Estudo Para Melhoria de Sistemas Fotovoltaicos Isolados Utilizando Supercapacitores

Dr. André L. Gontijo*. Everton V. Escaramuça.**

**Docente IFSP, São João da Boa Vista - SP, (e-mail: algontijo@ ifsp.edu.br).*
***Graduando IFSP, São João da Boa Vista - SP, (e-mail: everton.escaramuca@gmail.com).*

Abstract: The increase in population and the improvement in the quality of life means that there is an increasing demand for energy in a scenario in which the energy supply does not grow in the same proportion, generating the need for better and more efficient management of energy and highlighting the importance of studies in the area of renewable energies. This project proposes the simulated development of an electrical energy management system isolated from the grid. The energy will be made available through a photovoltaic panel and an electrical energy storage system. The application should initially use only the energy from the photovoltaic panel, whose surplus will be stored in supercapacitors and in an electric battery during the period in which there is sunlight. Energy management will ensure that, in the event of a lack of alternative energy, the storage system, made up of supercapacitors, will keep the system in operation. If both the generation system and the storage system cannot supply the energy needed for the system to work, the battery would be used. The project's main focus is the efficient management for the use of energy in isolated systems from the grid, with the use of the energy generated using an alternative energy source.

Resumo: O aumento da população e a melhora na qualidade de vida faz com que haja uma demanda cada vez maior de energia em um cenário em que a oferta de energia não cresce na mesma proporção, gerando a necessidade de uma gestão melhor e mais eficiente da energia e destacando a importância de estudos na área de energias renováveis. Este projeto tem como proposta o desenvolvimento simulado de um sistema de gestão de energia elétrica isolado da rede. A energia será disponibilizada através de um painel fotovoltaico e um sistema de armazenamento de energia elétrica. A aplicação deverá inicialmente utilizar para a alimentação apenas a energia proveniente do painel fotovoltaico cujo excedente será armazenado em supercapacitores e em uma bateria elétrica durante o período em que houver luz solar. A gestão de energia servirá para que, caso falte energia alternativa, o sistema de armazenamento, composto de supercapacitores mantenha o sistema em funcionamento. Caso tanto o sistema de geração quanto o sistema de armazenamento não possam fornecer a energia necessária para que o sistema funcione, a bateria seria utilizada. O projeto tem como principal foco a gestão eficiente para o uso da energia em sistemas isolados da rede, com a utilização da energia proveniente utilizando uma fonte alternativa de energia.

Keywords: Alternative energy; Supercapacitor; Photovoltaic panel; Energy Efficiency; Efficient Energy Consumption.

Palavras-chaves: Energia Alternativa; Supercapacitor; Painel Fotovoltaico; Eficiência Energética; Consumo Eficiente de Energia.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento humano e a melhoria na qualidade de vida estão diretamente relacionados ao o consumo de energia. Com a melhoria na qualidade de vida, há um aumento na demanda energética como consequência (Martins et al. 2004). Por esta razão é imperativo estudar e desenvolver técnicas para controle e otimização das fontes alternativas de energia.

Com a evolução da tecnologia, a energia elétrica se tornou um recurso indispensável, que tem uma demanda cada vez maior e uma oferta que não cresce na mesma proporção. Uma projeção para os próximos anos realizada pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), através do Ministério de Minas e Energia estima um aumento no consumo de energia no setor residencial, comercial e industrial (EPE. 2016).

Em um estudo realizado constata-se que a produção de energia elétrica hidráulica, principal fonte de energia elétrica no Brasil, aumenta a um ritmo menor que a demanda de acordo com uma projeção de capacidade de produção por demanda de energia elétrica (Bronzatti ET al. 2008).

