

**Emprego de Painel Solar em Religadores de Distribuição**

**D. J. Ferreira – CPFL, W.A. Miranda - CPFL**

E-mail: [diferreira@cpfl.com.br](mailto:diferreira@cpfl.com.br)

**Palavras-chave** – Distribuição, Energia Solar, Religador .

**Resumo** - Este artigo apresenta a experiência da CPFL no emprego de painel solar, para alimentar os controles microprocessados de religadores de distribuição. Trata dos critérios utilizados para o dimensionamento do projeto do sistema fotovoltaico, o qual é composto pelo módulo solar, baterias e controlador de carga. Relata as vantagens do sistema em relação ao sistema original e faz um comparativo entre os seus respectivos custos. Apresenta o desempenho alcançado pelo projeto, desde a sua instalação e comentários acerca dos problemas ocorridos e soluções implementadas para melhoria do projeto.

**1. INTRODUÇÃO**

A CPFL adquiriu de 1989 a 1992 cerca de 300 religadores automáticos da classe de 15 kV para serem instalados na sua rede de distribuição. Esses religadores utilizam como fonte de alimentação para o painel de controle, baterias de Lítio, com vida útil estimada em 10 anos.

Apesar do longo período de vida dessas baterias, foi verificado que até 1996 houve uma grande quantidade dessas baterias avariadas. A demora no processo de importação, chegando a um ano, atrelada ao aumento das necessidades fez com que se pensasse em uma alternativa, de forma a evitar que os religadores instalados ficassem fora de operação.

Necessitava-se na época, de uma solução rápida e a baixo custo. A expectativa era de se encontrar uma solução que permitisse o uso de baterias facilmente encontradas no comércio. Como na CPFL, a maioria dos religadores estão instalados na rede de distribuição rural, onde não há rede secundária, a alternativa a ser adotada deveria ser independente da rede elétrica. Por esta característica, o emprego de TP's foi uma alternativa descartada. Também o emprego de TP implicava na necessidade em adquirir ou desenvolver recarregadores de bateria, o que seria uma dificuldade a mais na conclusão do projeto. Uma das soluções encontradas, que atendia aos requisitos anteriores, foi o desenvolvimento de um sistema fotovoltaico.

Este artigo, não pretende ser altamente técnico, mas sim destacar os critérios adotados pela CPFL no dimensionamento do projeto, bem como os resultados da experiência de campo

**2. CONFIGURAÇÃO DO PROJETO**

A terra recebe anualmente  $1,5 \times 10^{18}$  kWh de energia solar, constituindo a radiação solar como uma fonte energética inesgotável.

As células fotovoltaicas é uma das possíveis formas de conversão de energia solar em elétrica. Elas convertem diretamente a radiação solar em eletricidade e são constituídas de materiais semicondutores, principalmente o silício.

Os tópicos que seguem tratam dos critérios adotados para dimensionamento do sistema fotovoltaico para alimentação do painel de controle do religador.

A figura 1 ilustra os componentes que fazem parte do projeto.

