

PROJETO DE PESQUISA

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ISOLADOS
EM PEQUENAS PROPRIEDADES RURAIS**

Autor: Prof. Dr. José Angelo Cagnon

Outubro de 2004

Endereço Para Correspondência:
Universidade Estadual Paulista – UNESP
Faculdade de Engenharia – Campus de Bauru
Departamento de Engenharia Elétrica
CP 473, CEP 17033-360
Bauru – SP

Índice

Índice.....	1
1. INFORMAÇÕES GERAIS.....	2
1.1. <i>Título do Projeto.....</i>	2
1.2. <i>Palavras-Chave</i>	2
1.3. <i>Duração do Projeto</i>	2
1.4. <i>Data de Início do Projeto</i>	2
1.5. <i>Local da Executora e Colaboradora do Projeto</i>	2
1.6. <i>Responsável pelo Projeto.....</i>	2
2. DESCRIÇÃO DO PROJETO.....	3
2.1. <i>Resumo e Finalidade</i>	3
2.2. <i>Introdução, Motivação e Relevância</i>	4
2.3. <i>Revisão Bibliográfica Fundamental.....</i>	4
2.3.1. Componentes básicos do sistema solar fotovoltaico.....	4
2.3.2. Eficiência do silício e de outros materiais	5
2.3.3. Características elétricas dos módulos fotovoltaicos:	6
2.3.4. Energia solar fotovoltaica no meio rural.....	6
2.3.5. Sistemas fotovoltaicos de geração de energia elétrica.....	6
2.3.6. Radiação Solar – Captação e Conversão	8
2.3.7. Sistema de Controle	9
3. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS DO PROJETO.....	10
3.1. <i>Desenvolvimento do Projeto.....</i>	11
3.1.1. Materiais	11
3.1.2. Metodologia	12
3.2. <i>Plano de Trabalho e Cronograma.....</i>	17
3.2.1. Etapas de Desenvolvimento do Projeto.....	17
3.2.2. Cronograma de Execução	18
3.3. <i>Descrição da Equipe de Trabalho</i>	19
4. RESULTADOS ESPERADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS	20
5. BIBLIOGRAFIA.....	22

1. INFORMAÇÕES GERAIS

1.1. Título do Projeto

“Análise da Eficiência Energética de Sistemas Fotovoltaicos Isolados em Pequenas Propriedades Rurais”

1.2. Palavras-Chave

Sistemas Fotovoltaicos, Eficiência Energética, Energia Renovável, Geração de Energia Elétrica, Energização Rural, Automação, Controle de Processos, Otimização de Sistemas, Painéis Solares.

1.3. Duração do Projeto

02 anos (24 meses).

1.4. Data de Início do Projeto

Data Inicial: 01 de Janeiro de 2005.

Período: 01 de Janeiro de 2005 até 31 de dezembro de 2006.

1.5. Local da Executora e Colaboradora do Projeto

Universidade Estadual Paulista – UNESP
Faculdade de Engenharia de Bauru – Campus de Bauru
Departamento de Engenharia Elétrica
Av. Luiz Edmundo Coube, S/N
CEP 17033-360, Bauru/SP.
Fone: (14) 3103-6115 Fax: (14) 3103-6116

COLABORADORA

Universidade Estadual Paulista – UNESP
Faculdade de Ciências Agrônômicas – Campus de Botucatu
Departamento de Engenharia Rural

1.6. Responsável pelo Projeto

José Angelo Cagnon

Professor Adjunto

Departamento de Engenharia Elétrica – FE – UNESP/Bauru

e-mail: jacagnon@feb.unesp.br

2. DESCRIÇÃO DO PROJETO

2.1. Resumo e Finalidade

O Projeto de Pesquisa relativo à solicitação de financiamento de recursos à Pesquisa da FAPESP intitulado: “Análise da Eficiência Energética de Sistemas Fotovoltaicos Isolados em Pequenas Propriedades Rurais” tem como propostas o aumento da eficiência energética de sistemas fotovoltaicos para aplicação em pequenas propriedades rurais isoladas, com o desenvolvimento de um sistema de posicionamento automático para os módulos solares, bem como a análise do comportamento de diferentes tipos de baterias estacionárias nos sistemas de acumulação de energia, buscando a obtenção de um maior rendimento. O desenvolvimento e implementação do sistema de posicionamento visa, sobretudo, melhorias no rendimento, e apresentando facilidades técnicas de instalação e manutenção, e também fácil integração com os sistemas existentes, com uma relação custo/benefício que viabilize a sua implantação. A análise da capacidade de armazenamento de energia com o uso de baterias estacionárias tem como objetivo verificar as alternativas disponíveis no mercado, compará-las tecnicamente, verificar o tempo de resposta e desempenho, face aos vários tipos de carga, apresentando as melhores opções e sua viabilidade econômica.

O sistema de posicionamento a ser desenvolvido utilizará motores de corrente contínua e Controlador Lógico Programável, com a função específica de rastrear a movimentação do sol ao longo do dia e no decorrer do ano, buscando sempre a melhor posição dos painéis fotovoltaicos, de modo a captar o máximo de radiação solar possível. O Controlador, por possuir alternativas bastante flexíveis de configuração, também será o elemento de supervisão e aquisição dos dados obtidos em campo, para a verificação do proposto e comparação com os sistemas convencionais.

O projeto em questão busca também contribuir de forma efetiva para os objetivos singulares do Programa de Apoio a Pesquisadores da FAPESP, que tem a finalidade de incentivar a formação de novos núcleos de pesquisa, visando então, a descentralização do sistema estadual de pesquisa e a abertura de novas fronteiras para as atividades dos pesquisadores.

Assim, os recursos que eventualmente sejam concedidos, através deste auxílio financeiro, garantirão as condições mínimas de infra-estrutura para o desenvolvimento pleno e autônomo do projeto, bem como contribuirão para a nucleação de um novo grupo de pesquisa que viabilizará, a curto prazo, e sustentará uma nova linha de pesquisa do Departamento de Engenharia Elétrica, com uma integração multidisciplinar com o Curso de Pós Graduação em Energia na Agricultura, da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu.

2.2. Introdução, Motivação e Relevância

Os fundamentos teóricos da produção de energia elétrica a partir do sol (efeito fotovoltaico) datam do início do século XIX, quando Edmond Becquerel relatou o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz. Posteriormente, já no século XX, especialmente a partir da década de 60, com o advento da microeletrônica, novos materiais tornaram a geração de energia fotovoltaica uma realidade tecnicamente viável, embora de custo elevado.

A corrida espacial acelerou o processo de desenvolvimento de materiais que permitissem fontes de energia solar eficientes e confiáveis, e a crise do petróleo na década de 70 aumentou os investimentos em pesquisa de fontes alternativas de energia, com maior destaque para aquelas renováveis e de menor impacto ambiental.

A partir dos anos 80, a tecnologia de geração de eletricidade fotovoltaica disseminou-se, havendo um sensível aumento na eficiência dos sistemas e drástica redução nos custos, principalmente em função do aumento da escala de produção dos componentes dos painéis solares, tornando esta fonte de energia economicamente viável.

As pequenas propriedades rurais no Brasil, particularmente as residências situadas na zona rural, em função de suas características de localização, muitas vezes em áreas distantes das redes de distribuição convencionais, aliado ao fato de apresentarem baixa demanda, não justificam, na maioria dos casos, o investimento para extensão da rede; neste contexto, apresentam-se como um espaço adequado para a aplicação dos sistemas fotovoltaicos de geração de energia, os quais proporcionam uma solução local como fonte de energia renovável, confiável, e podem promover o desenvolvimento auto-sustentável, social e econômico das populações da zona rural, melhorando a qualidade de vida de seus habitantes.

Nos países em desenvolvimento, como o Brasil, essa forma de energia deve ser aproveitada ao máximo. Normalmente esses países apresentam elevadas extensões territoriais e estão em zonas tropicais, ou seja, dispõem de alta incidência de radiação, o que torna viável o desenvolvimento de tecnologia capaz de transformar a energia solar em energia elétrica, térmica, química, mecânica, etc.

