



**Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Curso de Engenharia de Energia**

**PROJETO DE MÓDULO DE BANCADA DIDÁTICA
PARA TESTES EM PAINÉIS FOTOVOLTAICOS**

**Autor: Seire Cristina Pereira Rodrigues
Orientador: Jorge Andrés Cormane Angarita**

**Brasília, DF
2014**



SEIRE CRISTINA PEREIRA RODRIGUES

**PROJETO DE MÓDULO DE BANCADA DIDÁTICA PARA TESTES EM PAINÉIS
FOTOVOLTAICOS**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Dr. Jorge Andrés Cormane
Angarita

**Brasília, DF
2014**

CIP – Catalogação Internacional da Publicação

Rodrigues, Seire Cristina Pereira.

Projeto de módulo de bancada didática para testes em painéis fotovoltaicos / Seire Cristina Pereira Rodrigues. Brasília: UnB, 2014. 50 p. : il. ; 29,5 cm.

Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília Faculdade do Gama, Brasília, 2013. Orientação: Jorge Andrés Cormane Angarita.

1. Bancada didática. 2. Energia solar. 3. Módulo fotovoltaico I. Angarita, Jorge Andrés Cormane. II. Projeto de módulo de bancada didática para testes em painéis fotovoltaicos.

CDU Classificação



PROJETO DE MÓDULO DE BANCADA DIDÁTICA PARA TESTES EM PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Seire Cristina Pereira Rodrigues

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em 27 de novembro 2014 apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Prof. Dr. : Jorge Andrés Cormane Angarita, UnB/ FGA
Orientador

Prof. Dr. : Flávio Henrique Justiniano Ribeiro da Silva, UnB/ FGA
Membro Convidado

Prof. Dr. : Rudi Henri Van Els, UnB/ FGA
Membro Convidado

Brasília, DF
2014

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que iluminou meus passos durante esta caminhada. Aos meus pais, irmãos, meu noivo que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que alcançasse este objetivo na minha vida.

A todos os professores do curso, que foram muito importantes para minha formação acadêmica e no desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos e colegas, pelo incentivo, apoio e ajuda constantes.

RESUMO

A formação dos alunos dentro das universidades baseia-se no aprendizado teórico, porém é importante que os mesmos saibam aplicar rotinas e técnicas utilizadas no mercado de trabalho ou em pesquisas. O presente projeto apresenta a proposta de utilização do módulo de bancada com energia solar fotovoltaica para auxiliar os alunos na fixação da teoria adquirida em aula. A implantação do projeto consiste na estrutura que simula o movimento aparente do Sol ao longo do ano e durante um dia, apresentando a possibilidade de ajuste da placa solar fotovoltaica de acordo com a latitude. A luz artificial que incide sobre a placa solar pode ser ajustada com intensidades de luz diferentes. A finalidade de se variar os ângulos da estrutura para simular o movimento do Sol e a intensidade luminosa, é avaliar os efeitos na tensão gerada na placa fotovoltaica e como a produção de energia pode ser afetada por motivo da posição do Sol.

Palavras-chave: bancada didática, energia solar, módulo fotovoltaico.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Movimento da Terra em torno do Sol.....	13
Figura 2 – Órbita terrestre em torno do Sol, inclinada $23,45^\circ$, indicando as estações do ano no hemisfério sul.....	14
Figura 3 – Trajetória aparente do nascer do Sol ao longo do ano.....	15
Figura 4 - (a) Ilustração dos ângulos θ_z , α e γ_s , que representa a posição do Sol em relação ao plano horizontal; (b) Ilustração da orientação da superfície inclinada em relação ao mesmo plano, ângulos β , γ , γ_s , e θ	16
Figura 5 – Ângulos horários durante o dia.....	17
Figura 6 – Componentes da radiação solar.....	19
Figura 7 – Efeito fotovoltaico e efeito fotoelétrico.....	20
Figura 8 – Conversão fotovoltaica.....	20
Figura 9 – (a) Mapa de correção para encontrar o norte geográfico a partir da indicação da bússola; (b) Ilustração de uma bússola e como é possível encontrar o norte geográfico	22
Figura 10 – Estrutura básica da bancada didática.....	26
Figura 11 – Dimensões pretendidas para a estrutura externa e a estrutura da placa solar fotovoltaica.....	27
Figura 12 – Movimento realizado pela estrutura externa.....	27
Figura 13 - Movimento da estrutura que sustenta o módulo fotovoltaico.....	28
Figura 14 - Movimento da fonte de iluminação.....	28
Figura 15 – Vistas frontal, lateral e traseira da estrutura da bancada didática.....	29
Figura 16 – Movimento realizado pela estrutura externa da bancada. À esquerda, a estrutura está na posição inverno ($-23,5^\circ$). À direita, a estrutura está na posição verão ($+23,5^\circ$).....	30
Figura 17 – Imagem do ajuste da placa solar fotovoltaica de acordo com a latitude.....	31
Figura 18 – Imagem do ajuste da estrutura para simular o Sol ao longo do dia das 6 às 18 horas.....	32

LISTA DE QUADROS

Tabela 1 – Latitudes das capitais brasileiras.....	23
Tabela 2 – Marcas e alguns modelos de bancada didáticas.....	24
Tabela 3 – Dados para o ensaio 1, movimento do Sol ao longo do dia, com a placa fotovoltaica ajustada em posição 0° e em 15°.....	38
Tabela 4 – Dados para o ensaio 2, movimento do Sol ao longo do dia, com estrutura em -24° e placa fotovoltaica ajustada em posição 0° e em 15°.....	40
Tabela 5 – Dados para o ensaio 3, movimento do Sol ao longo do dia, com estrutura em +24° e placa fotovoltaica ajustada em posição 0° e em 15°.....	42
Tabela 6 – (a) Resultados do ensaio 4 para estação do ano primavera/outono; (b) estação do ano inverno; (c) estação do ano verão.....	44

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Ensaio 1, movimento do Sol ao longo do dia. (a) Com a placa fotovoltaica ajustada em 15°; (b) Com a placa fotovoltaica ajustada em 0°.....	39
Gráfico 2 – Ensaio 2, movimento do Sol ao longo do dia com estrutura em -24°. (a) Com a placa fotovoltaica ajustada em 15°; (b) Com a placa fotovoltaica ajustada em 0°.....	41
Gráfico 3 – Ensaio 3, movimento do Sol ao longo do dia com estrutura em +24°. (a) Com a placa fotovoltaica ajustada em 15°; (b) Com a placa fotovoltaica ajustada em 0°.....	43

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	MOVIMENTOS DA TERRA.....	13
2.2	POSIÇÃO DO SOL EM RELAÇÃO À TERRA.....	14
2.3	RADIAÇÃO SOLAR SOBRE A TERRA.....	18
2.4	EFEITO FOTOVOLTAICO E EFEITO FOTOELÉTRICO.....	19
2.5	CÉLULA FOTOVOLTAICA.....	20
2.6	INCLINAÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	21
3	METODOLOGIA	24
3.1	TECNOLOGIAS EXISTENTES.....	24
3.2	PROJETO INICIAL	25
3.3	ESTRUTURA DO MÓDULO DE BANCADA DO PROJETO.....	28
3.4	ENSAIOS PROPOSTOS	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
	ANEXO.....	49

1 INTRODUÇÃO

A qualidade do ensino nas universidades tem sido alvo de constantes debates políticos e institucionais. Nos últimos anos verificou-se uma acentuada preocupação em promover a eficácia docente como uma estratégia de intervenção para a promoção do sucesso acadêmico. (HUET I. et al, 2004).

Poucas medidas são adotadas a nível institucional para alcançar um ensino com qualidade. É necessário adotar medidas eficazes para a avaliação e interagir com os pares na promoção de atividades que fomentem a qualidade do ensino ministrado (HUET I. et al, 2004).

Na tentativa de proporcionar maior contato dos alunos com aulas práticas surge a proposta do projeto. Sendo esta a de desenvolver um módulo de bancada baseado em energia solar fotovoltaica para utilização na disciplina “Sistemas de Energia Solar e Eólica”.

O objetivo geral do projeto é agregar conhecimento em relação à tecnologia fotovoltaica através de aulas e projetos, aos alunos de graduação. O módulo de bancada terá finalidade didática, porém poderá ser direcionada para um nível de pesquisa e desenvolvimento.

O projeto tem por objetivo específico, construir uma bancada didática capaz de simular os efeitos do movimento aparente do Sol na radiação solar recebida na superfície de uma placa solar fotovoltaica.

Como resultado, são avaliados e monitorados os parâmetros elétricos da placa solar fotovoltaica para as diferentes posições que o Sol pode assumir durante o dia e durante as estações do ano. A radiação solar é simulada com ajuda de uma fonte luminosa artificial, podendo variar a intensidade da luz para avaliar efeitos de dias nublados.

A metodologia adotada no decorrer do trabalho consiste em pesquisas de tecnologias referentes à bancadas didáticas existentes no mercado; um projeto inicial, com auxílio do software CATIA, com a elaboração de desenhos tridimensionais para uma melhor visualização da bancada que será construída. E por fim, a construção da bancada didática que atenda as possibilidades de movimento propostas no projeto, a fim de simular o movimento aparente do Sol.

O referencial teórico apresenta diversos conceitos que envolvem a energia solar fotovoltaica, desde materiais das placas fotovoltaicas e seu princípio de funcionamento até a direção adequada para instalação para se obter melhores resultados na geração de energia. Tais conceitos dão suporte teórico para entender o funcionamento do módulo de bancada proposto nesse trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 MOVIMENTOS DA TERRA

A Terra descreve simultaneamente dois movimentos em sua órbita: o movimento de rotação e o movimento de translação. A rotação é o movimento que a Terra descreve ao redor do seu próprio eixo fazendo uma volta completa a cada 24 horas. Assim, produz-se a sensação de dia e noite gerando a impressão que o Sol movimenta-se diariamente no sentido Leste-Oeste. Na translação, o movimento da Terra é descrito por uma órbita elíptica ao redor do Sol durante um ano, esta trajetória acarreta que em alguns momentos do ano a radiação solar seja diferente que em outros pela posição da Terra em relação ao Sol. A Figura (1) ilustra o movimento de translação da Terra.