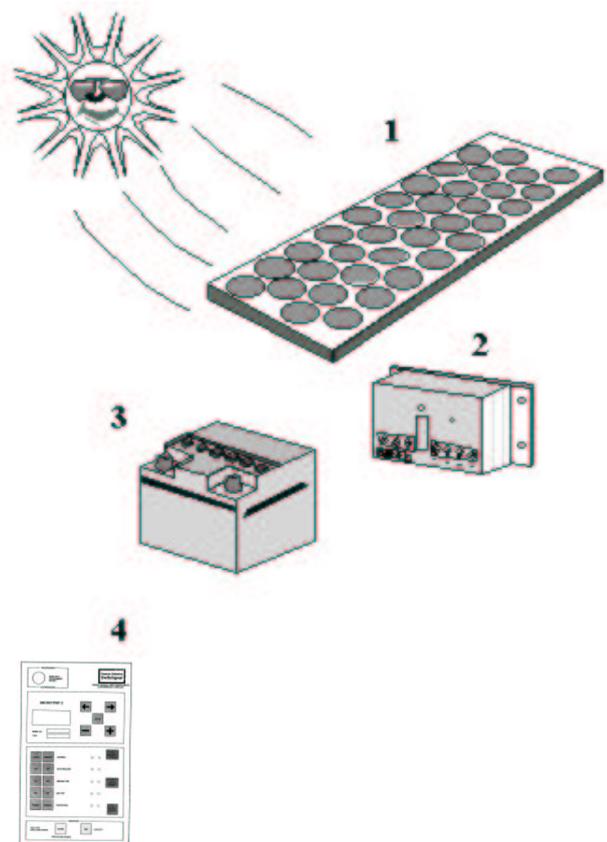


FIGURA 1 – COMPONENTES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Na figura 1, os componentes são identificados como a seguir:

1. Módulo Solar (gera energia);

2. Controlador de carga (protege e otimiza o sistema);
3. Bateria recarregável;
4. Controle microprocessado (Microtrip 2).

Para utilizar a energia que vem do Sol, basicamente necessita-se de três elementos: os módulos ou painéis fotovoltaicos, o controlador de carga e as baterias.

Assim, o projeto trata do dimensionamento de cada um desses componentes. O dimensionamento foi elaborado de acordo com a metodologia adotada na referência [2] e conforme sub itens que seguem. A grandeza utilizada para o dimensionamento do sistema é o Ampère-hora (A.h).

### 2.1. Características do religador

A experiência foi realizada em um religador com as seguintes características:

- Classe de tensão: 15 kV;
- Trifásico, 60 Hz;
- Corrente nominal: 560 A;
- Marca/Modelo: Hawker Siddeley/PMR1;
- Relé microprocessado: Microtrip 2;
- Fonte para o relé: bateria de lítio de 12 V;
- Fonte para energizar as bobinas de abertura e fechamento: bateria de Lítio de 24 V;
- Sistema de fechamento através de bobina de alta tensão ligada do lado fonte do religador.

### 2.2. Caracterização da carga

O objetivo do projeto é a substituição da bateria de 24 V do religador. Esta bateria tem a função de energizar os solenóides de abertura e fechamento do religador, quando solicitado. Na figura 1, a carga está representada pelo relé microprocessado Microtrip, pois é através dele que se faz a operação de abertura e fechamento.

O solenóide de abertura consome 30 A por 40 milésimos de segundo. Ou seja, 1200 mA.s para cada operação de abertura.

Uma seqüência completa de operações do religador compreende 3 religamentos e 4 aberturas. A quarta abertura significa que o religador está bloqueado. Considerando que o consumo do solenóide de abertura é o mesmo da de fechamento, teremos 840 mA.s de consumo para uma seqüência levada a bloqueio.

O dimensionamento do sistema considera o ciclo de carga diário e a quantidade de dias da semana em que a carga é solicitada. Apesar de conservador, para o caso em questão foi admitido que o religador possa operar 60 vezes no mês, equivalendo a média de 2 operações por dia. Como cada operação ocorre em 40 ms e, duas operações por dia significa 2 aberturas e 2 religamentos, o tempo em que há consumo é de 160 milissegundos. Tal situação está representada na figura 2.