O projeto proposto apresenta inovação tecnológica para sistema fotovoltaico de geração de energia elétrica pois, apesar de avanços nesta área terem sido relatados nos últimos anos, nem todas as soluções existentes se preocupam com a obtenção da maior eficiência energética, e que conduza a uma relação custo/benefício desejável.

2.3. Revisão Bibliográfica Fundamental

2.3.1. Componentes básicos do sistema solar fotovoltaico

Segundo o Grupo de Trabalho de Energia Solar do CRESESB/RJ, em sua publicação “Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos”, os componentes necessários em um sistema completo podem variar dependendo da aplicação e das características das cargas a serem alimentadas; entretanto, na maioria dos sistemas, os componentes necessários são os seguintes:

Módulo Fotovoltaico é a unidade básica de todo o sistema. O módulo é composto de células solares conectadas em arranjos produzindo tensão e corrente suficientes para a utilização da energia. O número de células conectadas em um módulo e seu arranjo, que pode ser série e/ou paralelo, depende da tensão de utilização e da corrente elétrica

desejada. Uma vez tendo a configuração desejada, o conjunto é encapsulado com material especial que o protege de possíveis danos externos.

Bateria é um dispositivo conveniente e eficiente para o armazenamento da energia elétrica gerada a partir dos módulos fotovoltaicos, haja visto que o sistema não gera energia durante a noite e, neste período, há a necessidade de consumir-se energia que tenha sido gerada durante o período de insolação.

Controlador de Carga é um componente eletrônico incluído na maioria dos Sistemas Fotovoltaicos com os objetivos básicos de facilitar a máxima transferência de energia do arranjo fotovoltaico para a bateria ou banco de baterias e protegê-las contra cargas e descargas excessivas, aumentando, conseqüentemente, a sua vida útil.

Inversor é um dispositivo necessário quando da utilização de cargas em corrente alternada. A geração do sistema fotovoltaico, assim como a energia fornecida pelas baterias, é em corrente contínua, mas alguns tipos de carga necessitam da corrente alternada para operarem. Nestes casos, o inversor é responsável por converter a energia contínua em alternada.

Equipamentos Complementares, são todos os sistemas de conexão elétrica (fiação) e outros dispositivos utilizados no aprimoramento do funcionamento geral, como por exemplo, os mecanismos de "tracking" (rastreamento solar).

2.3.2. Eficiência do silício e de outros materiais

A energia irradiada do Sol atinge a superfície da Terra a uma razão média de 1000W/m^2 . Atualmente a eficiência dos módulos solares comerciais chega aos 14%. Isto quer dizer que um painel com área de células equivalente a 1m^2 que tenha esta eficiência pode produzir 140W de potência elétrica sob a luz do Sol. Diversos fatores podem influenciar na potência final entregue pelo módulo; dentre eles temperatura, condições climáticas, ângulo de incidência dos raios solares, etc. (Ceragioli, 1997).

Fiorentino (2000), medindo sistemas já instalados, concluiu que eficiência média dos sistemas foi aproximadamente 11% menor que a eficiência nominal, mas satisfatória, considerando que a acumulação de poeira sobre os módulos diminui a radiação incidente sobre as células fotovoltaicas, implicando na redução de geração de eletricidade.

De acordo com Suzuki & Pereira (2000), a célula monocristalina, que é produzida a partir de um monocristal de silício, apresenta a maior eficiência de conversão fotovoltaica chegando na atualidade a um valor máximo de 22,7%, sendo os valores típicos dentro do intervalo de 12 a 15% (em laboratório chega a 24%). Valores típicos de eficiência para células de silício policristalino e amorfo são, 11 a 14% e 6 a 7%, respectivamente.

De acordo com o Plano Nacional de Energias Renováveis Biomassa (1996), outras tecnologias de filme fino são mais eficazes hoje em dia. As células CIS (Copper Indium Diselenide) e as CdTe apresentam em laboratório rendimentos de 16,9% e 15,8%, respectivamente, bem superiores ao silício amorfo, e são igualmente promissoras em custos.

Conforme o Manual de Engenharia (1995), a USP está desenvolvendo um método mais eficiente e barato de converter energia solar em eletricidade, utilizando na célula um produto químico, um corante especial que permite substituir o silício por dióxido de titânio. Além de ser mais barata e de fabricação limpa, a nova célula apresentou nos testes de laboratório rendimento superior a 50%, segundo o padrão científico usado para este fim, IPCE. É um resultado altíssimo para uma célula solar comparada com as células normais de silício.

2.3.3. Características elétricas dos módulos fotovoltaicos:

Segundo o Manual de Engenharia (1995), as principais características elétricas dos módulos fotovoltaicos são as seguintes: Tensão de Circuito Aberto (V_{oc}), Corrente de Curto Circuito (I_{sc}), Potência Máxima (P_M), Tensão de Potência Máxima (V_{MP}), Corrente de Potência Máxima (I_{MP}).

A condição padrão (STC – Standard Test Conditions) para se obter as curvas características dos módulos é definida como uma radiação de 1000W/m^2 , e uma temperatura de 25°C na célula (eficiência da célula é reduzida com o aumento da temperatura).

Em função do formato da curva $I \times V$ da célula (módulo) fotovoltaico, existe um ponto de potência máxima que pode ser gerada. É desejável que o módulo opere sempre bem próximo possível desta condição. A potência nominal (Wp) de um módulo fotovoltaico é o produto $V_{MP} \times I_{MP}$ medidos nas condições padrão (STC).

2.3.4. Energia solar fotovoltaica no meio rural

Cartaxo & Nogueira (2000), mostram que a introdução da nova tecnologia não alterou os processos tradicionais de trabalho utilizados no cotidiano de vida das populações humanas envolvidas. Observaram que os sistemas de iluminação implantados foram manejados e passaram a integrar as diversas rotinas, dentre elas as ligadas às práticas religiosas, educação formal e organização social das famílias moradoras nas comunidades. Observou-se, com destaque, a grande importância que a disponibilidade de energia para equipamentos de rádio-comunicação tem na superação das barreiras naturais que envolvem a região compreendida pelas comunidades, destacando sua utilização para os processos de comercialização, saúde e intercâmbio comunitário.

Na avaliação do Plano 2015 da ELETROBRÁS (1994), em localidades remotas, longe da rede de distribuição de energia elétrica e para pequenas cargas, já é economicamente viável a utilização de módulos fotovoltaicos para alimentar estações de telecomunicação, para sinalização, iluminação e bombeamento d'água.

2.3.5. Sistemas fotovoltaicos de geração de energia elétrica

No meio rural, os sistemas utilizados são isolados, isto é, atendem a uma determinada carga utilizando exclusivamente a energia solar fotovoltaica e tipicamente são empregados na eletrificação rural em locais distantes da rede elétrica convencional, destinando-se à energização de pequenas cargas.

Sua configuração básica compreende, além do painel fotovoltaico, a unidade de controle e a unidade de armazenamento de energia, conforme esquematizado na Figura 01. A ordem de grandeza da potência fotovoltaica instalada deste tipo de sistema varia tipicamente de centenas de Wp a unidades de kWp.

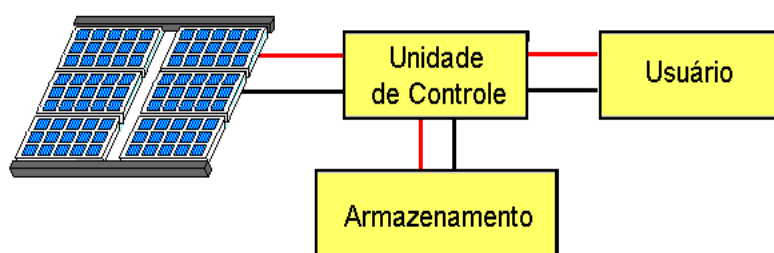


Fig. 01 – Configuração Básica de um Sistema Fotovoltaico Isolado

A configuração básica pode ser subdividida em várias outras configurações, em função dos tipos de carga a serem alimentadas e/ou da necessidade de armazenamento de energia. Dentre as muitas configurações possíveis, podem-se citar:

- Tipo A : alimentação de uma carga CC diretamente a partir de um banco de baterias, cuja carga é controlada por um controlador de carga;
- Tipo B: alimentação de uma carga CA por meio de um inversor, o qual é conectado diretamente ao banco de baterias, cuja carga é controlada por um controlador de carga;
- Tipo C: conexão direta de uma carga CC ao painel fotovoltaico, no caso uma bomba d'água com motor CC;
- Tipo D: conexão de uma carga CA ao painel fotovoltaico por meio de um inversor, no caso uma bomba d'água com motor CA.