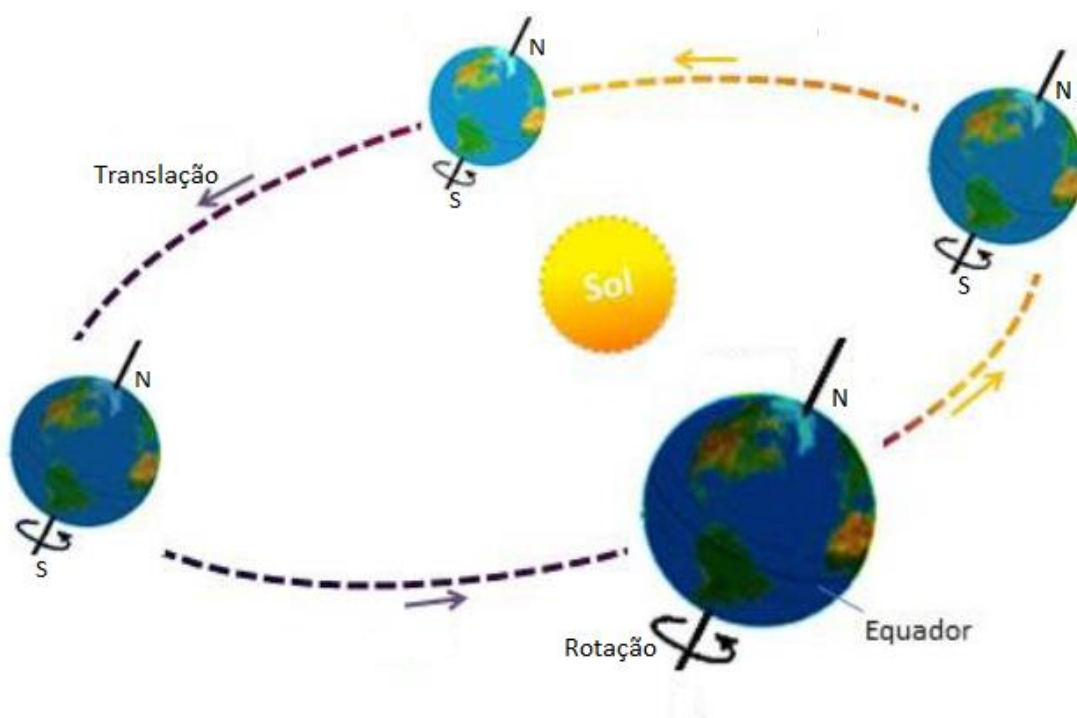


Figura 1 – Movimento da Terra em torno do Sol. Fonte: Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito - CRESESB (2014, p. 69, figura adaptada)

2.2 POSIÇÃO DO SOL EM RELAÇÃO À TERRA

Conforme o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito - CRESESB (2014), a Terra descreve em sua trajetória elíptica um plano inclinado de aproximadamente $23,45^\circ$ em relação a linha do Equador. Este ângulo, descrito entre o Sol e o plano do Equador, é chamado de declinação solar (δ) e varia entre $-23,45^\circ$ e $+23,45^\circ$ de acordo com o dia do ano, considera-se o ângulo positivo ao Norte e negativo ao Sul do Equador.

Esta inclinação é responsável pela variação da posição do Sol no horizonte em relação à mesma hora ao longo dos dias e juntamente com o movimento de translação dá origem às estações do ano. A Figura (2) ilustra o movimento da Terra em torno do Sol e as estações do ano no hemisfério sul mostrando a declinação solar da Terra ao longo do ano.

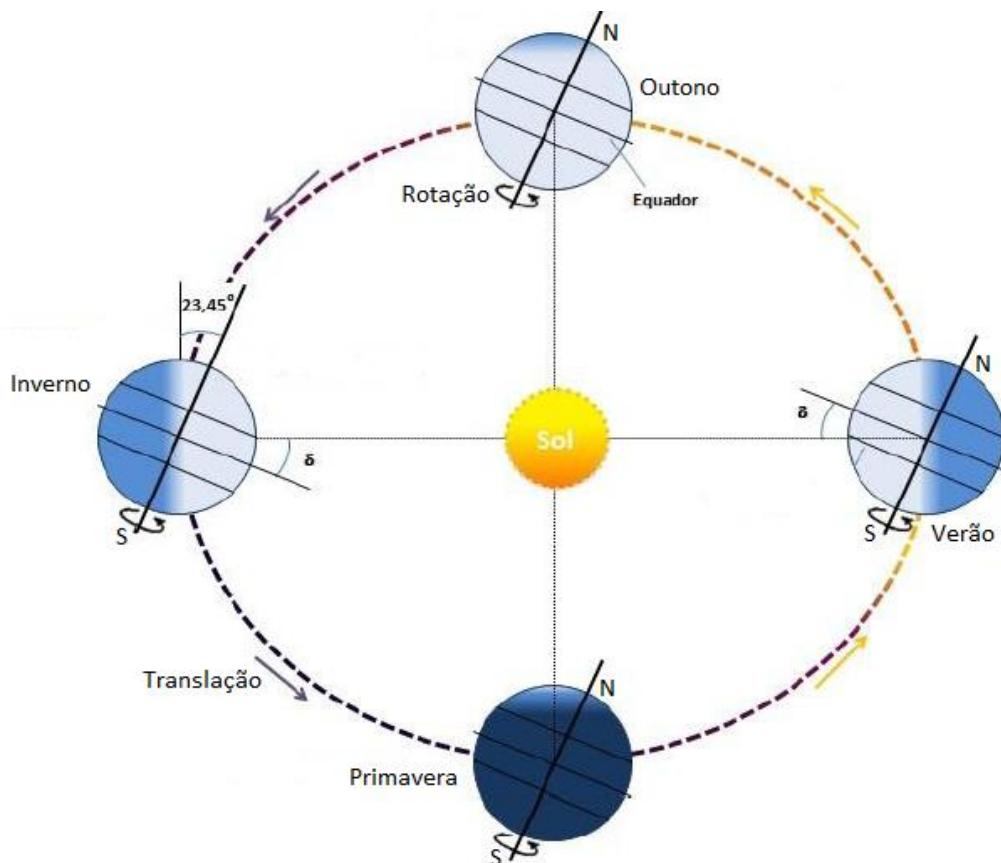


Figura 2 – Órbita terrestre em torno do Sol, inclinada $23,45^\circ$, indicando as estações do ano no hemisfério sul. Fonte: CRESESB (2014, p. 70, figura adaptada)

Devido ao ângulo de declinação solar que a incidência dos raios solares é diferente nos hemisférios Sul e Norte. Em determinado momento, um hemisfério está mais voltado para o Sol e seis meses depois o outro hemisfério. Quando o ângulo de declinação atinge seu valor máximo, seja $+23,45^\circ$ ou $-23,45^\circ$, temos o chamado solstício.

É por causa da declinação solar que se observa o nascer e o pôr-do-sol em posições diferentes ao longo do ano. A Figura (3) demonstra como o nascer do Sol é observado ao longo do ano.

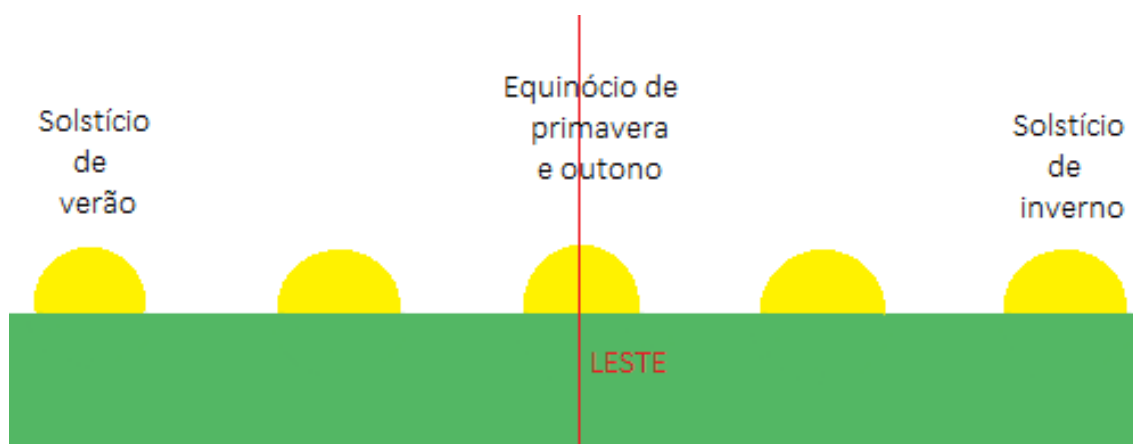


Figura 3 – Trajetória aparente do nascer do Sol ao longo do ano.

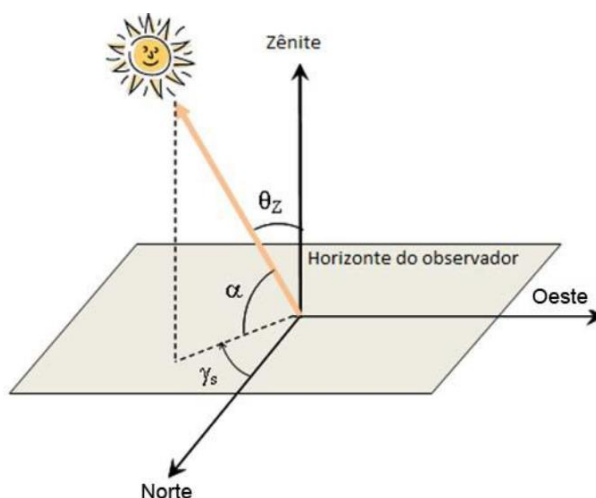
No solstício de verão (21 de dezembro) o Sol está a $+23,45^\circ$ e caracteriza o dia mais longo do ano em relação à noite, pois é quando o hemisfério Sul recebe a maior incidência de raios solares. Já no solstício de inverno (21 de junho) o Sol está a $-23,45^\circ$ caracterizando a noite mais longa do ano por receber menor quantidade de raios solares.

Quando em seu movimento aparente, o Sol atinge o ponto médio de deslocamento, ou seja, ângulo de declinação solar igual à zero tem-se os chamados equinócios. O equinócio do outono (21 de março) e o equinócio da primavera (21 de setembro) ocorrem quando tanto o hemisfério sul quanto o hemisfério norte recebem a mesma quantidade de luz, fazendo com que o dia e a noite apresentem a mesma duração.

Para a compreensão do aproveitamento solar para geração de energia é de suma importância conhecer as relações geométricas estabelecidas entre os raios solares e a superfície terrestre.

Estas relações geométricas são descritas por CRESESB (2014) através de vários ângulos, ilustrados na Fig. (4), sendo eles:

- Ângulo zenital (θ_z): ângulo formado entre os raios solares e a vertical local (zênite). O ângulo zenital é zero quando ele se encontra exatamente acima do observador.
- Altura solar (α): ângulo entre os raios do Sol e a projeção dos mesmos no plano horizontal.
- Ângulo azimutal do Sol (γ_s): ângulo formado entre a projeção dos raios solares no plano horizontal na direção Norte–Sul. O deslocamento angular é considerado a partir do Norte geográfico e está compreendido entre -180° e 180° , sendo considerado positivo quando a projeção está à direita do Sul e negativo quando está à esquerda.
- Ângulo azimutal superfície (γ): ângulo compreendido entre a posição da normal sobre a superfície do plano horizontal na direção Norte-Sul. Segue a mesma convenção citada no ângulo azimutal do Sol.
- Inclinação à superfície de captação (β): ângulo entre o plano da superfície coletora e o plano horizontal podendo variar de 0° a 90° .
- Ângulo de incidência (θ): ângulo formado entre os raios solares e a normal à superfície de captação.



