

ANÁLISE DE SISTEMAS FV PROTOTÍPICOS EM AMBIENTE ABERTO

Rafael Ramon FERREIRA (1); Paulo C. da SILVA Filho (2,3)

(1) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Av. Sen. Salgado Filho, 1559, Tirol, Natal-RN, e-mail: rafaelramon92@hotmail.com

(2) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, e-mail: paulo.cavalcante@ifrn.edu.br

(3) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Física Teórica e Experimental.

RESUMO

Por muito tempo a humanidade sobreviveu com base no trabalho braçal e animal, como rodas hidráulicas e moinhos de vento. Hoje em dia grande parte de nossa energia procede de combustíveis fósseis. Até muito pouco tempo se dava por descartada a esgotabilidade da energia. Sendo assim, o aproveitamento da energia gerada pelo Sol, inesgotável na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de calor quanto de luz, é hoje, sem sombra de dúvidas, uma das alternativas energéticas mais promissoras para o futuro. A energia solar que é abundante e permanente renovável a cada dia, não polui e nem prejudica o ecossistema. Esta pesquisa é um estudo descritivo exploratório de abordagem científica que através de medidas experimentais visa o estudo da viabilidade da utilização da energia solar fotovoltaica (FV) nos ambientes pequenos. Durante esse estudo, foi realizado o monitoramento dos módulos de energia solar dos tipos: (a) monocristalino e (b) policristalino, através de instrumentos medidas elétricas. Realizamos medições nas coordenadas: Latitude 5° 45' 54" S e Longitude 35° 12' 05" W" (Natal-RN). As variáveis físicas envolvidas na geração de energia (tensão, corrente e potência) foram estudadas qualitativamente e quantitativamente e cada painel foi ligado a uma carga resistiva, de aproximadamente 3 Ω . Também realizamos apresentações desse sistema em exposições técnico-científicas e congressos, com o objetivo de divulgar e popularizar o uso da energia FV entre a comunidade estudantil. Os resultados são apresentados conforme a média horária das medições.

Palavras-chave: Energias renováveis, Energia solar FV, Sistemas prototípicos renováveis.

1 INTRODUÇÃO

Uma notória característica de nossa sociedade, sob um ponto de vista prático e material, é o crescente aumento da demanda por abastecimento energético. Para FERNANDES; GUARONGHE (2010), essa característica configura-se como uma das condições para a existência de nossa indústria, nossos meios de transporte e até mesmo da agricultura e da vida urbana, ou seja, um pré-requisito para a existência da nossa sociedade assim como a conhecemos. Por milhares de anos nossas civilizações viveram atreladas à idéia de inesgotabilidade energética, ou seja, pouco houve idéias e políticas direcionadas para o uso sustentável da energia, principalmente a energia elétrica.

Nesse contexto, uma das soluções é o aproveitamento da energia gerada pelo Sol, inesgotável na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de calor quanto de luz, é hoje, sem sombra de dúvidas, uma das alternativas energéticas mais promissoras para enfrentarmos os desafios do futuro. E, quando se fala em energia, deve-se lembrar que o Sol, nossa estrela, é responsável pela origem de praticamente todas as fontes de energia. Em outras palavras, as fontes de energia são, em última instância, derivadas, em sua maioria, da energia solar (CRESESB, 1999). A energia solar, abundante e permanente, renovável a cada dia, não polui e nem prejudica o ecossistema. Esta energia pode ser a solução ideal para áreas afastadas e ainda não eletrificadas, especialmente num país como o Brasil, onde se obtém altos índices de insolação em quase todo território.

Dados do AMBIENTE BRASIL (2010) informam que os níveis de irradiação solar em escala anual equivalem a 10.000 vezes a energia consumida pela população mundial neste mesmo período. O Sol produz continuamente 390 sextilhões ($3,9 \times 10^{23}$) de quilowatts de potência. Como o Sol emite energia em todas as direções, um pouco desta energia é despendida, mas mesmo assim, a Terra recebe mais de 1.500 quatrilhões ($1,5 \times 10^{18}$) de quilowatts-hora de potência por ano.

