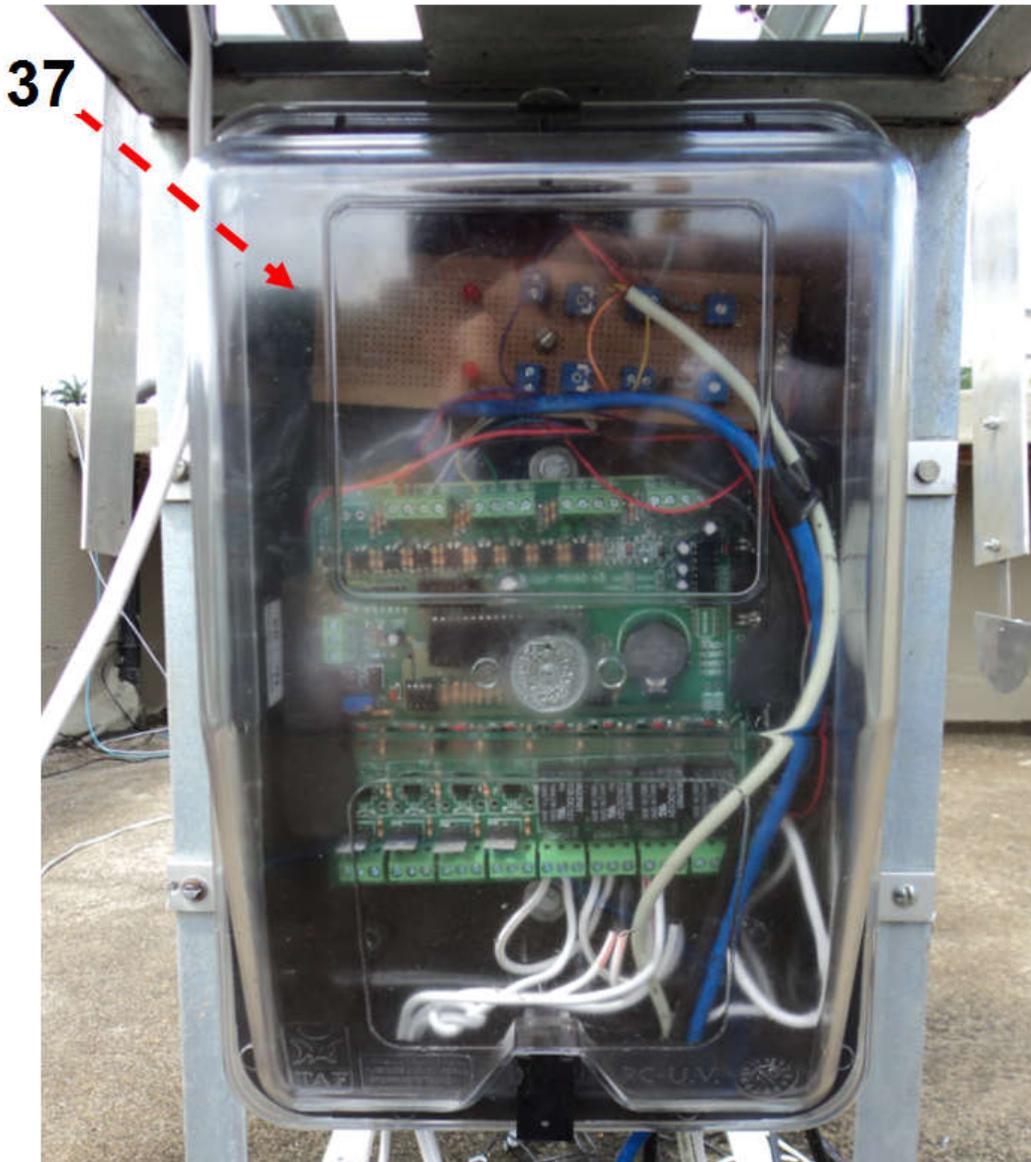


Figura 32

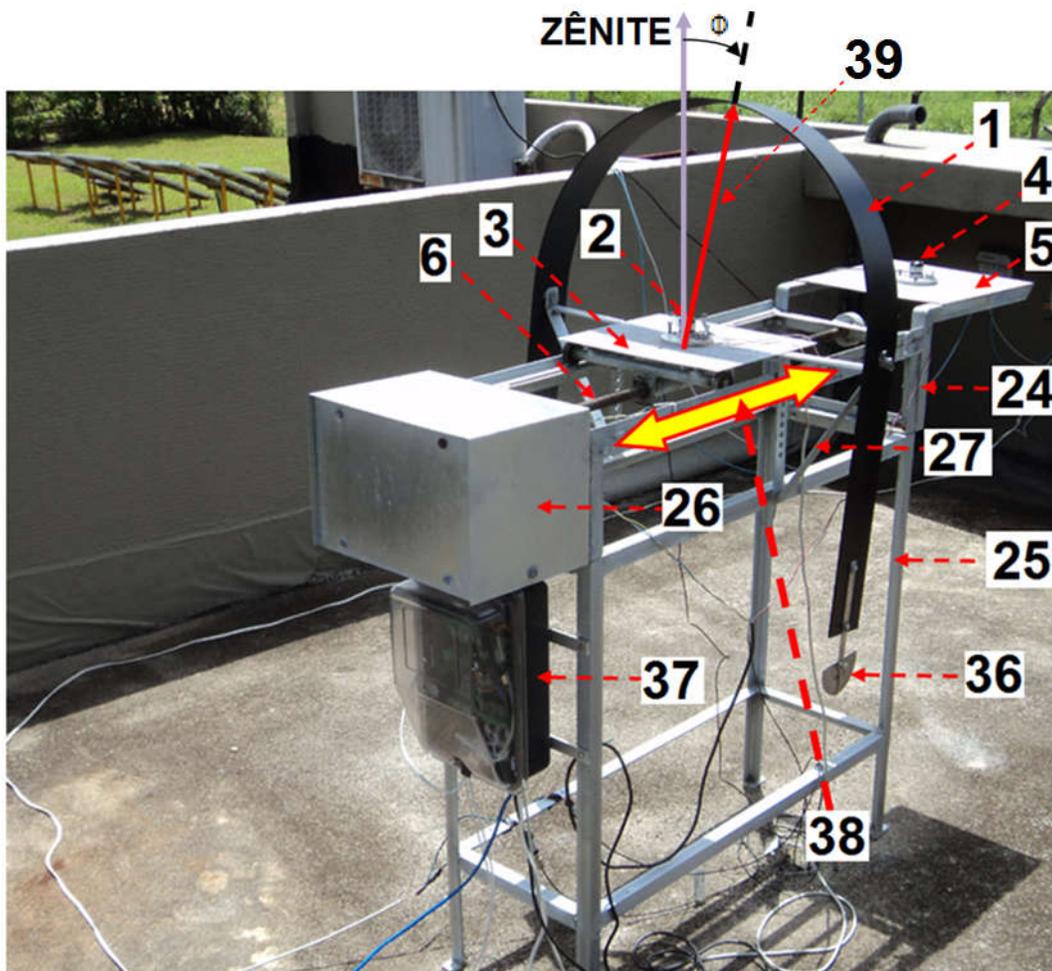


Figura 33

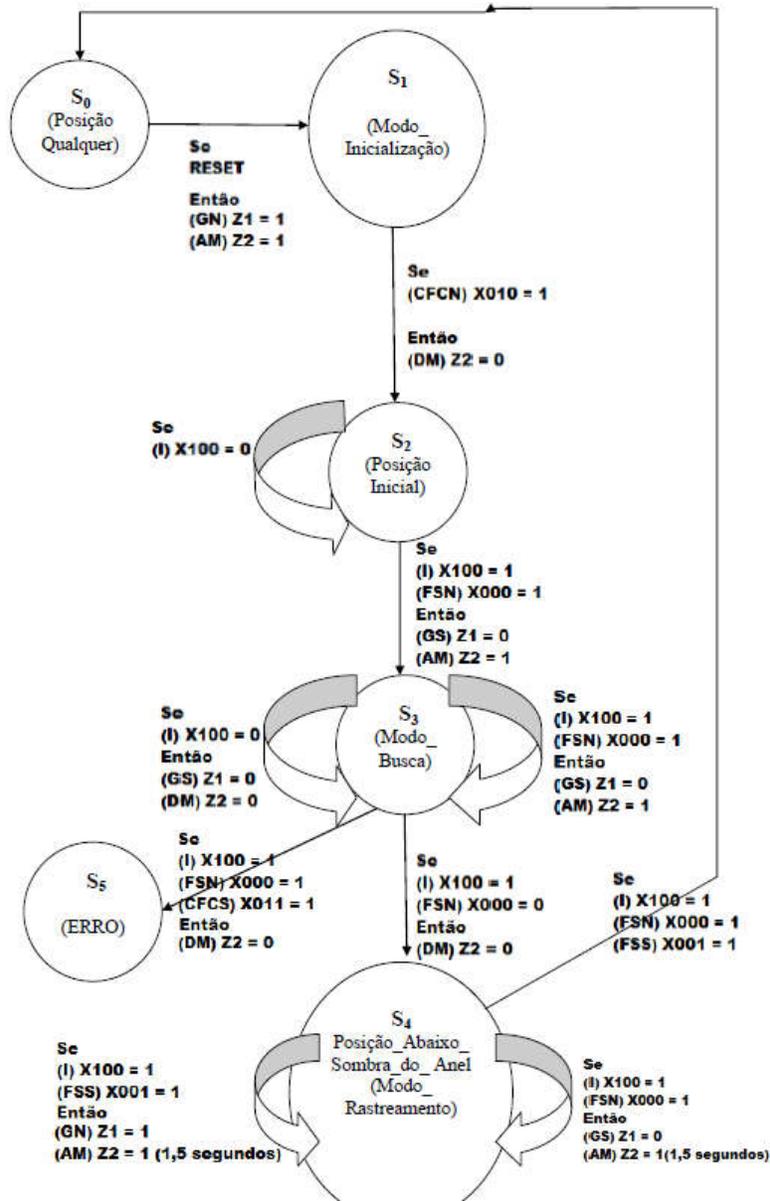


Figura 34

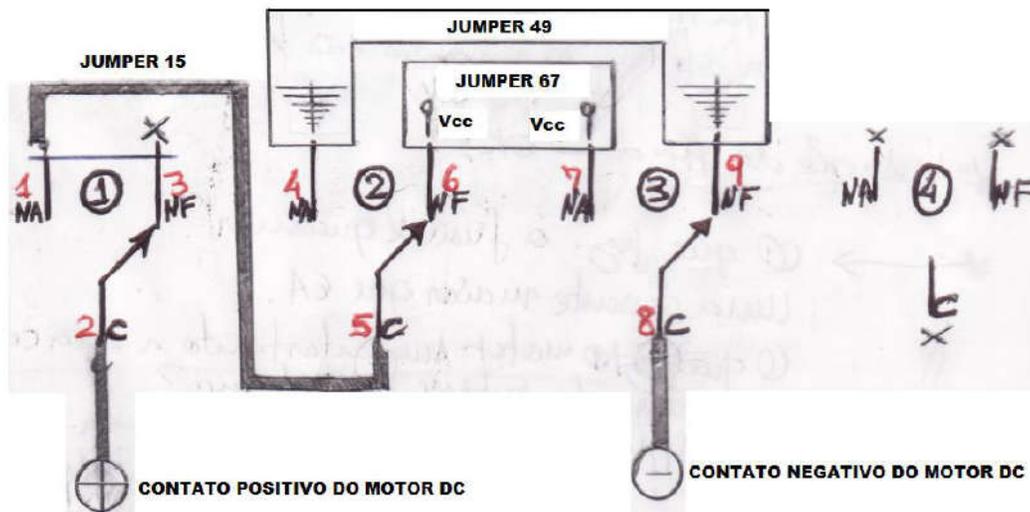


Figura 35

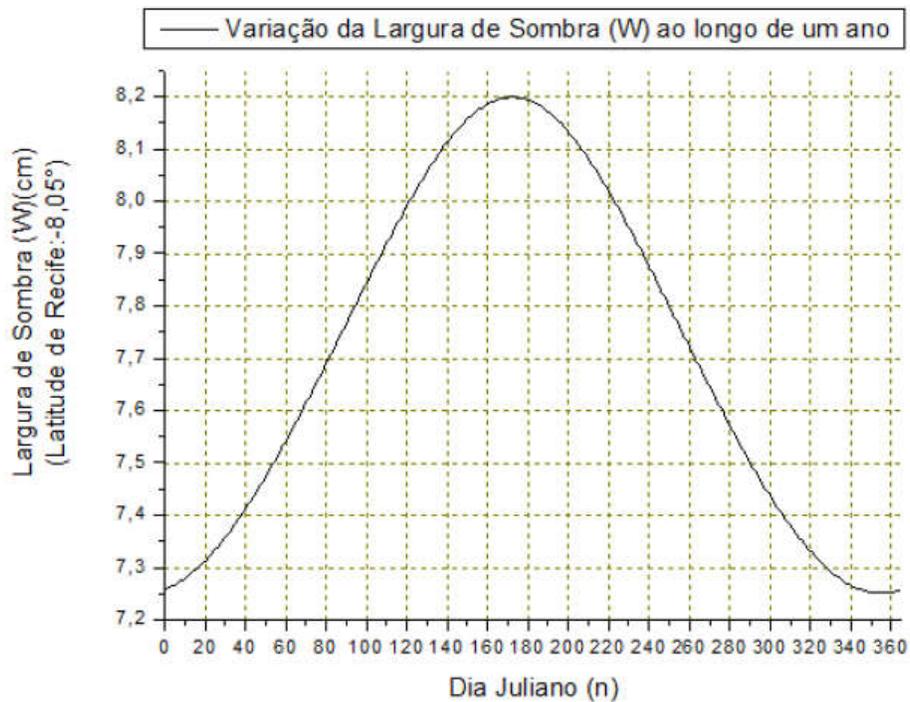


Figura 36



Figura 37

RESUMO

ANEL DE SOMBREAMENTO DE MELO-ESCOBEDO AUTOMATIZADO

Para aperfeiçoar um sistema de medição da irradiância solar difusa, chamado anel de sombreamento de Melo-Escobedo, foi proposto a sua automatização, dispensando assim sua operação manual. Este dispositivo consiste em um anel de sombreamento(1), com seu eixo longitudinal(38) alinhado na direção norte-sul verdadeiro, utilizado para medir irradiância solar difusa. Esta é medida através de um piranômetro(2), constantemente sombreado por um anel(1) fixo, montado em uma base horizontal móvel(3) que pode se deslocar para o sul ou para o norte para compensar a variação da declinação solar, fato este que tem como consequência a mudança da posição da sombra do anel diariamente sobre o piranômetro(2). O inconveniente do referido equipamento é a necessidade de um ajuste, por parte de um operador, quase diário da posição da plataforma móvel horizontal(3), onde se encontra o piranômetro(2), através do uso de uma manivela(7) para manter o piranômetro(2) abaixo da sombra do anel(1), visto que esta se desloca, na direção norte-sul ou sul-norte, com o passar dos dias devido ao movimento aparente do sol no céu. Para solucionar tal problema, foi feita a automatização da plataforma horizontal móvel(3) de modo que a mesma rastreia automaticamente a sombra projetada pelo anel(1) sobre o plano horizontal.