Uma configuração bastante comum está esquematizada na Figura 02, onde podem ser vistos os principais componentes de sistemas do Tipo A e Tipo B, que contemplam cargas em CA e em CC, com armazenamento de energia utilizando banco de baterias e controlador de carga.

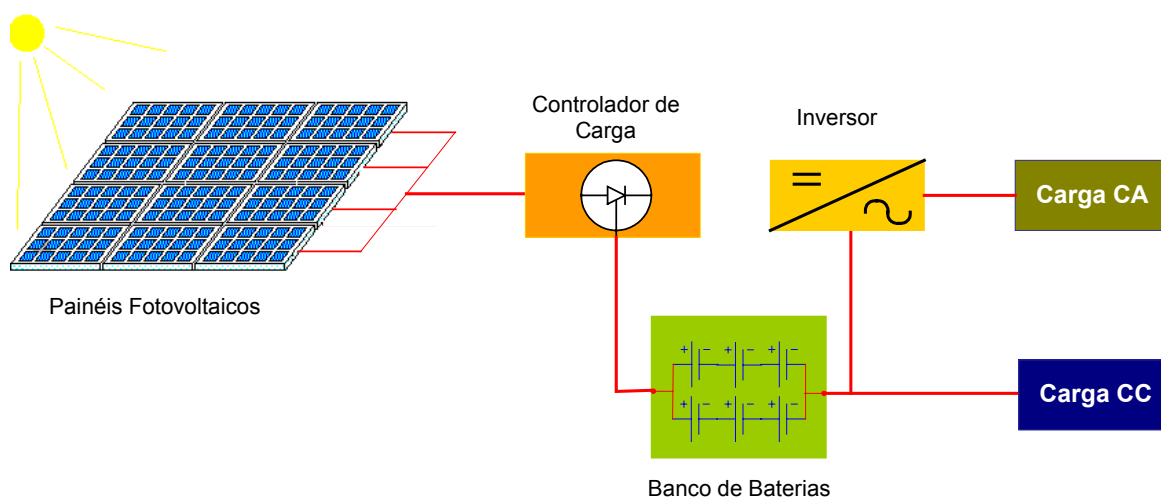


Fig. 02 – Sistema Fotovoltaico de Geração de Energia Elétrica

Um dos objetivos do presente projeto é o estudo das baterias utilizadas no sistema; as baterias empregadas em tais sistemas são normalmente do tipo chumbo ácida ($\text{Pb-H}_2\text{SO}_4$) estacionárias, sem manutenção e de descarga profunda. A bateria é o componente do sistema de menor vida útil, e os projetos são normalmente feitos prevendo a substituição das baterias em intervalos de 4 a 5 anos. O banco de baterias é dimensionado para alimentar uma carga com um número de dias de autonomia que pode variar de 2 a 5. Não é recomendada a utilização de baterias do tipo automotivo, pois elas são destinadas a descargas superficiais e normalmente apresentam uma vida útil reduzida em aplicações fotovoltaicas.

2.3.6. Radiação Solar – Captação e Conversão

O Sol fornece anualmente para a atmosfera terrestre 1.5×10^{18} kWh de energia. Trata-se de um valor considerável, correspondendo a 10.000 vezes o consumo mundial de energia neste período. Este fato vem indicar que, além de ser responsável pela manutenção da vida na Terra, a radiação solar constitui-se numa inesgotável fonte energética, havendo um enorme potencial de utilização por meio de sistemas de captação e conversão em outra forma de energia (térmica, elétrica, etc.).

O nosso planeta, em seu movimento anual em torno do Sol, descreve em trajetória elíptica um plano que é inclinado de aproximadamente $23,5^\circ$ com relação ao plano equatorial. Esta inclinação é responsável pela variação da elevação do Sol no horizonte em relação à mesma hora, ao longo dos dias, dando origem às estações do ano e dificultando os cálculos da posição do Sol para uma determinada data. A posição angular do Sol, ao meio dia solar, em relação ao plano do Equador (Norte positivo) é chamada de Declinação Solar (δ). Este ângulo varia de acordo com o dia do ano, dentro dos seguintes limites (Figura 03):

$$-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$$

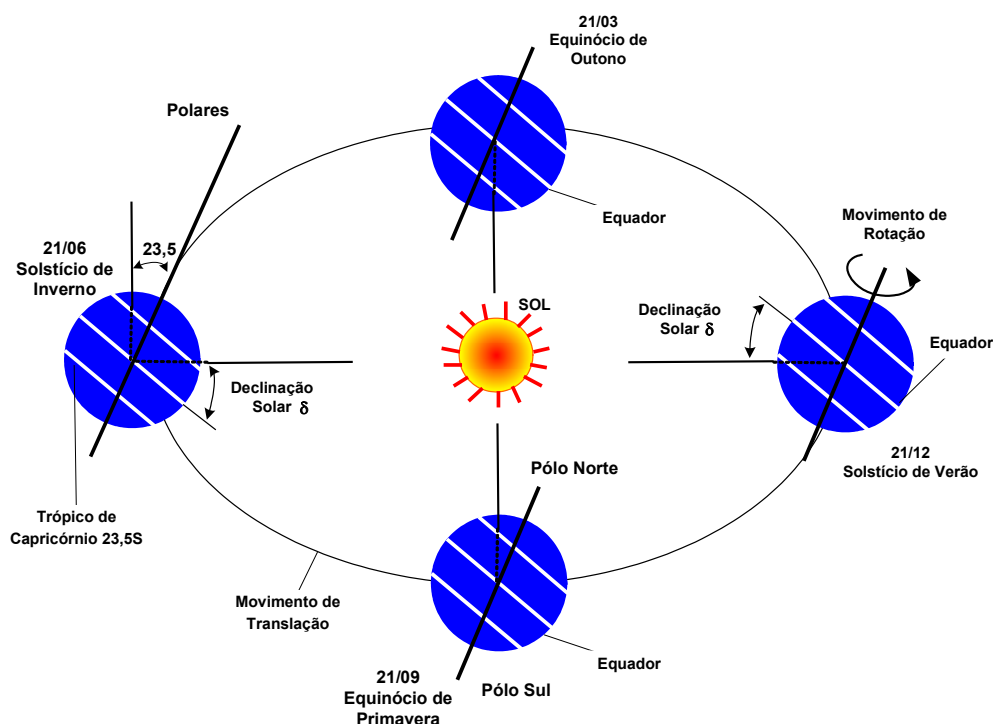


Fig. 03 – Definição do ângulo de declinação (δ)

A soma da declinação com a latitude local determina a trajetória do movimento aparente do Sol para um determinado dia em uma dada localidade na Terra.

A radiação solar que atinge o topo da atmosfera terrestre provém da região da fotosfera solar que é uma camada tênue com aproximadamente 300 km de espessura e temperatura superficial da ordem de 5800°K. Porém, esta radiação não se apresenta como um modelo de regularidade, pois há a influência das camadas externas do Sol (cromosfera e coroa), com pontos quentes e frios, erupções cromosféricas, etc.

Apesar disto, pode-se definir um valor médio para o nível de radiação solar incidente normalmente sobre uma superfície situada no topo da atmosfera. Dados recentes da WMO (World Meteorological Organization) indicam um valor médio de 1367 W/m² para a radiação extraterrestre. Fórmulas matemáticas permitem o cálculo, a partir da “Constante Solar”, da radiação extraterrestre ao longo do ano, fazendo a correção pela órbita elíptica.

A instalação de painéis em suportes fixos, com inclinação definida pela latitude do local de instalação e face voltada para o Norte geográfico, tem se apresentado como a solução mais usual, levando-se em conta que a incidência diária dos raios solares sobre a superfície terrestre inicia-se a Leste (pela manhã) e encerra-se a Oeste (no final da tarde); este tipo de instalação permite que o ângulo de incidência dos raios solares varie ao longo do dia e ao longo do ano, não garantindo uma absorção máxima da energia solar em todos os momentos do dia e do ano.

