

PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA DE TESTES PARA BATERIAS ESTACIONÁRIAS CONECTADAS EM SÉRIE

Joseandro Gomes de Lima Brasilio – joseandro.brasilio@ig.com.br

Germano Pinto Guedes – germano.uefs@gmail.com

Universidade Estadual de Feira de Santana

Resumo. O uso de energia solar é uma opção quando não existe acesso à rede de energia elétrica convencional podendo ser usada em diversas aplicações, tais como científicas e residências. Um exemplo de aplicação da energia solar está no Observatório Pierre Auger de Raios Cósmicos, na Argentina, que possui 1600 detectores de radiação de superfície instalados no deserto da patagônia amarela. Cada um desses detectores possui uma instalação fotovoltaica que possibilita o funcionamento do detector de forma autônoma 24 horas por dia. Em cada detector há um sistema de monitoramento que realiza, periodicamente, medidas elétricas e térmicas. Este sistema permitiu-nos conhecer um comportamento anômalo das baterias usadas nestas instalações quando ligadas em série, que, em geral, não é percebido pelos usuários destes sistemas fotovoltaicos: ainda mantendo a soma igual a 24V da regulação, as tensões das baterias se desequilibram, ficando uma maior que a outra. Este desbalanço aumenta a cada ciclo de carga e descarga (dia-noite), como consequência, as baterias têm seus valores de tensão máximo e mínimo recomendados desrespeitados. Para estudar o problema em laboratório sem, para isto, depender da disponibilidade de sol, projetamos e montamos um sistema capaz de comandar ciclos de carga e descarga das baterias com corrente estabilizada e ajustável, monitorando continuamente as tensões das baterias. O sistema é composto dos seguintes dispositivos: descarregador (DB) e recarregador (RB) de baterias, ambos com corrente estabilizada programável e um controlador analógico de carga e descarga (CACD) que controla todo o ciclo. Apresentamos os resultados de testes dos dispositivos desenvolvidos e testes de baterias com estes equipamentos, onde mostramos e quantificamos o comportamento anômalo das tensões nas baterias e o desbalanço de suas cargas ciclo após ciclo até próximo da sua exaustão.

Palavras-chave: Energia Solar, Instrumentação, Medidas Elétricas

1. INTRODUÇÃO

Numa busca por soluções energéticas, o uso da energia solar é uma boa empreitada nesta competição tecnológica e também é solução para casos onde não existe acesso à rede de distribuição de energia elétrica.

Sistemas capazes de converter energia solar diretamente em energia elétrica são chamados de instalações fotovoltaicas e são compostas basicamente por painéis fotovoltaicos (PV), reguladores de carga e eventualmente, baterias estacionárias e inversores.

PVs são feitos de materiais semicondutores e são capazes de converter de cerca de 13% (alguns mais modernos alcançam 17%) da energia dos raios solares em energia elétrica de corrente contínua (DC). Essa capacidade de conversão é critério para a comercialização dos painéis e é indicada pelos fabricantes em watt pico por metro quadrado (W_p/m^2), que é a potência máxima fornecida pelo painel em proporção à área de incidência dos raios solares. A potência da radiação solar na superfície terrestre, quando com uma intensidade ótima, oscila em torno de $1000W/m^2$, logo, um painel de $1m^2$ pode fornecer uma potência próxima de 130 watts pico (W_p). A energia fornecida pelo painel deve ser usada durante sua produção ou armazenada para quando não houver incidência de raios solares, como durante a noite ou em um dia muito nublado.

Quando a intensidade dos raios solares está alta, a tensão fornecida por um painel pode ficar muito acima da tensão de recarga da bateria ou da tensão de alimentação de um equipamento suprido pelo painel, o que pode acarretar danos a estes dispositivos. Para resolver esse problema é usado o regulador que tem a função de regular a tensão de recarga das baterias, tensão de alimentação dos dispositivos ligados à instalação fotovoltaica e também evita que a bateria seja descarregada profundamente, abaixo de um limite de 10,5V estabelecida pelos fabricantes para baterias de 12V.

O inversor tem a função de converter a corrente DC fornecida pelo regulador, cuja fonte pode ser o painel ou a bateria, em corrente alternada (AC) que é o tipo de energia fornecida pela rede de distribuição elétrica convencional e para qual a maioria dos equipamentos eletro-eletrônicos são projetados.

Conhecendo o perfil de consumo e o regime de insolação anual é possível dimensionar uma instalação fotovoltaica que suporte a demanda de energia.

Baterias estacionárias são geralmente usadas quando faz-se necessário uma reserva de energia, como exemplo; em equipamentos médicos, científicos, de telecomunicações, em *no-breaks* e, não menos, em instalações fotovoltaicas.

As baterias são comercializadas por suas características como tensão nominal (V) e a capacidade de fornecimento de corrente ampere-hora (Ah).

Um exemplo de aplicação da energia solar está no Observatório Pierre Auger de Raios Cósmicos, na Argentina, que possui 1600 detectores de radiação de superfície instalados no deserto da patagônia amarela. Cada um desses detectores possui uma instalação fotovoltaica composta de dois painéis de 12V/85Wp ligados em série e duas baterias estacionárias de 12V/105Ah também ligadas em uma configuração série de 24V/105Ah e permite o funcionamento do detector de forma autônoma 24 horas por dia, todos os dias.

