

1 Introdução

Ao longo das duas últimas décadas, hipóteses sobre futura a escassez de recursos fósseis para a geração de energia foram levantadas (IVANHOE, 1995). Além disso, a observação de impactos ambientais relacionados à alta emissão de carbono, iniciada com a industrialização, tem sido motivadora da aplicação de políticas ambientais e promovido mudanças no mercado mundial de energia (COSIDINE, 1999).

No campo da geração de energia, aquelas renováveis têm ganhado cada vez mais espaço por permitirem, no processo de sua geração, que o balanço de carbono na atmosfera seja mantido constante.

O Brasil se destaca no cenário mundial pela grande participação de fontes renováveis na matriz de energia elétrica nacional, com sua maior parcela proveniente da hidroeletricidade e da biomassa originada da cana-de-açúcar. Ao longo da última década, as fontes solar e eólica vêm ganhando destaque na geração de energia do país (BEZERRA, 2015), especialmente nas regiões do Nordeste e do norte do estado de Minas Gerais, que estão entre as regiões com maior incidência solar ao redor do globo (TIBA et al., 2000). Junto a isso, é observado grande potencial eólico no litoral da região Nordeste (SANTOS; TORRES, 2014).

No que se refere à geração de energia elétrica a partir do sol, o método mais adotado constitui-se no uso de painéis fotovoltaico. As tecnologias associadas a esse processo de geração são alvo de pesquisas em prol de um melhor aproveitamento dos recursos físicos utilizados na conversão, visando aprimorar a eficiência e o custo desses painéis. Dentre os avanços alcançados com as pesquisas, os seguidores solares, ou *trackers*, foram desenvolvidos como um acessório no processo de geração solar fotovoltaica, e como seu emprego é possível controlar a posição dos painéis fotovoltaicos ao longo do dia, o que ocasiona um aumento na eficiência da planta de geração. O objetivo deste Projeto Final de Curso é analisar comparativamente diferentes métodos de controle para a atuação de seguidores solares.

1.1 Motivação e Justificativa

Muitos dos impactos ambientais provocados pelas atividades humanas são provenientes da geração, transmissão e consumo da energia (SILVA et al., 2003). Além de ser um dos principais agentes de devastação ambiental, o setor de energia também tem se mostrado um gerador de muitos problemas sociais (SIMIONI, 2006), havendo uma série de casos de morte ou contaminação, devastação de locais de habitação e/ou de

áreas produtivas, danos à qualidade de vida, perdas de laços comunitários, desemprego, impactos culturais e etc (PICKETTI, 2015).

A necessidade de aderir a novas formas de energias, de caráter sustentável, motivaram acordos de comprometimentos dos governos em buscar uma maior participação das chamadas Energias Renováveis Sustentáveis (ERSs) na matriz energética de cada país, não como apêndices, mas como uma progressiva substituição das fontes fósseis de energia.

O país que tem alcançado sucesso nesse projeto é a Alemanha, a partir da série de leis chamada *Erneuerbare-Energien-Gesetz*, ou EEG, que já possibilitou, em 2018, uma parcela de 8,4% de participação da fonte solar na matriz energética nacional (FRAUNHOFER, 2018). No país, a geração centralizada de energia elétrica tem sido progressivamente substituída pela geração distribuída, com grande participação de pequenas plantas residenciais de geração fotovoltaica. Além disso, são cada vez mais difundidas as baterias de lítio, que servem como acumuladores de energia. O país já alcançou a marca de 100.000 casas que contam com uma unidade geradora fotovoltaica associada a um sistema acumulador (ENKHARDT, 2018).

No Brasil, incentivos fiscais e tarifários propostos pelo governo têm alavancado uma maior participação da fonte solar na matriz energética nacional, que atualmente é de 1,31%.

Dada essa ainda pouco expressiva participação na matriz, o desenvolvimento pesquisas nacionais que proponham uma melhor aplicação dos recursos fotovoltaicos servem como mais um fator impulsionante para um melhor aproveitamento do potencial energético da incidência solar no território brasileiro. A confecção de estruturas com controle de posição para os painéis, estratégia ainda pouco aplicada em regiões que apresentam os valores máximos de radiação solar no país, motiva este projeto.

1.2 Objetivos do Projeto

Melhorar a eficiência média dos painéis solares pode refletir benefícios em sistemas de geração fotovoltaica. Tal melhoria pode ser alcançada a partir do controle de posição dos painéis, de modo que ao longo do dia, o plano dos painéis permaneça aproximadamente perpendicular aos raios solares que incidem sobre eles.