A radiação anual efetiva incidente sobre a superfície do painéis fotovoltaicos depende da inclinação e orientação destes e ficam determinados através do ângulo (α) e o ângulo de inclinação em relação a horizontal (β), conforme pode ser visto na Figura 04. O ângulo (θ_s) representa o ângulo entre o feixe de radiação direta que incide no plano e a reta normal ao mesmo.

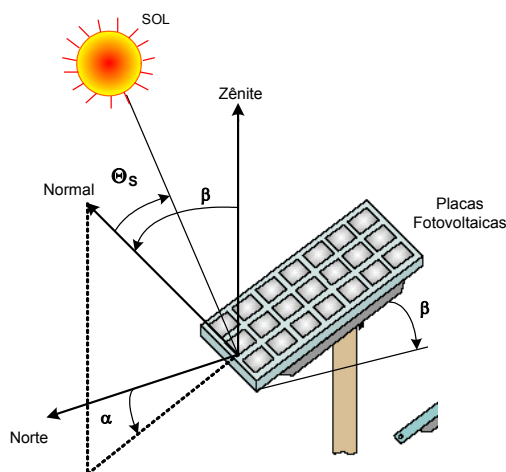


Fig. 04 – Definição dos ângulos de posicionamento α e θ_s

2.3.7. Sistema de Controle

O controle do sistema de posicionamento baseia-se em um programa sendo executado por um Controlador Lógico Programável, que através de sensores pode alterar a posição do painel solar buscando o melhor ângulo para recepção de radiação solar. Para a movimentação dos painéis, a opção escolhida foi o uso de motores de corrente contínua, com sistemas de redução de velocidade, o que lhes proporcionará maior torque e capacidade de carga. Entende-se que este tipo de conjunto motor-redutor é o mais adequado, levando-se em

consideração a baixa velocidade necessária de movimentação dos painéis e exigências dinâmicas não tão severas.

A operação do conjunto composto por dois motores será comandada pelo programa rodando em um Controlador Lógico Programável, através de circuitos de acionamento tipo ponte H, os quais permitem rotação em ambos os sentidos para os motores.

A realimentação da posição será feita através de *encoder* óptico, que informará a posição do sistema ao CLP e permitirá o direcionamento correto dos painéis solares. Deverão ser colocados sensores tipo *reed-switch* para referenciamento e *reset* do conjunto mecânico, permitindo um posicionamento bastante preciso em direção ao sol.

O próprio Controlador Lógico Programável executará as funções de coleta e armazenamento de dados, a partir dos sensores de tensão, corrente, radiação global e radiação no plano dos painéis, além de temperatura de superfície nas placas solares.

3. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS DO PROJETO

Para que os sistemas de alimentação fotovoltaicos isolados sejam viáveis, há que se respeitar seus limites de carga, fato este que acaba por se tornar um limitante na aplicação dos mesmos. As cargas típicas de uma instalação residencial, composta basicamente de iluminação e aparelhos elétricos de pequena potência, caracterizam-se como adequadas para o sistema de energia solar que necessita, entretanto, operar sob condições de máxima eficiência, para oferecer boa autonomia mesmo em situações de insolação descontínua.

Este trabalho tem como objetivo a análise da eficiência energética em sistemas fotovoltaicos isolados e, a partir desta análise, o desenvolvimento e implantação de um sistema de posicionamento automático de módulos solares, através de técnicas de controle, utilizando-se motores de corrente contínua e software para a coleta e aquisição de dados do sistema Fotovoltaico.

Para propiciar um aumento na eficiência dos sistemas fotovoltaicos, outro parâmetro importante a ser considerado e também objetivo deste projeto, é o estudo da capacidade do sistema de armazenamento, composto basicamente de um banco de baterias. Considerando-se que, este componente é de fundamental importância quando se discute autonomia e confiabilidade do sistema de energia, propõe-se também, a análise dos diferentes tipos de baterias disponíveis no mercado, e seu comportamento quando em conjunto com esta nova topologia sugerida.

Por considerar que o Sol é uma fonte inesgotável de energia, e a conversão da energia solar em energia elétrica é, atualmente, uma alternativa viável para eletrização de residências em áreas isoladas e/ou distantes da rede de energia elétrica convencional, constituindo-se assim em uma ferramenta importante para promoção do desenvolvimento social rural, pesquisas que venham a aprimorar os sistemas fotovoltaicos disponíveis e possibilitar o desenvolvimento de técnicas que aumentem a eficiência destes sistemas tornam-se tema importante de trabalho e abrem novas perspectivas no sentido de melhor aproveitar a energia solar.

A grande extensão do território nacional e sua localização predominante em zona tropical (com alta incidência de radiação solar), as dificuldades inerentes para extensão da rede elétrica a comunidades distantes dos grandes centros, aliados ao grande apelo de caráter ecológico em se utilizar fontes de energia limpas, não-poluidoras, de baixo impacto

ambiental e renováveis, constituem-se também em justificativa relevante para estudos na aplicação e na melhoria de sistemas fotovoltaicos no Brasil.

Um forte apelo de caráter social reveste a possibilidade de se oferecer eletricidade às famílias da zona rural ainda não atendidas, pois este aspecto em conjunto com outras ações, como oferta de serviços de saúde, saneamento, educação, assistência técnica agrícola, dentre outros, também interfere fortemente no padrão de vida destas comunidades.

Todos os elementos citados justificam por si mesmos o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, mas pode-se acrescentar ainda que em um levantamento preliminar sobre o assunto, não foram encontradas referências que indicassem o uso de posicionadores automáticos para os painéis fotovoltaicos, e discussão sobre vantagens ou desvantagens deste tipo de estratégia para melhoria da eficiência dos sistemas de geração fotovoltaicos não estão presentes na literatura consultada.

Descrevem-se a seguir os materiais e a metodologia que serão empregados na execução do projeto.

3.1. Desenvolvimento do Projeto

3.1.1. Materiais

A realização deste projeto implicará diretamente na implantação de um Laboratório de Energia Solar Fotovoltaica, que será composto por uma estação meteorológica e um sistema de aquisição e transmissão de dados, os quais servirão para analisar o desempenho energético de módulos fotovoltaicos e de algumas configurações do sistema que envolve, além dos módulos, o controlador de carga, o banco de baterias, inversor, cargas, além do sistema de posicionamento automático.

Após sua implementação, pretende-se montar um banco de dados que permita comparar-se um sistema convencional fixo e o sistema proposto com um posicionador automático, tomando-se como referência as horas do dia e os meses do ano.

Apresentam-se a seguir alguns dos principais elementos para o desenvolvimento do projeto.

3.1.1.1. Sistema de Geração de Energia Fotovoltaico

Necessitar-se-á adquirir 02 sistemas fotovoltaicos com uma configuração compreendendo: módulos solares, controlador de carga, inversor, bateria e carga padrão.

3.1.1.2. Sensores de Radiação Solar

Serão utilizados sensores de radiação solar global para a medição da energia incidente no ambiente e nos planos dos painéis. Estes deverão estar equipados com cabos e base de nivelamento com bolha, e serão ligados ao CLP através de interfaceamento adequado.

3.1.1.3. Conjunto de Baterias

Serão utilizadas baterias de diferentes tipos e capacidades para avaliação de desempenho, tempo de resposta e comportamento face a vários tipos de carga, e autonomia do sistema fotovoltaico.

3.1.1.4. Estação Meteorológica

Devido à variação dos parâmetros de geração de energia no sistema fotovoltaico dependendo das condições climáticas, é necessário instalar-se uma estação meteorológica para a coleta de dados climáticos, tais como: precipitação pluviométrica, temperatura máxima e mínima do ambiente, umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento, temperatura aparente do vento e pressão barométrica.

3.1.1.5. Sensores de Corrente

Para avaliação da geração e consumo de energia elétrica, serão medidas e registradas as correntes e tensões do lado da fonte e do lado da carga no sistema. Para tanto, sensores de corrente do tipo resistivo e sensores de efeito Hall serão utilizados.

3.1.1.6. Sistema Posicionador

O sistema de posicionamento automático dos painéis será composto de estrutura metálica móvel, motores com redução mecânica de velocidade e sensores diversos, além do controlador lógico programável (CLP).

