

FONTE ININTERRUPTA DE ENERGIA DE DUPLA CONVERSÃO BIDIRECIONAL PARA INTEGRAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS E RASTREAMENTO DO PONTO DE MÁXIMA POTÊNCIA

William A. Venturini¹, João M. Lenz¹, Henrique Jank¹, José R. Pinheiro^{1,2}, Luiz A. C. Lopes³,
Fábio E. Bisogno¹

¹Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, Brasil

²Universidade Federal da Bahia, Salvador – BA, Brasil

³Concordia University, Montreal – QC, Canadá

e-mail: williamventurini@gmail.com, joaomlenz@gmail.com, hiquejank@gmail.com, jrenespinheiro@gmail.com,
lalopes@encs.concordia.ca, fbisogno@gmail.com

Resumo – Este trabalho propõe uma topologia de UPS de dupla conversão para a integração com painéis fotovoltaicos que permite o rastreamento do ponto de máxima potência sem a adição do usual conversor CC-CC para interface entre painéis e barramento CC. Os painéis são conectados diretamente ao barramento CC, e o MPPT é realizado pelo circuito de entrada. Através deste sistema, é possível alimentar cargas com uma tensão de saída regulada, independentemente dos distúrbios da tensão da rede pública, enquanto gerando energia fotovoltaica. Em caso de energia excedente, pode-se injetar corrente na rede, uma vez que o circuito de entrada possui característica bidirecional. O desempenho do sistema é validado através de resultados *Hardware-in-the-Loop*, os quais demonstram a funcionalidade da topologia proposta.

Palavras-chave – Energias renováveis, Fonte Ininterrupta de Energia, Geração Fotovoltaica

BIDIRECTIONAL DOUBLE-CONVERSION UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY FOR INTEGRATION OF PHOTOVOLTAIC PANELS AND MPPT

Abstract – This work proposes a double-conversion UPS topology for the integration with photovoltaic panels that allows the maximum power point tracking without the addition of the usual DC-DC converter for interface between panels and DC-link. The panel arrangement is connected directly to the DC-link, and the MPPT is performed by the input circuit. Through this system it is possible to feed loads with a regulated output voltage regardless of mains voltage disturbances while generating PV energy. In case of power excess, current can be injected into the mains since the input circuit has a bidirectional characteristic. The system performance is validated through *Hardware-in-the-Loop* results, which demonstrate the functionality of the proposed topology.

Keywords – Photovoltaic Generation, Renewable energy, Uninterruptible Power Supply

Artigo submetido em 04/11/2019. Primeira revisão em 08/12/2019. Aceito para publicação em 07/03/2020 por recomendação do Editor Marcello Mezaroba.
<http://dx.doi.org/10.18618/REP.2020.1.0064>

I. INTRODUÇÃO

Os sistemas elétricos de potência vêm se reconfigurando a partir da integração com fontes renováveis, tais como painéis fotovoltaicos (PV) e células a combustível, desenvolvendo assim o conceito de geração distribuída e fomentando a produção de energia em pequena escala e localizada próxima aos centros consumidores [1], [2]. Contudo, devido a sua característica variável e intermitente, a geração fotovoltaica pode acarretar problemas como flutuação de amplitude e frequência da tensão nos pontos com elevado número de conexões [3]. Dessa forma, para o crescimento adequado da matriz energética, é necessário o desenvolvimento de tecnologias mais inteligentes, flexíveis e adaptáveis, de forma a possibilitar o aumento da confiabilidade em conjunto com a redução de custos [4].

As fontes ininterruptas de energia (UPS - *Uninterruptible Power Supplies*) de dupla conversão são equipamentos eletrônicos reconhecidos pela capacidade de fornecer energia com excelente qualidade e de forma ininterrupta, tanto quando a rede elétrica permanece em condições normais de operação – modo normal de operação –, quanto em situações em que a rede pública encontra-se fora de limites preestabelecidos, momento em que a UPS entra no modo bateria de operação. Dessa forma, é possível a proteção de cargas críticas contra grande parte dos distúrbios provenientes da tensão fornecida pelas concessionárias de energia ou por sistemas isolados de geração [5]–[7]. Devido a estas características de desempenho e a elevada confiabilidade proporcionada, a conexão de painéis fotovoltaicos através de UPSs se torna uma alternativa interessante, porém ainda pouca explorada na literatura.

Em [8] é proposta uma UPS de 5 kW com possibilidade de acoplamento de painéis fotovoltaicos com o objetivo de aumentar a autonomia do banco de baterias e assim reduzir a dependência da energia da rede elétrica. Contudo, esta UPS alimenta a carga apenas quando são verificados problemas na rede pública, estando a carga sujeita a distúrbios na maior parte do tempo – uma vez que a carga é alimentada diretamente pela rede – além de não permitir o fluxo de energia dos painéis para a rede em casos de excedente de geração.

Uma configuração de microrrede com armazenamento de energia para geração fotovoltaica residencial é apresentada por [9]. As cargas são alimentadas diretamente pela rede elétrica, porém a topologia é capaz de mitigar distúrbios causados por

cargas não-lineares através do controle do inversor, bem como em uma UPS do tipo linha interativa [5]. O trabalho não aborda rejeição de distúrbios provenientes da rede, tais como sobretensões e afundamentos. É utilizado um conversor CC-CC para a conexão dos módulos PV e outro para a carga e descarga do banco de baterias. Ambos devem ser projetados para a potência nominal do sistema, de forma a suprir a carga quando uma falta é observada na rede elétrica.