O principal objetivo deste trabalho é analisar comparativamente diferentes métodos de controle para a atuação de seguidores solares a partir de testes aplicados a uma planta capaz de comportar painéis fotovoltaicos e de movê-los segundo a trajetória do sol. A constatação de um melhor aproveitamento do dispositivo fotovoltaico será alcançada

por meio da avaliação da geração da planta observada nos testes comparativos com a aplicação dos diferentes métodos de controle propostos: a partir de sensor de luminosidade, a partir de carta solar e a partir de um método combinado, que emprega as duas estratégias, segundo limiar de atuação.

2 Revisão Bibliográfica

A instalação com posição fixa de painéis fotovoltaicos, isto é, aquela na qual o plano que contém a placa solar é invariante ao longo do dia, é constatada na maioria das usinas fotovoltaicas – UFVs – presentes no território nacional. Nesta configuração fixa, para se obter um melhor aproveitamento na geração de energia, faz-se uso da prática de definir o azimute de 0° entre a face do painel e o norte geográfico e um ângulo de inclinação do plano do painel que é função da latitude da região onde se deseja realizar a instalação e do hemisfério ao qual pertence (ALMEIDA; PEREIRA; CESAR, 2018).

Apesar da estratégia apresentar resultados positivos na escala de geração energética se comparada à posição fixa sem inclinação (MARINOSKI; SALAMONI; RÜTHER, 2004), há soluções que viabilizam um aproveitamento ainda maior da capacidade dos recursos fotovoltaicos, no que diz respeito à posição angular dos raios solares incididos sobre o painel (RESTREPO; CASTILLO; VERA, 2016), (HUANG et al., 2013), (DUARTE; GASPAR; GONÇALVES, 2011), (BITTENCOURT, 1996), (DEEPTHI et al., 2013), (TUDORACHE; OANCEA; KREINDLER, 2012), (SOLAR, 2016).

2.1 Tecnologia Fotovoltaica

No universo das fontes renováveis limpas, a energia solar está entre as mais abundantes em toda a superfície terrestre e é inesgotável na escala de tempo humano (DUPONT; GRASSI; ROMITTI, 2015). Por estas razões, ela constitui uma das alternativas mais promissoras para uma composição de uma nova matriz energética mundial e, assim, muitos países têm buscado consolidar o aproveitamento desta energia.

De acordo com Duffie e Beckman (DUFFIE; BECKMAN; WOREK, 2013), a energia solar tem sua origem fundamentada nas reações de fusão ocorrentes no núcleo do sol. Considerando a alta capacidade de utilização da energia proveniente desta fonte, contextualiza-se a utilização da tecnologia fotovoltaica, que consiste na conversão direta de energia solar em energia elétrica. Neste processo de transdução, os módulos fotovoltaicos atuam como coletores, absorvendo a radiação solar e convertendo-a

diretamente em eletricidade por meio do efeito fotoelétrico. Este efeito é apresentado por alguns materiais que, quando expostos à luz, produzem eletricidade. Tais materiais são empregados na produção de células fotovoltaicas, que, por fornecerem em sua unidade uma baixa potência de geração, são empregadas em agrupamentos chamados de módulos fotovoltaicos (COELHO; AUROCA; SANTOS, 2013).

2.2 A Célula Fotovoltaica e o Efeito Fotoelétrico

O funcionamento das células fotovoltaicas está relacionado ao efeito fotoelétrico, observado pela primeira vez em 1887 por Heinrich Hertz e 1902 por Philip Lenard, porém só devidamente explicado por Albert Einstein em 1904, apoiado na ideia de quantização proposta por Max Planck. Segundo Einstein, a radiação é composta por **quanta** de energia hf , onde h é a constante de Planck e f é a frequência da radiação. Quando um desses quanta, que são chamados fótons, penetra na superfície metálica, cede energia a um elétron do metal, fazendo com que seja arrancado da superfície (CAVALCANTE et al., 2002).

Em sua composição, a célula possui duas camadas de um material semicondutor, em geral feitas de silício cristalino, contido entre camadas de um material condutor. As camadas feitas do semicondutor são estrategicamente dopadas, através de um processo preciso pelo qual alguns átomos são substituídos por impurezas, isto é, elementos químicos que ao realizarem ligações covalentes com os átomos de silício, fazem com que elétrons fiquem livres (impureza doadora) ou haja formação de lacunas (impureza aceitadora), devido à ausência de elétrons para completar as ligações.