Através do sistema de monitoramento dos detectores, a cada três minutos são feitas medidas de temperatura, tensão em cada bateria e corrente consumida pelos dispositivos eletrônicos (CPU, tubos fotomultiplicadores, GPS, rádio, etc.). Este monitoramento contínuo permitiu-nos perceber um comportamento das baterias que, em geral, não é percebido ou mesmo conhecido pelos usuários destes sistemas fotovoltaicos: com o uso contínuo, as tensões das baterias se desequilibram, ficando uma maior que a outra, mas ainda mantendo a soma igual a 24V da regulação. Esta diferença aumenta a cada ciclo de carga e descarga, isso faz que uma das baterias não complete sua recarga, podendo alcançar uma descarga de forma profunda, quando sua tensão cai abaixo de 10,5V, e ser levada à falência.

O trabalho realizado teve como proposta projetar e montar uma bancada que permita testes com baterias estacionárias ligadas em série. Os testes consistem em recarregar e descarregar baterias estacionárias ligadas em série com corrente ajustável constante, em ciclos contínuos e realizar medidas elétricas periódicas durante o teste.

2. MATERIAS E MÉTODOS

Foi criado um sistema, para realizar testes em laboratório, capaz de comandar ciclos de carga e descarga das baterias com corrente estabilizada e ajustável monitorando continuamente suas tensões. O sistema é composto por quatro dispositivos: DB, uma fonte de corrente ajustável controlada analógicamente por um circuito integrado (CI) LM723 que estabiliza a tensão em uma rede de resistores (ver Fig. 1), o DB também conta com controle de liga e desliga externo por nível lógico, saída de tensão em função da corrente e saída de tensão em função da tensão das baterias, ambos para monitoramento; O RB (ver Fig. 2), é um recarregador com corrente ajustável e estabilizada que também usa o CI LM723 para estabilizar a corrente, do qual, sua saída (Fig. 2, IC4, OUT, pino 10) modula a largura de um pulso (*pulse width modulation*, PWM) que controla o ângulo de disparo de um TRIAC (Fig. 2, T2) na entrada de um transformador abaixador (Fig. 2, TR2) que é o responsável em receber energia da rede de distribuição elétrica e fornecer para as baterias, a Fig. 3 mostra os principais sinais elétricos no circuito de Fig. 2; O CACD (ver Fig. 4) tem como base o CI 555 configurado para quando a tensão das baterias atingir um limite superior funcionar somente o DB e quando a tensão cair até um limite inferior funcionar somente o RB, ou seja, o CACD automatiza o ciclo desligando o DB e ligando um recarregador de baterias até que as baterias atinjam carga plena em 30,0V. Então, o ciclo de descarga é reiniciado até quando a tensão atingir 21,0V; O quarto dispositivo é um sistema de aquisição fabricado pela *Dataq Instruments*, de modelo DI-148U, com oito portas analógicas que são capazes de realizar medidas de tensão entre -10V e 10V com uma frequência de aquisição determinada pelo usuário.

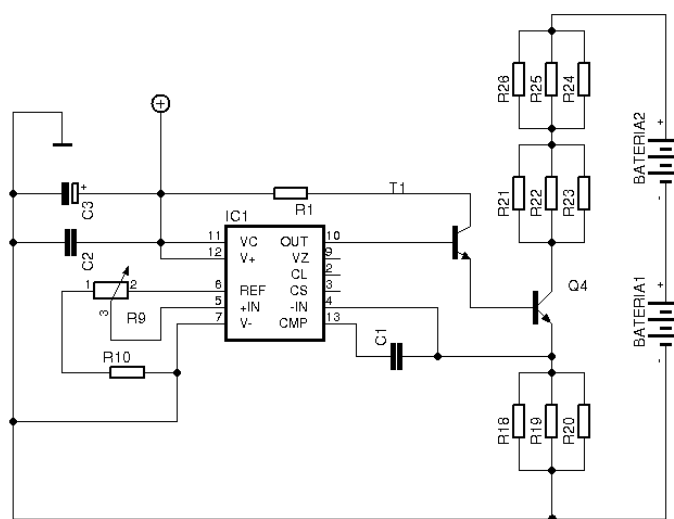


Figura 1 - Esquema elétrico do circuito principal do DB. O IC1 é um LM723.