Sabe-se que, 40% da energia utilizada no setor de transporte e que atende o setor agropecuário brasileiro são provenientes da queima de combustíveis fósseis, contribuindo diretamente na emissão de gases que aumentam o efeito estufa, como (CO2, CO) (Pereira ET AL. 2006). A criação de usinas

hidrelétricas, apesar de serem consideradas como uma fonte de energia limpa devido à não emissão de gases prejudiciais ao meio ambiente, ainda pode causar grandes impactos ambientais. O aumento na demanda de energia e a redução de fontes de energias não renováveis, fazem com que seja gerado uma onda de investimentos no setor de energias renováveis ou energias alternativas, provenientes de fontes renováveis e não agressivas ao meio ambiente, como energias coletadas por meios eólicos ou solar. O Brasil possui a vantagem de ter durante todo o ano um alto potencial de aproveitamento da energia solar por ter sua maior parte territorial na região intertropical, que pode ser amplamente utilizada em regiões onde o investimento em rede elétrica convencional não é financeiramente viável.

Pode ser observado em outro estudo que, com crescimento da geração de energias renováveis o armazenamento de energia ganha um espaço ainda maior no Brasil e no mundo (Leite ET AL. 2017). Fontes de energia alternativas por se tratarem de fontes de energia intermitente, ou seja, podem produzir energia quando não há demanda ou também podem estar indisponíveis quando há uma alta demanda, torna o armazenamento de energia um ponto chave para a segurança energética do sistema, além de influenciar diretamente na legitimação da expansão dessas fontes renováveis de energia. Para uma utilização mais eficiente da energia alternativa é de grande importância o armazenamento de uma reserva de energia para uso posterior, que pode ser feito utilizando supercapacitores e/ou baterias.

Este projeto apresenta uma proposta de redução do uso da energia proveniente de baterias em uma aplicação isolada da rede elétrica e de pequeno porte e um estudo da autonomia do sistema proposto. A energia gerada através do painel fotovoltaico será inicialmente consumida pela aplicação (carga e bateria), e o excedente será armazenado em supercapacitores devido a sua capacidade de carregamento rápido e aproveitamento da energia, obtendo carga suficiente para manter o sistema em funcionamento quando não houver luz solar. O sistema de controle eficiente de energia proposto terá sua gestão feita por uma lógica de chaveamento a ser desenvolvida para controlar o fluxo de energia entre os componentes do sistema (Painel Solar, Supercapacitor, Bateria e Carga).

2. SOBRE PAINEIS FOTOVOLTÁICOS, SUPERCAPACITORES E A INTERAÇÃO ENTRE ELES.

2.1 Paineis Fotovoltáicos

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a conversão direta da energia solar em energia elétrica ocorre através de efeitos da incidência de irradiação solar sobre determinados tipos de materiais, em especial, semicondutores (ANEEL. 2008). A irradiação solar na superfície do planeta Terra, tem a capacidade de atender milhares de vezes o consumo anual de energia do mundo, porém esta irradiação não é uniforme na superfície do planeta. Para a conversão em energia elétrica de forma eficiente, depende de fatores como nebulosidade, umidade relativa do ar, latitude local e posição no tempo (hora do dia e dia do ano). A maior parte do território brasileiro está localizada em uma área próxima à linha do equador, não influenciando de forma considerável na duração solar do dia. O uso da irradiação solar pode ser usado para conversão de energia em painéis fotovoltaicos.

Segundo o Centro de Pesquisa de Energia Elétrica (CEPEL), células fotovoltaicas são constituídas basicamente por uma junção PN (CEPEL. 2014). Essa junção é um semicondutor feito de silício, que passa por um processo chamado dopagem. Quando a radiação solar atinge um átomo do semicondutor, por ser induzido energicamente, um elétron é liberado e é conduzido pelo campo elétrico interno, produzindo uma corrente elétrica. A escolha pelo silício, está relacionada à sua alta abundância no planeta, que chega a 30% no conjunto dos elementos que constituem a crosta terrestre, ao fato de não ser um elemento tóxico e pelo fato de ser a matéria prima mais utilizada na indústria eletrônica.

A união de várias células fotovoltaicas com suas combinações em série e paralelo é chamada de módulo (Navarro. 2015). Células fotovoltaicas ligadas em série produzem uma soma de tensão na saída, enquanto células ligadas em paralelo produzem uma maior corrente elétrica na saída. Considerando-se estes fatores, configurações serie – paralelo são construídas conforme a necessidade do projeto. A união de vários módulos constituídos de células fotovoltaicas caracteriza-se um painel fotovoltaico.

