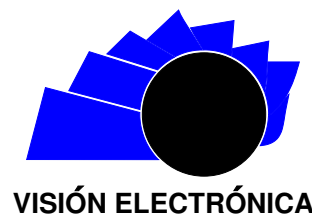




## Visión Electrónica

*Más que un estado sólido*

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/visele/index>



VISIÓN DE CASO

### Sistema de geração fotovoltaica

#### *Photovoltaic generation system*

*Paulo Ernesto Eggers Junior<sup>a</sup>, Luis Eduardo Palomino Bolívar<sup>b</sup>*

#### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

##### Historia del artículo:

Enviado: Octubre de 2014

Recibido: Noviembre de 2014

Aceptado: Enero de 2015

##### Palabras clave:

Energía Alternativa

Energía Fotovoltaica

Energía Solar

Painel solar



##### Keywords:

Alternative energy

Photovoltaics energy

Solar energy

Solar panel

#### RESUMO

O gerador fotovoltaico do Centro de Educação Profissional –CEDUP “Vidal Ramos” – no distrito de Marcilio Dias em Canoinhas SC, Brasil – é instalada no ano de 1994 pela companhia Eletrosul, em marco do Programa de Desenvolvimento de Energia dos Estados e Municípios – PRODEEM – do governo federal, com fins educativos direcionados à educação dos alunos e professores do centro nas formas de geração de energia alternativa e renovável. O presente artigo relata os resultados da pesquisa comparativa no caso em que dito sistema de geração de energia elétrica considera outras configurações, em particular: dos módulos fotovoltaicos, a conexão do banco de baterias com os controladores de carga, o inversor de tensão e a carga. As configurações proposta permitem considerar os novos detalhes para otimizar os resultados em projetos de geração de energia elétrica a partir da conversão de energia solar com painéis fotovoltaicos.

#### ABSTRACT

The photovoltaic generator at Professional Education Center - CEDUP “Vidal Ramos”, located in the district of Marcilio Dias in Canoinhas SC, Brazil – was installed in 1994 by the company Eletrosul, in the framework of the Energy Development of States and Municipalities Program - PRODEEM – of the federal government, which have educational purposes pointed for the students and teachers learning of these center in the forms of alternative generation and renewable energy. This article reports the results of comparative research in the case where the system of power generation considered other configurations, in particular: photovoltaic modules, the connection between the battery bank to the charge controllers, voltage inverter, and load. The proposed configurations allow to consider new details to optimize project results in generation of electricity from solar energy conversion with photovoltaic panels.

<sup>a</sup> Acadêmico pesquisador da Universidade do Contestado curso de Engenharia Elétrica, Brasil. e-mail: pauloeggers@bol.com.br

<sup>b</sup> Engenheiro Eletrônico, Universidade Santo Tomas, Colômbia. Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal de Paraná, Brasil. Professor pesquisador Engenharia Elétrica: Universidade do Contestado, grupo de pesquisa GPEAR-UnC. e-mail: palomino@unc.br

## 1. Introdução

O gerador fotovoltaico do Centro de Educação Profissional – CEDUP “Vidal Ramos” no distrito de Marcílio Dias em Canoinhas SC, Brasil - está instalado desde o ano de 1994, pela empresa Eletrosul no Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios – PRODEEM do governo federal, este sistema de geração foi instalado com fins didáticos visando a instrução dos alunos e professores do Centro sobre uma forma de geração alternativa e renovável de energia [1].

O ponto de instalação do gerador é região sul do Brasil, onde a radiação Média no Plano inclinado de  $5,0 kWh/m^2$  conforme indicado pelo INPE [2], utilizando uma rede de radiômetros distribuídos na região em conjunto com técnicas de interpolação dos dados de radiação coletados.

O sistema apresenta uma divergência entre a geração e a potência consumida, uma vez que este sistema fotovoltaico mesmo didático, não está otimizado no dimensionamento de seus componentes [3]. Mesmo assim, cabe indicar que a demanda para qual foi projetada baseasse na transferência total de energia do banco de baterias para a carga, sendo  $17,7 kWh$  no caso ideal ou sem perdas.