Em [10] é utilizada uma UPS de dupla conversão com conexão de painéis PV e múltiplos inversores. A dupla conversão é caracterizada pelos dois estágios de conversão de energia, da tensão CA da rede para um barramento CC, e após em CA novamente até as cargas [5]. Esta topologia utiliza conversores CC-CC para o rastreamento do ponto de máxima potência (MPPT – *Maximum Power Point Tracking*) e também para a carga e descarga do banco de baterias. A proposta citada não considera a condição em que a potência dos painéis PV é maior que a demanda de carga. Todos os conversores devem ser dimensionados para a potência nominal do sistema.

De forma a contribuir com o estado da arte para topologias de interface entre fontes renováveis, rede pública e cargas, o presente trabalho propõe a integração de painéis PV na UPS de dupla conversão apresentada por [6], a qual é adaptada para realizar o MPPT sem que haja a necessidade de circuitos adicionais para tal conexão. Os módulos PV são conectados diretamente ao barramento CC, e a extração de máxima potência é realizada pelo sistema de controle do circuito de entrada, o qual utiliza como referência a tensão gerada pelo algoritmo de MPPT para a regulação da tensão total do barramento CC. Para isso, o sistema PV é projetado de modo a garantir que a faixa de excursão da tensão do barramento não comprometa os semicondutores, a tensão sintetizada para as cargas ou mesmo o rastreamento da máxima potência.

Toda a energia provida pelos painéis PV é entregue ao barramento CC, que a transfere para as cargas através do inversor, ou para a rede elétrica por meio do circuito de entrada, que possui característica bidirecional, em caso de excedente. Dessa forma, tem-se uma topologia de UPS capaz de fornecer uma tensão de saída com baixa distorção harmônica total (THD - *Total Harmonic Distortion*), independentemente da qualidade da tensão da rede pública, enquanto gerenciando a energia renovável provida pelos painéis PV. O desempenho do sistema proposto é validado através de resultados *Hardware-in-the-Loop* (HIL) para diferentes condições de carga, de irradiância solar, temperatura ambiente, e para o modo normal, bateria e durante a transferência entre os modos de operação da UPS.

Este artigo está dividido da seguinte forma: a seção II apresenta a topologia e o funcionamento da UPS de dupla conversão com integração de PV proposta; na seção III são detalhadas as malhas de controle do circuito de entrada bidirecional para os modos normal e bateria de operação; na seção IV é definido um perfil de missão PV, e através dele é derivado o projeto do sistema PV, bem como uma análise energética; a seção V apresenta os resultados obtidos a partir da implementação em uma plataforma HIL e na seção VI são sintetizadas as conclusões deste trabalho.

II. UPS DE DUPLA CONVERSÃO BIDIRECIONAL PARA A INTEGRAÇÃO DE PAINÉIS PV E MPPT

A topologia base da UPS de dupla conversão bidirecional proposta neste trabalho é apresentada em [6], na qual podem ser encontrados mais detalhes sobre a modelagem matemática, o sistema de controle e o projeto dos ganhos dos controladores desta estrutura. A Figura 1 apresenta a UPS de dupla conversão para a integração de painéis fotovoltaicos proposta. Na Figura 1.a é mostrada a topologia utilizada e na Figura 1.b o diagrama de blocos do fluxo de potência de acordo com os modos de operação: normal, bateria ou *bypass*.

A topologia é dividida em circuito de entrada, circuito auxiliar, barramento CC dividido, banco de baterias, painéis fotovoltaicos, inversor meia-ponte e chaves de transferência. O circuito de entrada é composto pelos interruptores S_{ret1} e S_{ret2} e pelo indutor L_{ret} ; o circuito auxiliar é formado por S_{aux1} , S_{aux2} e L_{aux} ; e o inversor é constituído pelos interruptores S_{inv1} e S_{inv2} , pelo indutor L_{inv} e pelo capacitor C_{inv} , que compõem o filtro de saída. As chaves de transferência ($T_{1,2,3,4,5,6}$) são utilizadas para conectar ou desconectar partes do circuito de acordo com o modo de operação do sistema. Os painéis PV são alocados diretamente no barramento CC, sem a necessidade da inclusão de circuitos específicos para o MPPT.