2.2 Supercapacitores

Os capacitores são capazes de carregar e descarregar rapidamente uma grande quantidade de energia por unidade de massa ou volume (Ferreira et al. 2005). Capacitores de placas paralelas tem seu armazenamento de energia definido pelo parâmetro dimensional proporcional à área das placas e inversamente proporcional à distância que as separa. Supercapacitores obedecem a este mesmo princípio, com uma enorme área superficial dos eletrodos e a mínima distância entre as cargas é possível armazenar uma grande quantidade de energia, fazendo com que um supercapacitor tenha capacidade equivalente a baterias, porém, devido ao seu descarregamento rápido, ainda não pode ser considerado um substituto adequado para uma bateria, porém é possível utilizá-lo como um auxiliar para a sustentação do sistema em falta de energia.

Baterias são dispositivos capazes de armazenar energia através da conversão de energia elétrica em energia química ou física (Silva. 2008). Baterias químicas são acumuladores de energia, que tem a capacidade de armazenar internamente, energia elétrica em forma de energia química, e fornecer esta energia química acumulada internamente novamente em energia elétrica através de um processo reversível. Possuem baixo valor de emissões prejudiciais ao meio ambiente, não emitem ruídos e demandam pouca manutenção, tornando vantajoso a sua utilização principalmente em sistemas que necessitam do armazenamento de energia.

Já um supercapacitor tem sua estrutura semelhante ao de uma bateria, porém, como a carga para este componente não envolve processos químicos, não há desgaste dos eletrodos, os tornando mais dinâmicos e duráveis (Rego. 2011). O supercapacitor é composto por dois eletrodos, que são uma estrutura porosa, normalmente composta de carbono, fazendo

com que a superfície do eletrodo tenha uma área de superfície específica maior que capacitores comuns. Os eletrodos são imersos em um eletrólito, com a finalidade de transportar as cargas elétricas entre eles.

Supercapacitores são componentes eletrônicos que tem como princípio de funcionamento os capacitores de placas paralelas, se diferenciando apenas pela sua alta capacidade de carga. A alta densidade de energia que pode ser acumulada nestes dispositivos torna os supercapacitores bons auxiliares como carga complementar de baterias.

2.3 Interação entre Paineis Fotovoltáicos e supercapacitores

O supercapacitor tem uma resistência série equivalente bem menor que os capacitores usuais, o que o torna o um elemento com uma capacidade de armazenamento de energia bem mais rápido que as baterias, porém seu tempo de descarga é também muito mais rápido, não mantendo a carga por tanto tempo em comparação às baterias.

A Fig. 1 mostra a curva característica de um painel solar para vários valores de irradiância. Nesta figura podemos observar que a irradiância tem efeito direto na corrente máxima do painel solar. Quando acoplamos um supercapacitor descarregado em paralelo ao painel solar, inicialmente o painel solar fornece a corrente de curto circuito ao supercapacitor, porém, com o tempo o capacitor se carrega e a tensão tende a tensão máxima do painel solar. Porém, como os supercapacitores tem tensões nominais mais baixas, da ordem de 2.7 Volts, é necessário colocar vários supercapacitores em série para compatibilizar a tensão máxima do supercapacitor equivalente e a tensão máxima do painel solar.

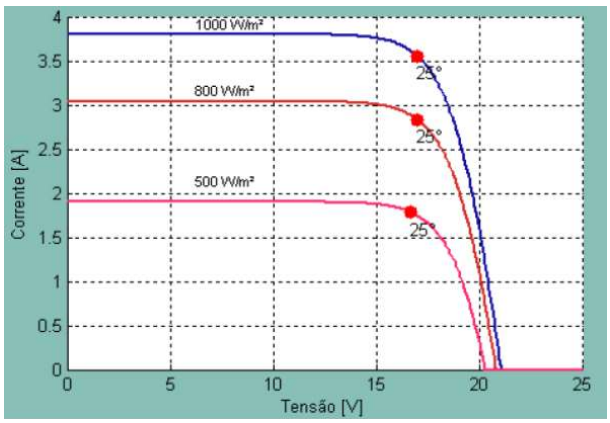

Fig. 1 Curva IxV de um Painel Fotovoltaico (Navarro. 2015).