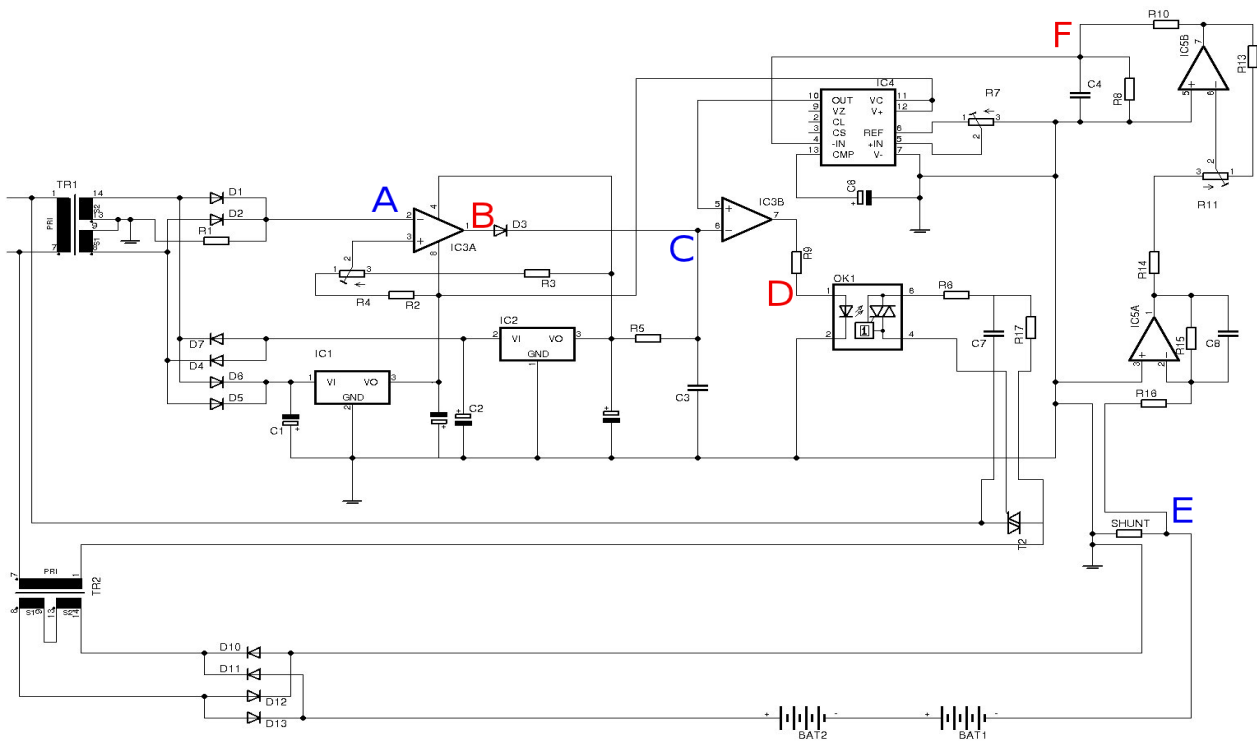


Figura 2 - Esquema elétrico do circuito do RB. O IC4 é um LM723.

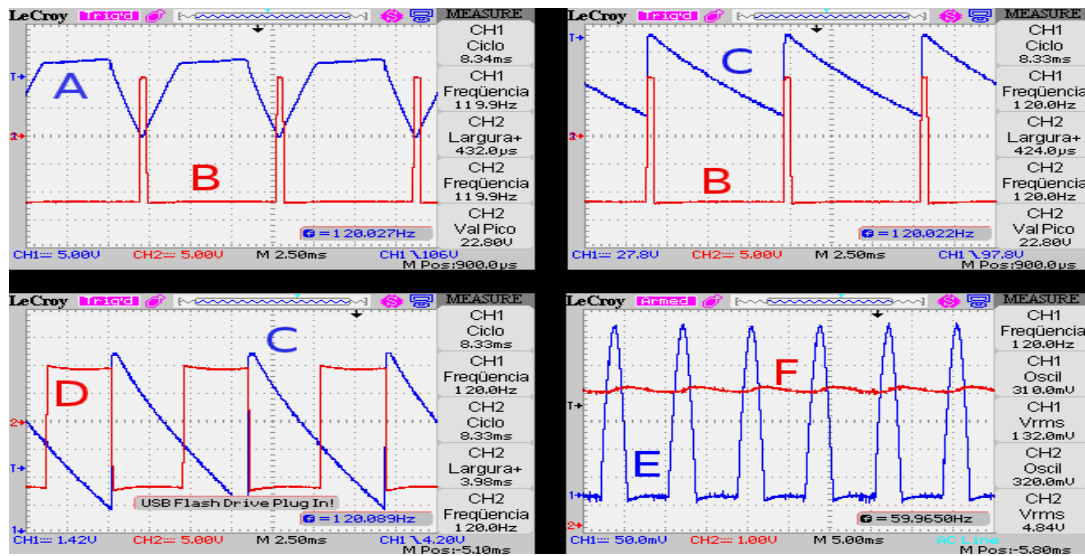


Figura 3 - Sinais no circuito do RB

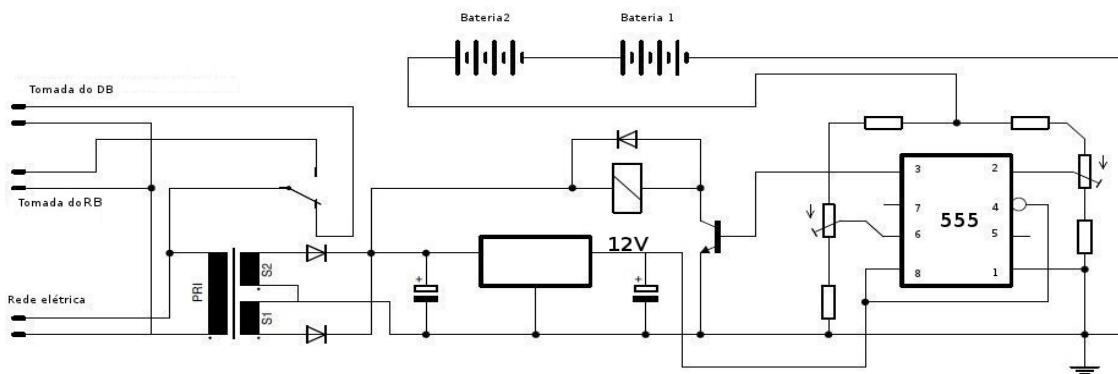


Figura 4 - Esquema elétrico do circuito CACD.