3.1.1.7. Serviços de Terceiros e Componentes Eletrônicos

Alguns itens do laboratório serão confeccionados pelos pesquisadores do grupo, como montagem das placas de circuitos eletrônicos, e outros, por terceiros, dentre eles serviços de serralheria e usinagem mecânica, confecção de placas de circuito impresso, cerca e alambrado, etc.

3.1.1.8. Equipamentos de Informática e Suprimentos

Para coleta de dados em laboratório, simulação e projeto de circuitos, programação do CLP, aferição de sensores, pesquisa em bases de dados, documentação e divulgação de todas as atividades e resultados, serão necessários computadores da linha PC em número compatível com a equipe de trabalho, além de impressora e suprimentos de informática. Um computador portátil *notebook* será necessário para o trabalho de campo.

3.1.2. Metodologia

Para que os sistemas de alimentação fotovoltaicos isolados sejam viáveis, há que se respeitar seus limites de carga, fato este que acaba por se tornar um limitante na aplicação dos mesmos. As cargas típicas de uma instalação residencial, composta basicamente de iluminação e aparelhos elétricos de pequena potência, caracterizam-se como adequadas para o sistema de energia solar que necessita, entretanto, operar sob condições de máxima eficiência, para oferecer boa autonomia mesmo em situações de insolação descontínua.

Nesta situação, além de um bom sistema de armazenamento de energia composto por baterias e de um inversor de alta eficiência, é preciso aproveitar o máximo da radiação solar incidente sobre os painéis solares.

Para um melhor aproveitamento da energia solar incidente, é possível implementar sistemas que variem o ângulo de inclinação ao longo do ano, manualmente, através de suportes mecânicos que permitam esse ajuste; deste modo, cabe ao usuário, em

intervalos pré-definidos de tempo, ao longo do ano, alterar a inclinação do conjunto de painéis de modo a mantê-lo em situação de melhor absorção da radiação solar incidente.

Apresentam-se, a seguir, os fundamentos que embasam a proposta de um sistema automático de posicionamento para os módulos solares e uma metodologia para o ensaio das baterias que armazenarão a energia no sistema proposto.

3.1.2.1. Algoritmo de Controle

Considerando-se as variações de posicionamento do sol em relação à Terra, para os diferentes períodos do dia e ao longo do ano, o presente trabalho propõe uma comparação da quantidade de energia elétrica gerada dentro de intervalos de tempo pré-determinados, entre os painéis com posicionamento fixo e com posicionamento variável de acionamento manual, com a energia gerada por painéis móveis através de um sistema automático de posicionamento, que colocará o conjunto de painéis solares na condição mais favorável para conversão da energia solar em energia elétrica, a partir dos seguintes fatores:

- Medida do tempo – feita a partir da medição do período de rotação da Terra em torno do seu eixo, tendo como referência o meridiano de Greenwich, e da medição do período de rotação da Terra em torno do sol, em órbita elíptica e com período médio de 365,25 dias. O gráfico apresentado na figura 05 ilustra a equação do tempo (EOT), a qual calcula a diferença entre o tempo solar médio e o verdadeiro tempo solar.

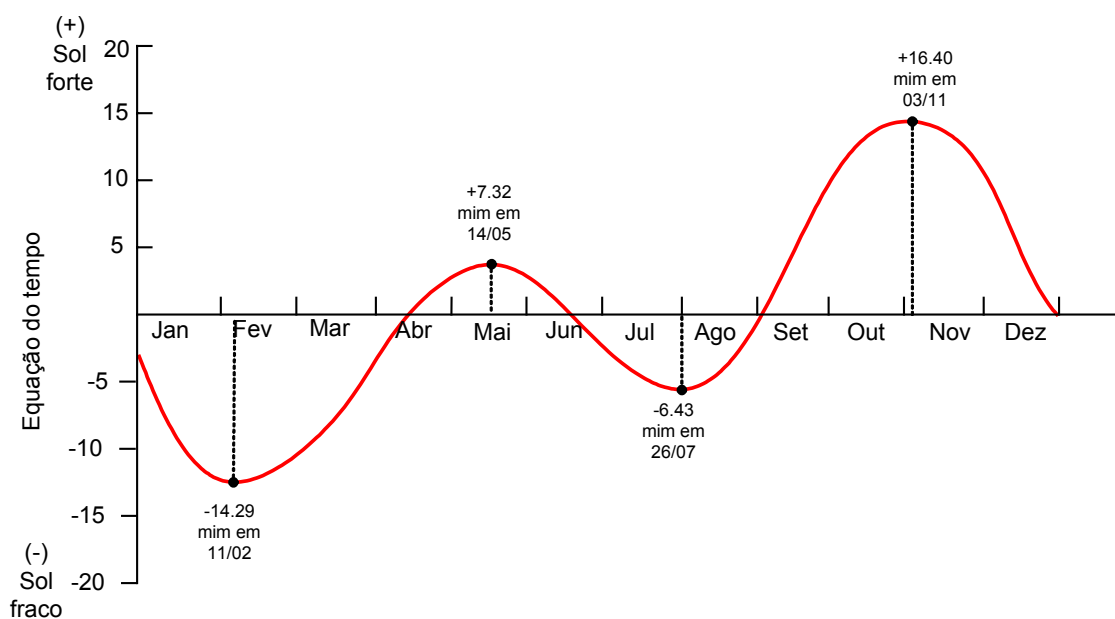


Fig. 05 – Gráfico da Equação do tempo

- Cálculo dos ângulos relativos Terra/Sol – são os ângulos de declinação, ângulo de Azimuth, de Zênite, de latitude, de altitude solar, todos obtidos a partir da localização do painel na Terra (coordenadas geográficas) e do tempo medido em relação à referência de Greenwich (vide Figura 06).

Conhecidos estes e outros parâmetros, como a temperatura e a radiação total incidente, torna-se possível definir a melhor inclinação dos painéis solares de modo a um aproveitamento ótimo da capacidade de geração do sistema fotovoltaico.

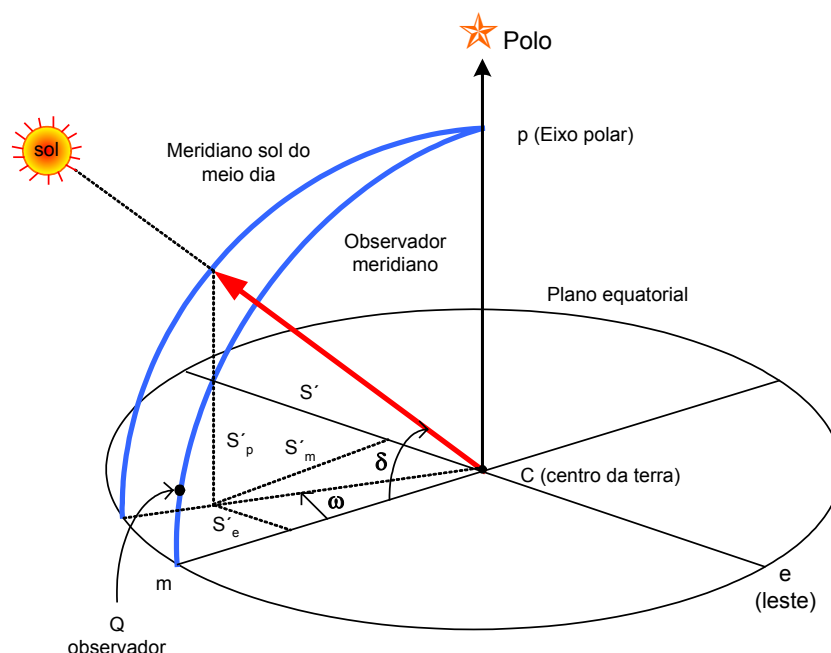


Fig. 06 – Sistema de Coordenadas para o Centro da Terra

3.1.2.2. Sistema de Atuação

A movimentação e o posicionamento do painel solar serão totalmente controlados pelo Controlador Lógico Programável. Neste dispositivo estará inserido o algoritmo de controle, que, recebendo as informações necessárias, determinará qual a posição que o painel solar deve assumir, e para tanto causará a sua movimentação. Um desenho explicativo do sistema completo é apresentado na Figura 07.