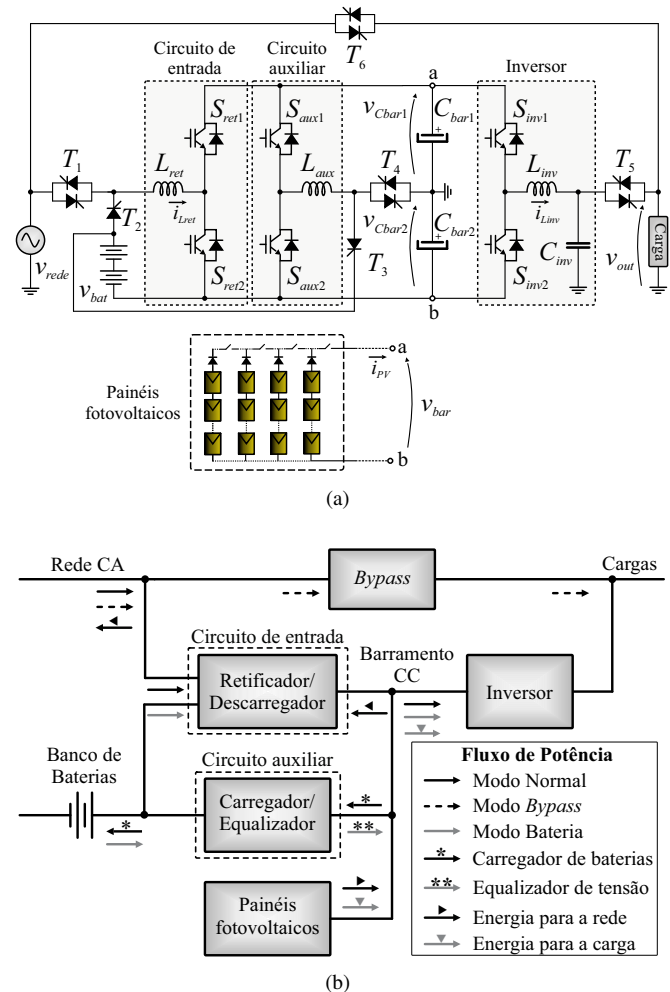


Fig. 1. UPS de dupla conversão para a integração de painéis PV. (a) Topologia. (b) Diagrama de blocos da transferência de energia.

Em modo normal de operação, L_{ret} é conectado à rede através de T_1 , e o circuito de entrada é utilizado para a correção do fator de potência, equalização das tensões sobre os capacitores de barramento ($C_{bar1,2}$) e regulação da tensão total de barramento (v_{bar}). O circuito auxiliar, através de L_{aux} e do tiristor T_3 , é utilizado como carregador do banco de baterias. Neste modo, T_2 e T_4 permanecem sem conduzir.

Em modo bateria, o circuito de entrada é primeiramente desconectado da rede por T_1 , e então conectado pela chave T_2 ao terminal positivo do banco de baterias, o qual é responsável por manter a tensão de barramento regulada no valor de referência. O circuito auxiliar é desconectado das baterias por T_3 e então conectado ao ponto central do barramento CC pelo tiristor T_4 , sendo empregado para a equalização das tensões sobre os capacitores de barramento. A função de equalização de tensão é necessária no modo normal e no modo bateria, pois em situações em que a UPS alimenta cargas que consomem correntes CC, essa componente é drenada de apenas uma das metades do barramento, causando assim um desequilíbrio entre as tensões sobre os capacitores do barramento CC. Em modo bateria, a UPS proposta não é capaz de controlar as tensões das duas metades do barramento CC de forma independente a partir do circuito de entrada, uma vez que os capacitores de barramento estão em série do ponto de vista deste circuito. Por esta razão é utilizado o circuito auxiliar como equalizador neste modo de operação.

O inversor meia-ponte sintetiza uma tensão senoidal na saída (v_{out}) com baixa THD tanto para o modo normal quanto para o modo bateria de operação. A chave de *bypass* (T_6) é utilizada para conectar a carga diretamente à rede para fins de manutenção da UPS. Cabe salientar que os capacitores de barramento foram projetados para um *hold-up time* de 17 ms [11], [12], e este mesmo tempo de transferência foi utilizado para assegurar que a corrente de determinados tiristores caia a zero antes que os tiristores do modo de operação complementar sejam acionados. Essa ação é realizada para evitar o paralelismo de fontes de tensão entre os tiristores T_1 - T_2 e T_3 - T_4 .

Em ambos os modos de operação a energia gerada pelos painéis PV é entregue ao barramento CC, sendo o sistema de controle do circuito de entrada responsável por regular a tensão de barramento no valor de referência gerado pelo algoritmo MPPT independentemente da condição de carga. Quando a potência gerada é maior que a demanda da carga, a energia excedente é injetada na rede pelo circuito de entrada, que possui característica bidirecional. Quando a energia gerada pelos painéis PV não é suficiente, a rede – em modo normal – ou as baterias – em modo bateria – oferecem suporte aos painéis PV para atender a demanda da carga.

III. SISTEMA DE CONTROLE

O objetivo desta seção é descrever o sistema de controle do circuito de entrada que permite a integração de painéis PV com MPPT na UPS de dupla conversão em questão. Os detalhes acerca do controle do circuito auxiliar foram omitidos, uma vez que não estão diretamente relacionados ao escopo deste trabalho. Contudo, mais informações sobre sua operação e projeto podem ser encontrados em [6]. De forma semelhante, o sistema de controle do inversor também não será abordado,

porém considera-se que o mesmo é projetado adequadamente para garantir uma tensão de saída com baixa THD, mesmo para a operação com cargas não-lineares, e elevada banda passante, de forma a corrigir eventos transitórios.

O circuito de entrada para a integração de painéis PV possui funções distintas de acordo com o modo de operação da UPS: normal ou bateria. Na Figura 2 é apresentado o sistema de controle utilizado para o circuito de entrada bidirecional, sendo a Figura 2.a respectiva ao modo normal de operação e a Figura 2.b ao modo bateria. Os ganhos dos sensores de tensão e corrente são representados na Figura 2 por h_v e h_i , respectivamente. O período de amostragem é dado por T_s e o período de chaveamento por T_{sw} . As funções de transferência das malhas de controle são definidas na sequência. As derivações destas funções são detalhadas em [6].

A. Funcionalidades do Circuito de Entrada

1) *Modo normal de operação*: A função do circuito de entrada em modo normal de operação é garantir a operação com alto fator de potência, regular a tensão total do barramento CC no valor de referência e ainda equalizar as tensões sobre os capacitores de barramento. Para isso, conforme mostra a Figura 2.a, é utilizada: uma malha interna de corrente; uma malha mais externa para o controle da tensão total de barramento através do cálculo da energia armazenada nos capacitores de barramento; uma malha responsável pela geração da referência para a tensão de barramento, a qual utiliza um algoritmo de MPPT; e uma malha adicional para a equalização das tensões sobre os capacitores de barramento.