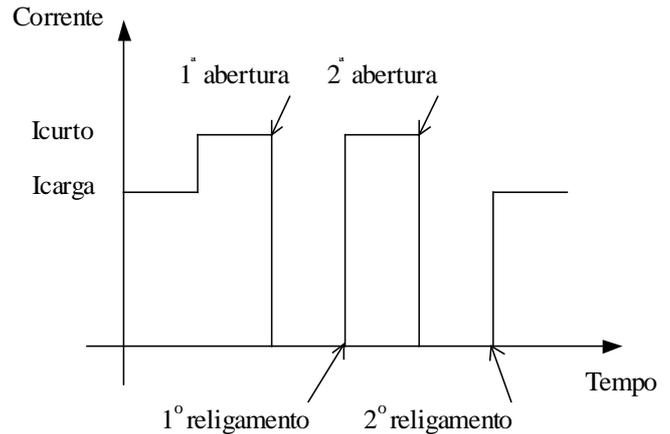


FIGURA 2 – REPRESENTAÇÃO DE DUAS OPERAÇÕES DO RELIGADOR

Considerando que a tensão nominal da carga é 24 V e consome uma corrente de 30 A, a potência da mesma é de 720 W.

Assim, a carga em questão representa um consumo diário de  $1,33 \cdot 10^{-3}$  A.h, que é a corrente imposta pela carga multiplicada pelo tempo de consumo ( $30A \times 160ms/3600$ ).

Deve-se ainda corrigir este consumo, considerando os fatores de eficiência da bateria e da fiação. Foi considerado para o projeto, que esses fatores seriam iguais a 0,95. O consumo corrigido é dado pela equação 1:

$$C_{corr} = \frac{C_{carga}}{E_f \times E_b} \quad (1)$$

onde:

$C_{corr}$  é o Consumo diário corrigido;

$C_{carga}$  é o Consumo diário em A.h;

$E_f$  é o Fator de eficiência da fiação e;

$E_b$  é o Fator de eficiência da bateria.

Assim, teremos:

$$C_{corr} = \frac{1,33 \times 10^{-3}}{0,95 \times 0,95} = 1,48 mA.h$$

### 2.3. Avaliação do recurso solar

Para calcular a energia que o painel solar deverá gerar, é necessário quantificar a radiação solar incidente sobre o painel. A grandeza que representa essa radiação é chamada de Sol Pleno. Segundo a referência [2], esta grandeza representa o número de horas em que a radiação solar deve permanecer constante e igual a  $1 \text{ kW/m}^2$ , de forma que a energia resultante seja equivalente à acumulada para o dia e local em questão. A figura 3 ajuda na compreensão desta grandeza.

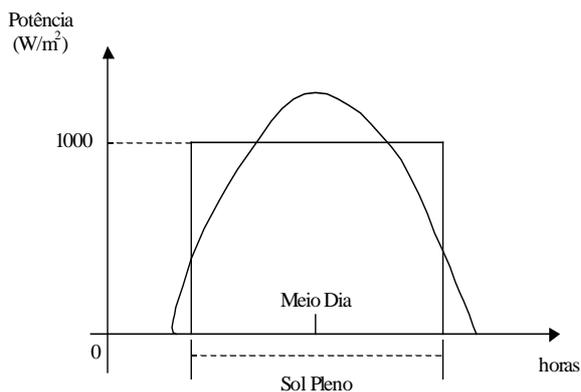


FIGURA 3 – REPRESENTAÇÃO DA GRANDEZA SOL PLENO

A radiação solar varia conforme o mês e a região considerada. A metodologia utilizada, extrai a menor média de Sol Pleno obtida durante o ano, para o local de análise. Foram utilizados os mapas de insolação para o Brasil [2], pelos quais chegou-se ao valor de um Sol Pleno de 2,8 horas, para o Estado de São Paulo. O menor valor de Sol Pleno (2,8 horas) foi obtido para os meses de Junho e Julho. Há, no entanto, a referência [1] menos conservadora, que considera o período de insolação como sendo de 5 horas.

Quanto maior o valor da grandeza Sol Pleno, menor será a corrente que o sistema fotovoltaico deverá fornecer.

De posse deste valor, é calculada a corrente gerada por cada módulo, através da equação 2:

$$I_m = \frac{C_{corr}}{SP} \quad (2)$$

onde:

$I_m$  é a corrente do módulo fotovoltaico;

$C_{corr}$  é o consumo diário corrigido e;

$SP$  é o número médio de horas de insolação.