As informações relevantes são as seguintes:

- coordenadas do dispositivo solar – a partir de um equipamento GPS (Sistema de Posicionamento Global) sabe-se exatamente em qual ponto sobre a superfície da Terra se encontra o painel coletor solar, informação relevante e imprescindível para o posicionamento do mesmo;
- dia do ano e hora local – a partir de um relógio de tempo real, conhece-se a data e a hora local, a partir dos quais o algoritmo pode calcular com precisão os ângulos de posicionamento do Sol (δ e ω);
- radiação incidente – a partir de um sensor de radiação solar fixo (que não se movimentará) será determinado o início e o final do dia solar.

Um sistema mecânico de sustentação dos painéis solares será desenvolvido, o qual permitirá a movimentação dos mesmos de duas maneiras principais: ao longo do dia e ao longo do ano. Dependendo do dia do ano, o painel deverá ter uma inclinação para colocá-lo em uma posição tal que os raios do Sol incidam com ângulo de 90° em relação à sua superfície. Do mesmo modo, dependendo da hora do dia, o painel deverá colocar-se de modo a receber a máxima radiação solar. Para tanto, o sistema mecânico de movimentação contará com a atuação de 2 motores CC, um para cada movimento desejado.

Conhecidos os ângulos de posicionamento do Sol, o CLP enviará aos motores os comandos necessários para movimentá-los no sentido desejado. Inicialmente pretende-se que o posicionamento seja corrigido em intervalos de 5 minutos, a partir de um limiar de incidência solar (início e final do dia), a ser medido pelo sensor fixo de radiação. O intervalo de correção do posicionamento poderá ser maior ou menor, dependendo do ganho energético do sistema, para evitar movimentações desnecessárias ou pouco eficientes, o que causaria desperdício da energia armazenada.

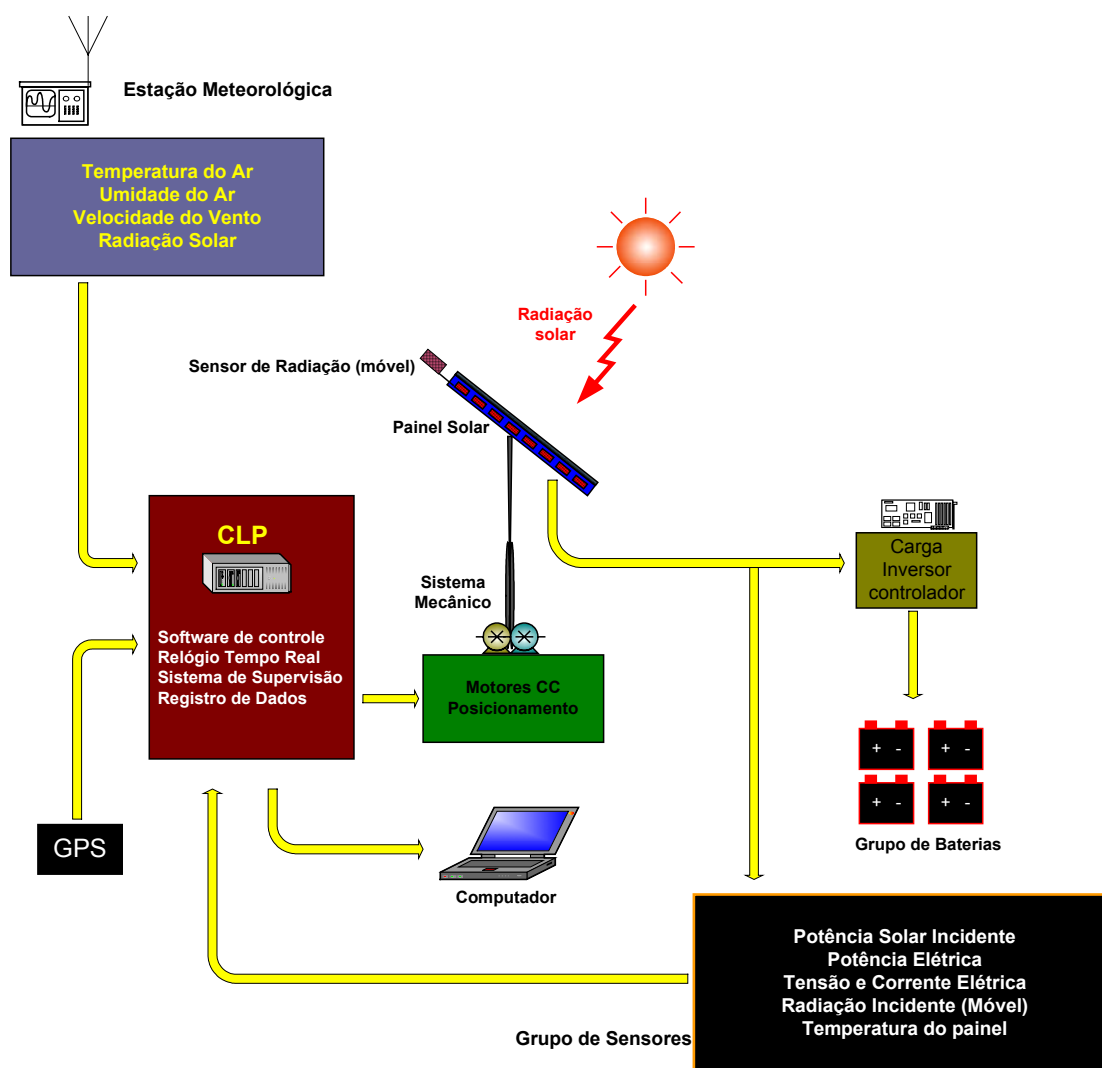


Fig. 07 – Topologia do Sistema Completo

3.1.2.3. Sistema de Supervisão e Controle

A supervisão e controle das características do sistema também estará a cargo do CLP. Com um conjunto de expansões torna-se possível registrar os dados importantes para uma perfeita avaliação do experimento. Desta maneira, pretende-se fazer a aquisição e registro dos seguintes parâmetros principais: potência solar incidente; potência, tensão e corrente elétricas geradas; tensão das baterias; radiação solar incidente; temperatura e umidade do ar e velocidade do vento.

3.1.2.4. Sistema de Armazenamento de Energia

A bateria utilizada em sistemas fotovoltaicos tem como função fornecer potência quando a exigência da carga excede a capacidade das células fotovoltaicas. Para um sistema fotovoltaico satisfatório, vários fatores devem ser considerados para determinar a capacidade e quantidade de baterias. A seguir, listam-se os requisitos que devem ser analisados para otimização do sistema de armazenamento de energia:

- Reserva de carga da bateria – O tempo em que a bateria, isoladamente, deve suportar a exigência de carga é estabelecido pelas necessidades de projeto do sistema.
- Determinação da carga – as exigências da aplicação determinam a quantidade de corrente a ser fornecida pela bateria num intervalo de tempo. A corrente de pico e a janela de tensão operacional são determinadas pela característica da carga.
- Capacidade da bateria e determinação da taxa hora-funcional – A capacidade da bateria e sua taxa hora-funcional de descarga são determinadas pela aplicação específica da carga, dias de reserva da bateria e as características da bateria.
- Determinação do número de células ligadas em série da bateria – Os limites de tensão do sistema (janela de tensão) determinam o número de células em série.
- Determinação da capacidade da célula e do tamanho da bateria – Uma vez encontrada a capacidade e números de células, a seleção final da célula pode ser feita e o tamanho da bateria pode ser calculado.
- Características da bateria – o desempenho do sistema, vida útil, manutenção e custo são influenciados pelo tipo de bateria selecionada para aplicações fotovoltaicas.

Além da consideração destes itens, é também fundamental levar em consideração que os sistemas fotovoltaicos podem exigir uma reserva de carga na bateria, para fornecer segurança na utilização e também para manter o sistema em situações de tempo ruim ou para uma eventual falha em componentes do sistema. O número de dias de reserva da bateria deverá ser também especificado, como uma condição de projeto do sistema, e é baseado em várias considerações, citadas a seguir:

- Aplicações do sistema – situações de carga crítica geralmente requerem mais dias de reserva da bateria do que situações não críticas.
- Disponibilidade do sistema – é a porcentagem mínima de tempo que o sistema fotovoltaico deverá ser capaz de manter o sistema de cargas.