Com o DB e o RB é possível descarregar e recarregar as baterias com corrente ajustada, no caso, em 5A para a descarga e 10A para a recarga, e comparar a curva de descarga tensão x tempo com as curvas que os fabricantes das baterias fornecem, simplificar a análise de energia fornecida e recebida por cada bateria.

Com esses equipamentos duas baterias de 12V/105Ah são equalizadas (recarregadas e depois mantidas ligadas em paralelo por 24hrs), colocadas em teste por alguns dias em ciclos ininterruptos de carga e descarga ligados conforme ilustra Fig. 5. Como o DB possui saída para monitoramento de corrente, essa saída será usada para ajudar a identificar se os dados medidos são da recarga ou descarga.

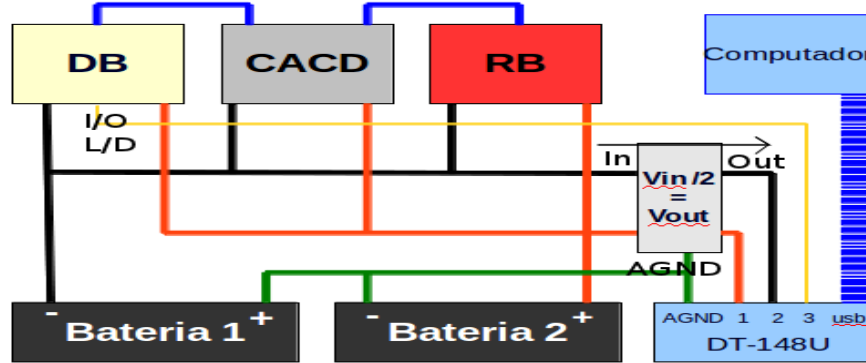


Figura 5 - Diagrama em blocos e conexões do sistema.

3. RESULTADOS

Usando o DB dentro de uma caixa sem ventilação foi realizado o teste de funcionamento. Depois de 24 horas de funcionamento com 35V foram realizadas medidas variando a tensão de -0,1V cujos resultados encontram-se a seguir em Tab. 1:

Tabela 1. Características do DB.

Temperatura ambiente	Temperatura máxima dos componentes de potência	Tensão de trabalho	Corrente
35°C	62°C	De 15 a 35V	5,00 +/- 0,02A

No RB, o sensor de corrente é um **SHUNT**, um resistor de baixa resistência. A corrente que passa por ele faz surgir uma tensão entre seus terminais. Através da Lei de Ohm, sabendo a tensão no *shunt* e sua resistência ôhmica, é simples calcular a corrente nele. Ver Eq. 1.

$$I = V / R \text{ (sendo } V = \text{tensão, } I = \text{corrente e } R = \text{resistência)} \quad (1)$$

No entanto, em nosso caso, como usamos partes da senoide temos uma corrente pulsante que provoca uma tensão pulsante **E** como foi visto na Fig. 3. Para calcular a tensão eficaz ou V_{rms} (*rms: root mean square*) de uma tensão pulsante aplica-se Eq. 2. Conhecendo V_{rms} e aplicando a Lei de Ohm, obtém-se a corrente eficaz.

$$V_{rms} = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=N} V_i^2 \right)^{1/2} \quad (2)$$

Para fazer um circuito com saída de tensão praticamente constante e ainda proporcional à V_{rms} , foi usado um filtro passa-baixas frequências, do qual foi obtido ótimos resultados. Através de tentativas de erros e acertos o ponto de corte do filtro em que o sensor de corrente funcionou bem foi de 1,6Hz, as oscilações com frequências acima deste valor sofrem uma atenuação de -6dB por oitava. Como a frequência da rede elétrica é de 60Hz e são usados os dois semiciclos da senoide, temos pulsos com a frequência de 120Hz (ver **E**, Fig. 3). O filtro passa-baixas transforma esses pulsos em um sinal com a tensão mais constante, com as oscilações bem atenuadas, parecido com **F** (Fig. 3). O **IC5A** (Fig. 2) foi configurado como filtro passa-baixas e tem um ganho de -10x, ou seja, todo sinal que entra sai com a amplitude dez vezes maior, com polaridade invertida e depois passa por **IC5B** que, junto com **R11** (Fig. 2), é usado no dispositivo para ajuste de sensibilidade e também, conseqüentemente, da corrente de recarga. Usando um osciloscópio digital que tem a capacidade de fornecer V_{rms} de **E**, pudemos identificar a eficácia do sensor de corrente.