A Energia Solar Fotovoltaica (FV) é obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (Efeito Fotovoltaico). O efeito fotovoltaico, relatado pelo físico Edmond Becquerel, em 1839, é o aparecimento

de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção de luz. A célula fotovoltaica é a unidade fundamental do processo de conversão (CRESESB, 1999).

Neste artigo, abordamos a energia solar FV, devido à maior abundância de materiais para trabalhar-se com esse tipo de energia, além da disponibilidade de módulos fotovoltaicos de propriedade do Campus Natal – Central do IFRN. Os módulos FV, equipamentos primordiais para o uso dessa tecnologia, são de silício mono e policristalino.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Panorama energético brasileiro

Com cerca de 8,5 milhões de quilômetros quadrados e, mais de 7 mil quilômetros de litoral e condições para aproveitamento energético extremamente favoráveis, o Brasil possui um dos maiores e melhores potenciais energéticos do mundo. Onde os potenciais hidráulicos, da irradiação solar, da biomassa e da força dos ventos são suficientemente abundantes para garantir a auto-suficiência energética do país. Entretanto, para ANNEL (2002) o crescimento da demanda, escassez de oferta e restrições financeiras, socioeconômicas e ambientais à expansão do sistema indica que o suprimento futuro de energia elétrica exigirá maior aproveitamento de fontes alternativas.

2.2 Efeito Fotovoltaico (FV)

O efeito fotovoltaico dá-se em materiais da natureza denominados semicondutores que se caracterizam pela presença de bandas de energia onde é permitida a presença de elétrons (banda de valência) e de outra onde totalmente “vazia” (banda de condução). O condutor mais utilizado é o silício. Uma célula fotovoltaica constituída por cristais de silício puro não produziria energia elétrica. Os elétrons passariam para a banda de condução, mas acabariam por se recombinar com as lacunas, não dando origem a qualquer corrente elétrica.

Para haver corrente elétrica é necessário que exista um campo elétrico, isto é uma diferença de potencial entre duas zonas da célula. Através do processo conhecido como dopagem do silício, que consiste na introdução de elementos estranhos com o objetivo de alterar as suas propriedades elétricas, é possível criar duas camadas na célula: a camada tipo *p* e a camada tipo *n*, que possuem, respectivamente, um excesso de cargas positivas e um excesso de cargas negativas, relativamente ao silício puro.

Na região onde os dois materiais se encontram, designada junção p-n, cria-se, portanto, um campo elétrico que separa os portadores de carga que a atingem: os elétrons, excitados pelos fótons com energia suficiente para excitar elétrons da banda de valência para a banda de condução, são acelerados para um terminal negativo, ao passo que os buracos são enviadas para um terminal positivo. Nestas condições, ligando os terminais a um circuito que se fecha exteriormente através de uma carga, circulará corrente elétrica (COSTA, 2010).

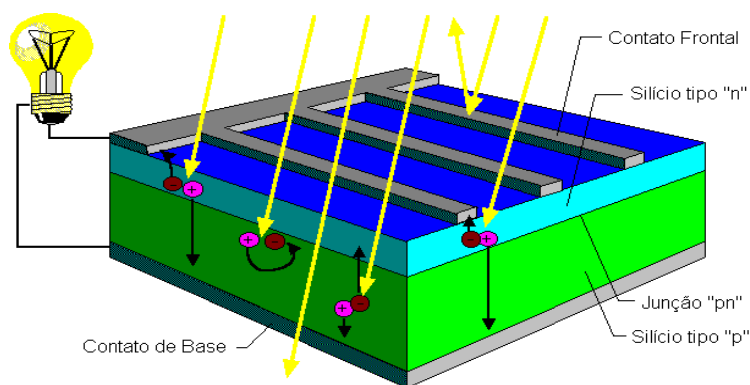


Figura 1 - Circuito elétrico equivalente de uma célula FV

2.3 Célula FV

A célula fotovoltaica é a menor unidade de conversão de energia luminosa proveniente do Sol para energia elétrica. Sendo assim em média tem a forma de um quadrado com cerca de 10 cm de lado e sua massa é de aproximadamente 10 gramas (COSTA, 2010).