(a)

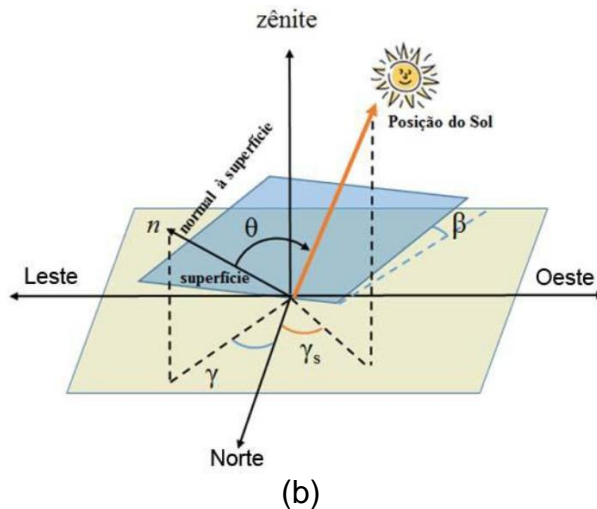


Figura 4 - (a) Ilustração dos ângulos θ_z , α e γ_s , que representa a posição do Sol em relação ao plano horizontal; (b) Ilustração da orientação da superfície inclinada em relação ao mesmo plano, ângulos β , γ , γ_s , e θ .
Fonte: CRESESB (2014, p.73)

Um ângulo também importante a ser considerado é o ângulo horário (ω) que de acordo com Pinho *et. al.* (2008) é descrito como o ângulo entre o meridiano do Sol e o meridiano do local. O ângulo horário considera todo o intervalo de horas entre o nascer e o pôr-do-sol, sendo negativo pela manhã e positivo à tarde, de acordo com a Fig. (5). A Terra demora 24 horas para descrever em seu movimento de rotação uma volta completa que corresponde a 360° , com isso cada hora corresponde ao deslocamento de 15° .

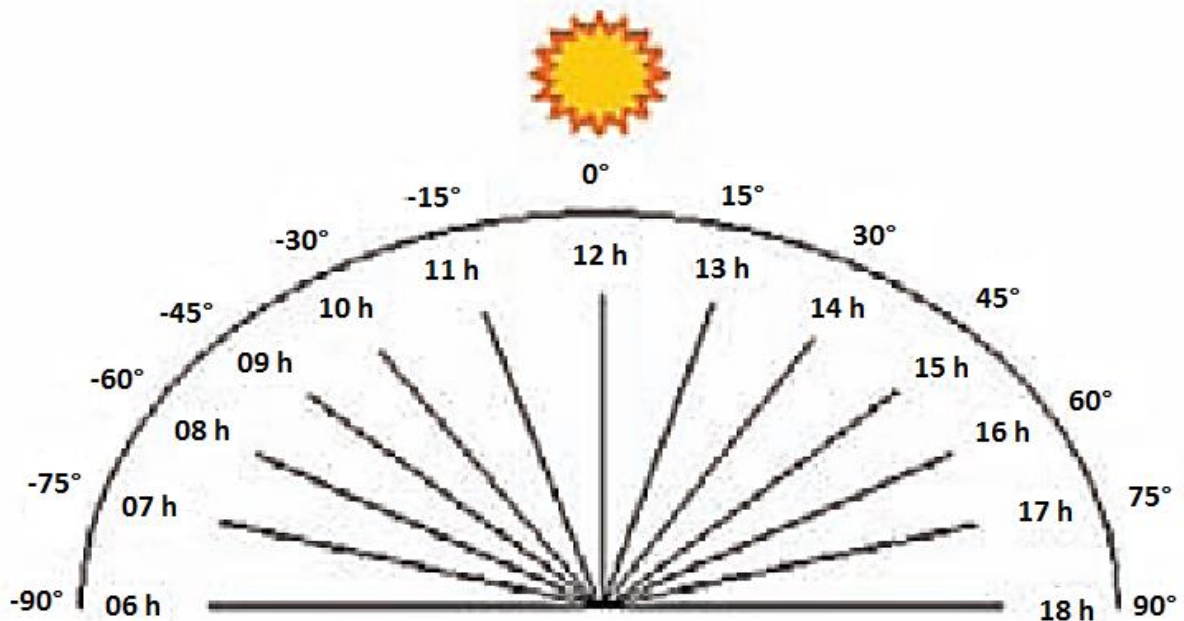


Figura 5 – Ângulos horários durante o dia. Fonte: PINHO *et al.* (2008, p.43)

2.3 RADIAÇÃO SOLAR SOBRE A TERRA

Radiação solar é um termo genérico utilizado para denominar a energia disponibilizada pelo Sol à Terra. Porém, quando se trata de fluxo de potência o termo adequado é irradiância solar e quando referencia em termos de energia por unidade de área o termo adequado é irradiação solar. De acordo com CRESESB (2014) a densidade média anual de fluxo energético oriundo da irradiação solar corresponde ao valor de 1.367 W/m^2 .

A radiação solar não chega à superfície terrestre de maneira total, ela é reduzida ao longo da atmosfera por efeitos de reflexão, dispersão e absorção; cujos fatores são: vapor de água, poluição, poeira e condições locais como solo e vegetação. Segundo Freitas (2008) o nível de radiação na superfície terrestre é aproximadamente 1000 W/m^2 , ao meio-dia, em boas condições climáticas. Esse valor de radiação solar é considerado um valor padrão para dimensionamento de módulos ou células fotovoltaicas.

A radiação solar atinge a superfície terrestre por uma porção direta, que produz sombras bem definidas e por uma porção difusa que é proveniente de várias direções e sofreu espalhamento quando atravessou a atmosfera. CRESESB (2014) define que mesmo em um dia completamente sem nuvens, pelo menos 20% da radiação é difusa e em um dia nublado não há radiação direta apenas radiação difusa.

Outro fator importante a ser considerado é que se a superfície estiver inclinada em relação à horizontal, o tipo de superfície onde a radiação incide (solo, vegetação, obstáculos etc) agrega um fator de reflexão denominado “albedo”.

A Figura (6) demonstra as componentes da radiação solar sobre uma superfície, o somatório de todas essas componentes é dito radiação global.

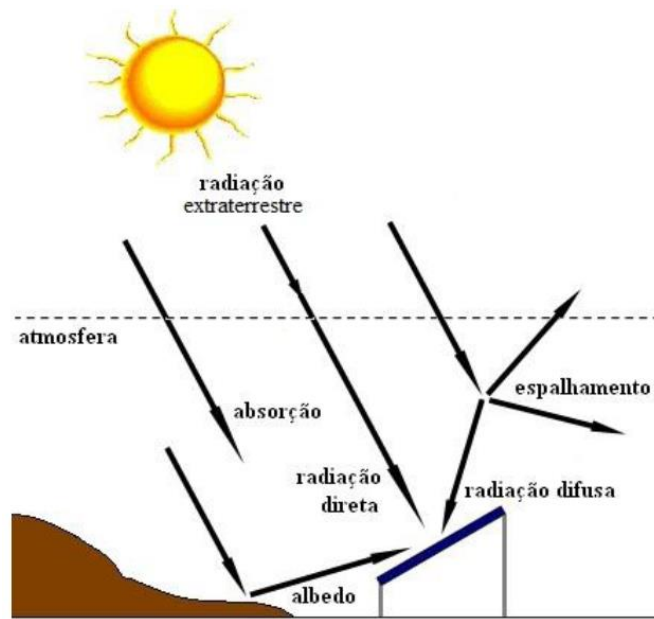


Figura 6 – Componentes da radiação solar. Fonte: PINHO *et al.*(2008, p.46)

2.4 EFEITO FOTOVOLTAICO E EFEITO FOTOELÉTRICO

A energia do Sol é transmitida para a Terra através de ondas eletromagnéticas. Essas ondas ao incidirem sobre determinados materiais produzem alterações nas propriedades elétricas podendo originar tensões e correntes elétricas. O efeito fotovoltaico e o efeito fotoelétrico são alguns dos fenômenos causados por radiação eletromagnética. Villalva e Gazoli (2012) conceituam os efeitos fotovoltaico e fotoelétrico sendo que o efeito fotovoltaico é o princípio básico de funcionamento dos sistemas de energia solar fotovoltaica e consiste na transformação da radiação eletromagnética do Sol em uma diferença de potencial sobre uma célula composta por camadas de materiais semicondutores. O efeito fotoelétrico ocorre em materiais metálicos e não metálicos sólidos, líquidos e gasosos ocasionando a remoção de elétrons, porém não gera tensão elétrica no material. A Figura (7) demonstra o princípio dos efeitos fotovoltaico e fotoelétrico.

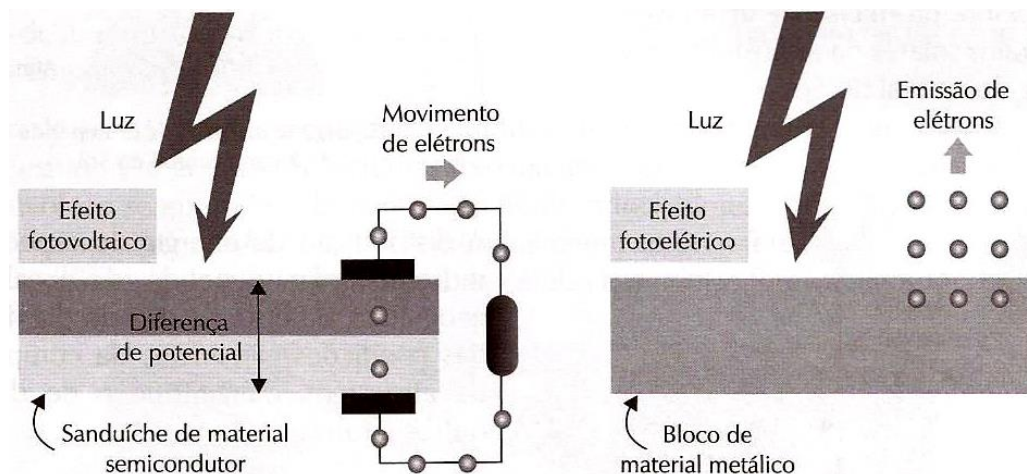


Figura 7 – Efeito fotovoltaico e efeito fotoelétrico. Fonte: VILLALVA; GAZOLI (2012, p.41)

2.5 CÉLULA FOTOVOLTAICA

A célula fotovoltaica é composta comumente por duas camadas de material semicondutor, uma do tipo P e outra do tipo N. O material N possui excesso de elétrons e o material P apresenta falta de elétrons. Devido à diferença de concentração de elétrons entre as duas camadas, os elétrons da camada N migram para a camada P, gerando um campo elétrico e uma barreira de potencial entre as duas camadas. (VILLALVA; GAZOLI, 2012)

A Figura (8) demonstra a estrutura básica de uma célula fotovoltaica e seu princípio de conversão fotovoltaica.

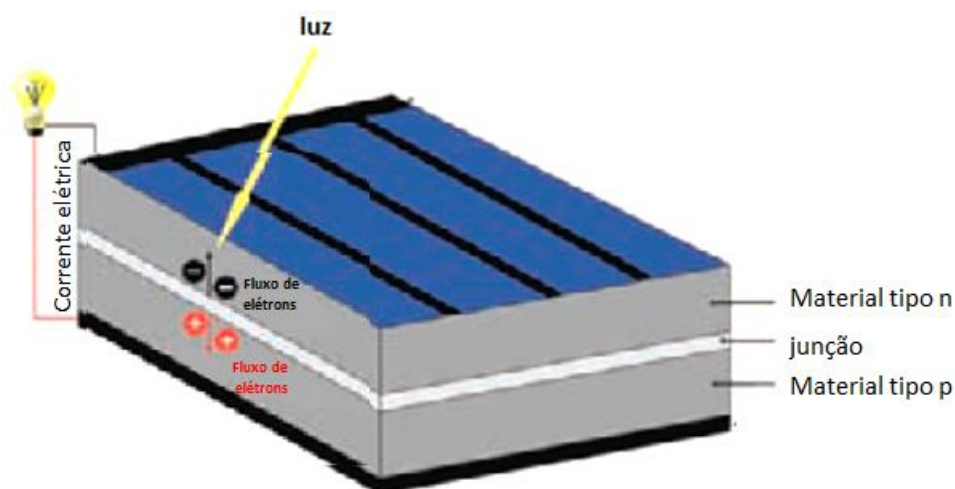


Figura 8 – Conversão fotovoltaica. Fonte: PINHO *et al.*(2008, p.56)

Atualmente existem diversas tecnologias envolvendo a fabricação de células e módulos fotovoltaicos. As tecnologias mais comuns são de silício monocristalino, silício policristalino e a de filme fino de silício. O silício é extraído no mineral quartzo que tem grande produção no Brasil, porém o processamento desse mineral é feito fora do país assim como a fabricação das células.