Para o caso em questão, teremos:

$$I_m = \frac{1,48 \times 10^{-3}}{2,8} = 0,5mA$$

Esta é a corrente que o sistema fotovoltaico deverá fornecer.

#### 2.4. Baterias

As baterias de Lítio tem a característica de dispor de uma alta capacidade de corrente para tamanhos reduzidos. As baterias utilizadas nos religadores medem 4x25x8 cm, nas tensões de 12 V/13 A.h e 24 V/6 A.h. Apesar de não ser recarregável, a vantagem na utilização das baterias de Lítio está ligada a sua vida útil, estimada em 10 anos.

Simultaneamente à experiência, a CPFL procurou desenvolver fornecedor nacional para as baterias de Lítio. Os resultados foram satisfatórios para as baterias de 12 V,

o mesmo não ocorrendo para as de 24 V. Também, os custos ainda se aproximavam das originais (R\$ 400,00), uma vez que as células eram importadas.

##### 2.4.1. Baterias recarregáveis

A utilização de um sistema fotovoltaico, implica na utilização de um componente que permita o recebimento de energia para armazenamento. Tal componente refere-se às baterias recarregáveis.

Para o dimensionamento das baterias foram considerados, principalmente, os seguintes fatores:

- Dias de armazenamento;
- Profundidade de descarga;
- Disponibilidade de fornecedores.

Tal solução apontava para o emprego de baterias de chumbo-ácido.

A variável “dias de armazenamento”, significa o período que as baterias não sofrerão recarga, devido ao não fornecimento de energia pelo arranjo fotovoltaico. Alguns fabricantes de religadores informam que as baterias permitem a operação, sem recarga, até por 5 dias. Este foi o valor adotado no projeto.

As baterias de chumbo-ácida, para a mesma capacidade das de Lítio, são de tamanhos pouco maiores (15x6,5x9,8 cm), e podem ser recarregáveis. A vida útil dessas baterias depende do ciclo de carga e descarga, mas em média é estimada em cinco anos.

Essas baterias apresentam um custo médio unitário de R\$ 35,00 e são facilmente encontradas em lojas de material eletrônico.

A máxima descarga permitida depende do tamanho e do tipo da bateria. No caso da bateria de chumbo-ácido, foi adotada a taxa de 0,6.

Com esses dados, é calculada a capacidade da bateria pela equação 3:

$$Capac = \frac{C_{corr} \times Dias}{Prof} \quad (3)$$

onde:

$Capac$  é a capacidade da bateria em A.h;

$C_{corr}$  é o Consumo diário corrigido;

$Dias$  é a quantidade de dias de armazenamento e;

$Prof$  é a profundidade de descarga máxima.

Desta forma, teremos:

$$Capac = \frac{1,48 \times 10^{-3} \times 5}{0,6} = 12,3mA.h$$

Esta seria a menor capacidade a ser escolhida. No entanto, foi escolhida a bateria mais facilmente encontrada no mercado, ou seja, a de 7 A.h.

Como a tensão da carga é de 24 V, para o projeto optou-se por duas baterias de chumbo-ácido seladas de 12 V/7A.h.

## 2.5. Controlador de carga

O controlador de carga otimiza o uso da Energia Fotovoltáica:

- Protege a bateria contra sobrecargas e descargas excessivas;
- Garante mais vida útil à bateria;
- Protege o módulo evitando o retorno da energia.

O controlador também tem a função de evitar a descarga completa da bateria. No entanto, para o projeto em assunto, ele não é utilizado com este propósito, uma vez que a carga da bateria (controlador microprocessado), não pode ser desligada. Como o consumo de energia é baixo (1,48 mA.h), quando solicitado, não há necessidade de interromper a carga da bateria. O esquema de ligação está mostrado na figura 4.