2.4 Módulos FV

Pela baixa tensão e corrente de saída em uma célula fotovoltaica, agrupam-se várias células formando um módulo. O arranjo das células nos módulos pode ser feito conectando-as em série ou em paralelo.

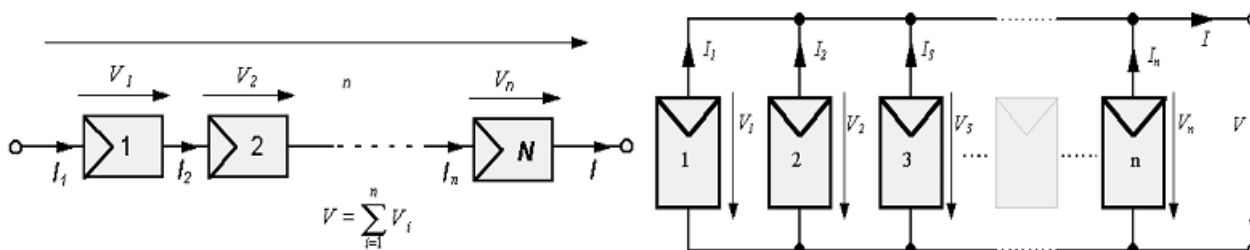


Figura 2 - (a) Arranjo de células em série; (b) Arranjo das células em paralelo.

2.5 Sistemas FV

Para CRESESB (2010), um sistema fotovoltaico pode ser classificado em três categorias distintas: sistemas isolados, híbridos (Conectados a rede ou não). Os sistemas obedecem a uma configuração básica onde o sistema deverá ter uma unidade de controle de potência e também uma unidade de armazenamento.

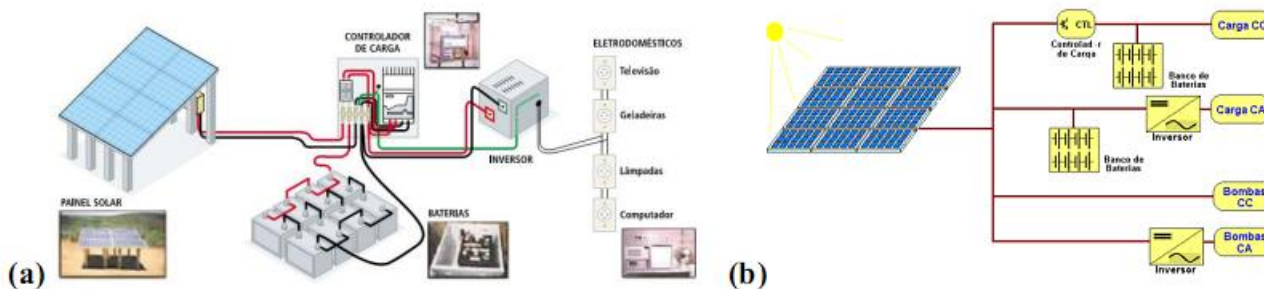


Figura 3 - (a) Sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica [8]; (b) Diagrama de sistemas fotovoltaicos em

Nos sistemas fotovoltaicos onde há armazenamento de energia em baterias, usa-se um dispositivo para controlar a carga e a descarga na bateria. O “controlador de carga” tem como principal função não deixar que haja danos na bateria por sobrecarga ou descarga profunda. O controlador de carga é usado em sistemas pequenos onde os aparelhos utilizados são de baixa tensão e corrente contínua (C.C.). Para alimentação de equipamentos de corrente alternada (CA) é necessário um inversor. Este dispositivo geralmente incorpora um seguidor de ponto de máxima potência (MPPT) necessário para otimização da potência final produzida. Este sistema é usado quando se deseja mais conforto na utilização de eletrodomésticos convencionais.