Comparando as tecnologias tem-se que as células monocristalinas apresentam maior eficiência, porém tem um custo de produção mais elevado que os outros tipos de células. As células policristalinas têm eficiências comerciais inferiores às das células monocristalinas, entretanto seu custo de produção é menor, compensando a redução da eficiência. A tecnologia de filmes finos apresenta como característica baixo custo e alta adaptação dos módulos a diversos tipos de superfície por serem módulos flexíveis, em contra partida tem baixa eficiência necessitando de uma maior área de módulos para produzir a mesma energia que as tecnologias cristalinas; e ainda possuem menor vida útil.

2.6 INCLINAÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Para um melhor aproveitamento da radiação solar deve-se levar em conta a orientação e a inclinação dos módulos fotovoltaicos. A melhor orientação para o módulo é instalá-lo com a face voltada para o norte geográfico, com isso tem-se um melhor aproveitamento da luz solar ao longo do dia.

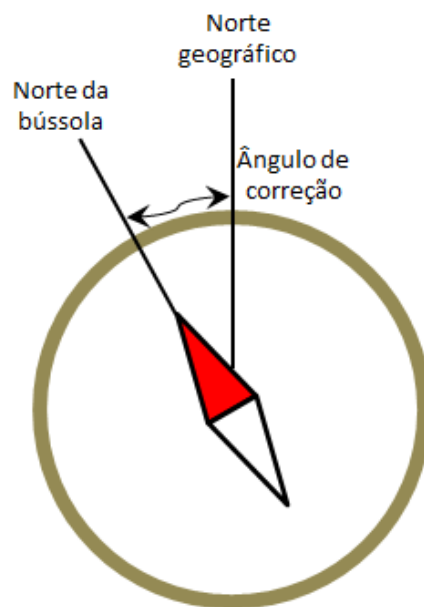
É possível encontrar o norte geográfico, ou norte verdadeiro, indiretamente com o uso de uma bússola. A agulha da bússola fica alinhada no sentido das linhas do campo magnético da Terra, porém essas linhas se distribuem de maneira irregular pelo globo terrestre, sendo assim, a agulha da bússola nem sempre aponta para o norte geográfico.

Para descobrir o norte geográfico é possível utilizar um mapa ou tabela com um ângulo de correção, este ângulo varia de acordo com a localização geográfica e em cada região do Brasil é necessário subtrair o ângulo de correção do ângulo encontrado pela bússola. (VILLALVA e GAZOLI, 2012)

A Figura (9) (a) mostra o mapa de ângulo de correção para encontrar o norte geográfico. Na Figura (9) (b) ilustra como o norte da bússola e o norte geográfico se relacionam através do ângulo de correção.



(a)



(b)

Figura 9 – (a) Mapa de correção para encontrar o norte geográfico a partir da indicação da bússola; (b) Ilustração de uma bússola e como é possível encontrar o norte geográfico. Fonte: VILLALVA; GAZOLI (2012, p.52)

De acordo com Pinho *et. al* (2008) a melhor inclinação para a instalação de um módulo fotovoltaico fixo, sem rastreamento solar, é igual a latitude do local onde o sistema será instalado. Pequenas variações dos valores do ângulo de inclinação não tem grande influência na geração anual, podendo o valor da inclinação, em relação à latitude, variar +10° ou -10°. Na Tabela 1 encontram-se as latitudes das capitais brasileiras.

Tabela 1 – Latitudes das capitais brasileiras. Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2011.

Capital	UF	Latitude
Aracaju	SE	-10°54'40"
Belém	PA	-01°27'22"
Belo Horizonte	MG	-19°49'01"
Boa Vista	RR	+02°49'12"
Brasília	DF	-15°46'48"
Campo Grande	MS	-20°26'35"
Cuiabá	MT	-15°35'46"
Curitiba	PR	-25°25'41"
Florianópolis	SC	-27°35'49"
Fortaleza	CE	-03°43'01"
Goiânia	GO	-16°40'44"
João Pessoa	PB	-07°06'54"
Macapá	AP	+00°02'20"
Maceió	AL	-09°39'58"
Manaus	AM	-03°06'07"
Natal	RN	-05°47'42"
Palmas	TO	-10°10'01"
Porto Alegre	RS	-30°01'59"
Porto Velho	RO	-08°45'43"
Recife	PE	-08°03'14"
Rio Branco	AC	-09°58'30"
Rio de Janeiro	RJ	-22°54'11"
Salvador	BA	-12°58'16"
São Luís	MA	-02°31'48"
São Paulo	SP	-23°32'53"
Teresina	PI	-05°05'20"
Vitória	ES	-20°19'08"

3 METODOLOGIA

3.1 TECNOLOGIAS EXISTENTES

Existem no mercado empresas especializadas em desenvolvimento de sistemas de aprendizado baseado em práticas de laboratório com coleta e análise de dados experimentais. Cada empresa possui variados tipos de abordagem em relação à energia solar fotovoltaica e diferentes modelos de sistemas. A Tabela (2) apresenta as marcas com alguns de seus modelos de tecnologias de bancadas didáticas disponíveis no mercado.

Tabela 2 – Marcas e alguns modelos de bancada didáticas.

MARCA	MINIPA	EDIBON	IKS- Photovoltaik	LUCAS-NÜLLE
BANCADA DIDÁTICA				
MODELO	Modelo de sistema de treinamento em energia verde da Minipa Educacional	Módulo de treinamento em energia solar fotovoltaica	Modelo de bancada da linha Solartrainer profi da empresa IKS-Photovoltaik	Módulo solar com simulador de altitude da linha de produtos em energia renovável
FONTE	Catálogo Educacional Minipa 2012	Catálogo Edibon	Catálogo IKS-Photovoltaik	Catálogo Produtos Lucas-Nülle

3.2 PROJETO INICIAL

O módulo de bancada foi elaborado tendo como parâmetro básico a necessidade de um equipamento que pudesse auxiliar as aulas práticas das disciplinas que envolvem a tecnologia de geração de eletricidade a partir de energia solar fotovoltaica.

Para o desenvolvimento do bancada tomou-se como referência modelos de bancadas didáticas já existentes no mercado que mais se aproximavam das características pretendidas para o projeto, que é simular as posições do Sol ao longo do dia e do ano, e ainda que essa bancada didática se adaptasse às características do laboratório disponível na faculdade.

Com o auxílio do software CATIA, foi simulada a estrutura da bancada didática pretendida. CATIA é um software para desenhos em computador, sendo uma ferramenta importante em projetos sendo capaz de construir desenhos 3D.

Os desenhos elaborados partiram do princípio das dimensões da placa solar fotovoltaica que foi escolhida por apresentar dimensões reduzidas e se assemelhar a placas utilizadas em sistemas de bancadas didáticas comerciais.

A placa fotovoltaica apresenta as seguintes características:

- Marca: Yingli Solar
- Potência Máxima: 10 W
- Dimensões aproximadas: 350 mm x 305 mm x 25 mm
- Peso: 1,42 Kg
- Possui 36 células de silício policristalino

O modelo construído em formato de desenho tridimensional tenta ilustrar como será a bancada depois de construída. A Figura (10) apresenta a estrutura simulada no software CATIA.

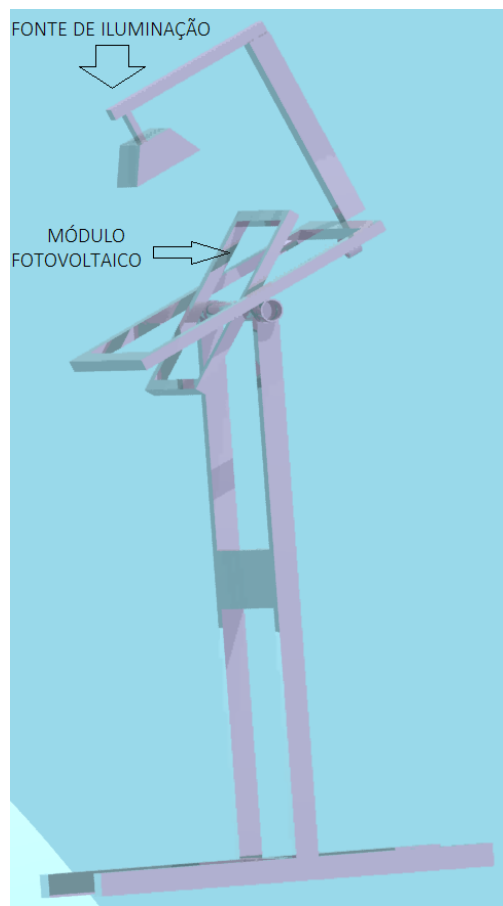


Figura 10 – Estrutura básica da bancada didática

As dimensões propostas para a estrutura foram sempre baseadas na placa solar fotovoltaica e podem ser ilustradas pela Fig.(11). A altura total da bancada é de 1,40 metros para que seja de fácil manuseio. A fonte de iluminação estará situada a uma altura de 40 centímetros da placa fotovoltaica para que a mesma possa receber iluminação em toda sua superfície.

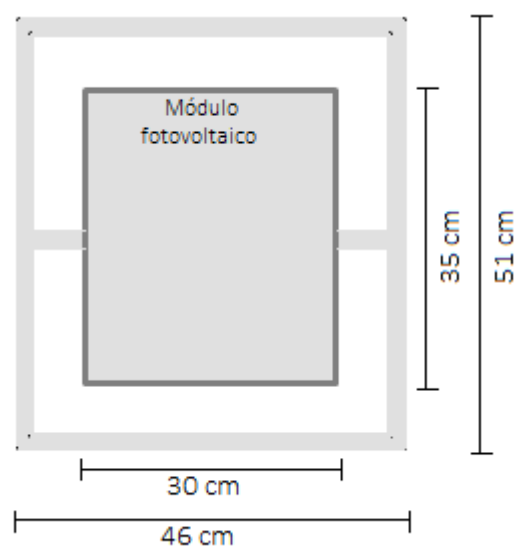


Figura 11 – Dimensões pretendidas para a estrutura externa e a estrutura da placa solar fotovoltaica.

A movimentação que a estrutura da bancada deve apresentar podem ser ilustradas através das figuras a seguir. A Figura (12) mostra a movimentação que a estrutura externa poderá realizar a fim de simular as posições que o Sol assume durante as estações do ano, baseando-se no conceito de declinação solar.