## 2.6. Painel Fotovoltáico

Os módulos fotovoltaicos são formados de células feitas de silício, o qual é capaz de absorver as partículas de fótons existentes nos raios solares e transformá-las em corrente elétrica contínua de 12 V. Alguns modelos produzem tensões de 24 V.

O dimensionamento do sistema fotovoltaico depende da energia fornecida pelo sol ao sistema e da demanda de energia pela carga. Também leva em consideração a quantidade de energia solicitada por dia. As referências [1] e [2] detalham os procedimentos para dimensionamento de um sistema fotovoltaico.

Em resumo, as variáveis que entram no dimensionamento do sistema fotovoltaico são:

- Corrente de carga;
- Quantidade e tensão das baterias;
- Fator de correção do módulo;
- Número de módulos fotovoltaicos, e ;
- Corrente nominal dos módulos.

Pelo item 2.3, o sistema fotovoltaico deve fornecer 0,5 mA. Esta é a corrente de carga a ser utilizada no dimensionamento do módulo fotovoltaico.

Como o processo de dimensionamento é interativo, inicia-se com a escolha de um painel. Como visto, a corrente prevista é baixa (0,5 mA). Portanto, o projeto inicia-se com o módulo de menor capacidade, que pela referência [3] é, o de corrente nominal de 0,39 A.

O fator de correção do módulo, considera as condições de campo como acúmulo de poeira, perdas entre os módulos mal conectados, degradação ao longo do tempo, etc. Este fator ainda varia conforme o tipo do módulo, se cristalino ou amorfo:

- Cristalino: 0,9;

- Amorfo: 0,7.

Segundo a referência [3], o painel escolhido é do tipo cristalino, portanto, o fator é 0,9.

A corrente de projeto deve ser corrigida por este fator, conforme a equação 4:

$$I_{proj} = \frac{I_m}{F_{corr}} \quad (4)$$

onde:

$I_{proj}$  é a corrente do módulo corrigida;

$I_m$  é a corrente a ser gerada pelo sistema e;

$F_{corr}$  é o fator de correção do módulo.

Assim, teremos:

$$I_{proj} = \frac{0,5 \times 10^{-3}}{0,9} = 0,6mA$$

Como cada módulo fornece 0,39 A, um módulo seria suficiente para atender ao consumo diário previsto. No entanto, como serão utilizadas duas baterias de 12 V em série, há a necessidade de utilizar dois módulos em série. Pela referência [3], o painel de menor capacidade e de menor custo, fornece uma energia diária de 2 Ah. Esta energia equivale a 1.500 sequências completas do religador. Isto é, seria necessário o religador bloquear 1.500 vezes em um dia para usar toda a energia disponível pelo painel.

## 2.7. Resumo do sistema

O projeto do sistema fotovoltaico tem o seu diagrama de ligações mostrado na figura 4.

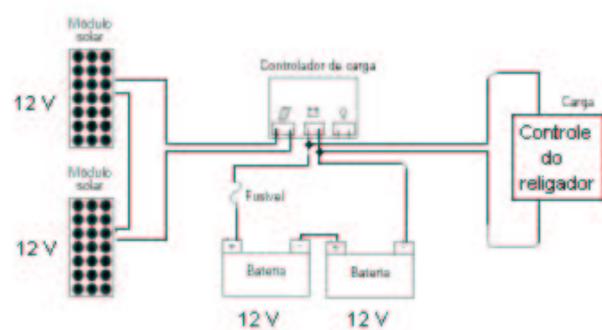


FIGURA 4 – DIAGRAMA ELÉTRICO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Os componentes desse sistema tem as seguintes características:

- Módulo Solar: 2 painéis de 12 V; 6 W; 0,39 A;
- Bateria chumbo-ácida: 2 x 12 V/7 Ah
- 1 Regulador de 24 V

### 3. INSTALAÇÃO

O primeiro protótipo foi instalado na região de Ribeirão Preto, mais propriamente na localidade de Bonfim Paulista, em 6/05/99.