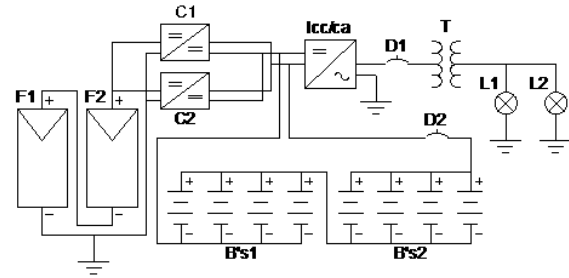
Desta maneira, este artigo apresentará o sistema atual, mostrando sua configuração e tipo de conexão elétrica, fazendo um comparativo com outras configurações do sistema e analisando as funções dos componentes envolvidos na geração, construindo uma reflexão sobre a otimização dos elementos a projetar num empreendimento com geração elétrica a partir conversão de energia solar com painéis fotovoltaicos.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1. Configuração do sistema

O sistema de geração fotovoltaica do CEDUP “Vidal Ramos” apresenta uma configuração de dois conjuntos de módulos fotovoltaicos ligados em série, conforme a Figura 1, F1 e F2, com dois controladores de carga em paralelo C1 e C2, um banco de baterias constituído de dois conjuntos B's1 e B's2 com 4 baterias em paralelo em cada, e estes dois conjuntos ligados em série com conexão na entrada do inversor I  $cc/ca$ , apresenta na saída ligada a um transformador de tensão T, 1:2 que acopla a tensão da carga, que neste caso são duas cargas L1 e L2 iguais ligados em paralelo. A proteção sistema está no disjuntor D1 que está instalada entre o inversor e o transformador assim como o D2 instalado entre o inversor e o banco de baterias.

**Figura 1.** Circuito Elétrico da Geração Fotovoltaica do CEDUP.

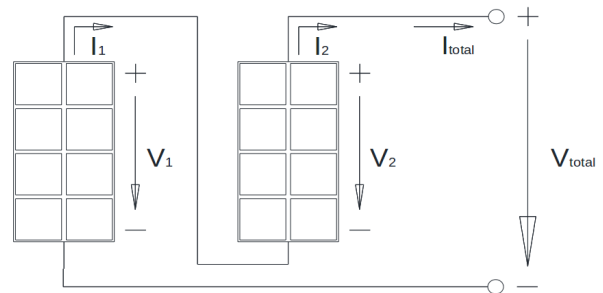


Fonte: Dados da Pesquisa (2013).

### 2.2. Característica dos Painéis Fotovoltaicos

O sistema está constituído de dois conjuntos de módulos fotovoltaicos, estes de silício policristalino, cada módulo está composto por 8 células de  $75 W_p$ , ( $W_p = Watt\ pico$ ), as quais totalizam  $600 W_p$  por módulo, com uma tensão de  $12 V_{cc}$ , estes 2 módulos por sua vez estão ligados em série no sistema totalizando  $24 V_{cc}$  com uma potência de  $1200 W_p$  [4], a Figura 2 representa a associação em série dos módulos fotovoltaicos.

**Figura 2.** Módulos Fotovoltaicos associados em série.



Fonte: Dados da Pesquisa (2013).

A Equação 1 representa a tensão total,  $V_{total}$ , obtida pela somatória das tensões dos módulos fotovoltaicos  $V_1$  e  $V_2$ .

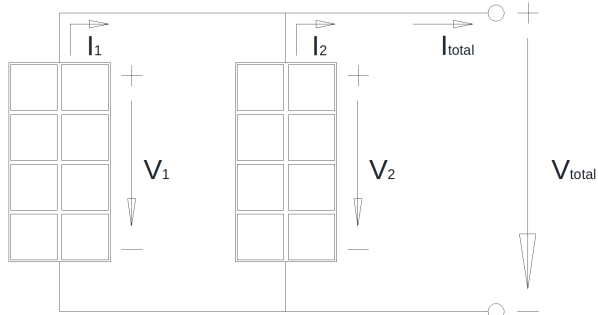
A equação 2 modela o comportamento da corrente gerada pelos módulos que estão em série e assumem a mesma corrente circulando nos módulos.

$$V_{total} = V_1 + V_2 \quad (1)$$

$$I_{total} = I_1 = I_2 \quad (2)$$

Por outro lado, se a ligação destes módulos for feita em paralelo, a tensão total,  $V_{total}$ , será igual a  $V_1$  e  $V_2$ . A Figura 3 representa a ligação dos módulos em paralelo.

Figura 3. Módulos Fotovoltaicos associados em paralelo.



Fonte: Dados da Pesquisa (2013).

A Equação 3 representa a tensão total,  $V_{total}$ , onde, esta na associação em paralelo vai ser igual as tensões  $V_1$  e  $V_2$  como já citado acima.

A equação 4 modela o comportamento da corrente gerada pelos módulos, a corrente total,  $I_{total}$ , será a somatória das correntes  $I_1$  e  $I_2$  que passam pelos módulos.