A rapidez com que o supercapacitor lida com o armazenamento de energia faz com que ele funcione muito bem em paralelo com supercapacitores, pois pela variabilidade da irradiância que incide em um painel solar, o supercapacitor absorverá o máximo de energia possível mais rapidamente que uma bateria, aproveitando melhor o instante de maior irradiância no painel solar.

3. TOPOLOGIA PROPOSTA E METODOLOGIA

Através do aplicativo Simulink que faz parte do software Matlab® foi montada a simulação de cada componente da topologia proposta para aproveitar melhor a energia proveniente do painel solar. Esta topologia é composta de um painel solar, um banco de supercapacitores conectados em série, uma bateria, um conversor de tensão DC-DC do tipo Buck-Boost e uma carga.

O painel fotovoltaico está conectado aos supercapacitores, juntamente a uma bateria de lítio. O objetivo é que o sistema tenha autonomia suficiente para suprir a falta de energia durante períodos de sombreamento, sendo capaz de trabalhar de forma isolada da rede.

O funcionamento do sistema consiste na captação de energia solar que será convertida em energia elétrica através dos painéis fotovoltaicos, onde toda a potência gerada alimentará a carga através de um conversor de tensão buck-boost e o excedente de energia será armazenada pelos supercapacitores enquanto houver luz solar suficiente. A energia proveniente do painel solar alimentará a carga, os supercapacitores e a bateria, caso a irradiância no painel solar seja alta e a bateria não esteja completamente carregada. No caso da diminuição da irradiância e a potência do painel solar não ser mais capaz de alimentar a carga, o supercapacitor estará encarregado de manter a carga em funcionamento até que o mesmo seja descarregado e não possa mais suprir a carga. Neste momento a bateria entra em ação, suprindo a carga até que ela esteja descarregada. A montagem do modelo segue um esquema semelhante ao mostrado no diagrama da Fig. 2.

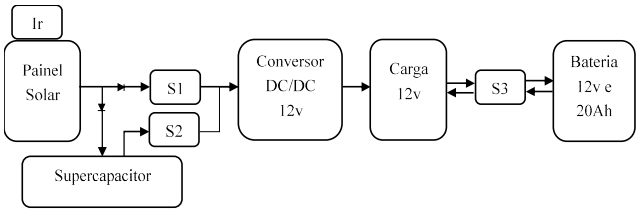

Fig. 2 Representação do fluxograma para a montagem do sistema (Escaramuça 2019).

O diagrama da Fig 2, representa a montagem de todo o sistema, onde o sensor de irradiação (Ir) identifica o nível de irradiação solar no painel e caso a irradiação solar seja suficiente para suprir a carga, o que equivale a uma irradiância maior que 400 W/m², a energia flui para a carga através da chave (S1) e carrega os supercapacitores simultaneamente. Caso a irradiação não seja suficiente para suprir a carga (Ir<400W/m²), toda a energia produzida não passa diretamente pelo conversor, mas, é exclusivamente direcionada para o supercapacitor que fica encarregado de suprir a tensão na entrada do conversor através da chave (S2) enquanto segue sendo alimentado pelo painel solar. Nota-se que as chaves S1 e S2 são complementares e dependem exclusivamente da irradiância.

A chave (S3) é encarregada de ligar e desligar a bateria dependendo do nível de irradiação solar no painel, da tensão no supercapacitor e da carga na bateria. Se a irradiação for alta (Ir>1000W/m²), a tensão no supercapacitor for alta (Vc>10V) e a carga da bateria for menor que 90% , a bateria se conecta para se carregar. Se a irradiação no painel for baixa (Ir<400W/m²),a tensão no supercapacitor for baixa (Vc<3.5V) e a carga da bateria for maior que 5% da nominal, a bateria conecta-se ao sistema para alimentar a carga. A

chave S3 somente desliga quando a tensão no capacitor for maior que 10 Volts ou quando a carga na bateria for menor que 5% da nominal. A Fig. 3 mostra a construção completa da topologia no Simulink do Matlab.