#### 3.1. Dados do religador:

- Número CPFL: 254
- No. Operações encontrado: 4.163
- Início da instalação: 12:45 h
- Término da instalação: 15:20 h
- No. Operações após verificações: 4.172
- Tensão da bateria: 25 V

As duas baterias e o controlador de carga foram acomodados em uma caixa metálica de 20x20x20 cm, instalada próxima ao módulo fotovoltaico (figura 5).

O suporte dos painéis foto-voltáicos foi confeccionado pela própria CPFL. Segundo recomendações do fornecedor do painel fotovoltaico [1], o suporte foi construído de tal forma que o painel ficasse inclinado 21° em relação ao plano horizontal.

A figura 5 mostra a instalação do sistema em uma rede de distribuição rural da CPFL.

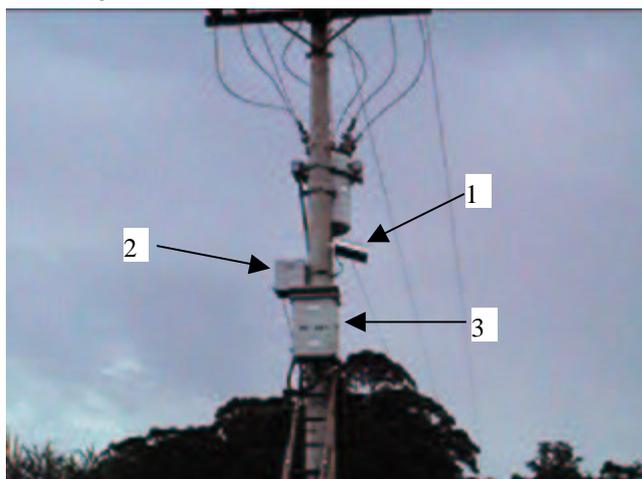


FIGURA 5 - INSTALAÇÃO DO PAINEL SOLAR EM BONFIM PAULISTA

Na figura 5 temos:

- 1 – Painel Solar
- 2 – Caixa para abrigar as baterias
- 3 – Painel de Controle do religador

### 4. DESEMPENHO DO SISTEMA

Desde a sua instalação em 06/05/99, até o momento, tem sido colhidas as informações sobre a bateria e operações do religador, conforme mostrado na tabela I.

Em 15/04/2002, foi verificado que uma das baterias estava sem carga. A princípio, foi levantada a hipótese da ocorrência de sulfatação, mas a inspeção posterior não comprovou a formação de cristais de chumbo nas placas das células. A hipótese mais provável talvez seja a redução da vida útil em virtude da temperatura de

trabalho. Sabe-se que a capacidade da bateria aumenta, com a elevação da temperatura, no entanto acarreta o inconveniente de aumentar a taxa de auto-descarga e redução do seu ciclo de vida.

TABELA I  
DESEMPENHO DO SISTEMA A ENERGIA SOLAR

Data	Tensão da Bateria	Número de Operações
06/05/99	25 V	4.172
14/05/99	27,9 V	4.173
08/07/99	27,3 V	4.180
05/03/00	27,2 V	4.242
19/11/01	27,2 V	4.353
31/03/02	27,2 V	4.400
02/05/02	27,3 V	4455

Medições de temperatura realizadas no compartimento das baterias, registraram valores superiores a 40°C. Este fato provavelmente contribuiu para a redução da vida útil para 3 anos, quando esperava-se 5 anos. Com o objetivo de diminuir a temperatura interna do compartimento de baterias, foi mudada a pintura externa da caixa para cor de alumínio e colocado isopor nas partes internas da caixa.

Apesar de apenas uma bateria ter sido avariada, foram substituídas as duas baterias e o sistema foi reinstalado no dia 22/04/2002.