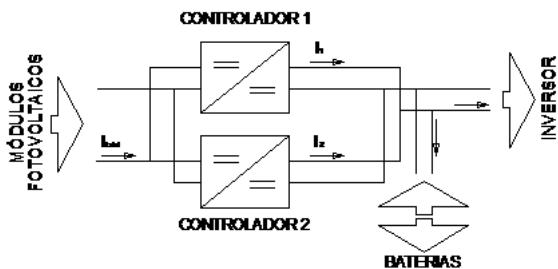
$$V_{total} = V_1 = V_2 \tag{3}$$

$$I_{total} = I_1 + I_2 \tag{4}$$

### 2.3. Conexão dos Controladores de Carga

Os dois controladores de carga instalados no sistema fotovoltaico realiza o gerenciamento de carga e descarga do banco de baterias e estão ligados em paralelo para que desta maneira seja dividida de forma uniforme a corrente máxima do sistema. A Figura 4 representa a ligação destes controladores no sistema de geração.

Figura 4. Ligação dos controladores de carga no sistema.



Fonte: Dados da Pesquisa (2013).

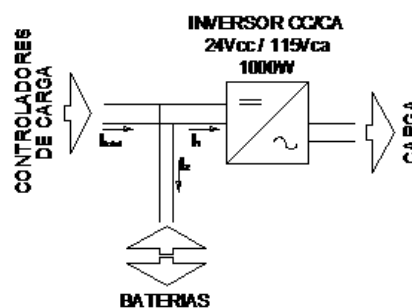
Da mesma forma que os módulos fotovoltaicos, os controladores tem suas correntes divididas, neste caso para que a corrente total não danifique os controladores, assim, a Equação 5 está representando esta divisão, onde temos como  $I_{total}$  a somatória entre as correntes  $I_1$  e  $I_2$ .

$$I_{total} = I_1 + I_2 \tag{5}$$

### 2.4. O Inversor CC/CA

O inversor de tensão cc/ca do CEDUP possui tensão de entrada  $24 V_{cc}$  e de saída  $115 V_{ca}$ , com uma potência total de  $1000 W$ , porém a carga ligada ao mesmo é apenas  $80 W$ , o que corresponde a 8% da capacidade total do inversor. A tensão de entrada deste inversor ocasiona uma utilização de cabos elétricos com bitolas menores, pois a corrente do circuito diminui a proporção que se eleva a tensão do inversor e do circuito, com isso, tem-se condutores elétricos mais finos, a Figura 5 mostra a ligação do inversor cc/ca no circuito.

Figura 5. Ligação do inversor.



Fonte: Dados da Pesquisa (2013).

### 2.5. Banco de Baterias

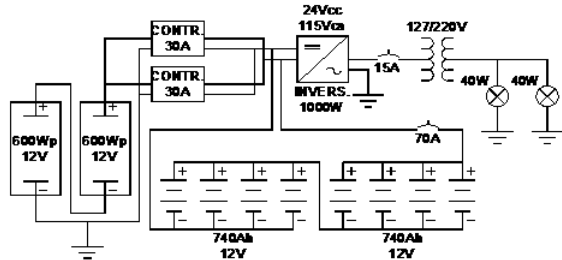
O banco de baterias tem uma capacidade de  $740 A_h$  em  $24 V_{cc}$ , dois conjuntos compostos por 4 baterias cada de  $185 A_h$  ligadas em paralelo e da mesma forma dos módulos fotovoltaicos, esta configuração está associada em série para ocorrência de  $24 V_{cc}$  em sua saída.

Com a carga atual instalada, o banco de baterias tem aproximadamente 220 horas de autonomia, o que corresponde à aproximadamente 9 dias de funcionamento sem a ocorrência de geração.

## 3. Resultados e Discução do Sistema e Configurações Alternativas

A partir das caraterísticas anteriormente o sistema fotovoltaico instalado no CEDUP “Vidal Ramos”, pode-se observar que existe uma discrepância entre a geração e a carga, por tanto do desempenho, desta maneira, se algum de seus componentes tiver sua configuração modificada obtêm-se uma nova configuração com capacidades diferentes e desempenhos diferenciados. Isto ocorre se for considerado a sua utilização atulmente, que é um sistema de geração com acumuladores e inversor para tensão alternada, como mostra a Figura 6.

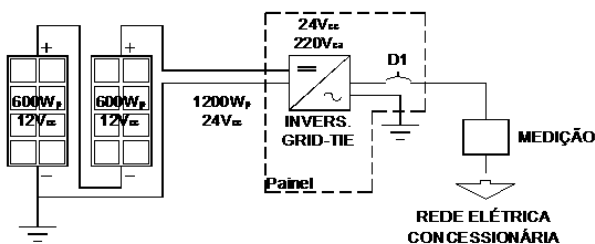
Figura 6. Circuito Geração Off-grid.



Fonte: Dados da Pesquisa (2013).