3 PROPOSTA DA PESQUISA

Esta pesquisa trata-se de um estudo descritivo exploratório de abordagem científica, com ênfase em medidas experimentais, voltada para o estudo da viabilidade da utilização da energia solar e divulgação científica entre a comunidade do IFRN. Estando direcionada para as seguintes linhas de pesquisa:

- Incidência de radiação solar;
- Viabilidade do uso da energia solar;
- Relação existente entre a energia solar convertida em energia elétrica e os fatores regionais (clima, urbanização, e poluição);
- Caracterização técnica dos materiais e eficiência de conversão dos módulos fotovoltaicos e divulgação do uso da energia solar para comunidade do IFRN.

4 METODOLOGIA E MATERIAIS UTILIZADOS

Durante nosso estudo, fizemos o levantamento técnico de monitoramento dos módulos de energia solar FV: monocristalino e policristalino, através de instrumentos de medidas elétricas. As variáveis físicas envolvidas (tensão, corrente e potência) foram estudadas qualitativamente e quantitativamente para analisar a viabilidade de implantação do projeto de sistemas FV em ambientes pequenos. Como carga, utilizamos um banco de resistores (ver figura 3), sendo 10 resistores de 33Ω de resistência elétrica cada, dispostos em ligação paralela para que a corrente elétrica possa ser dividida com cada resistor, o banco foi montado numa base de acrílico. Todos abaixo mostrados.



Figura 4- Módulo de Silício Monocristalino

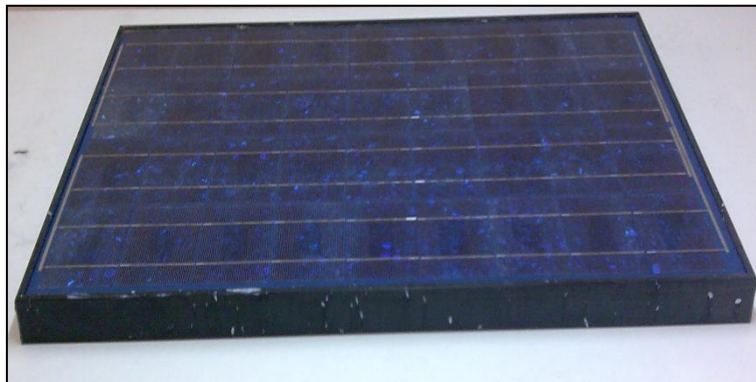


Figura 5- Módulo de Silício Policristalino

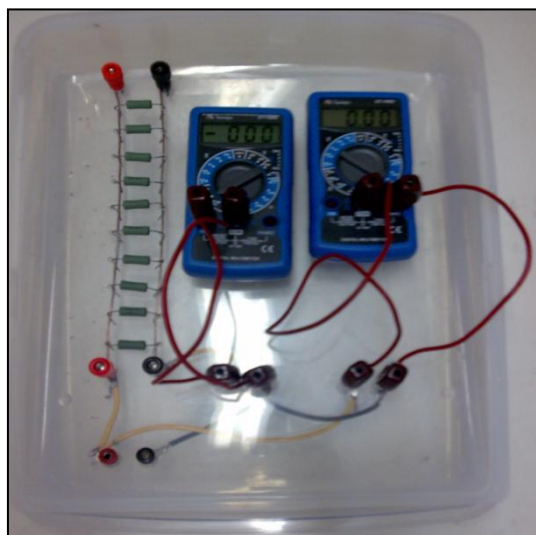


Figura 6- Placa de carga e medição: Resistores, Amperímetro e Voltímetro.

5 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste momento, apresentamos a análise dos resultados obtidos com o módulo de silício **monocristalino**.