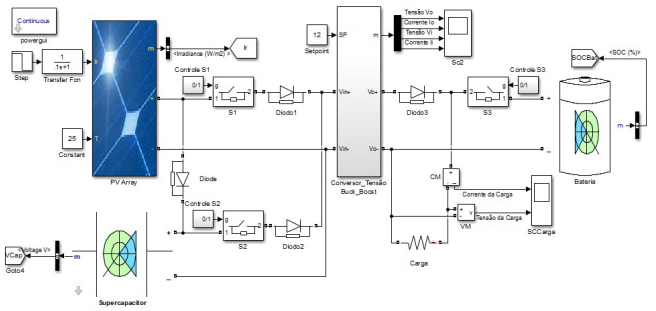

Fig. 3 Sistema para simulação em sua montagem completa (Escaramuça 2019).

O painel fotovoltaico utilizado na simulação tem como características uma potência nominal de 73.5 Watts com uma tensão em circuito aberto (Voc) de 12 Volts e uma corrente de curto circuito (Isc) de 7.84 Ampéres. A tensão (Vmp) e a corrente (Imp) no ponto de máxima potência são, respectivamente, 10 Volts e 7.35 Ampéres. A Fig. 4 mostra a curva característica do painel fotovoltaico escolhido.

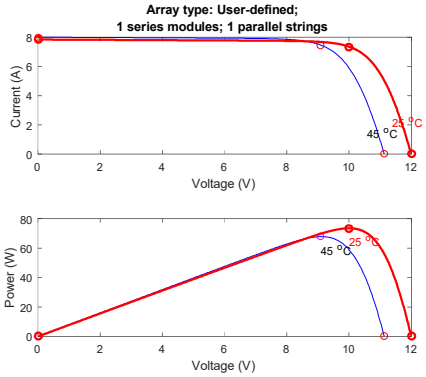

Fig. 4 Curva característica IxV do painel utilizado (Escaramuça 2019).

O banco de supercapacitores utilizado é composto por 5 capacitores de 30 Farads em série com tensão máxima de 2.7 Volts e resistência série equivalente de 8.9 mΩ em cada supercapacitor. A característica do banco de supercapacitores é de uma capacitância equivalente de 6F com uma capacidade de tensão máxima de 13.5 Volts e uma resistência série equivalente de 44.5 mΩ.

A bateria utilizada é do tipo lítio-Íon com capacidade de 20Ah, tensão nominal de 12 Volts e tempo de resposta de 30 segundos.

O conversor escolhido para simulação é do tipo buck-boost, sendo capaz de obter tensões de saída menores e maiores que a tensão de entrada, o que dá mais autonomia ao usuário na escolha da tensão de saída. Para facilitar a simulação ele foi modelado como uma representação do valor médio sem perdas, onde deve ser observada a relação entre a potência de entrada e saída conforme (1). Assim, a corrente de entrada é definida pela corrente de saída e a tensão de entrada, que são valores medidos no modelo, e pela tensão de saída, definida pelo usuário através da variação da razão cíclica (D) conforme (2).

$$I_i = \frac{V_o \cdot I_o}{V_i} \tag{1}$$

$$V_o = \frac{D}{1-D} \cdot V_i \tag{2}$$

O controle do conversor foi feito em malha fechada, utilizando um controlador PI. Foi considerado que o conversor teria um tempo de resposta de 0.5 segundo para que a simulação fosse mais realista, porém este parâmetro estimado não afetaria a objetivo final do projeto, pois mesmo que a função de transferência do conversor fosse diferente, a resposta do conversor poderia ser ajustada bastando mudar o controlador. A Fig. 5 mostra o modelo do conversor desenvolvido no Simulink. Observam-se na figura os blocos chamados Atraso1 e Atraso2, que foram colocados para evitar erros numéricos de loop algébrico.