Foram realizadas 10 medidas de tensão RMS na entrada (tensão no shunt) e na saída do filtro passa-baixas para certificar que o mesmo responde linearmente com a corrente eficaz (ver Fig. 9). Para os gráficos, o eixo vertical será análogo a y, e o eixo horizontal será análogo a x, ambos do plano cartesiano sendo a equação da reta:

$$y = Ax + B \tag{3}$$

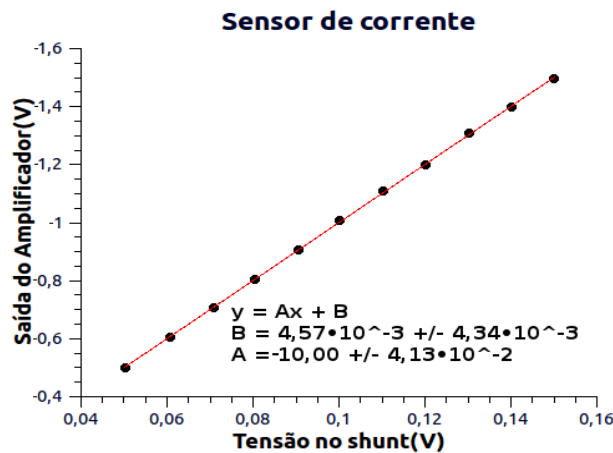


Figura 6 - Verificação da linearidade entre o sinal de entrada e o sinal de saída do filtro passa-baixas.

Foi também necessário verificar se a resistência do *shunt* não variava com a temperatura. Com uma corrente fixa em 3A medimos a temperatura e a tensão no *shunt*, depois o mesmo foi aquecido e foi anotada a variação de tensão, ver Tab. 2.

Tabela 2. Características ôhmicas do *shunt* conduzindo uma corrente de 3A.

Temperatura (°C)	25,00	100,00
Tensão (mV)	26,40	26,50
Resistência calculada (mΩ)	88,00	88,33

Antes do RB ser construído foi realizado um teste com duas baterias estacionárias Moura® de 12V/105Ah retiradas de um banco de baterias em uso no laboratório, neste teste foi usado um recarregador de baterias automotivo que permitia o ajuste de tensão de recarga, dessa forma, a corrente de recarga dependia muito da carga presente nas baterias (estado de carga). A corrente de recarga não foi medida, por isso, não sabemos sobre a energia recebida pelas baterias durante o teste.

Cada bateria foi identificada pelo seu número de série (PGXXXX). A bateria PG0205 foi conectada como Bat1 (no potencial negativo) e a PG0206 como Bat2 (no potencial positivo).

Fig. 7 ilustra a tensão nas baterias durante os ciclos de recarga e descarga, neste teste o recarregador de baterias não era de corrente estabilizada e O CACD foi calibrado com o limite inferior de 21V e o superior de 30V.

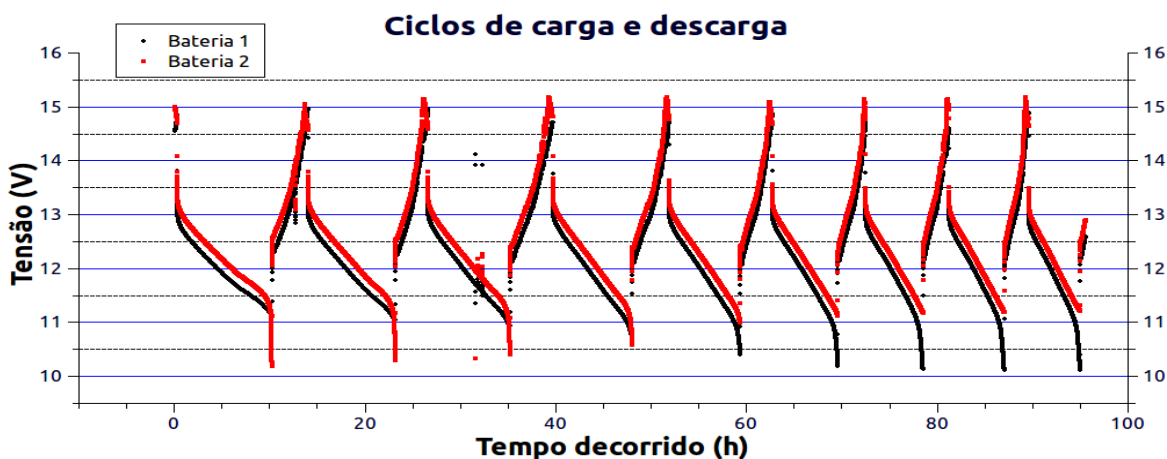


Figura 7 - Tensões de cada bateria no decorrer do tempo.

Podemos observar que Bat2 (Bateria 2), nos primeiros ciclos, foi descarregada até uma tensão abaixo da mínima recomendada e depois, nos últimos ciclos, a situação se inverteu, a Bat1 (Bateria 1) sofreu descargas profundas, abaixo de 10,5V.

Fazendo um somatório dos valores das tensões medidas em cada bateria durante cada ciclo de descarga, multiplicando por dois que é o tempo entre cada medida, temos a seguinte equação:

$$Área = 2 \sum V$$

Que fornece um valor numérico referente à área de cada coluna nos gráficos da Fig. 8, multiplicando esse valor por cinco que é a corrente de descarga temos então a energia fornecida em cada ciclo de descarga.