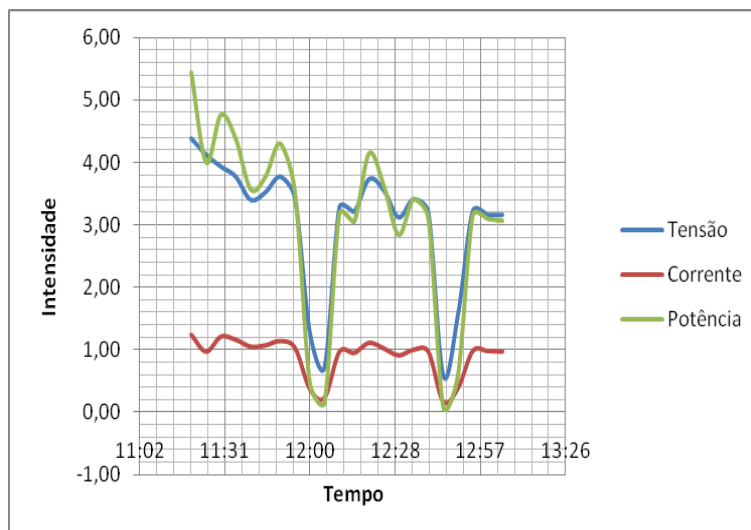


Figura 7- Módulo FV de silício monocristalino. Medidas entre 11h e 13h no período do inverno.

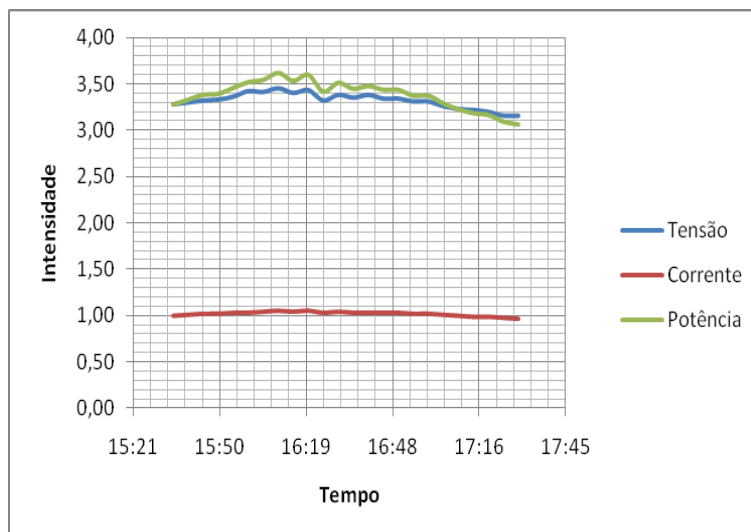


Figura 8 - Módulo FV de silício monocristalino. Medidas entre 15h e 17h no período da primavera.

Nas figuras acima (figuras 4 e 5), ilustramos os gráficos de nossas medidas feitas a partir de instrumentos de medidas elétricas: amperímetros e voltímetro, ambos digitais. As análises, aqui dispostas, são comuns para as duas curvas das grandezas elétricas, exceto o período do ano em que foram feitas as medidas: inverno e primavera. As variações observadas nas curvas acima são causadas pela influência da atmosfera, tais como: reflexão por nuvens e aerossóis; reflexão pela superfície; absorção (O_3 da estratosfera e vapor d'água da troposfera) e absorção pela superfície.

Quanto aos resultados dos gráficos obtidos acima, podemos observar a constância nos valores da corrente elétrica percorrida pelos terminais da carga. Esse fenômeno ocorre devido ao tipo de carga, sendo carga resistiva. O fato dos valores da corrente elétrica estarem oscilando próximos de 1 A, significa que o módulo FV consegue manter esta corrente elétrica para sua carga. Fato muito importante para o abastecimento do banco de baterias.

Agora, apresentamos a análise dos resultados obtidos com o módulo de silício **policristalino**.