2) *Modo bateria de operação*: Em modo bateria o circuito de entrada é desconectado da rede pública e conectado ao banco de baterias, sendo utilizado para a regulação da tensão total de barramento através da descarga das mesmas. Para isto, conta com a estrutura de controle da Figura 2.b, a qual é semelhante a do modo normal, com uma malha interna de corrente, uma malha externa para o controle da tensão total de barramento e uma terceira malha, responsável por gerar a referência da tensão do barramento CC através do algoritmo de MPPT, de modo a extrair a máxima potência dos painéis PV.

B. Malhas de Controle do Circuito de Entrada

1) *Malha de corrente*: a malha de corrente é responsável pela regulação da corrente do indutor do circuito de entrada, tanto em modo normal como em modo bateria. Ela permite a operação com correção do fator de potência em modo normal – através da multiplicação da referência de corrente por uma amostra da tensão da rede, de modo a sintetizar uma corrente senoidal e em fase com esta tensão –, o controle adequado da corrente de descarga das baterias, além de permitir a limitação da corrente em caso de sobrecarga ou curto-circuito.

Essa é a malha de controle mais interna, e é utilizada para gerar o sinal modulante a ser comparado com a portadora triangular para a geração dos sinais de comando dos interruptores. Por esta razão, é a malha mais rápida do sistema, sendo usualmente projetada para uma frequência de corte uma década abaixo da frequência de chaveamento [13], [14]. Neste trabalho utiliza-se um controlador proporcional (P) de modo a ajustar a banda passante da malha, sendo o erro de regime corrigido pelas malhas externas.

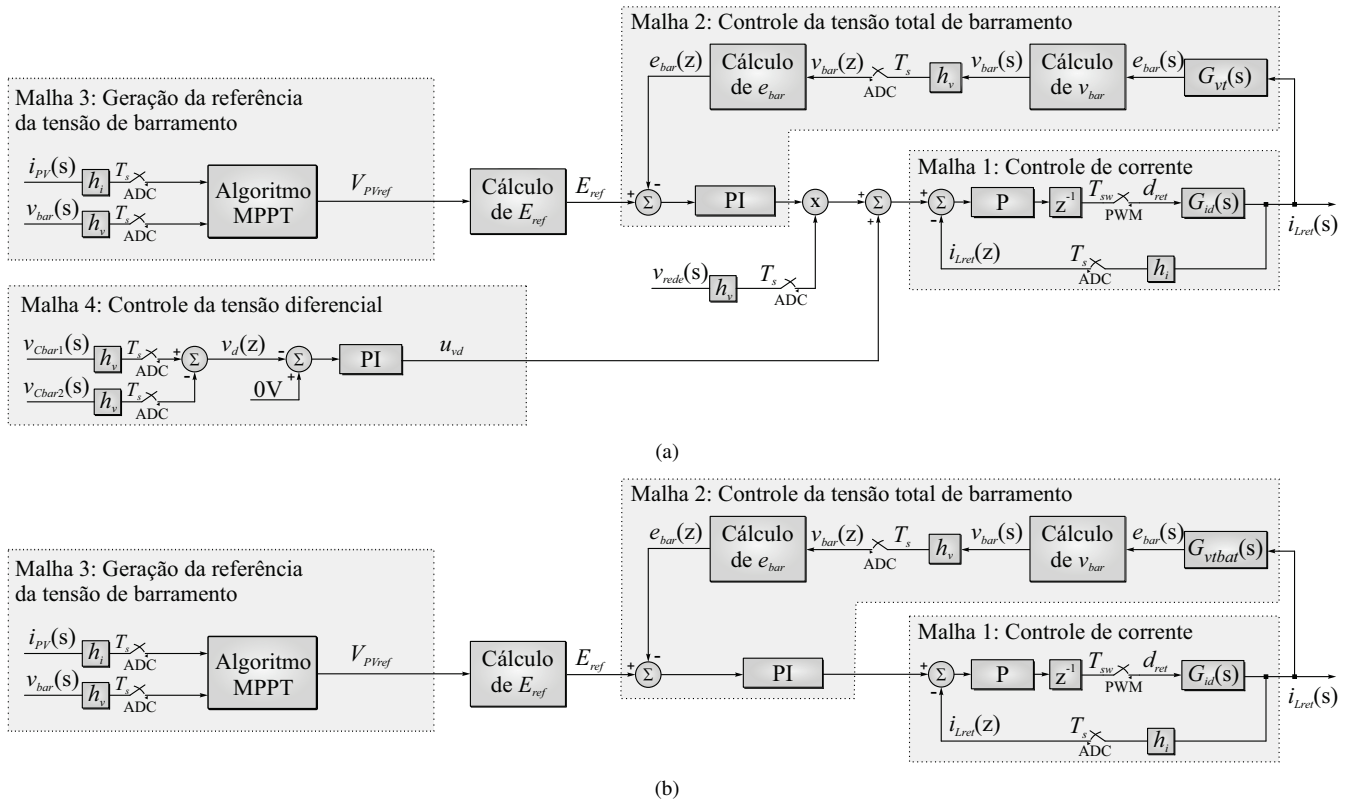


Fig. 2. Sistema de controle do circuito de entrada com MPPT. (a) Modo normal de operação. (b) Modo bateria de operação.