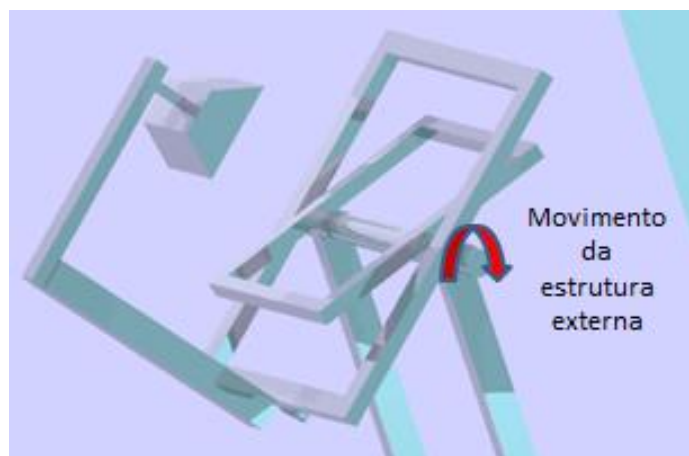


Figura 12 – Movimento realizado pela estrutura externa.

Na Figura (13), o movimento se mostra na placa solar fotovoltaica, podendo ser ajustada com o ângulo referente à latitude do local da instalação da mesma. De acordo com a literatura, para se obter um melhor aproveitamento da luz solar durante o ano, o módulo fotovoltaico deve ser instalado conforme a latitude do local.

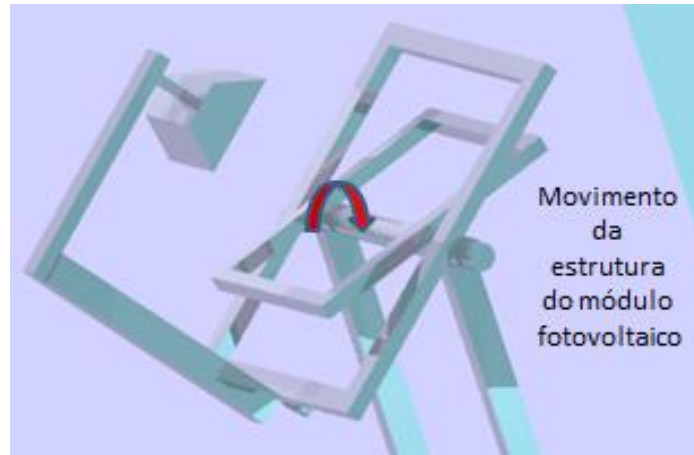


Figura 13 - Movimento da estrutura que sustenta o módulo fotovoltaico.

Já a Fig.(14), demonstra a movimentação da fonte de iluminação com o intuito de simular o ângulo horário, que é o movimento aparente do Sol durante o dia das 6 horas às 18 horas.



Figura 14 - Movimento da fonte de iluminação.

Com as propostas das dimensões e com os desenhos do projeto, a bancada didática pode ser confeccionada. As dimensões propostas serão reafirmadas ou até mesmo modificadas de acordo com o andamento do projeto, devido aos materiais e ferramentas disponíveis para construção da bancada didática.

3.3 ESTRUTURA DO MÓDULO DE BANCADA DO PROJETO

Para a construção da estrutura da bancada foram utilizados perfis de material metálico, dando maior liberdade de corte e soldagem, para que os princípios

de funcionamento do sistema de simulação das posições do Sol e da placa fotovoltaica atendessem a ideia principal do projeto. A lista de materiais utilizados bem como uma estimativa dos custos para a execução do projeto encontra-se em anexo.

Durante a montagem, alguns aspectos referentes às dimensões se mostraram um pouco diferentes do projeto inicial. Isso se dá pelo fato de que alguns processos, dentro da oficina onde foi construída a estrutura, apresentam algumas limitações de materiais e máquinas que pudessem realizar cortes mais precisos. Até mesmo algumas características foram modificadas por não terem sido bem elaboradas inicialmente.

A Figura (15) apresenta imagens da estrutura construída com suas vistas lateral, frontal e traseira para uma melhor visualização da bancada didática.



Figura 15 – Vistas frontal, lateral e traseira da estrutura da bancada didática.

A bancada didática construída apresenta possibilidade de se movimentar em variados ângulos para simular as situações apresentadas pelo Sol ao longo do dia e do ano e ainda simular a inclinação em que o módulo fotovoltaico pode ser instalado para receber a melhor incidência solar. Os movimentos das partes da estrutura são independentes a fim de assumirem variadas situações que podem ocorrer durante a movimentação do Sol.

A estrutura da bancada didática, na parte externa, pode se movimentar a fim de simular a trajetória do Sol ao longo do ano. Este movimento se baseia no conceito da declinação solar onde durante o ano a incidência dos raios solares é diferente nos hemisférios da Terra.

Sendo que no solstício de verão (21 de dezembro) o Sol está com ângulo de declinação $+23,45^\circ$ e o hemisfério sul recebe maior incidência de raios. No solstício de inverno (21 de junho) ocorre o oposto, o Sol está com ângulo de declinação $-23,45^\circ$ e o hemisfério sul recebe menor incidência de raios solares.

Quando o valor do ângulo de declinação é 0° , os hemisférios sul e norte recebem a mesma quantidade de luz e caracteriza o equinócio de outono (21 de março) e o equinócio de primavera (21 de setembro).

Partindo destes conceitos que a estrutura foi elaborada para variar essa incidência de luz na placa fotovoltaica, podendo ser ajustada em três posições diferentes de declinação solar: 0° , $+24^\circ$ e -24° , o valor da declinação solar na estrutura difere sutilmente do valor teórico apresentado, pois durante a confecção da estrutura da bancada didática não havia equipamento que pudesse medir com tal precisão este ângulo.

O ajuste na estrutura para fixar os ângulos nas posições citadas é feito através de duas peças confeccionadas em alumínio que se fixam na estrutura através de um parafuso e uma porca de ajuste manual. Essas peças podem ser observadas na figura a seguir.

A Figura (16) mostra imagens de como a parte da estrutura que pode ser movimentada a fim de simular as variações na posição do Sol durante o ano.



Figura 16 – Movimento realizado pela estrutura externa da bancada. À esquerda, a estrutura está na posição inverno (-24°). À direita, a estrutura está na posição verão ($+24^\circ$).

O módulo fotovoltaico apresenta ajuste para inclinação de 0 a 90° com variações a cada 10° , para simular a latitude do local onde o mesmo estaria

instalado. Os ajustes dos ângulos da placa fotovoltaica serão em valores aproximados, pois a estrutura possui escala a cada 10°. Assim, apenas alguns valores de latitudes poderão ser ajustados com valores exatos. A Figura (17) ilustra como o ajuste a da placa solar fotovoltaica é realizado.



Figura 17 – Imagem do ajuste da placa solar fotovoltaica de acordo com a latitude.

A variação do ângulo de inclinação da placa fotovoltaica possibilita verificar se há alguma influência na captação da radiação solar, se a mesma for ajustada com uma inclinação diferente da latitude do local.

Como consequência, a geração de energia solar é afetada, pois a placa fotovoltaica recebe maior ou menor incidência de luz de acordo com o período do ano.

A parte da estrutura da bancada que sustenta a iluminação artificial tem a liberdade de movimento para simular o Sol ao longo do dia variando seu movimento a cada 15°, compreendendo os horários do dia de 6 às 18 horas. A fonte de iluminação tem possibilidade de variar a intensidade da luz através do uso de um dimmer, avaliando efeitos de dias nublados sobre a placa solar fotovoltaica.

A Figura (18) mostra como a estrutura que dá suporte a fonte de iluminação se movimenta simulando o comportamento aparente do Sol ao longo do dia das 6 às 18 horas no sentido que o nascer-do-sol se localiza à esquerda e o pôr-do-sol à direita.



Figura 18 – Imagem do ajuste da estrutura para simular o Sol ao longo do dia das 6 às 18 horas.

O ajuste para cada hora do dia é feito com auxílio de um parafuso fixado na estrutura da fonte de iluminação que pode ser encaixado no horário do dia que se deseja avaliar. Assim, quando forem realizadas as medições dos parâmetros da placa fotovoltaica, a luz pode assumir cada posição do dia representada por um furo a cada hora, através do encaixe e desencaixe do parafuso em cada furo.

O refletor utilizado como fonte artificial para a placa fotovoltaica possui as seguintes características:

- Marca: Golden
- Potência suportada pelo refletor: 500 W
- Dimensões aproximadas: 185 mm x 185 mm x 155 mm

A lâmpada utilizada no refletor como fonte artificial de luz é uma lâmpada de halogênio e possui as seguintes características:

- Marca: Osram
- Modelo: Haloline 500 W 220...240V R7S

- Potência nominal: 500 W
- Fluxo luminoso: 1200 lm
- Temperatura de cor: 2900 K
- Dimerizável

Um dimmer foi instalado na lâmpada para que fosse possível variar a intensidade da luz. A função do mesmo é variar a luminosidade da lâmpada para avaliar os efeitos, sobre a placa solar fotovoltaica, de dias nublados onde a luz não é intensa. Avaliando, assim, os parâmetros de tensão nessas condições.

Estabeleceram-se três intensidades de luz: máxima, média e mínima. A intensidade de luz máxima é quando a lâmpada está em sua máxima potência. As escalas de luz média e mínima foram estabelecidas a partir da escala existente no dimmer, fazendo uma marcação onde seriam consideradas as luminosidades média e mínima.

3.4 ENSAIOS PROPOSTOS

Os ensaios propostos neste projeto poderão ser utilizados pelos alunos em suas aulas práticas. Os roteiros foram estruturados para o melhor entendimento do aluno quanto aos dados que podem ser coletados da bancada didática obedecendo a capacidade de movimento que a mesma apresenta. E se mostram para atestar a funcionalidade da bancada didática.

- Roteiro 1

Título: Movimento do Sol ao longo do dia na primavera/outono.

Objetivo: Avaliar como o ângulo de inclinação de instalação da placa solar fotovoltaica afeta os valores de tensão gerada para as estações do ano primavera/outono ao longo do dia das 6 às 18 horas.

Procedimentos: Ajustar a posição da estrutura em ângulo 0° , posição horizontal que corresponde ao ângulo de declinação nos equinócios de primavera e outono. Ajustar módulo fotovoltaico definido com a latitude de Brasília, ângulo de latitude igual a 15° .

Nestas condições a fonte de iluminação irá simular o movimento do Sol ao longo do dia. A fonte de iluminação assumindo as posições do Sol, a cada 15°, varrendo os horários do dia de 6 horas às 18 horas, de acordo com as marcações disponíveis na bancada. Ajustar o dimmer na posição máxima luminosidade.

Utilizando este mesmo procedimento, realizar medições com o módulo fotovoltaico na posição horizontal, ou seja, ângulo de latitude igual a 0°.

Preencher a tabela a seguir com os dados coletados no experimento. Averiguar como a tensão se comporta perante essas condições

Estrutura em 0°		
	Placa em 15°	Placa em 0°
Horário do dia	Tensão [V]	Tensão [V]
06h		
07h		
08h		
09h		
10h		
11h		
12h		
13h		
14h		
15h		
16h		
17h		
18h		

- Roteiro 2

Título: Movimento do Sol ao longo do dia no inverno

Objetivo: Avaliar como o ângulo de inclinação de instalação da placa solar fotovoltaica afeta os valores de tensão gerada para a estação do ano inverno ao longo do dia das 6 às 18 horas.

Procedimentos: Ajustar a posição da estrutura em ângulo -24°, ou seja, na posição que corresponde ao ângulo de declinação no solstício de inverno.

Utilizando o mesmo procedimento proposto pelo roteiro anterior, ou seja, a fonte de iluminação assumindo as posições, a cada 15°, varrendo os horários do dia de 6

horas às 18 horas, de acordo com as marcações disponíveis na bancada. Ajustar o dimmer na posição máxima luminosidade.