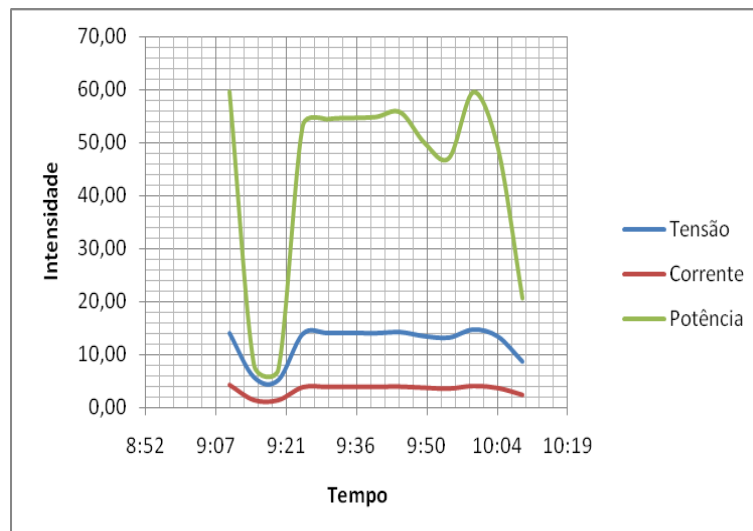


Figura 9 – Módulo FV de silício policristalino entre 9h e 10h no período da primavera.

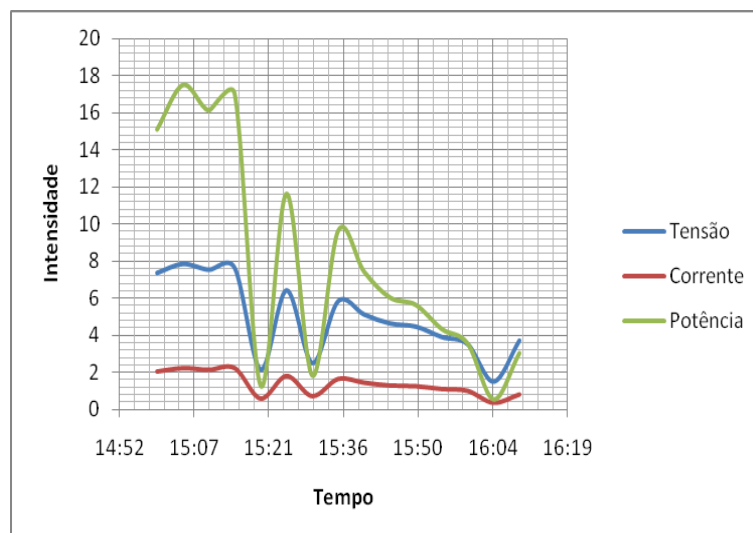


Figura 10 - Módulo FV de silício policristalino entre 15h e 16h no período da primavera

Nas figuras acima (figuras 7 e 8), apresentamos os gráfico das variáveis elétricas obtidas com os mesmos instrumentos de medidas elétricas da análise anterior. Estas medições foram realizadas em uma mesma estação do ano, a primavera. As variações observadas nas curvas acima são causadas por fatores atmosféricos, conforme a análise dos módulos monocristalinos citados anteriormente.

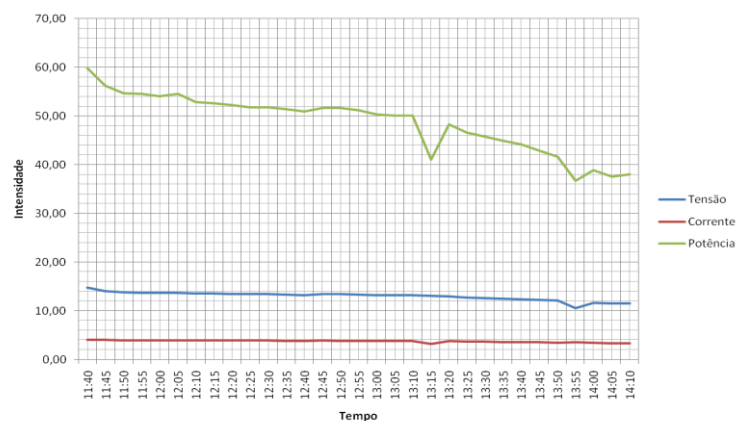


Figura 11 - Módulo FV de silício Poicristalino. Janela contínua de medição.