Quando o semicondutor é dopado de modo a promover elétrons livres, ele é dito do tipo N. Quando é dopado de modo a promover lacunas, o semicondutor é denominado do tipo P. Na célula fotovoltaica, as camadas de semicondutor são uma do tipo N e a outra do tipo P, fazendo com que haja um campo elétrico na junção das camadas que impede a passagem de mais cargas através da conexão. Esta região em torno da junção é chamada de região de depleção.

Para fazer com que elétrons passem do lado N para o lado P, superando a barreira do campo elétrico na zona de depleção, deve ser fornecida energia. Esta energia advém dos fótons fornecidos pela radiação solar. Após a passagem pela região de depleção, os elétrons fluem externamente pelo fio, promovendo um fluxo de corrente elétrica (COELHO; AUROCA; SANTOS, 2013).

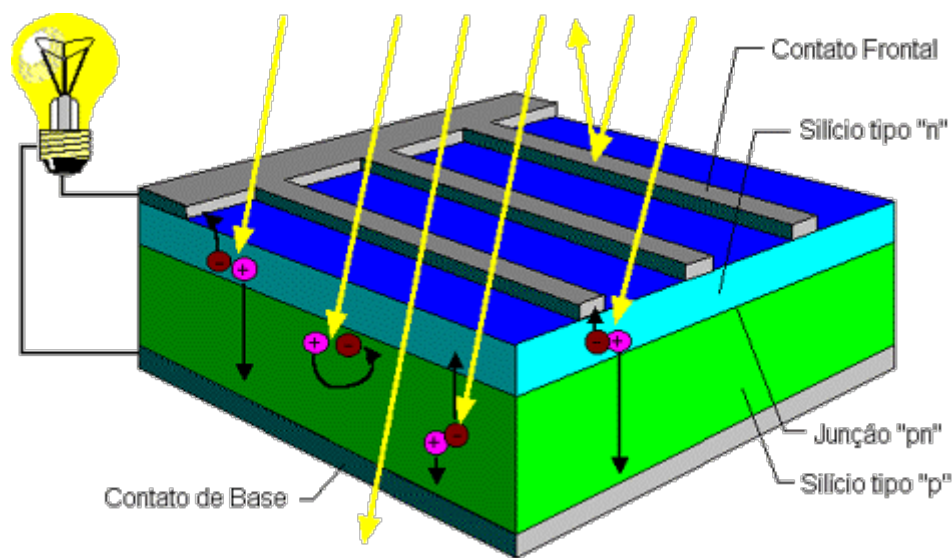


Figura 2.1: Efeito fotoelétrico em uma célula fotovoltaica. (CRESESB, 2008)

2.3 Classificação dos Sistemas Fotovoltaicos quanto à Conexão

São dois os tipos básicos de sistemas fotovoltaicos, divergentes na forma de gerenciar a energia gerada: O off-grid (sistema isolado) e o on-grid (sistemas conectados à rede) (NEOSOLAR, 2017). O Sistema off-grid é utilizado em lugares afastados, onde os custos de conexão à rede elétrica são elevados. Em geral, utiliza-se este sistema em casas de campo, refúgios, bombeio de água, telecomunicações, iluminação, dentre outras aplicações. Faz-se uso de um controlador de carga, utilizado para gerenciar e controlar o processo de carga e descarga de um banco de baterias que, por sua vez, possui a função de armazenar a energia gerada pelo sistema. É possível assim, fazer uso da energia armazenada também na ausência de luz solar.

O sistema on-grid atua como complementares ou substituintes da energia elétrica convencional disponível na rede elétrica, de modo que a potência produzida pelos painéis passa por um inversor de frequência, usado para converter corrente e tensão contínua em alternadas tornando-as compatíveis com a rede local. Logo após a conversão, a potência é inserida na rede, gerando descontos na conta de energia. Se a energia gerada não for suficiente para suprir a demanda, a rede elétrica compensa falta (NEOSOLAR, 2017). No Brasil, esse mecanismo é chamado de Sistema de Compensação de Energia e é descrito pela Resolução Normativa nº 517/2012 da Aneel. É importante também citar a Resolução Normativa nº 482/2012, que define micro e minigeração de energia elétrica no Brasil e que regula a crescente tendência de geração distribuída em todo o país.

2.4 Fatores Prejudiciais à Eficiência de um Painel Fotovoltaico

A corrente de curto circuito do módulo fotovoltaico, isto é, aquela identificada quando os terminais são interligados diretamente implicando em tensão nula, é a corrente de máxima potência possível de ser fornecida pelo módulo. Por outro lado, a tensão de circuito aberto, ou seja, a tensão de saída entre os terminais em aberto (não havendo corrente), é a tensão máxima que pode ser oferecida pelo painel fotovoltaico. Surge então um valor máximo de potência, resultado do produto da corrente e tensão máximas.