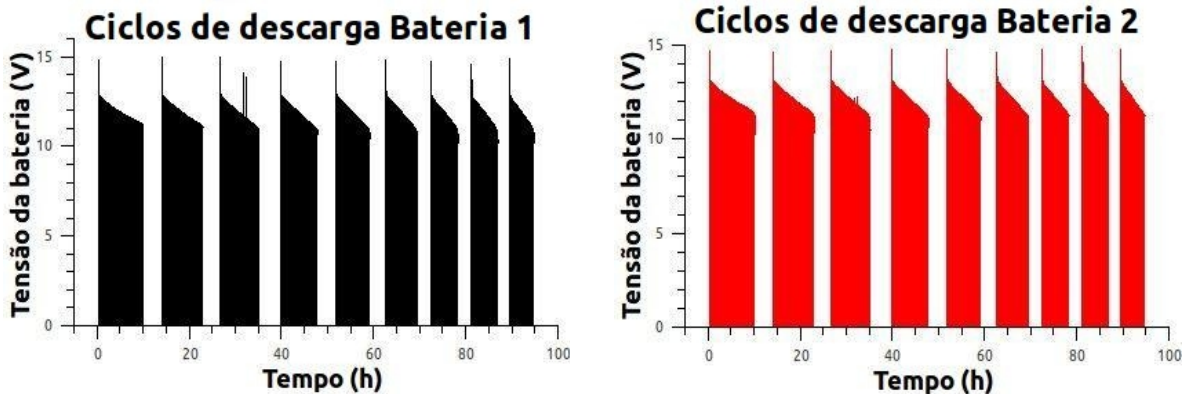


Figura 8 - Tensão das baterias durante os ciclos de descarga.

Abordando a capacidade de fornecimento de energia durante os ciclos de descarga comparando as inclinações das retas do gráfico Fig. 9.1 temos que a diferença entre elas é de 1,1%, mostrando um comportamento semelhante das baterias. Para o gráfico Fig. 9.2 a diferença da inclinação das retas é de 1,8%. Aqui também observamos um comportamento das baterias muito parecido no que diz respeito ao fornecimento de energia.

Nada podemos afirmar sobre a energia fornecida para as baterias durante a recarga, surge então a necessidade de criar o RB.

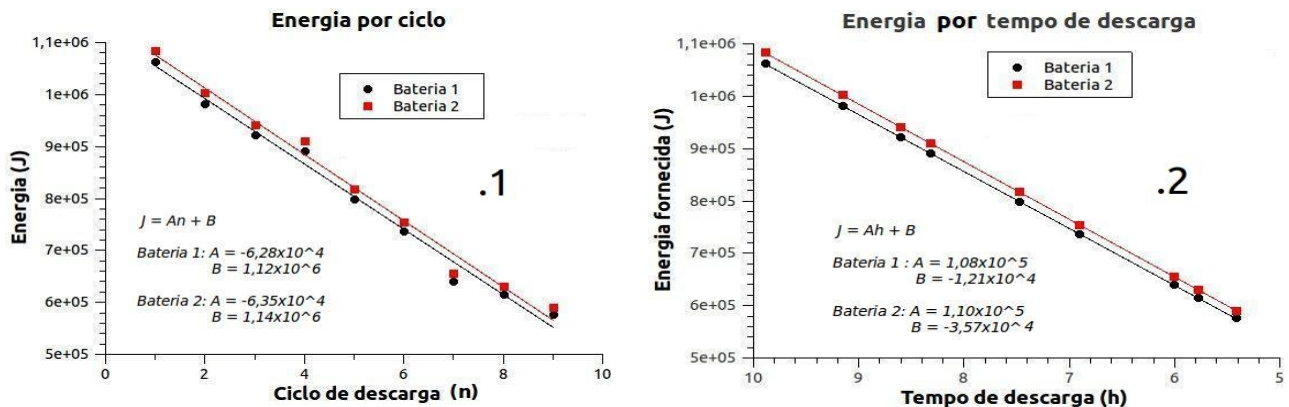


Figura 9 - Em .1, a energia fornecida por cada bateria em cada ciclo de descarga sendo o B a energia na bateria em plena carga. Em .2, a energia fornecida por cada bateria em função do tempo de duração da descarga sendo B a energia na bateria quando h = 0.

Depois de criar o RB foram realizados outros testes com correntes de recarga de 10A e descarga de 5A que chamaremos de teste2 e teste3. Nesses últimos testes o CACD foi reajustado com limite superior de 29V e limite inferior de 21,5V para evitar descargas profundas como ocorreram no primeiro teste, isso contribui com a redução do tempo de cada ciclo (ver Fig. 10). A partir de agora, para todos os testes com esses dispositivos, as baterias serão equalizadas. No teste2 as baterias foram ligadas em série para a realização do teste, sendo agora, Bat1: PG0206 e Bat2: PG0205. No teste3 as baterias foram novamente trocadas de posição, sendo Bat1: PG0205 e Bat2: PG0206.