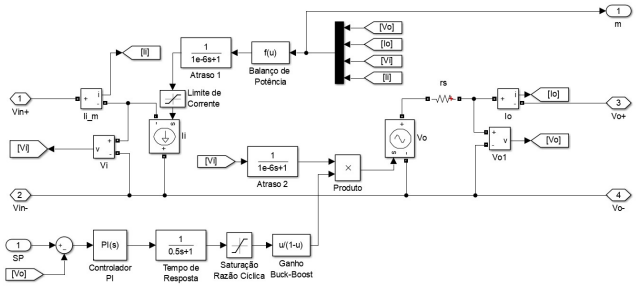

Fig. 5 Esquemático do conversor Buck-Boost (modelo do valor médio) e seu controle (Escaramuça 2019).

As simulações foram realizadas com o conversor de tensão configurado para uma tensão de saída estabilizada em 12 Volts. Deste modo, devido ao diodo3, apresentado na Fig. 3, a bateria não será carregada. Isto porque o objeto de estudo seria o tempo de funcionamento do sistema e a carga da bateria incluiria outra variável no estudo aumentando o tempo de simulação, além disto, a bateria foi ajustada inicialmente em 10% do valor de sua carga nominal em todas as simulações, para uniformizar os estudos sobre a autonomia do sistema. Como carga foi escolhido um resistor de 4Ω em paralelo com o sistema para o primeiro e segundo testes e de um resistor de 8 Ω para o terceiro teste.

4. RESULTADOS

4.1 Resultado do Primeiro Teste

O primeiro teste foi feito sem o banco de supercapacitores com objetivo de estudar a autonomia do sistema somente com a bateria. Assim, tanto o banco de supercapacitores, quanto as chaves S1 e S2 da Fig. 3 foram suprimidos do teste realizado. A chave S3 neste teste é dependente somente da irradiância e da carga da bateria, onde ela seria ligada quando a irradiância estiver baixa e a carga da bateria for maior que 5% e desligada quando a irradiância for alta ou a carga na bateria for menor que 5%.

A simulação se inicia com um período inicial de plena iluminação, com irradiância de 6000W/m², mas quando a

simulação atinge 100 segundos, a irradiância decai para 200W/m². Com este valor o conversor não consegue ter uma tensão de saída de 12 Volts e assim a bateria entra em ação até que sua carga acabe. O resultado pode ser observado na Fig. 6, que mostra a tensão e corrente na carga até 569.7 segundos e na Fig. 7, onde aparece o mesmo sinal aproximado.

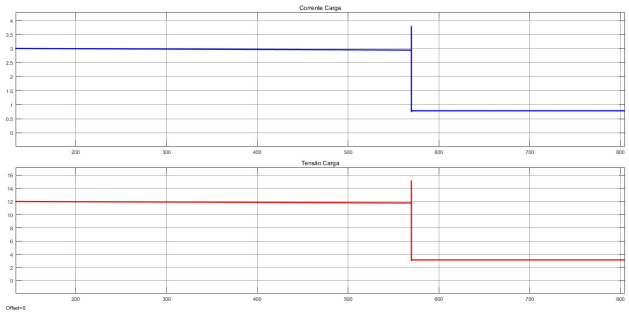

Fig. 6 Resposta da alimentação da carga somente com a bateria.

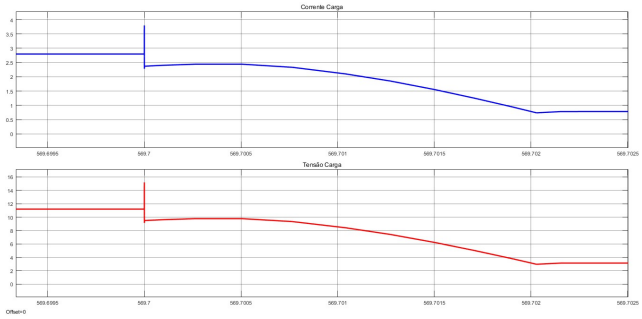

Fig. 7 Resposta de corrente e tensão na carga.

Pode-se notar que a bateria rapidamente assume o fornecimento de energia para a carga a partir do tempo de 100 segundos e que o sistema apresenta uma autonomia de 569.7 segundos para uma bateria com carga inicial de 10% da carga nominal. A oscilação que aparece na Fig. 7 logo após o tempo de 569.7 segundos acontece porque o conversor DC-DC está tentando regular a tensão de saída, porém a tensão de entrada, proveniente do painel fotovoltaico é insuficiente devido à baixa irradiância que incide sobre ele e a tensão cai.