A função de transferência que relaciona a corrente no indutor do circuito de entrada pela razão cíclica (d_{ret}) do interruptor S_{ret1} (que opera de forma complementar a S_{ret2}), para ambos os modos de operação da UPS, é dada por:

$$G_{id}(s) = \frac{i_{Lret}(s)}{d_{ret}(s)} = -\frac{V_{bar}}{sL_{ret} + R_{Lret}}. \quad (1)$$

onde R_{Lret} é a resistência intrínseca do indutor L_{ret} .

2) *Malha de tensão total do barramento CC*: o controle da tensão de barramento é realizado através da energia armazenada nos capacitores de barramento (e_{bar}), de forma a se trabalhar com uma planta naturalmente linear. A energia de barramento pode ser calculada por:

$$e_{bar} = \frac{C_{bar}v_{bar}^2}{2}. \quad (2)$$

onde C_{bar} é a capacitância equivalente de barramento.

Esta malha é responsável por gerar a referência de corrente da malha interna. Utiliza um controlador proporcional-integral (PI), o qual possibilita o rastreamento da referência de energia (E_{ref}) com erro nulo em regime permanente, e deve ser lenta o suficientemente para não distorcer as referências das malhas de corrente. Dessa forma, a banda passante deste controlador pode ser definida uma década abaixo da menor componente harmônica de tensão presente nos capacitores de barramento, que para a topologia em questão, é 120 Hz [15], [16]. Os modelos utilizados para o controle da tensão total de barramento em modo normal e em modo bateria de

operação, respectivamente, são:

$$G_{vt}(s) = \frac{e_{bar}(s)}{i_{Lret}(s)} = \frac{V_{rede}}{s}. \quad (3)$$

$$G_{vtbat}(s) = \frac{e_{bar}(s)}{i_{Lret}(s)} = \frac{V_{bat}}{s}. \quad (4)$$

3) *Malha de MPPT*: a terceira malha possui uma dinâmica na ordem de segundos e é responsável pela definição da referência da tensão do barramento CC (V_{PVref}) através de um algoritmo de MPPT, o qual têm como objetivo maximizar a potência extraída do arranjo PV (P_{PV}), obtendo a potência máxima para diferentes níveis de irradiância solar e temperatura ambiente. Utiliza-se o algoritmo de MPPT do tipo P&O, o qual consiste em inserir perturbações na tensão nos terminais dos painéis PV e observar o comportamento da potência sendo fornecida, de forma a conduzir sempre ao ponto de máxima potência (MPP) [17], [18].

Neste trabalho o método P&O perturba a tensão de referência utilizada na malha de controle da tensão do barramento CC do circuito de entrada. A tensão de referência é perturbada a cada período de amostragem, a uma taxa de 1 V/s. Esta taxa é definida em função do tempo de acomodação da resposta do controlador de tensão, de forma a se evitar sobretensões no barramento [17].

A partir da leitura dos valores instantâneos de tensão e corrente (i_{PV}) dos painéis PV, o algoritmo P&O calcula a potência sendo fornecida naquele instante de tempo. A cada intervalo de um segundo, a potência no instante atual é comparada com o valor anterior e, caso menor, o algoritmo

altera o sinal da perturbação de tensão. Quando a potência gerada pelos painéis PV está abaixo de 5% da potência nominal, o algoritmo de MPPT é desabilitado, de forma a não prejudicar a regulação da tensão do barramento CC. Nestas condições, que ocorrem com maior frequência no início da manhã e fim da tarde, a tensão no barramento CC é mantida constante e igual ao valor nominal.

4) *Malha de tensão diferencial*: esta malha é ainda mais lenta e externa do que a malha de tensão total, e é utilizada para a equalização das tensões sobre os capacitores do barramento CC. Para isso, são medidas as tensões em cada metade do barramento CC ($v_{C_{bar1}}$ e $v_{C_{bar2}}$), sendo que a diferença entre elas é a tensão diferencial (v_d). Um sinal de erro é gerado a partir da diferença destas tensões com relação a uma referência nula. Este erro é então compensado por um controlador PI, gerando uma ação de controle (u_{vd}) que representa uma componente CC de corrente do circuito de entrada (i_{med}), que é responsável pelo equilíbrio das tensões. Esta malha é utilizada apenas em modo normal de operação, uma vez que em modo bateria o circuito auxiliar é empregado para esta função. A função de transferência que relaciona a tensão diferencial pela corrente média do circuito de entrada é dada por:

$$G_{vd}(s) = \frac{v_d(s)}{i_{med}(s)} = \frac{R_{eq}}{s R_{eq} C_{bar} + 1} \quad (5)$$

onde R_{eq} é a resistência equivalente de barramento (adicionada em paralelo ao barramento CC, projetada para consumir a potência de saída para fins de análise matemática [6]).

IV. PROJETO DO SISTEMA PV

Devido aos painéis PV estarem conectados diretamente no barramento CC na topologia proposta, a UPS bidirecional tem comportamento análogo ao de um inversor PV de estágio único tradicional. Dessa forma, as condições ambientais (irradiância solar e temperatura ambiente), em conjunto com o algoritmo de MPPT, são quem ditam o valor da tensão de barramento – havendo geração fotovoltaica. Portanto, o projeto do sistema PV deve ser realizado de forma a respeitar os limites máximo e mínimo de operação de v_{bar} .