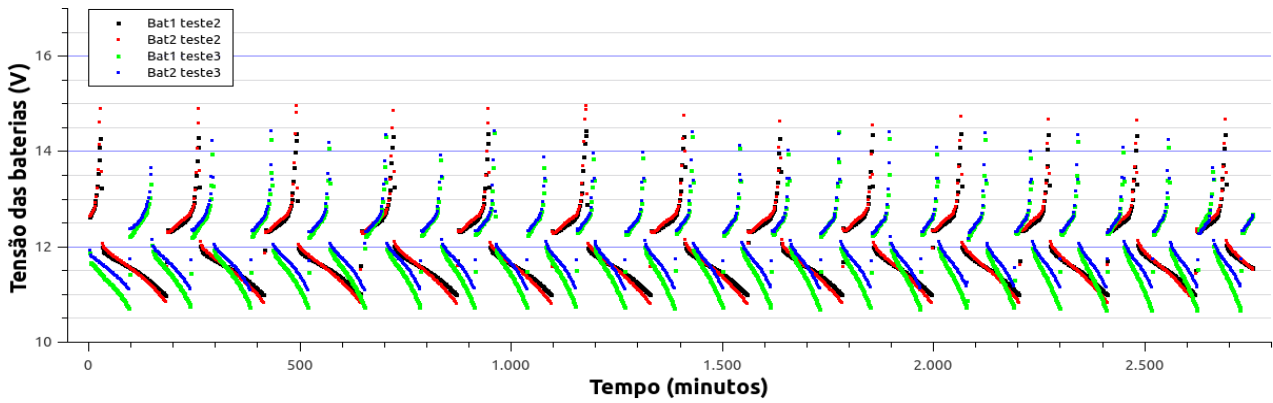


Figura 10 - Tensão nas baterias durante os testes teste2 e teste3.

Invertendo as posições das baterias o comportamento de suas tensões muda como observa-se em Fig. 10, onde no teste2 os valores de tensão das baterias se cruzam enquanto, no teste3, mantêm-se afastados. A Fig. 11 mostra mais detalhado a curva de descarga do primeiro e do ultimo ciclo apresentado em Fig. 10. Fig. 12 mostra a energia recebida e fornecida pelas baterias durante os testes, também mostra, que, tanto a energia recebida, quanto fornecida diminui a cada ciclo. A análise dos pontos dos gráficos Fig. 12 estão na Tab. 3.

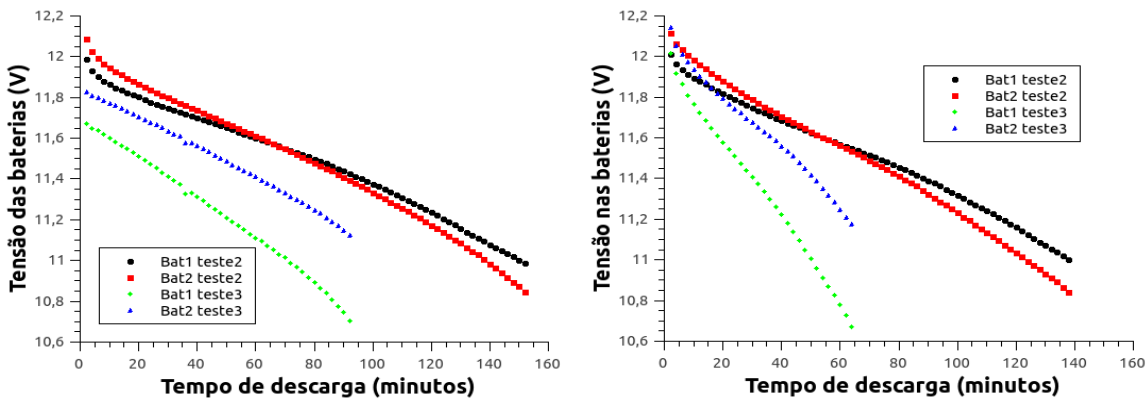


Figura 11 - Curvas de descarga, à esquerda, primeiro ciclo, à direita, ultimo ciclo dos testes.

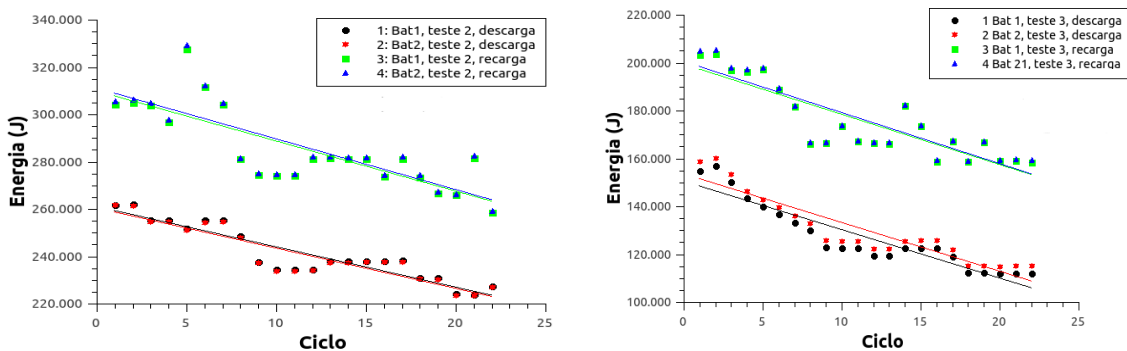


Figura 12 - Energia recebida e fornecida pelas baterias durante os testes.