4.2 Resultado do Segundo Teste

No segundo teste, repete-se a situação do primeiro, mas agora com o sistema funcionando com os supercapacitores, conforme a Fig. 3. O resultado desta simulação será comparado com o primeiro teste para verificar a autonomia do sistema, isto é, em quanto tempo a carga será alimentada sem o total colapso do sistema. A Fig. 8 mostra o resultado do teste.

Pode-se observar que, inicialmente o painel fotovoltaico assume a energização da carga através do conversor DC-DC devido à alta irradiância, porém, no instante igual a 100 segundos a irradiância cai abruptamente e o banco de supercapacitores, que se carregou durante o período de alta irradiância, assume a energização da carga até que sua tensão seja menor que 3.5 Volts, onde a bateria assume a carga enquanto o painel fotovoltaico carrega o banco de supercapacitores.

Quando este banco de supercapacitores se carrega com uma tensão maior que 10 Volts, a bateria é desligada e o ciclo se repete, com os supercapacitores suprindo a carga, até que a bateria não possa mais suprir a carga, ocorrendo o colapso do sistema. Assim a autonomia do sistema foi de 1000 segundos onde por 100 segundos o painel fotovoltaico alimentou a carga, por 615 segundos a bateria alimentou a carga a por 285 segundos o supercapacitor alimentou a carga.

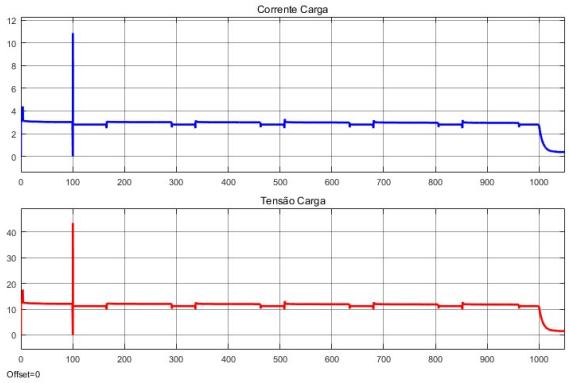

Fig. 8 Autonomia de funcionamento do sistema com bateria e supercapacitor (Escaramuça et al. 2019).

Em comparação ao primeiro teste houve um aumento de 430.3 segundos na autonomia do sistema para as mesmas condições impostas, validando que a aplicação da topologia realmente fornece uma maior autonomia de forma a suportar por mais tempo períodos de sombreamento no painel fotovoltaico.

4.3 Resultado do Terceiro Teste

O último teste aborda um estudo sobre a relação entre a autonomia do sistema e o tamanho do banco de supercapacitores. Neste teste a mesma situação do segundo teste é aplicada, modificando o valor da carga para uma resistência de 8Ω e variando-se somente a capacitância do supercapacitor a fim de verificar como este parâmetro influi na autonomia do sistema.

Tabela 1. Autonomia por capacitância

Capacitância (F)	Autonomia (s)
30	3252
60	4110
80	4657
100	5532
120	5717
150	2900
200	3368
230	3684
260	3710
280	3750
300	3786

A tabela I apresenta a relação do supercapacitor utilizado no banco de supercapacitores e a autonomia do sistema. Nota-se que com o aumento da capacitância aumenta-se a autonomia

até o valor de capacitância de 120F, onde a partir deste valor há um decréscimo da autonomia do sistema sugerindo a existência de um valor ótimo para o dimensionamento do banco de supercapacitores.

Uma interpretação seria que, a partir de um determinado valor de supercapacitor, para uma mesma irradiância do painel solar, é mais demorada a carga deste supercapacitor, o que aumenta o tempo de utilização da bateria, ocasionando a diminuição da autonomia.