Com o ajuste da placa fotovoltaica em 15° e posteriormente em 0°, preencher a tabela a seguir para avaliar os valores de tensão.

Estrutura em -24°		
	Placa em 15°	Placa em 0°
Horário do dia	Tensão [V]	Tensão [V]
06h		
07h		
08h		
09h		
10h		
11h		
12h		
13h		
14h		
15h		
16h		
17h		
18h		

- Roteiro 3

Título: Movimento do Sol ao longo do dia no verão

Objetivo: Avaliar como o ângulo de inclinação de instalação da placa solar fotovoltaica afeta os valores de tensão gerada para a estação do ano verão ao longo do dia das 6 às 18 horas.

Procedimentos: Ajustar a posição da estrutura em ângulo +24°, ou seja, na posição que corresponde ao ângulo de declinação no solstício de verão.

Utilizando os mesmos procedimentos propostos anteriormente para simular o dia, ou seja, a fonte de iluminação assumindo as posições, a cada 15°, varrendo os horários do dia de 6 horas às 18 horas, de acordo com as marcações disponíveis na bancada. Ajustar o dimmer na posição máxima luminosidade.

Com o ajuste da placa fotovoltaica em 15° e posteriormente em 0°, preencher a tabela a seguir para avaliar os valores de tensão e comparar os resultados com a situação do solstício de inverno.

Estrutura em +24°		
	Placa em 15°	Placa em 0°
Horário do dia	Tensão [V]	Tensão [V]
06h		
07h		
08h		
09h		
10h		
11h		
12h		
13h		
14h		
15h		
16h		
17h		
18h		

- Roteiro 4

Título: Movimento do Sol ao longo do dia e do ano com dias nublados

Objetivo: Avaliar como intensidade da luz recebida pela placa solar fotovoltaica afeta os valores de tensão gerada para todas as estações do ano ao longo do dia das 6 às 18 horas.

Procedimentos: Neste experimento propõe-se os mesmos procedimentos utilizados nos roteiros 1, 2 e 3. Mas neste caso, o dimmer será ajustado nas posições de luminosidade média e mínima. Com os dados coletados neste experimento comparar com os demais realizados com a luminosidade máxima. A seguir o modelo de tabela que pode ser preenchida pelos alunos com os dados de tensão coletados da placa solar.

Horário do dia	Estrutura em			
	Luminosidade média		Luminosidade mínima	
	Placa em 15°	Placa em 0°	Placa em 15°	Placa em 0°
	Tensão [V]	Tensão [V]	Tensão [V]	Tensão [V]
06h				
07h				
08h				
09h				
10h				
11h				
12h				
13h				
14h				
15h				
16h				
17h				
18h				

Com os valores de tensão coletados dos ensaios propostos, é possível avaliar como a geração anual de energia dos módulos fotovoltaicos é afetado pelo comportamento do Sol. E como o ângulo de instalação da placa solar fotovoltaica influencia nessa geração.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os experimentos foram realizados em ambiente não controlado, foram desconsiderados aspectos de umidade, temperatura, luz ambiente e nível de radiação emitida pela fonte de iluminação sobre a placa fotovoltaica. Este fato ocorre, pois, a proposta do projeto é essencialmente didática, onde a estrutura da bancada didática será utilizada pelos alunos nos laboratórios da faculdade.

Apenas uma característica da bancada precisa ser levada em consideração durante os experimentos. A fonte de iluminação artificial possui lâmpada de halogênio, esta se aquece durante seu funcionamento e conseqüentemente aquece a placa fotovoltaica. A temperatura influencia na tensão gerada pela placa fotovoltaica.

Para amenizar esta situação é aconselhável que a cada mudança na posição da bancada didática, seja na estrutura, na placa fotovoltaica ou na fonte de iluminação, durante a realização dos ensaios propostos, desligar a fonte de

iluminação religando-a quando a bancada já estiver ajustada. Assim é possível manter a temperatura da placa fotovoltaica durante os ensaios.

A partir dos roteiros propostos foram coletados os dados de tensão para cada caso. A seguir os dados, tabelas e gráficos obtidos pelas medições realizadas e suas respectivas análises a respeito dos dados.

Ensaio 1

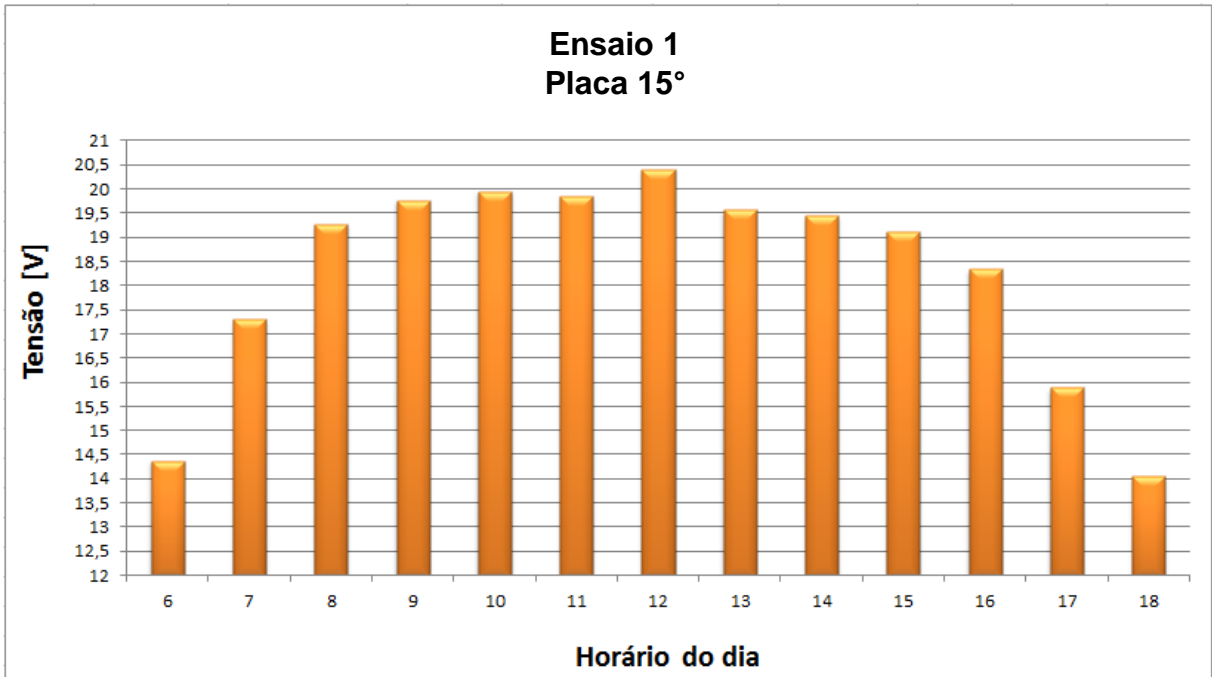
Nas condições propostas para o roteiro 1, simulando o movimento aparente do Sol ao longo do dia. A estrutura se encontra na posição 0° definindo como posição de equinócio de outono e primavera, tem-se os dados coletados para a situação na tabela abaixo:

Tabela 3 – Dados para o ensaio 1, movimento do Sol ao longo do dia, com a placa fotovoltaica ajustada em posição 0° e em 15° .

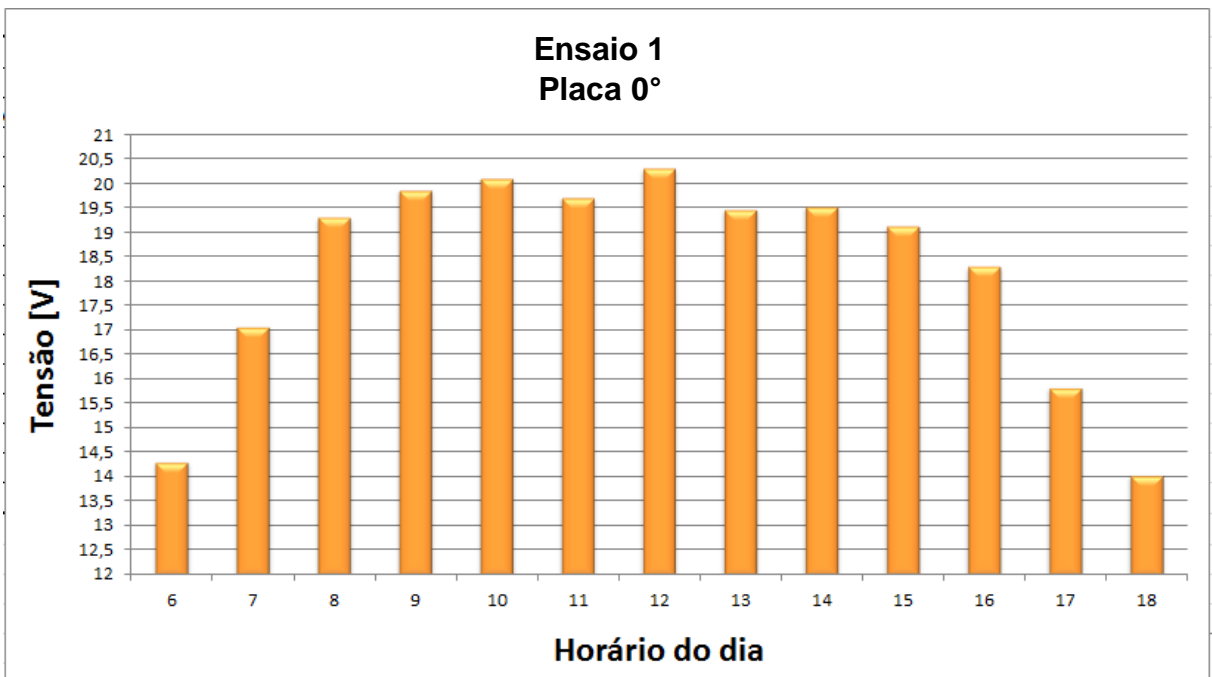
Estrutura em 0°		
	Placa em 15°	Placa em 0°
Horário do dia	Tensão [V]	Tensão [V]
06h	14,37	14,3
07h	17,31	17,07
08h	19,28	19,29
09h	19,77	19,86
10h	19,94	20,1
11h	19,85	19,71
12h	20,4	20,3
13h	19,56	19,46
14h	19,44	19,52
15h	19,12	19,13
16h	18,34	18,29
17h	15,88	15,82
18h	14,05	14,02

Os gráficos ilustram a variação da tensão gerada na placa de acordo com a posição da fonte de iluminação artificial.

Gráfico 1 – Ensaio 1, movimento do Sol ao longo do dia. (a) Com a placa fotovoltaica ajustada em 15°; (b) Com a placa fotovoltaica ajustada em 0°.



(a)



(b)

As análises para o ensaio 1 são que, o comportamento da tensão é bastante similar para os casos da placa fotovoltaica em 0° e em 15°, com a estrutura em posição de 0°.

Não há muitas variações nesse caso, podendo concluir que para a época do ano próxima ao período do equinócio de outono (21 de março) e do equinócio de primavera (21 de setembro), a posição de instalação da placa fotovoltaica não interfere ativamente na geração de energia para a latitude considerada nos experimentos.