Para garantir a síntese adequada da tensão de saída, a tensão total do barramento CC não deve ser inferior à duas vezes a tensão de pico de saída, que para a topologia em questão, considerando uma tensão nominal de saída de 127 V – pico de ≈ 180 V –, deve ser de 360 V. Porém, deve-se também considerar as quedas de tensão transitórias causadas por degraus de carga. Assim, o valor mínimo de v_{bar} é definido em 414 V, para propiciar uma margem de segurança de 15%, e o limite máximo é definido em 500 V, para manter a operação segura das chaves semicondutoras mesmo frente a eventos transitórios. Com isso, a tensão de barramento – e o controle MPPT – podem ser excursionados em uma faixa de 86 V.

Um perfil de missão fotovoltaico é definido como em [19] e utilizado como um estudo de caso realista para o projeto e análise do sistema PV. Dados meteorológicos de irradiância solar (global, direta e difusa) e da temperatura ambiente de Petrolina, Brasil, medidos em resolução de um minuto por um período de cinco anos são utilizados [20]. Estas medidas

passam por um tratamento de qualidade de dados conforme [21] para remover medidas fisicamente impossíveis; caso 60 ou mais medidas dentro do mesmo dia não passem no teste de qualidade, o dia inteiro é descartado. Estes dados são combinados com o modelo elétrico equivalente do painel Sun Earth TPB-60P-235 conforme [22] e um modelo de posicionamento e incidência solar de acordo com [19]. A Tabela I resume os dados do sistema PV e do perfil de missão utilizados. A Figura 3 mostra o perfil de irradiância solar na superfície do painel e a temperatura ambiente usando dados meteorológicos. A Figura 3.a é referente ao longo prazo e a Figura 3.b para um período de três dias.

TABELA I
Parâmetros do Painel Sun Earth TPB-60-P-235*

Parâmetro	Símbolo	Valor
Tensão de circuito aberto	V_{oc}	36,7 V
Corrente de curto-circuito	I_{sc}	8,47 A
Tensão de máxima potência	V_{MPP}	29,2 V
Corrente de máxima potência	I_{MPP}	8,05 A
Potência máxima	P_{MPP}	235 W
Coefficiente de temp. de curto-circuito	$\Delta I_{sc} / \Delta T$	0,05 %/°C
Coefficiente de temp. de circuito aberto	$\Delta V_{oc} / \Delta T$	-0,35 %/°C
Resistência série	R_s	0,147 Ω
Resistência parasita	R_p	648,5 Ω
Fator de idealidade do diodo	α_d	1,312
Tensão de polarização do silício	V_g	0,67 V
Dados do perfil de missão e do sistema PV		
Latitude	-	09°07'S
Longitude	-	28°31'N
Ângulo de inclinação	-	6°
Azimute	-	0°

*Valores para condição STC (*Standard Test Condition*) – 1000 W/m² e 25 °C

A tensão e a corrente no ponto de máxima potência para um módulo PV são estimadas ao longo dos cinco anos do perfil de missão. A Figura 4 mostra o mapa de cor da energia processada em faixas de 0,1 A e 0,1 V; *i.e.*, cada pixel é colorido conforme a quantidade de potência gerada naquela coordenada de $I_{MPP} \times V_{MPP}$, sendo que valores com contribuição menor que 0,01% da energia total foram omitidos. A análise desta figura indica que a maior parte da potência produzida pelo sistema PV é confinado em uma estreita região de tensão. Este fato se deve principalmente devido a pequena variabilidade de temperatura ambiente e alta incidência solar do clima tropical de Petrolina.

Destaca-se que os valores apresentados na Tabela I são raros de acontecer na prática, especialmente no Brasil, devido ao aquecimento intrínseco do painel em irradiações elevadas. Enquanto a temperatura ambiente do perfil de missão considerado está tipicamente na faixa entre 20 e 35 °C, a temperatura de operação do painel varia entre 20 e 75 °C. Como o aumento da temperatura causa uma diminuição da tensão de bloqueio do material semicondutor, é esperado que a tensão no MPP seja menor do que a tensão em STC da Tabela I.

Além disso, é possível o MPP estar fora da região mostrada, uma vez que sistemas PV estão sujeitos às condições aleatórias de tempo (temperatura ambiente, camada de nuvens) e de operação (sujeira, falha de célula PV, sombreamento). Contudo, o longo período de dados utilizados indica que o mapa de cores representa um prognóstico das condições normais de operação

anualmente.

Observam-se também os valores máximos e mínimos da tensão de saída do painel; idealmente, o MPPT deve controlar a v_{bar} de modo que a tensão sobre cada painel fique dentro desta faixa, desprezando variações paramétricas entre painéis diferentes. Com os limites de v_{bar} previamente estabelecidos, o número de painéis em série no arranjo fotovoltaico é determinado através de:

$$\frac{V_{bar,min}}{V_{PV,min}} \leq N_{PV} \leq \frac{V_{bar,max}}{V_{PV,max}} \quad (6)$$

onde:

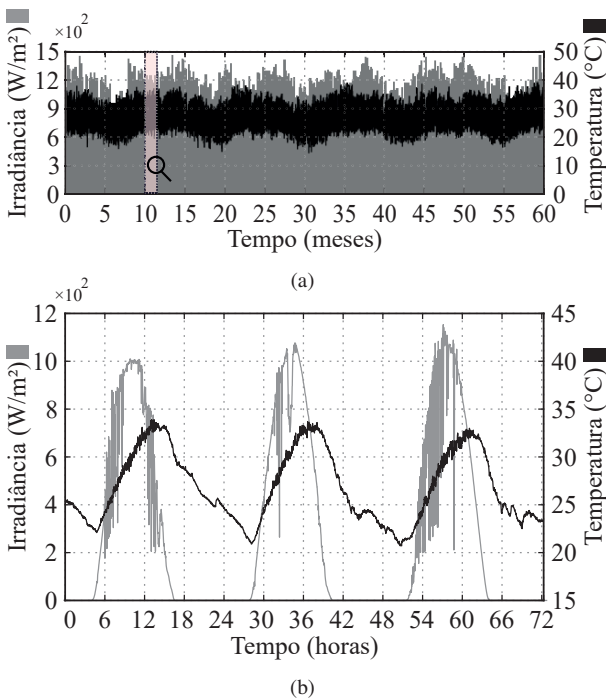


Fig. 3. Perfil de irradiância solar na superfície do painel e temperatura ambiente usando dados meteorológicos. (a) Longo prazo. (b) Período de três dias.