- Variação da radiação solar – Variações diárias ou sazonais na irradiação solar afetam no número necessário de dias de reserva da bateria.
- Previsibilidade da Carga – A carga pode ou não ser previsível, além disso, também existe a possibilidade de ajuste destas cargas, como por exemplo a retirada de cargas não essenciais.
- Provisão de reserva de potência – Se o sistema prevê o provisionamento de potência reserva, então é preciso no projeto considerar tal potência e tempo de operação desta reserva de potência.

3.2. Plano de Trabalho e Cronograma

Esta seção está dividida em 2 subseções. A primeira subseção refere-se às 6 etapas que compreenderão o desenvolvimento global do projeto. A segunda subseção descreve o cronograma de atividades para a implementação plena do projeto.

3.2.1. Etapas de Desenvolvimento do Projeto

O desenvolvimento deste projeto de pesquisa está dividido em 6 etapas principais:

Etapa 1:

Revisão bibliográfica – Das equações determinam o posicionamento do sol, tempo real, radiação solar e outros que contribuam no desenvolvimento do algoritmo de posicionamento do sistema de posicionamento. Nesta etapa ainda serão analisadas as topologias de controle e automação utilizando-se motores de corrente contínua, controlador lógico programável, visando a definição de uma configuração que apresente a melhor relação custo/benefício e atenda aos requisitos de otimização no sistema de geração de energia fotovoltaico.

Etapa 2:

Desenvolvimento sistema mecânico e sustentação das placas – Nesta etapa será realizado um estudo para a definição do sistema mecânico que realizará a articulação e fixação das placas fotovoltaicas e locação dos motores na estrutura para realização do posicionamento automático dos painéis solares. Nesta fase está prevista também a instalação do sistema de geração de energia elétrica fotovoltaico completo, estação meteorológica e dispositivos de sustentação e proteção.

Etapa 3:

Desenvolvimento do sistema de controle – Nesta etapa será desenvolvida a configuração do software de controle, com a implementação do algoritmo de controle em função do posicionamento do sol, ao longo dos dias e dos meses do ano.

Etapa 4:

Sistema de supervisão e aquisição de dados – Nesta etapa será desenvolvido o programa e a configuração do CLP responsáveis pela supervisão do sistema de aquisição de dados dos sensores de medição de radiação solar e da estação meteorológica, bem como armazenamento dos dados e tratamento dos mesmos. Concomitantemente, serão definidas a quantidade e os tipos de carga a serem alimentados, para permitir o correto dimensionamento do banco de baterias, bem como a definição de reserva de carga para suprir dias sem insolação.

Etapa 5:

Integração do sistema – Nesta fase será realizada uma coleta sistemática de dados, do sistema móvel desenvolvido, e de um sistema fixo para avaliação e estudo da sua eficiência, bem como do seu custo/benefício, incluindo-se aí o estudo da autonomia com diferentes sistemas de armazenamento de energia (baterias).

Etapa 6:

Avaliação e Relatório – Nesta etapa serão realizados os estudos dos dados coletados, avaliando as funcionalidades do sistema concebido, comparação com o sistema convencional e da eficiência do sistema. Nesta etapa também será elaborado o relatório final do projeto e pretende-se publicar e divulgar os principais resultados obtidos em meios de divulgação científica reconhecidos.

3.2.2. Cronograma de Execução

O período previsto para implementação plena do projeto está compreendido num intervalo de 24 meses, tendo um total de 8 trimestres. O início da execução do projeto está previsto para 01 de Janeiro de 2004 e término em 31 de Dezembro de 2006. O inter-relacionamento entre as 6 etapas do projeto está representado no Quadro 01, a seguir.

ETAPAS	1º Ano				2º Ano			
	1º Trim.	2º Trim.	3º Trim.	4º Trim.	5º Trim.	6º Trim.	7º Trim.	8º Trim.
Etapa 1								
Etapa 2								
Etapa 3								
Etapa 4								
Etapa 5								
Etapa 6								

LEGENDA

A executar

Quadro 01 – Cronograma de Execução do Projeto

3.3. Descrição da Equipe de Trabalho

No início do 1º ano de execução do projeto pretende-se implantar o Laboratório de Energia Solar, que constará dos painéis fotovoltaicos fixos, o Sistema de Posicionamento Automático de Módulos Solares, o banco de baterias e todos os outros equipamentos, objetivando reunir condições adequadas para aquisição de dados e o desenvolvimento pleno do projeto, bem como a integração dos pesquisadores que estarão envolvidos.

Para o 2º ano, prevê-se que mais alguns pesquisadores se juntarão ao projeto, para a análise e estudo de dados coletados, ajustes e aperfeiçoamentos no Sistema de Posicionamento e Coleta de dados.

Tendo em vista as atividades a serem desenvolvidas no período, existe a previsão de publicações em periódicas, trabalhos em congressos internacionais, e também publicações em revistas e congressos nacionais. Pela inovação tecnológica que se espera atingir com este sistema, será possível a solicitação de patente dos módulos desenvolvidos quando do término deste projeto. Apresenta-se a seguir um resumo curricular dos pesquisadores que participarão inicialmente do projeto, juntamente com os alunos de Graduação:

Prof. Dr. José Angelo Cagnon (Responsável pelo Projeto)

Professor Assistente Doutor do Departamento de Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia da UNESP, Campus de Bauru (a partir de 1989). Engenheiro Eletricista pela Faculdade de Engenharia de Barretos (1982). Mestre (1989) e Doutor (1994) ambos no Curso de Pós-Graduação em "Energia na Agricultura", da Faculdade de Ciências Agrônomicas, Campus de Botucatu - UNESP. Livre Docente (2004) pela Faculdade de Engenharia de Bauru- UNESP – Campus de Bauru. Chefe do Departamento de Engenharia Elétrica, da Faculdade de Engenharia - UNESP/Bauru (1990-1993 / 1999-2002). Coordenador do Escritório Regional/Bauru da Rede UNESP de Difusão da Ciência e Tecnologia, programa PDCT-PROEX, desde agosto de 1995. Participação no Projeto : ADMI - ACIONAMENTO DEDICADOS PARA MOTORES DE INDUÇÃO- Financiado pela FAPESP - Janeiro/94 a Dezembro/95. Coordenador do Projeto DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE CONTROLE E SUPERVISÃO PARA CASAS DE VEGETAÇÃO UTILIZANDO TÉCNICAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL – FAPESP nº 02/09976-6.

Áreas de Atuação: Sistemas de energia, Automação Industrial, Racionalização de energia elétrica, Fontes Alternativas de Energia, Instrumentação .

Prof. Dr. Ivo Reis Fontes (Colaborador do Projeto)

Professor Assistente Doutor do Departamento de Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia da UNESP, Campus de Bauru (a partir de 1976). Engenheiro Eletricista pela Fundação Educacional de Bauru (1975). Mestre em Automação pela Faculdade de Engenharia Elétrica da UNICAMP (1993). Doutor em Agronomia da Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu – UNESP, Área de concentração *Energia na Agricultura*, (2003). Participação em Projetos de Cooperação Científica/Tecnológica: Projetos PAGE – Plataforma de Agentes Móveis e Plataforma Grasshopper, Programa de Cooperação desenvolvido na PUCAMP e no FOKUS-ITU em Berlim/Alemanha (1997/1998). IPMET/UQAM – Universidade de Quebec em Montreal – Programa de Cooperação desenvolvido no IPMET/FEB - Bauru e na UQAM em Montreal (1988/1990). IPMET/ARC – Alberta Research Council, Alberta/Canadá – Programa de Cooperação desenvolvido no IPMET/FEB - Bauru e na UQAM em Montreal (1980).