Utilizando outro sistema que não seja o citado acima, Off-grid, as baterias poderiam ser retiradas e em consequência os controladores de carga. Para uma utilização somente em períodos com radiação solar, utilização direta (geração/consumo) ou para venda de energia elétrica em sistemas On-grid estes sistemas utilizam apenas módulos fotovoltaicos e inversores cc/ca, Figura 7.

Figura 7. Circuito Geração On-grid para exportação de energia.



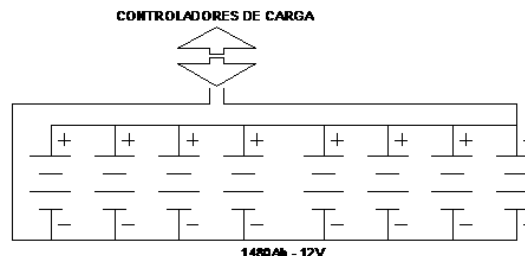
Fonte: Dados da Pesquisa (2013).

Sendo o sistema de geração atual Off-grid, a capacidade do banco de baterias aumenta se as baterias forem ligadas todas em paralelo, consequentemente mudando o inversor cc/ca para que tenha uma tensão de entrada de  $12V_{cc}$ , a Figura 8 representa o banco de baterias modificado para uma associação em paralelo, onde se obterá uma capacidade de  $1480 A_h$  em  $12V_{cc}$ , a carga existente desta maneira pode ser alimentada por períodos mais longos ou cargas maiores podem ser ligadas ao sistema, o tempo de autonomia duplica com a reorganização das ligações do banco.

O inversor cc/ca que utiliza tensão de  $24V_{cc}$  no sistema atual como já citado anteriormente, se for substituído acarreta na possibilidade de um redimensionamento do sistema igual porem podendo estes serem associados de outras formas, isto é, possibilitando o aumento de suas potências e capacidades não só no banco de baterias, mas na geração com uma elevação na corrente do

circuito, com inversor multimaster onde o desempenho é do 98% só com 5% da carga a diferença do inversor convencional que atinge este desempenho só a partir do 35% da carga.

Figura 8. Banco de baterias em paralelo.



Fonte: Dados da Pesquisa (2013).

#### 4. Conclusão

Concluí-se estudando e analisando o sistema de geração fotovoltaica do CEDUP, este primeiramente sendo um sistema com fins didáticos e pelas potências dos componentes envolvidos, está subdimensionado, mostrando que não houve uma preocupação em relação ao dimensionamento deste sistema, considerando a carga que seria alimentada e nem o custo envolvido nesta geração, uma vez que o programa PRODEEM distribuiu a várias escolas do estado conjuntos como este ou com outras configurações, mas tendo este como base, pode-se concluir que os outros sistemas também estão desta maneira.

A configuração atual poderia ser modificada para ocorrência da otimização deste sistema, visando um melhor aproveitamento destes componentes, reavaliando as potências dos mesmos para uma melhor utilização da carga nesta geração. Pela capacidade de geração destes equipamentos, cargas maiores não só poderiam, como deveriam ser alimentadas. Observou-se que o desempenho da proposta poderia ser obtida com elementos projetados segundo a potencia fornecida pelas baterias sendo neste caso  $17 kWh$  o que para efeitos deste estudo de caso, seguramente os custos foram comprometidos.

O desempenho do sistema depende diretamente da eficiência obtida na eletrônica de potência do inversor que fará a transformação energética de  $12V_{DC}$  a  $220V_{AC}$  ou de  $24V_{DC}$  a  $220V_{AC}$  sem diferença de desempenho entre uma ou outra tensão de entrada para um inversor em particular. Assim deverá ser observado o desempenho do tipo de inversor a ser instalado para que no desempenho geral, exista uma diminuição de perda de energia ao longo dos componentes do circuitos elétrico.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Universidade do Contestado - UnC em convenio internacional com as Faculdades Internacionais San Martin -

FISAM e a Fundação Científica e Tecnológica em Energias Alternativas e Renováveis - FCTER.

## Referências

- [1] UCZAI, Pedro. “Inevitável mundo novo: a relação entre energias renováveis, produção de alimentos e o futuro do planeta”. Volume II, Chapecó, Gráfica Editora Pallotti. 2010 pp. 5-40
- [2] M. Pereira, et al, “Atlas Brasileiro de Energia Solar”, INPE, 2006. pagina 48.
- [3] J. Eggers, P. Ernesto. “Palestra: Geração Fotovoltaica, CEDUP Vidal Ramos, GPEAR-UnC”. Universidade do Contestado - UnC. Canoinhas. 2013
- [4] R. RÜTHER, “Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil”. LABSOLAR. Florianópolis. 2004.