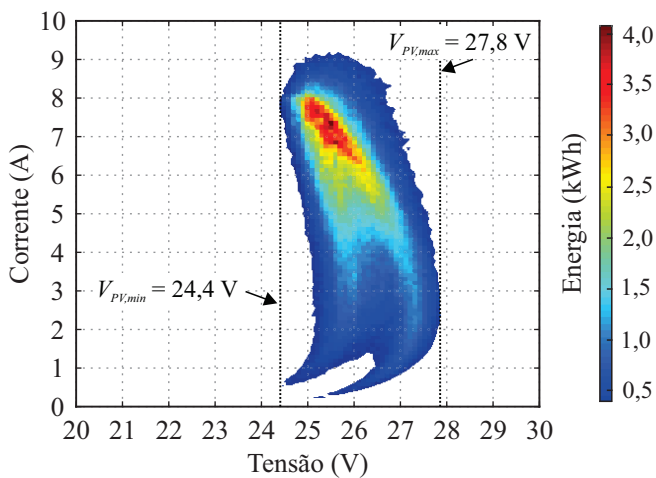


Fig. 4. Energia acumulada no MPP em função da tensão e corrente PV para o perfil estabelecido.

N_{PV} - número de painéis PV;

- $V_{bar,min}$ - tensão mínima de barramento;
- $V_{bar,max}$ - tensão máxima de barramento;
- $V_{PV,min}$ - tensão mínima de saída dos painéis PV;
- $V_{PV,max}$ - tensão máxima de saída dos painéis PV.

Dessa forma, um sistema PV com N_{PV} igual a 18 e potência total de 4230 W é projetado e conectado diretamente ao barramento CC da UPS. Ressalta-se que um valor maior ou menor de N_{PV} não necessariamente inviabiliza o projeto, mas acarreta em um tempo maior de operação fora do MPP para este perfil de missão. O estudo do valor ótimo de N_{PV} do ponto de vista do custo e aproveitamento energético está fora do escopo deste artigo e será apresentado em trabalhos futuros.

A Figura 5 mostra o histograma do valor da V_{MPP} em relação a frequência de ocorrências no estudo de caso estabelecido, onde é determinado que em 96% do tempo o sistema PV irá operar no MPP. Em condições de baixa irradiação ($P_{PV} < 5\%$ da potência nominal) o MPPT é desabilitado, pois a tensão e a potência dos painéis fotovoltaicos estão sujeitos a variações bruscas, podendo resultar em oscilações e baixo desempenho no controlador. Nestas condições, que ocorrem com maior frequência no início da manhã e no final da tarde, a tensão de referência do barramento CC é mantida constante e igual ao valor nominal de 450 V.

No entanto, somente 0,8% da energia é processada nestas condições, sendo que o aproveitamento energético não é prejudicado devido a estes limites, uma vez que é possível obter mais de 90% de eficiência no MPPT (η_{MPPT}) mesmo com variação de $\pm 10\%$ da V_{MPP} , como mostra a Figura 6, nas condições mais comuns de operação. A Figura 6.a apresenta a região total e a Figura 6.b a região enfatizada.

A análise do aproveitamento energético é limitada ao perfil de missão e modelo do painel definidos ou semelhantes, já que o mapa da operação PV da Figura 5 é dependente das condições de clima, tempo, orientação e tipo de montagem dos painéis, tecnologia da célula PV, entre outros fatores [19], [23]. Caso a UPS bidirecional proposta seja utilizada em outro local e/ou com módulos diferentes, uma nova análise é recomendada para se obter um projeto adequado do sistema PV e melhor

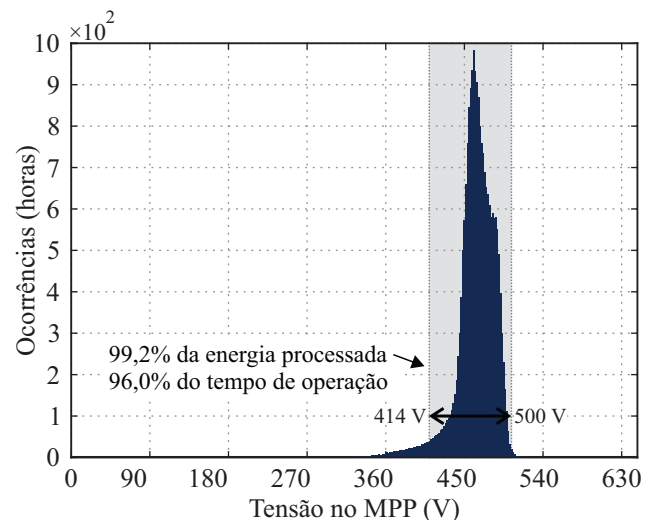


Fig. 5. Histograma da frequência de ocorrências da V_{MPP} no perfil de missão, em faixas de 1 V.