Áreas de Atuação: Sistemas de energia, Automação Industrial, Racionalização de energia elétrica, Fontes Alternativas de Energia, Instrumentação

Prof. Mestre Alceu Ferreira Alves (Colaborador do Projeto)

Professor Assistente do Departamento de Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia da UNESP, Campus de Bauru (desde 1989). Engenheiro Eletricista pela Escola de Engenharia de São Carlos – USP (1986). Mestre em Automação pela Escola de Engenharia de São Carlos – USP (1993). Aluno de Doutorado em Agronomia da Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu – UNESP, Área de concentração *Energia na Agricultura*, desde 2004. Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia de Bauru – UNESP (1994-1996). Participação no Projeto: ADMI - ACIONAMENTO DEDICADOS PARA MOTORES DE INDUÇÃO- Financiado pela FAPESP - Janeiro/94 a Dezembro/95. Participação no Projeto: MODELAGEM DE SISTEMAS ELÉTRICOS E ANÁLISE DA QUALIDADE DE ENERGIA COM O USO DA TRANSFORMADA WAVELET – FAPESP nº 97/7108-7.

Áreas de Atuação: Sistemas de Energia, Automação Industrial, Racionalização de energia Elétrica, Fontes Alternativas de Energia, Instrumentação .

Prof. Mestre José Renato C. Pompéia Fraga (Colaborador do Projeto)

Professor Assistente do Departamento de Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia da UNESP, Campus de Bauru (desde 1989). Engenheiro Eletricista pela Faculdade de Engenharia e Tecnologia da UNESP – campus de Bauru (1988). Mestre em Automação pela Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da UNICAMP (1993). Aluno de Doutorado em Agronomia da Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu – UNESP, Área de concentração *Energia na Agricultura*, desde 2004. Participação no Projeto: MODELAGEM DE SISTEMAS ELÉTRICOS E ANÁLISE DA QUALIDADE DE ENERGIA COM O USO DA TRANSFORMADA WAVELET – FAPESP nº 97/7108-7.

Áreas de Atuação: Sistemas de Energia, Automação Industrial, Racionalização de energia Elétrica, Fontes Alternativas de Energia, Instrumentação .

Torna-se importante ressaltar que o projeto proposto é parte integrante do tema de trabalho dos professores Alceu Ferreira Alves e José Renato Castro Pompéia Fraga, regularmente matriculados no Programa de Pós Graduação em Energia na Agricultura na Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu e, ao final do mesmo, deverá originar a produção de duas Teses de Doutorado.

Ainda no primeiro ano de desenvolvimento do projeto, prevê-se a participação de 2 bolsistas de Iniciação Científica do curso de Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia da UNESP/Bauru. Estes estarão envolvidos diretamente na fase inicial do projeto, com seus planos de trabalho elaborados com o intuito de estimular e propiciar que seus potenciais sejam integrados e envolvidos no cenário da pesquisa científica.

Para o segundo ano de trabalho, prevê-se a integração de mais 2 alunos, na categoria de bolsistas de IC júnior.

4. RESULTADOS ESPERADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Projeto de Pesquisa com solicitação de financiamento de recursos ora em análise objetiva, em síntese, contribuir para o desenvolvimento das comunidades rurais

isoladas, ao propor uma alternativa que ofereça aumento na eficiência dos sistemas fotovoltaicos de energização rural.

O grupo de pesquisadores que constituem a equipe de trabalho possui conhecimento técnico-científico para condução dos trabalhos, e amplo domínio das técnicas propostas, o que implica em real capacidade de se disponibilizar novas tecnologias aos usuários finais com a possibilidade do registro de patente do produto final.

A participação de alunos de graduação e pós-graduação juntamente com pesquisadores com experiência na condução de projetos anteriores oferecerá não apenas segurança àqueles que se iniciam na pesquisa, formando um novo grupo, mas também novas perspectivas de produção científica com a consolidação de um laboratório na área de energia renovável, assim como nova linha de pesquisa no Departamento de Engenharia Elétrica da FE/Bauru.

O projeto será desenvolvido com a participação de dois alunos em programa de Pós-Graduação em nível Doutorado, e de alunos de graduação, com o envolvimento de duas Unidades da UNESP, a Faculdade de Engenharia de Bauru (FEB) e Faculdade de Ciências Agrônomicas (FCA) – Campus de Botucatu, o que propiciará um fortalecimento na já existente agregação institucional, a qual produziu expressivos resultados anteriores.

O montante de recursos solicitados permitirá o desenvolvimento pleno do projeto durante o seu período de vigência de 24 meses e, para tanto, a unidade executora tem como compromisso disponibilizar seu espaço físico, infra-estrutura e material humano para serviços auxiliares.

Finalmente, a concessão dos recursos solicitados é de fundamental importância para o sucesso e desenvolvimento do projeto proposto, bem como para a consolidação de linhas e grupos de pesquisa do Departamento de Engenharia Elétrica da UNESP/Campus Bauru.

5. BIBLIOGRAFIA

CARTAXO, E.F., NOGUEIRA, C.A.S. Energia solar no meio rural amazonense: aspectos sociais e influência no sistema de produção. In: AGRENER 2000 - ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3, 2000, Campinas. **Trabalhos apresentados**. Campinas: Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético NIPE/UNICAMP, 2000. 6p. Disponível em cd-rom.

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA (CEPEL) / CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO (CRESESB). **Coletânea de Artigos – Energias Solar e Eólica – volume 1**. Rio de Janeiro, 2003. 232pp.

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA (CEPEL) / CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO (CRESESB). **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 1999. 204pp.

CERAGIOLI, P.C. **Manual de energia solar fotovoltaica**. São José dos Campos: Siemens, RC Com Sistemas Ltda., 1997. 112p.

ELETROBRÁS. Diretoria de Planejamento e Engenharia. **Plano nacional de energia elétrica 1993/2015**: plano 2015. Rio de Janeiro, 1994. 5v., v.3 Projeto 4: a oferta de energia elétrica: fontes alternativas.

FEDRIZZI, M.C. **Fornecimento de água com sistemas de bombeamento fotovoltaicos**. São Paulo, 1997. 161p. Dissertação (Mestrado em Energia/Politécnica)-Faculdade de Economia e Administração, Universidade de São Paulo.

FIORENTINO, J.J. **Avaliação técnica-social de projetos de eletrificação rural com sistemas fotovoltaicos em três comunidades do estado de Mato Grosso**. Botucatu, 2000. 95p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

GREEN, MARTIN A. **Solar Cells – Operating Principles, Technology, and System Applications**. New Jersey, EUA. Prentice-Hall Inc., 1982. 274p. Inclui índice. ISBN 0-13-822270-3.

GRUPO FAE/DEN (UFPE). Curso sobre bombeamento de água com tecnologia fotovoltaica. 1993, Recife. **Trabalhos apresentados**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 1993. 85p.

MOSZKOWICK, M. **Aproveitamento das energias renováveis - solar e eólica**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26, 1997, Campina Grande. Anais. Campina Grande: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1997. (Seção Tecnologia e Aplicação Racional de Energia Elétrica e de Fontes Renováveis na Agricultura, editado em CD-ROM).

OLIVEIRA, SÉRGIO H.F. **Geração Distribuída de Eletricidade; Inserção de Edificações Fotovoltaicas Conectadas à Rede no Estado de São Paulo.** Tese de Doutorado – Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002. 198p.

RICARDO ALDABÓ. *Energia Solar*. São Paulo. Artliber Editora, 2002. 155p. Inclui índice. ISBN 85-88098-09-1.

SANTOS, ROSANA R. **Procedimentos para a Eletrificação Rural Fotovoltaica Domiciliar no Brasil: Uma Contribuição a Partir de Observações de Campo.** Tese de Doutorado – Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002. 221p.

SILVA, C.D. **Avaliação do potencial das energias solar e eólica para acionamento de pequenos sistemas de bombeamento na Fazenda Lageado.** Botucatu, 2000. 89p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

SUZUKI, C.K., PEREIRA, J.T.V. Energia solar e produção de silício metálico baseado no programa QITS (Quartz Industrial Trade System). In: AGRENER 2000 - ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3, 2000, Campinas. **Trabalhos apresentados..** Campinas: Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético NIPE/UNICAMP, 2000. 6p. Disponível em CD-Room.

TIBA, CHIGUERU. **ATLAS SOLARIMÉTRICO DO BRASIL – Banco de dados Terrestres.** Recife. Edit. Universitária da UFPE, 2000. 111p. ISBN 85-7315-142-0.

Bauru, 19 de outubro de 2004.

Prof. Dr. José Angelo Cagnon
Responsável pelo Projeto