Há, no entanto, uma série de fatores que afetam a produção de potência pelo módulo fotovoltaico, tais como as condições climáticas de temperatura, radiação, sombreamento.

Quando a temperatura da célula sobe, por exemplo, o excesso de energia térmica dos elétrons livres e das lacunas prejudica a passagem desses pela junção P-N no sentido contrário ao imposto pelo campo elétrico, fazendo com que a tensão de saída da célula diminua.

O sombreamento, por sua vez, pode ser suave ou abrupto. No primeiro, a causa são ventos ou nuvens pouco densas que dispersam os raios solares tornando-os difusos, diminuindo a potência gerada. No sombreamento abrupto, os raios não alcançam a superfície da célula, pois são interrompidos. Quando o sombreamento é parcial, uma ou algumas células têm apenas uma parte iluminada, implicando numa redução da potência gerada no módulo proporcional à área sombreada. Este efeito é devido ao comum arranjo em série das células, fazendo com que a redução da corrente em uma célula provoque redução nas demais. No sombreamento total, pelo menos uma célula não recebe iluminação, fazendo com que a corrente, e então a energia gerada, sejam nulas (COELHO et al., 2008).

Outro importante fator que implica no decréscimo da potência gerada está relacionado com a quantidade de fótons por segundo que penetram a célula: quando é menor este número, menos elétrons livres haverão nas junções para fluírem pelo circuito, ou seja, menor corrente e menor potência.

A quantidade de fótons por segundo que penetram a célula varia conforme a posição do plano da célula fotovoltaica. Este efeito pode ser compreendido com uma análise que abrange o caráter dual da luz: como onda, a luz pode ser vista pela esfera da óptica, permitindo uma análise de seu comportamento quando esta é incidida sobre uma superfície. Uma razoável consideração é decompor a luz incidente sobre a superfície em termos das componentes de reflexão e refração, como na Figura 2.2. Nesta, um raio de luz incide sobre uma interface fazendo um ângulo i com a normal à interface. Por

propriedade da óptica, uma parcela da radiação é refletida com um ângulo igual ao de incidência e outra parte é refratada com um ângulo r , que depende dos índices de refração dos meios na junta da interface.

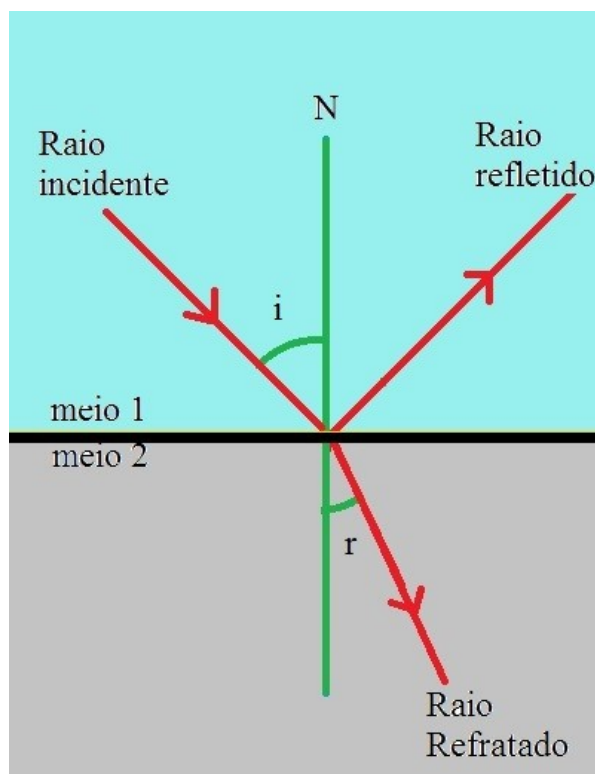


Figura 2.2: Reflexão e refração da luz. (TEIXEIRA, 2010)

Do ponto de vista corpuscular, os fótons se dividem para formar estas duas componentes de raio. Se por um lado, quando a luz passa do ar para outro meio mais refringente, existe um ângulo de incidência máximo para o qual toda a luz é refletida, também a intensidade de luz refratada diminui com o aumento do ângulo de incidência até ser nula. Em outras palavras, a quantidade máxima de fótons que atravessa a interface e penetra o meio é obtida quando o ângulo de incidência é mínimo, isto é, 0° com relação à normal. Alguns experimentos comprovam esta relação entre ângulo de incidência sobre painéis fotovoltaicos e a potência gerada (BÔAS; MOTA, 2011).