### 5. ANÁLISE DE CUSTOS

Os custos envolvidos no projeto, estão mostrados na tabela II. Como mencionado no item 2.7, foram utilizados dois módulos fotovoltaicos de 12 V, ligados em série, para obter a tensão de 24 V. Da mesma forma, as duas baterias de 12 V foram ligadas em série, para substituir a bateria de 24 V.

TABELA II  
CUSTOS ENVOLVIDOS NO PROJETO

Item	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Bateria 12 V	2	40,00	80,00
Painel Solar SM6	2	300,00	600,00
Regulador	1	80,00	80,00
Caixa para baterias e suporte do painel	1	50,00	50,00
		Total	810,00

O preço médio das baterias de Lítio são:

12 V : R\$ 302,45 (pode ser montada no Brasil)

24 V : R\$ 1207,00 (importada)

Como o religador emprega uma bateria de 12 V e uma de 24 V, o custo total empregando baterias de Lítio é de R\$ 1.509,45.

## 6. COMENTÁRIOS E CONCLUSÃO

Aliada à oferta de mercado, devido a presença de novos fabricantes (Alemanha, Coreia, EUA e inclusive o Brasil), o custo do painel solar tende a diminuir, viabilizando a sua aplicação em áreas específicas, como o projeto deste trabalho.

Apesar do custo maior concentrar-se nos módulos fotovoltaicos, uma pequena redução do custo do projeto pode ser obtida nos outros componentes. Considerando que o controle do religador admite até 30 V, pode-se eliminar o regulador de carga.

Outro componente que pode contribuir na redução dos custos são as baterias. Pela característica da experiência, como visto no item 3, o projeto foi super dimensionado. Poderiam ser melhorados alguns valores como dias de armazenamento e horas de insolação, passando respectivamente para 3 dias e 5 horas. Este fato permitiria utilizar baterias de menor capacidade, como a de 2 A.h. Isto não contribui na redução do custo das baterias, mas viabiliza a instalação das mesmas no próprio compartimento do controle do religador, evitando o custo para confecção da caixa para abrigá-las.

Existem baterias ainda menores, no entanto a corrente de curto não é suficiente para operação dos solenóides de abertura e fechamento.

A viabilidade do projeto está diretamente relacionada com o consumo da carga (controle do religador).

Religador Nu-Lec, por exemplo, normalmente é alimentado em tensão alternada, mas pode ser em corrente contínua desde que a tensão seja de 36 V. Isto implica na utilização de pelo menos 3 módulos solares. Mas uma vantagem deste religador, é que o mesmo já vem com 2 baterias de chumbo-ácido instaladas no gabinete do controle microprocessado. Ou seja, o custo seria apenas dos módulos fotovoltaicos.

Em religadores como Nu-Lec N 12 e Nova da Cooper, que têm um consumo maior do que os da Hawker Siddeley, a aplicação pode se tornar viável, se comparada com o custo para utilização de TP's. Em média, o custo de TP da classe de 15 kV está em torno de R\$ 1.200,00.

A nova fase do projeto implica em otimizar o sistema, alimentando o controle do religador com uma das baterias de chumbo-ácido de 12 V em substituição a de Lítio de 12 V/13 A.h. Esta etapa teve início 05/07/2002.

Destaca-se neste projeto as seguintes vantagens:

Instalação compacta e leve;

Fácil manuseio e transporte, podendo ser ampliado conforme necessidade;

Instalação fica inerente aos distúrbios da rede;

Viabilidade econômica decorrente do baixo consumo da carga.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Cartilha de Energia Solar – Solar Brasil –Luiz Carlos Berto - <http://www.solarbrasil.com.br/cartilha.htm> , último acesso em 10/06/2002.
- [2] Manual de Engenharia - Sistemas Fotovoltaicos – GTEF-CRESESB/CEPEL
- [3] Siemens - Installation Guide Supplement for Siemens Solar Electric Modules