No que diz respeito aos resultados dos gráficos obtidos acima (em especial a figura 8), observamos novamente a constância nos valores da corrente elétrica percorrida pelos terminais da carga, que continua a

ser o mesmo banco de carga resistiva. Seus valores da corrente elétrica oscilam próximos de 2 A. Percebemos que o módulo FV de silício policristalino também consegue manter esta corrente elétrica para sua carga.

É muito importante ressaltar que as estações do ano influenciam na incidência da radiação proveniente do Sol. Na figura 9, mostramos os níveis de radiação global, que é a radiação total incidente do Sol na atmosfera terrestre. Nesta figura, temos os valores médios e máximos mensais da radiação global (W/m^2) na cidade de Natal-RN, no ano de 2009. Existe uma variação dos níveis radiológicos dos meses de inverno (Junho, Julho e Agosto), que são menores em relação aos da Primavera (Setembro, Outubro e Novembro).

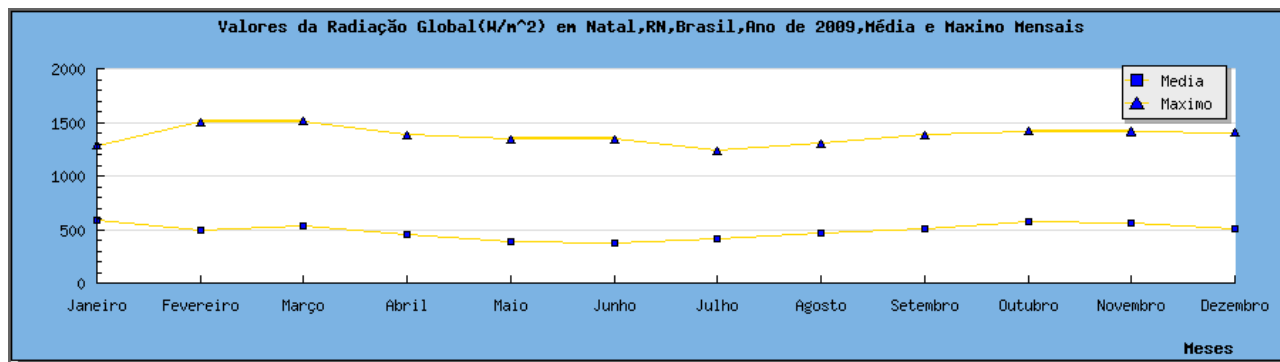


Figura 12 - Índices de Radiação Global em Natal-RN no ano de 2009

Para maximizar o aproveitamento da radiação solar, podemos ajustar a posição do módulo FV de acordo com a latitude local no hemisfério Sul. Em nossa localização, Natal-RN, um sistema de captação solar fixo deve ser orientado para o Norte, com ângulo de inclinação similar ao da latitude local. A cidade de Natal devido à sua situação geográfica ($5^{\circ} 45' 54''$ Sul / $35^{\circ} 12' 05''$ Oeste), possui elevados níveis de radiação solar durante todo o ano (SILVA *et al*, 2008).

Diferentemente da energia elétrica proveniente da rede elétrica da concessionária de energia elétrica que é alternada (com frequência de 60 Hz), a tensão e corrente elétricas produzidas pelos módulos FV são de forma contínua (C.C), ou seja, semelhante às fontes químicas: baterias e pilhas. As cargas com maior viabilidade para serem alimentadas pelos módulos fotovoltaicos são os aparelhos resistivos, tais como: lâmpadas, aquecedores, e outros sistemas resistivos.