5. CONCLUSÃO

A utilização de supercapacitores no sistema juntamente com o sistema de controle, gera uma diferença significativa na autonomia, já que é possível o aproveitamento de uma baixa potência que não é suficiente para carregar uma bateria ou alimentar o sistema de modo correto, sendo esta potência então armazenada no supercapacitor para que quando for suficiente, alimente o sistema de modo efetivo, fazendo com que a bateria mantenha carga reservada e seja usada de modo eficiente, aumentando sua autonomia, já que utiliza-se de uma potência que seria descartada e não aproveitada em uma montagem de um sistema onde não houvesse o supercapacitor e o sistema de controle colaborando para o uso eficiente desta energia.

O sistema foi projetado tendo como base a representação de uma aplicação genérica, e sendo toda a simulação feita levando-se em consideração os parâmetros utilizados, porém, este sistema é versátil, e com adaptações pode ser implementado para a utilização em outras aplicações como um sistema para carregamento de celulares, tablets e notebooks, alimentação de aparelhos de comunicação, meteorológicos em lugares remotos ou centros de pesquisas móveis.

Deste modo, embora o sistema proposto não implemente o seguidor de máxima potência no conversor, ele apresenta uma opção para sistemas isolados mais simples, mas cuja alimentação não pode estar sujeita a variações bruscas de insolação.

Para projetos futuros, pode-se considerar estudos de comportamento do sistema substituindo-se o conversor de modelo médio apresentado neste projeto por um conversor chaveado. Ainda podem ser desenvolvidos estudos mais aprofundados sobre o dimensionamento do conjunto que envolve painel solar, supercapacitor e bateria, com a finalidade de se obter um melhor rendimento. Outro estudo a ser desenvolvido é o uso do seguidor de máxima potência com uma variação do sistema proposto, de forma a otimizar o sistema.

AGRADECIMENTOS

Em memória ao colega Maurício de Oliveira e Silva que, através de seu conhecimento, pode contribuir de forma importante no trabalho que gerou este artigo.

REFERÊNCIAS

ANEEL. (2008). *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*, 3ed. ANEEL, Brasília.

Bronzatti, F.L. e Neto, A.I. (2008). Matrizes Energéticas no Brasil: Cenário 2010 - 2030. *XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção,* Rio de Janeiro.

CEPEL. (2014). *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*, 1ed. CEPEL, Rio de janeiro.

EPE (2016). Demanda de Energia 2050. *Nota Técnica DEA,* Rio de Janeiro.

Escaramuça, E.V. (2019). Desenvolvimento de Sistema de Gestão Eficiente de Energia Elétrica com Aproveitamento da Energia Solar. *TCC Engenharia de Controle e Automação,* IFSP - São João da Boa Vista.

Ferreira, A.A. e Pomilio, J.A. (2005). Estado da Arte Sobre a Aplicação de Supercapacitores em Eletrônica de Potência. *Revista Brasileira de Eletrônica de Potência (SOBRAEP),* volume (10), pp 25-32.

Leite, N.T., Delgado, M. e Hage, F. (2017). Os Desafios do Armazenamento de Energia no Setor Elétrico. *Boletim de Conjuntura do Setor Energético – Fundação Getúlio Vargas,*pp 9-12.

Martins, F.R., Pereira, E.B. e Echer, M.P.S. (2004). Levantamento dos recursos de energia solar no Brasil com o emprego de Satélite Geoestacionário – o Projeto Swera INPE. *Revista Brasileira do Ensino de Física,* volume (26), pp 145-159.

Navarro, C.L., (2015). Sistema Autônomo de Iluminação Utilizando Energia Solar. *TCC Bachalerado em Engenharia Elétrica,* UNESP - Guaratinguetá.

Pereira, E.B., Martins, F.R. e Abreu, S.L. (2006). *Atlas Brasileiro de Energia Solar*, 1.ed. INPE - São José dos Campos.

Rego, E. (2011). Fornecimento de Energia para Bateria Através de Supercapacitores a Partir de Diferentes Níveis de Carga. *TCC Tecnologia em Manutenção Industrial,* UTFPR - Medianeira.

Silva, B. (2008). Estudo de Soluções Alternativas de Armazenamento de Energia para Diferentes Horizontes Temporais. *Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores,* Universidade do Porto.