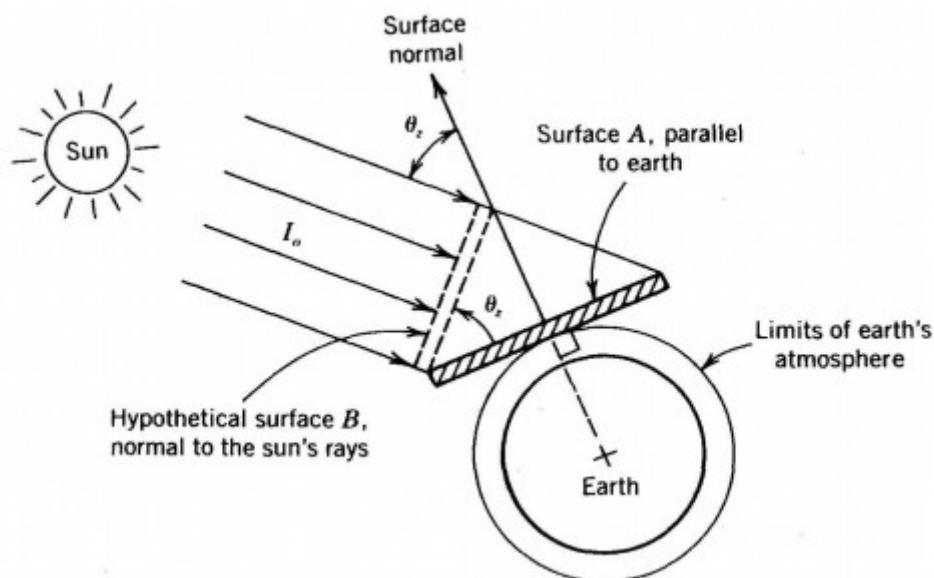


Figura 2.3: Efeito cosseno. (STINE; GEYER, 2001)

Um outro fator que reduz a quantidade de energia absorvida pelo painel fotovoltaico, relacionado ao ângulo formado entre a normal e os raios solares, é o efeito cosseno. Na figura 2.3, nota-se que a potência solar instantânea que atinge ambas as superfícies é a mesma. Entretanto, a área da superfície **A** é maior do que a sua projeção (a superfície hipotética **B**), fazendo com que a quantidade de energia solar por unidade de área (ou seja, a irradiância solar, dada por W.m^{-2}) que atinge a superfície **A** seja menor do que na superfície **B** (ALVES, 2008), de modo que a irradiância da superfície **A** é dada em termos do produto da Irradiância Solar I_0 da superfície **B** pelo cosseno do ângulo θ_z (o ângulo formado pelos planos das superfícies), e portanto, menor.

2.5 Implementação de Controle de Posição em Seguidores Solares

Existe uma diversidade de trabalhos relacionados aos sistemas de rastreamento solar em todo o mundo. Um tipo comumente abordado é o seguidor solar de um eixo, onde o painel solar possui liberdade de rotacionar em torno de um único eixo.

No protótipo desenvolvido por Restrepo et al (RESTREPO; CASTILLO; VERA, 2016), havia uma estrutura contendo cinco faces dispostas sobre um arco, as quais dispunham, cada uma, de uma fotoresistência, responsável por enviar, a um circuito condicionador, sinais com informações sobre os níveis de luz recebidos. De acordo com a posição do painel e com o sinal proveniente do fotoresistor de maior incidência luminosa, um sinal correspondente era enviado a um motor de passo que atuava na posição do painel, conferindo-lhe uma maior exposição à radiação solar, o que rendeu ao projeto um

ganho de 24,5% em sua potência gerada com relação a um painel de iguais características posicionado de forma fixa.

Huang et al (HUANG et al., 2013) também realizaram o controle de um seguidor solar de apenas um eixo, porém este vertical ao solo, permitindo que o painel fotovoltaico, instalado de modo que seu plano formasse certo ângulo com a horizontal, pudesse rotacionar em torno do eixo vertical para atingir três posições distintas. Com esta configuração, o aumento na geração total de energia com relação à configuração de posição fixa foi de 37.5%.