6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

No que tange nossa pesquisa podemos concluir que chegamos a resultados parciais levando em consideração nossos objetivos. Haja vista que não conseguimos chegar aos valores de eficiência energética dos módulos de FV. Contudo, foi possível relacionar as variáveis climáticas ao uso de energia solar FV, visto que sem sombra de dúvidas os horários de maior demanda energética são também os de maior incidência de radiação solar. Outra informação importante é a de que os meses onde há maiores índices de radiação global, também são os de maior geração de energia.

Neste estudo, fizemos uso dos módulos de silício mono e policristalino. No que diz respeito à análise qualitativa e quantitativa sobre o uso da energia solar para abastecimento energético, o módulo monocristalino possui a eficiência de aproximadamente 15%, e dos policristalinos estão entre 11% e 13%, segundo a literatura (CRESESB, 1999). A diferença encontrada nos valores de corrente elétricas medidas (~ 1 A e ~ 2 A, respectivamente), nesta pesquisa, se deve a diferença das áreas de nossos módulos fotovoltaicos: $0,1413 m^2$ para monocristalino e $0,594 m^2$ para policristalino, além de que os painéis possuem valores diferentes de eficiência. O fato dos valores das correntes elétricas estarem oscilando próximos de 1 A e 2 A, significa que os módulos FV conseguem manter valores próximos a serem constantes, fato muito importante para o abastecimento do banco de baterias.

A partir da posição geográfica da nossa cidade, Natal-RN, é possível obter-se elevados níveis de radiação solar durante todo o ano, fato positivo para uso da tecnologia fotovoltaica. Sendo assim, podemos concluir com parecer favorável a viabilidade do uso de um sistema de energia fotovoltaico híbrido, isto é,

parte da energia elétrica é proveniente da concessionária elétrica (COSERN), parte do nosso sistema fotovoltaico.

Durante os eventos científicos realizados no IFRN, realizamos mini-cursos na EXPOTEC 2009, na VII Mostra de Física e no VI Congresso de Iniciação Científica do IFRN – 2009 (CONGIC). Também apresentamos nossa pesquisa no XXVII Encontro de Físicos do Norte e Nordeste - 2009 (EFNNE).

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio financeiro da PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO do IFRN.

REFERÊNCIAS

FERNANDES, Carlos Arthur de Oliveira; GUARONGHE, Vinícius Mendes; **Energia Solar**. In: Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP [online]. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/esolar/esolar.html>>. Acesso em 07 de julho de 2010;

CENTRO DE REFERÊNCIAS PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO. **Manual do engenheiro para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: 1999.

AMBIENTE BRASIL. **Energia solar e o meio ambiente**. Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./energia/index.html&conteudo=./energia/solar.html>> Acesso em 07 de julho de 2009

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (BRASIL). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2ª. Ed. - Brasília: ANEEL, 2005.[online] Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/biblioteca/EdicaoLivros2005atlas.cfm>> Acesso em 14 de julho de 2009.

SILVA, Francisco Raimundo; OLIVEIRA, Hugo Sérgio Medeiros de; MARINHO, George Santos. **Análise das componentes global e difusa da radiação solar em natal-rn entre 2007 e 2008**. II Congresso Brasileiro de Energia Solar e III Conferência Regional Latino-Americana da ISES - Florianópolis, 18 a 21 de novembro de 2008.

CASTRO, Rui M.G.; **Energias Renováveis e Produção Descentralizada INTRODUÇÃO À ENERGIA FOTOVOLTAICA**. UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA. Ed. 3. Lisboa: Março de 2009.

INPE (BRASIL). **Gráficos da estação climatológica/solarimétrica**. In: Centro Regional do Nordeste – Laboratório de Variáveis Ambientais Tropicais. Disponível em: <<http://www.crn2.inpe.br/lavat/index.php?id=graficosClimatologica>>

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (BRASIL). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília : ANEEL, 2002.[online] Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/livro_atlas.pdf> Acesso em 14 de Julho de 2009.