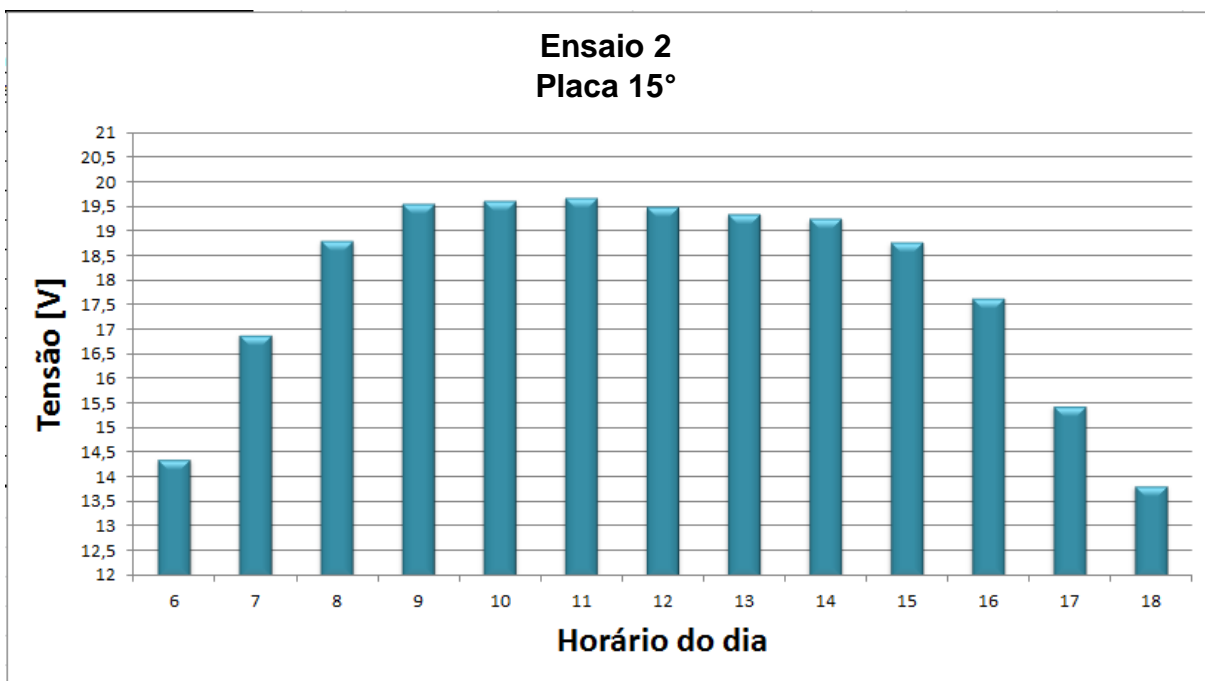
Ensaio 2

Nas condições propostas pelo roteiro 2, temos os dados coletados para a situação de declinação igual a -24°, no solstício de inverno:

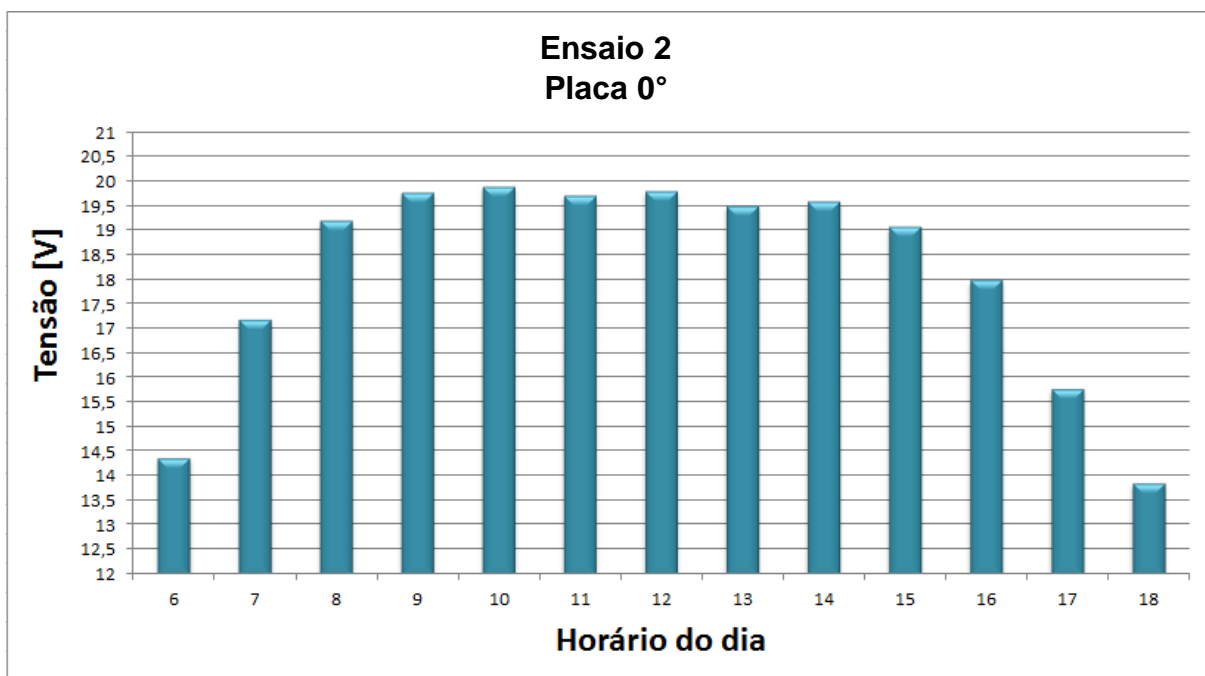
Tabela 4 – Dados para o ensaio 2, movimento do Sol ao longo do dia, com estrutura em -24° e placa fotovoltaica ajustada em posição 0° e em 15°.

Estrutura em -24°		
	Placa em 15°	Placa em 0°
Horário do dia	Tensão [V]	Tensão [V]
06h	14,36	14,37
07h	16,9	17,2
08h	18,8	19,19
09h	19,57	19,77
10h	19,63	19,9
11h	19,67	19,72
12h	19,49	19,81
13h	19,35	19,5
14h	19,25	19,58
15h	18,77	19,07
16h	17,64	17,99
17h	15,45	15,78
18h	13,82	13,85

Gráfico 2 – Ensaio 2, movimento do Sol ao longo do dia com estrutura em -24° .
(a) Com a placa fotovoltaica ajustada em 15° ; (b) Com a placa fotovoltaica ajustada em 0° .



(a)



(b)

O que é possível observar para as condições do ensaio 2 são que, o comportamento da tensão é bastante similar para os casos da placa fotovoltaica em 0° e em 15° no inverno, sendo que este comportamento também foi observado para o caso primavera/outono do ensaio1. Um aspecto relevante é que a tensão máxima que o sistema nas condições de inverno consegue atingir é menor que no caso de primavera/outono.

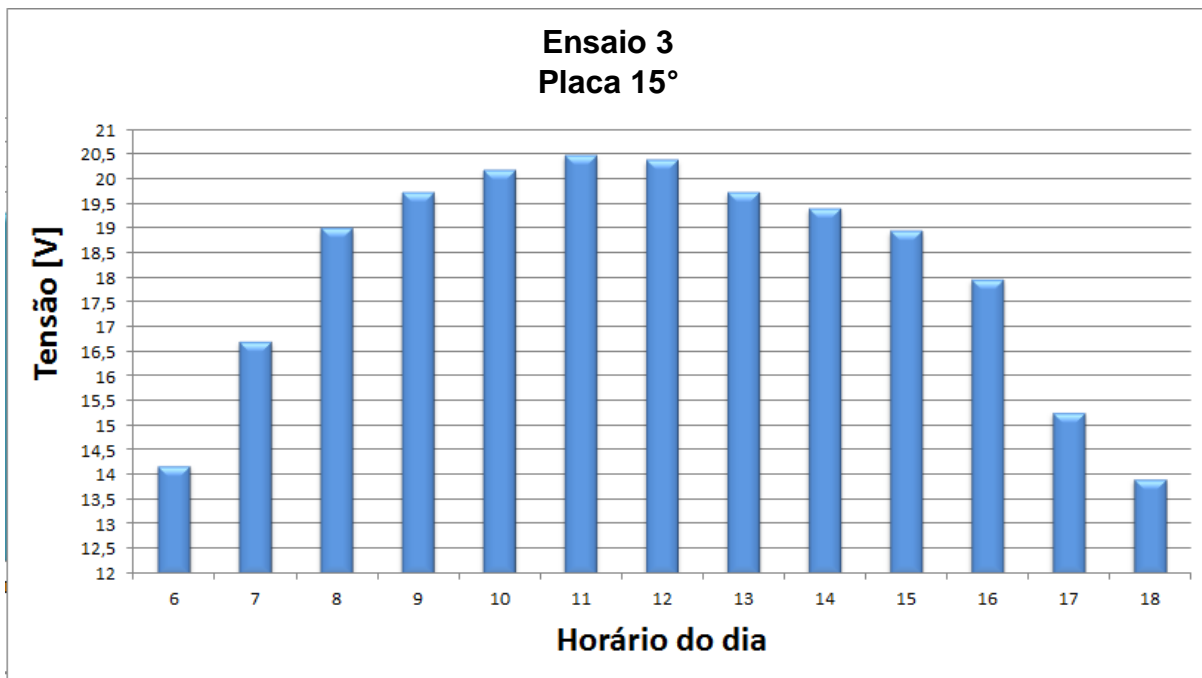
Ensaio 3

Nas condições propostas para o ensaio 3, em uma segunda situação temos os dados coletados para a situação de declinação igual a +24°, no solstício de verão:

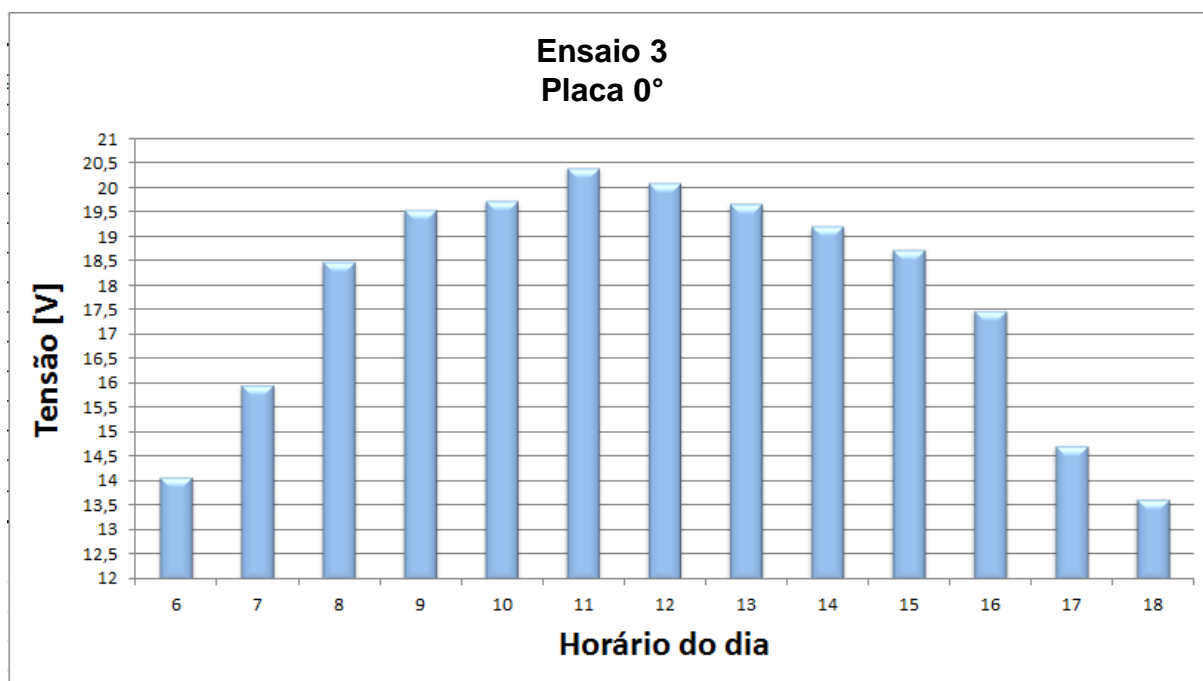
Tabela 5 – Dados para o ensaio 3, movimento do Sol ao longo do dia, com estrutura em +24° e placa fotovoltaica ajustada em posição 0° e em 15°.