Duarte et al (DUARTE; GASPAR; GONÇALVES, 2011) aderiram a uma estratégia de controle distinta para um seguidor com dois eixos rotacionais, baseada em cartas solares, que, por sua vez, são representações gráficas do percurso do sol na abóbada celeste da terra, nos diferentes períodos do dia e do ano (BITTENCOURT, 1996). Nesta estratégia, é possível prever com exatidão a posição do sol a partir da localização da latitude da região de instalação do sistema e então programar o movimento dos eixos para cada dia e hora ao longo do ano.

Deepthi et al (DEEPTHI et al., 2013) propuseram uma comparação entre um painel com seguidor solar de um eixo, um de dois eixos e um de posição fixa. Quanto ao rendimento, o sistema com dois eixos apresentou maior potência gerada, seguido do sistema com apenas um eixo e finalmente o painel de posição fixa.

Uma outra configuração de seguidor solar registrou dados que revelaram um aumento de geração por volta de 57.5% com relação ao painel de posição fixa (TUDORACHE; OANCEA; KREINDLER, 2012). Nesta disposição estrutural proposta por Tudorache et al, apenas um eixo de rotação para o painel fotovoltaico foi utilizado, este inclinado de um ângulo criteriosamente selecionado com relação ao solo.

Em seu trabalho de doutorado (ALVES, 2008), Alceu propôs um sistema de posicionamento automático utilizando dois eixos de rotação: um deles utilizado apenas uma vez por dia, para definir o ângulo de inclinação do painel fotovoltaico, isto é, o controle passa a ser realizado pelo segundo motor, reduzindo o gasto energético de controle. O programa de controle executa rotinas que convertem a hora do relógio local na hora solar, utiliza as equações de posicionamento da terra em relação ao sol, prevendo com exatidão a localização do sol no céu e viabilizando o controle da placa solar, de modo que esta esteja perpendicular aos raios incidentes. Em seis meses de coleta de dados, o ganho médio estimado em seu trabalho foi de 53%.

Em todos os sistemas de rastreamento solar citados foram constatados aumentos na geração de eletricidade com relação à configuração estática do painel solar de até 57.5%, propondo significativa melhora na utilização da área fotovoltaica disponível.

Há ainda uma melhoria na forma como a potência gerada é entregue ao sistema de gerenciamento de carga, pois a curva de absorção correspondente ao sistema de um seguidor solar, em geral, apresenta regiões com menor nível de oscilação, diferente do sistema de posição fixa, que se caracteriza por regiões de gradual transição (SOLAR, 2016).

No entanto, o acréscimo de atuadores, sensores, controladores e de elementos que permitam rotacionar a estrutura, somam um custo extra comparado ao custo do sistema fixo. São necessários, também, cuidados com a mobilidade, com o cabeamento e com as condições de bom funcionamento dos circuitos de aquisição de dados e controle, exigindo uma maior manutenção. Devido a estes fatores, um sistema de posição fixa acomoda condições ambientais mais severas com maior facilidade e menor planejamento.

É, portanto, necessária uma análise criteriosa que leve em conta custos, condições do local, disponibilidade de manutenção e estimativa da energia elétrica a ser gerada por cada um dos sistemas avaliados, para auxiliar na decisão sobre o sistema de geração fotovoltaico economicamente apropriado.

2.5.1 Sensores

A necessidade de sensores no sistema controlado de posição para os painéis fotovoltaicos é função do método de controle selecionado. É possível, por exemplo, realizar o movimento da estrutura a partir de comandos que faça com que o painel atue em posições predefinidas (HUANG et al., 2013) ou ainda definir a posição e respectiva ação de controle a partir de uma série de equações de alta complexidade [(MEJIA; LONDOÑO; OSORIO, 2010), (OMAR; ISMAIL; MUZAMIR, 2007), (AHMAD; SHAFIE; KADIR, 2013)] que se baseiam na informação do dia, hora e localização. Este método pode ser auxiliado pela consulta a cartas solares do local (TIBA et al., 2000), (DUARTE; GASPAR; GONÇALVES, 2011).

A utilização de sensores, por sua vez, viabiliza o comando de controle a partir das informações coletadas periodicamente e processadas pelo microprocessador. Os sensores mais comuns utilizados nas soluções de controle das placas são os fotosensores (RESTREPO; CASTILLO; VERA, 2016) que, estrategicamente posicionados, informam o nível de incidência luminosa que recebem. De posse das informações provenientes do(s) sensor(es) é possível desenvolver um algoritmo de

controle que atue sobre a posição da placa para que esta esteja sob maior exposição à insolação.