Tabela 3. Coeficientes das retas de Fig. 12, sendo análogos à reta $y = Ax + B$

	Descarga		Recarga	
	A	B	A	B
Bat1, teste2	$-1,70 \cdot 10^3 \pm 1,57 \cdot 10^2$	$2,60 \cdot 10^5 \pm 2,06 \cdot 10^3$	$-2,12 \cdot 10^3 \pm 3,59 \cdot 10^2$	$3,10 \cdot 10^5 \pm 4,72 \cdot 10^3$
Bat2, teste2	$-1,70 \cdot 10^3 \pm 1,56 \cdot 10^2$	$2,60 \cdot 10^5 \pm 2,05 \cdot 10^3$	$-2,14 \cdot 10^3 \pm 3,64 \cdot 10^2$	$3,11 \cdot 10^5 \pm 4,78 \cdot 10^3$
Bat1, teste3	$-2,02 \cdot 10^3 \pm 1,78 \cdot 10^2$	$1,50 \cdot 10^5 \pm 2,34 \cdot 10^3$	$-2,10 \cdot 10^3 \pm 2,66 \cdot 10^2$	$1,99 \cdot 10^5 \pm 3,50 \cdot 10^3$
Bat2, teste3	$-2,03 \cdot 10^3 \pm 1,83 \cdot 10^2$	$1,53 \cdot 10^5 \pm 2,40 \cdot 10^3$	$-2,13 \cdot 10^3 \pm 2,70 \cdot 10^2$	$2,01 \cdot 10^5 \pm 3,55 \cdot 10^3$

4. CONCLUSÕES

Depois de todos os testes realizados, conclui-se que os circuitos para a bancada estão funcionando perfeitamente e cumprem o objetivo proposto. Através desse sistema é possível obter curvas de descarga com corrente constante para compará-las com curvas fornecidas pelos fabricantes de baterias, e ainda, simplificar a quantização da energia recebida e fornecida pelas baterias.

As baterias apresentaram um comportamento semelhante ao detectado em campo onde são usadas ficando com tensões diferentes. Observa-se também que, quando a bateria PG0205 está conectada ao potencial positivo os valores de tensão das baterias se cruzam, invertendo a posição das baterias se mantêm afastados. Isso indica uma influência da posição da bateria na série.

A recarga perde eficiência a cada ciclo devido ao desequilíbrio das tensões das baterias, uma vez que a bateria com a tensão maior apresenta um aumento de tensão durante a recarga mais rápido que a outra fazendo que a tensão da série atinja o valor de carga plena sem que uma das baterias esteja completamente carregada.

Este trabalho não é conclusivo. Ainda não é possível compreender as causas desse comportamento das baterias, mais testes estão sendo realizados com o propósito de compreendê-lo.

Agradecimentos

À UEFS, PROBIC, LABENSOL, ao Professor Orientador Germano Pinto Guedes e aos colegas de laboratório.

REFERÊNCIAS

- Aguera, A.L.; E. Lorenzo, E., Marques, P. G., Rodriguez, I. C., Zas, E., Solar Panels for Auger Southern Observatory: A quality check, GAP Note 2005-106.
- Aguera, A.L., Rodriguez, I., Torres, C.M., Barbosa, A.F., Pepe, I.M., Guedes, G.P., Soares, L.C.S., Rosolem, M.F.N.C., Batteries Performance Characterization-II, GAP Note 2008-043.
- Barbosa, A.F., Pepe, I.M., Guedes, G.P., Soares, L.C.S., Aguera, A.L., Rodriguez, I., Rosolem, M.F.N.C., Batteries Performance Characterization-I, GAP Note 2007-022.
- Boylestad, R.L., 2004. Introdução à Análise de Circuitos, 10ª ed., Pearson Prentice Hall ().
- Grupo de Trabalho de Energia Solar - GTES, 2004. Cepel-Cresesb, Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos, PRC-Prodeem.
- Hayt, W.H. Jr., Kemmerly, J.E., Durbin, S.M., 2008. Análise de Circuitos em Engenharia, 7ª ed, McGraw Hill.
- Palz, W., E 1981. Energia Solar e fontes alternativas. ed. rev. e ampl Sao Paulo: Hemus.
- Solar Energy International – SEI, 2004. Photovoltaics: Design and Installation Manual, New Society Publishers.

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A TEST BENCH FOR STATIONARY BATTERIES CONNECTED IN SERIES

Abstract. *The use of solar energy may be an option wherever the regular electric power supply is not accessible either for residential user or stand-alone scientific experiments. An example of this later application is in course in the Pierre Auger Cosmic Ray Observatory (www.auger.org). Assembled in the Pampa Amarilla desert, it has 1600 radiation surface detector, each of which has an autonomous photovoltaic power facility that allows its operations for 24h. All detectors are constantly watched by a central monitoring system that periodically reads electrical parameters (voltages and currents) for each detector. This continuous monitoring allowed us to study a behavior of 24V two-battery system which, in general, is not perceived or even known by most users of photovoltaic systems. After the first day-night cycles, the batteries' voltages become unbalanced but still keeping the sum to 24V of regulation. This difference increases with each cycle of charge and discharge, eventually going through the limits of battery voltages. To better study this problem we developed a setup to simulate in laboratory the charge-discharge cycles in a two-battery set with programmed and stabilized currents and so reproduce the field conditions in order to compare the discharge curves (voltage vs. Time) with the provided by manufacturers and, further, simplify the analysis of energy cycled by each battery. We present the results for the first tests using the apparatus showing its performance on charging-discharging cycling and the results using two-battery 24V set. We present curves where the unbalancing on both voltage and charge is even more evident with their use until near exhaustion. Project supported by student fellowship I.C. PROBIC /UEFS.*

Key words: *Solar Energy, Instrumentation, Electrics Measurements*