Estrutura em +24°		
	Placa em 15°	Placa em 0°
Horário do dia	Tensão [V]	Tensão [V]
06h	14,19	14,08
07h	16,72	15,96
08h	19,02	18,48
09h	19,73	19,53
10h	20,2	19,72
11h	20,5	20,4
12h	20,4	20,1
13h	19,75	19,66
14h	19,42	19,2
15h	18,96	18,73
16h	17,98	17,48
17h	15,28	14,73
18h	13,93	13,63

Gráfico 3 – Ensaio 3, movimento do Sol ao longo do dia com estrutura em +24°. (a) Com a placa fotovoltaica ajustada em 15°; (b) Com a placa fotovoltaica ajustada em 0°.



(a)



(b)

Nas condições do ensaio 3, com estrutura simulando o verão, a tensão gerada na placa solar quando instalada em 15° se diferencia quando a placa está instalada em 0°. Para placa solar fotovoltaica em 15° a tensão se apresenta maior que em 0°, comportamento que não se observa nos demais ensaios; onde a tensão, na maioria das medições, apresenta valores maiores para a placa em 0° do que em 15°. Outra característica importante para o caso do verão é que a tensão máxima gerada é maior do que a apresentada nos ensaios 1 e 2.

Podendo concluir que, no verão, se tem uma maior geração de energia e um melhor aproveitamento da luz solar quando a placa instalada em 15°.

Ensaio 4

A proposta do roteiro 4 é reproduzir os mesmos procedimentos utilizados nos ensaios 1,2 e 3, mas agora para situações de intensidades de luz menores que a potência máxima que a lâmpada fornece. Com isso, foram obtidos os dados apresentados na Tab. (6) a seguir.

Tabela 6 – (a) Resultados do ensaio 4 para estação do ano primavera/outono; (b) estação do ano inverno; (c) estação do ano verão.

	Estrutura em 0°			
	Luminosidade média		Luminosidade mínima	
	Placa em 15°	Placa em 0°	Placa em 15°	Placa em 0°
Horário do dia	Tensão [V]	Tensão [V]	Tensão [V]	Tensão [V]
06h	12,75	12,95	11,71	11,71
07h	15,57	15,42	13,21	13,09
08h	18,13	18,07	15,88	15,81
09h	18,86	18,81	16,77	16,77
10h	18,99	19,04	17,17	17,18
11h	19,08	19,00	17,26	17,28
12h	19,40	19,49	17,29	17,34
13h	18,81	18,88	17,25	17,27
14h	18,58	18,59	17,04	17,05
15h	18,17	18,18	16,60	16,59
16h	17,23	17,17	15,51	15,43
17h	14,08	13,81	12,52	12,40
18h	11,91	11,85	11,37	11,35

(a)

Estrutura em -24°					
		Luminosidade média		Luminosidade mínima	
		Placa em 15°	Placa em 0°	Placa em 15°	Placa em 0°
Horário do dia	Tensão [V]	Tensão [V]	Tensão [V]	Tensão [V]	Tensão [V]
06h	12,07	12,35	10,60	10,68	
07h	15,28	15,66	12,36	12,63	
08h	18,05	18,42	15,35	15,73	
09h	18,94	19,08	16,57	16,77	
10h	19,03	19,32	17,02	17,20	
11h	19,14	19,22	17,17	17,40	
12h	18,85	19,09	17,20	17,42	
13h	18,73	18,87	17,10	17,34	
14h	18,42	18,65	16,85	17,10	
15h	17,97	18,25	16,30	16,59	
16h	16,87	17,25	14,85	15,32	
17h	13,94	14,30	11,85	12,18	
18h	11,83	12,40	10,72	10,95	

(b)

Estrutura em +24°					
		Luminosidade média		Luminosidade mínima	
		Placa em 15°	Placa em 0°	Placa em 15°	Placa em 0°
Horário do dia	Tensão [V]	Tensão [V]	Tensão [V]	Tensão [V]	Tensão [V]
06h	11,90	11,76	10,50	10,37	
07h	14,97	14,19	12,18	11,53	
08h	18,03	17,56	15,29	14,54	
09h	18,89	18,65	16,49	16,16	
10h	19,12	19,01	16,91	16,66	
11h	19,25	19,05	17,06	16,85	
12h	19,08	19,00	17,06	16,88	
13h	18,95	18,76	17,03	16,80	
14h	18,69	18,50	16,76	16,52	
15h	18,25	18,04	16,30	15,96	
16h	17,20	16,60	14,96	14,18	
17h	13,44	12,96	11,59	11,22	
18h	11,36	11,17	10,48	10,40	

(c)

O comportamento dos resultados fornecidos pelo ensaio 4 são esperados. Para cada caso, primavera/outono, inverno e verão a tensão se distribui da mesma forma que nos ensaios 1, 2 e 3. O caráter avaliado neste caso é que a intensidade

de luz que a placa solar fotovoltaica recebe interfere diretamente na geração de energia.

A tensão gerada quando há intensidade de luz média e mínima não atinge a tensão na situação de luz máxima. Podendo concluir que em dias em que há nuvens que encubram o Sol a geração de energia fica reduzida.

Com os todos os dados coletados e as análises realizadas neste trabalho, é possível comparar dados de futuros ensaios a serem realizados por alunos que utilizarão a bancada didática.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados que foram coletados dos ensaios se mostram satisfatórios e apresentam um comportamento desejável. Isso reafirma a ideia inicial de simulação do movimento aparente do Sol e como isso pode interferir na geração de energia fotovoltaica, e torna válida a utilização da bancada didática construída para fins educacionais.

Porém, aspectos de utilização da bancada se mostram pouco práticos e funcionais. Os ajustes das posições das estações do ano na estrutura externa é realizado através de parafusos e requer um cuidado para que não se desequilibre a estrutura enquanto se faça a mudança das posições das estações do ano.

Na simulação do Sol ao longo do dia, a troca dos horários também é realizada através de parafusos encaixados em cada furo representante de cada horário. Também requer um cuidado para que o refletor não se movimente além do necessário e acabe por colidir com outra parte da estrutura e quebre.

Então, esses e outros aspectos que os próximos usuários desta bancada didática poderão ser modificados. Como sugestão o uso de pinos com mola para um engate mais rápido e seguro de algumas partes que se movimentam. Como um trabalho futuro, o uso de um sistema eletrônico que possibilite ajustar com maior precisão os ângulos da placa fotovoltaica de acordo com a latitude.

A estrutura da bancada se mostra como fruto do trabalho desenvolvido e atende a proposta inicial pretendida. A mesma está disposta à modificações para que se torne melhor, podendo ser elaboradas diferentes práticas, para o uso dos alunos.

Os resultados extraídos dos experimentos realizados na bancada mostram o comportamento da placa fotovoltaica e como geração de energia. Tais resultados, dispostos ao longo do trabalho, auxiliam no entendimento da própria proposta do projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA A ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO (CRESESB); Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos; Rio de Janeiro: Centro de Pesquisas em Energia Elétrica - CEPEL; março de 2014.

FREITAS, S. S. A. Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. 2008. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Bragança, 2008.

HUET, Isabel, et al. **New Challenges in Teaching Introductory Programming Courses: a Case Study**. 34th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, Session T2H, October, 20-23, 2004, Savannah, GA

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE; **Anuário Estatístico do Brasil**, 2011, volume 71.

PINHO, João Tavares et al. Sistemas híbridos. Soluções energéticas para a Amazônia, 2008.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações. 1. ed..São Paulo: Érica, 2012.

EDIBON. Catálogo de produtos linha energias renováveis. Disponível em: www.edibon.com

IKS-PHOTOVOLTAIK. Catálogo de produtos linha Solartrainer Profi. Disponível em: www.iks-photovoltaik.de

LUCAS-NÜLLE. Catálogo de produtos linha energias renováveis. Disponível em: www.lucas-nuelle.com

MINIPA. Catálogo Educacional 2012. Disponível em: www.minipa.com.br

ANEXO

Os materiais utilizados para a construção da bancada didática estão listados abaixo, considerando que vários destes materiais não foram considerados no projeto inicial pois foram sendo utilizados de acordo com a disponibilidade pela oficina da faculdade.

Perfis (Metalon): 70x30 mm; 40x30mm; 40x20mm

Parafusos, Porcas, Porcas de aperto manual, Arruelas: 3/4"

Placa de alumínio: 3mm. Esta foi utilizada para fabricar o placa em semi-circulo que faz a marcação dos ângulos horários aplicados na fonte de iluminação.

Barra de alumínio: 30x20mm. Este material foi utilizado em um pequena porção da estrutura, em forma de pequenos batentes fixados com parafusos, para manter as posições das estações do ano na estrutura externa.

Rodízio giratório: 2". Foram utilizados três rodízios sem freio e um com freio para facilitar a locomoção da estrutura da bancada.

Rolamentos: 1". Foram utilizados dois rolamentos, um em cada lado da estrutura externa para que a mesma pudesse se movimentar para assumir os ângulo necessários.

Serra copo: 22 mm; 41 mm. Ferramenta necessária para realizar furos para o encaixe dos rolamentos.

Disco Flap: 4.1/2. Lixa para acabamento em metal.

Tinta, Thinner e Primmer para metal.

Tampas plásticas

Placa fotovoltaica

Refletor

Lâmpada de halogenio

Dimmer

Para a construção da bancada didática foram utilizadas ferramentas e maquinário disponível na oficina. Foram elas: Fresa, Furadeira de mesa, Furadeira, Máquina de solda por eletrodo, Serra, Máquina de Corte, Torno, Lixadeira, Esmeril.

Quanto aos custos, muitos materiais e mão-de-obra necessária para a execução deste projeto não consegue ser quantificada. Parte dos materiais, todas as

ferramentas, grande parte dos acessórios das ferramentas e a mão-de-obra foram utilizados da equipe técnica da faculdade sem nenhum custo associado.

Os materiais que foram necessários comprar estão listados a seguir, conforme lista anterior, com seus respectivos custos.

Rodízio giratório: R\$ 39,00

Serra copo: R\$ 71,00

Disco Flap: R\$ 27,00

Tinta, Thinner e Primer para metal: R\$ 44,00

Tampas plásticas: R\$ 6,00

Placa fotovoltaica: R\$ 131,00

Refletor: R\$ 29,00

Lâmpada de halogenio: R\$ 6,50

Dimmer: R\$ 36,00

O custo total referente a estes materiais foi de R\$ 389,50. Este não pode ser considerado o custo total do projeto, exatamente pelo motivo que não houve pagamento pela mão-de-obra especializada que executou parte das atividades na construção da bancada e também porque parte dos materiais utilizados estavam disponíveis na oficina para uso. Sendo então, que o custo total não é possível mensurar.