2.5.2 Atuadores

Mediante a necessidade de mover a placa para aumentar a exposição à incidência solar, há necessidade de emprego de um ou mais elementos que atuem sobre a estrutura para posicioná-la conforme a pretensão de um seguidor solar. Esses elementos são os atuadores, isto é, elementos que produzem movimento, atendendo a comandos que podem ser de natureza elétrica ou mecânica. Algumas soluções para os elementos atuadores presentes nos projetos de seguidores solar desenvolvidos ao redor do mundo incluem servo motores [(RESTREPO; CASTILLO; VERA, 2016), motores de passo (MEJIA; LONDOÑO; OSORIO, 2010), (VILLEDA et al., 2011), (VILLEDA et al., 2015)], atuadores lineares (MORÓN et al., 2017) e outros motores, com (VILLEDA et al., 2011) ou sem redutor de engrenagens, de corrente contínua [(HUANG et al., 2013), (TUDORACHE; OANCEA; KREINDLER, 2012)] ou de corrente alternada (DUARTE; GASPAR; GONÇALVES, 2011).

2.5.3 Estrutura

A estrutura de suporte para o planta deve ser dimensionada para suportar a carga em todas as posições físicas que sistema possa assumir, de modo a garantir o adequado funcionamento do conjunto de painel e estrutura. Em conformidade com a estratégia selecionada para a movimentação da placa, são estabelecidos os elementos que permitem esta mobilidade e que devem estar presentes no projeto da estrutura de modo a favorecer a atuação do controle sobre a mesma.

3 Metodologia

Diferentes estratégias de controle serão aplicadas sobre o sistema de seguidor solar da planta de geração fotovoltaica implementada por Nogueira em seu trabalho (NOGUEIRA, 2019), visando melhoria da eficiência do sistema.

Nessa planta, o controle de posição do painel é realizado com dois graus de liberdade, possibilitando ao controle rotacionar a placa fotovoltaica em torno de dois eixos distintos. Para este controle há um sistema de realimentação da malha, de modo que o algoritmo possa corrigir o erro de posição apresentado a cada instante. A posição do painel solar é variada conforme a posição do sol, de modo a aumentar a exposição direta

das células fotovoltaicas aos raios solares e, conseqüentemente, melhorar a geração de energia elétrica.

Diferentes configurações de controle por sensor, por carta solar e via controle combinado empregando os dois métodos serão testados e os resultados serão colhidos, processados (via software MATLAB) e apresentados na forma de gráficos e tabelas comparativas. Secundariamente, objetiva-se também a comparação dos resultados obtidos com simulações propostas no software PVSyst. Outras melhorias da planta propostas pelo autor também serão visadas. São elas:

- Calibrar os sensores de tensão utilizados no circuito de medição automático, para a validação do sistema desenvolvido, tornando mais autônomo o processo de aquisição de dados e facilitando a realização de testes de períodos mais prolongados;
- Calibrar os sensores de tensão utilizados no circuito de medição automático, para a validação do sistema desenvolvido, tornando mais autônomo o processo de aquisição de dados e facilitando a realização de testes de períodos mais prolongados;
- Elaboração de um algoritmo de controle capaz de detectar perfis de sombras provenientes de nuvens ou objetos (que podem gerar movimentos indesejados na estrutura) e assim rejeitar ações no controle;
- Definir um limiar de operação segundo a magnitude dos valores lidos pelos sensores, analisando a viabilidade do gasto energético para o controle, mediante estimativa de energia a se produzir para a quantidade de iluminação constatada.
- Adição de um sistema de desligamento dos elementos que consomem energia em tempo ocioso, por exemplo, durante a noite: O módulo RTC DS3231 é uma sugestão de uso para detecção de horário;
- Contabilizar o balanço energético (ganho na produção energética, menos, gasto energético para o controle), para compor parte de uma análise da viabilidade de uso dos sistemas controlados.
- Minimizar o custo energético de controle fazendo uso de motores de menor potência, alterando, para tal, o sistema de redução de engrenagens, o que apresenta dois principais efeitos: a velocidade angular é reduzida (este efeito não é um prejuízo na aplicação em questão) e a complexidade de estabelecer um efetivo sistema de engrenagens e/ou polias para gerar maior torque.

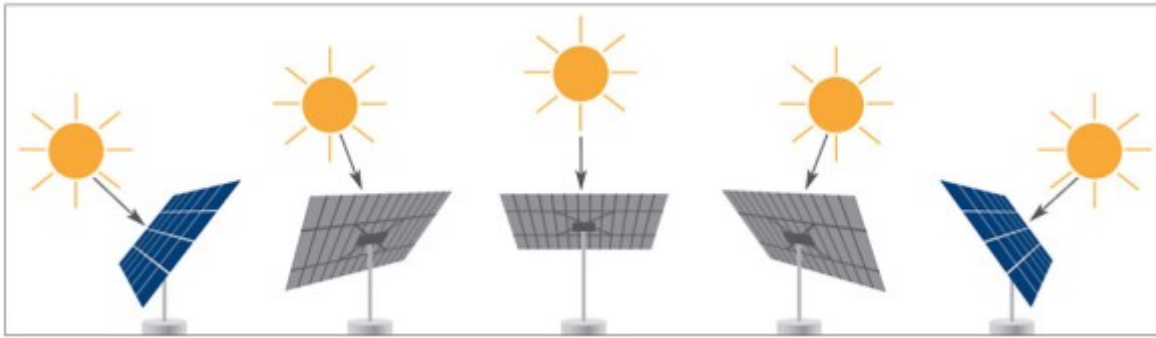


Figura 3.1: Ilustração de um painel dotado de seguidor solar. (PORTALSOLAR, 2016)

4 Referências Bibliográficas

AHMAD, S.; SHAFIE, S.; KADIR, M. Z. A. A. Power feasibility of a low power consumption solar tracker. *Procedia Environmental Sciences*, Elsevier, v. 17, p. 494–502, 2013.

ALMEIDA, A. D. C.; PEREIRA, C. S.; CESAR, R. Estudos para posicionamento ótimo de painéis fotovoltaicos nas latitudes amazonicas.

ALVES, A. F. Desenvolvimento de um sistema de posicionamento automático para painéis fotovoltaicos. Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2008.

ALVES, A. F. Desenvolvimento de um sistema de posicionamento automático para painéis fotovoltaicos. FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO, p. 168, 2008.

BAÚDAELETRÔNICA. Datasheet. 2019. Disponível em: <<https://www.baudaeletronica.com.br/Documentos/datasheet-motor-WS23-0240-20-4.pdf>>.

BAÚDAELETRÔNICA. Datasheet. 2019. Disponível em: <<https://www.baudaeletronica.com.br/Documentos/datasheet-motor-WS17-0070-15-4.pdf>>.

BAÚDAELETRÔNICA. Datasheet. 2019. Disponível em: <<https://www.baudaeletronica.com.br/Documentos/datasheet-nRF24L01.pdf>>.

BEZERRA, F. D. As fontes renováveis de energia solar e eólica no nordeste: Oportunidades para novos negócios e inovação. *ETENE*, n. 5, p. 1–22, 2015.

BITTENCOURT, L. Uso das cartas solares. [S.l.]: UFAL, 1996.

BÔAS, M. G. V.; MOTA, A. d. A. Avaliação da influência do ângulo de incidência solar na geração fotovoltaica. PUC Campinas, Campinas, 2011.

CARRIJO, D. R. et al. Uma proposta de técnica de rastreamento do ponto de máxima potência de um painel fotovoltaico. XVIII Congresso Brasileiro de Automática, 2010.

CASAÑO, C. d. L. C. et al. Seguidor solar adaptativo basado en un controlador lógico programable para paneles fotovoltaicos. Universidad Continental, 2012.

CAVALCANTE, M. A. et al. Uma aula sobre o efeito fotoelétrico no desenvolvimento de competências e habilidades. *Física na Escola*, v. 3, n. 1, p. 24–29, 2002.

COELHO, D.; AUROCA, M.; SANTOS, M. Fontes de energia nova e renovável. [S.l.: s.n.], 2013. v. 1.

COELHO, R. F. et al. Estudo dos conversores buck e boost aplicados ao rastreamento de máxima potência de sistemas solares fotovoltaicos. Florianópolis, SC, 2008.

CRISTAN; SAWIMS. Snell's law, adaptado. 2006. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Snells_law.svg>.

DATASHEETCATALOG. Datasheet. 2019. Disponível em: <<https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Imaging/TEMT6000.pdf>>.

12DEEPTHI, S. et al. Comparison of efficiencies of single-axis tracking system and dual-axis tracking system with fixed mount. International Journal of Engineering Science and Innovative Technology, v. 2, n. 2, p. 425–430, 2013.

DUARTE, F.; GASPAR, P. D.; GONÇALVES, L. C. Two axes solar tracker based on solar maps, controlled by a low-power microcontroller. Journal of Energy and Power Engineering, David Publishing Company, Inc., v. 5, n. 7, 2011.

NEOSOLAR. Especificações técnicas. 2016. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/fileuploader/download/download/?d=1{&}file=custom{\%}2Fupload{\%}2FFile-15344>>.