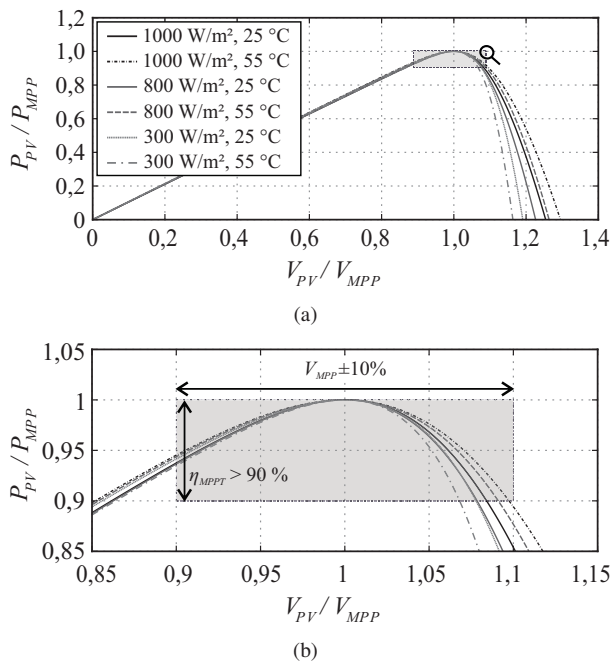


Fig. 6. Relação entre a potência PV disponível normalizada em função da variação da tensão do módulo normalizada, para diferentes condições de operação. (a) Região total. (b) Região enfatizada.

desempenho do MPPT dentro dos limites de v_{bar} .

V. RESULTADOS *HARDWARE-IN-THE-LOOP*

De forma a demonstrar a funcionalidade da UPS de dupla conversão bidirecional com integração de painéis PV proposta, resultados são obtidos a partir da implementação em uma plataforma HIL [6], [7], [24], [25], modelo Typhoon HIL402. O sistema de controle é implementado em um processador de sinais digitais (DSP – *Digital Signal Processor*) da Texas Instruments modelo TMS320F28335, com frequência de chaveamento e de amostragem de 15 kHz. O circuito auxiliar não é incluído na topologia implementada, uma vez que não interfere no funcionamento da estrutura proposta. A Tabela II mostra os parâmetros do circuito implementado. São utilizados 18 painéis modelo Sun Earth TPB-60-P-235, os quais possuem os parâmetros mostrados na Tabela I.

São obtidos resultados para o modo normal, modo bateria e para a transição entre os dois modos de operação da UPS. A validação do funcionamento do sistema é realizada através da aplicação de degraus de carga e também de degraus de irradiância solar e temperatura ambiente nos painéis PV. Os degraus de irradiância correspondem aos seguintes valores, em W/m²: 0 - 500 - 1000 - 0, sendo que a temperatura ambiente para estes instantes, em °C, é de: 25 - 25 - 35 - 25, respectivamente. A Figura 7 apresenta os degraus de irradiância solar e temperatura ambiente aplicados, bem como os valores estimados da temperatura do painel e da tensão de referência do barramento em regime permanente.

A Figura 8 apresenta os resultados HIL para a aplicação de degraus de irradiância e temperatura ambiente para o modo normal de operação. Na Figura 8.a são mostradas a tensão da rede, tensão de saída, tensão de barramento e potência do arranjo PV. Na Figura 8.b têm-se a corrente de entrada,

corrente de saída, corrente e potência dos painéis PV. Nota-se que, conforme diferentes níveis de irradiância e temperatura são aplicados, a tensão de barramento é excursionada de forma a extrair a máxima potência do novo ponto de operação. Quanto maior a energia proveniente do arranjo PV, menor é a corrente drenada da rede elétrica. A tensão de entrada e a tensão e corrente de saída não são afetadas pela geração de energia PV.

Na Figura 9 são mostrados os resultados HIL para os mesmos degraus de irradiância e temperatura ambiente, mas

TABELA II
Parâmetros do Circuito Implementado

Parâmetros de potência		
Parâmetro	Símbolo	Valor
Tensão nominal de fase de entrada/saída	V_{rede}/V_{out}	127 V
Frequência da tensão de entrada/saída	f_{rede}/f_{out}	60 Hz
Tensão nominal do banco de baterias	V_{bat}	240 V
Potência nominal de saída da UPS	S_{out}	10 kVA
Número de painéis fotovoltaicos	N_{PV}	18
Potência máxima total do arranjo	P_t	4230 W
Resistência nominal de carga	R_{out}	1,6129 Ω
Frequência de chaveamento	f_{sw}	15 kHz
Frequência de amostragem	f_s	15 kHz
Tensão nominal do barramento CC	V_{bar}	450 V
Capacitor equivalente de barramento	C_{bar}	20 mF
Indutor do circuito de entrada	L_{ret}	225 μ H
Resistência intrínseca de L_{ret}	$R_{L_{ret}}$	0,1 Ω
Capacitor do filtro de saída	C_{inv}	160 μ F
Indutor do filtro de saída	L_{inv}	218 μ H
Resistência intrínseca de L_{inv}	$R_{L_{inv}}$	0,1 Ω
Parâmetros dos controladores		
Malha	Tipo	Valor
Compensador de corrente	P	- 0,01
Compensador de tensão em modo normal	PI	$0,2636(z - 0,998103)$ $z - 1$
Compensador de tensão em modo bateria	PI	$0,1395(z - 0,998103)$ $z - 1$

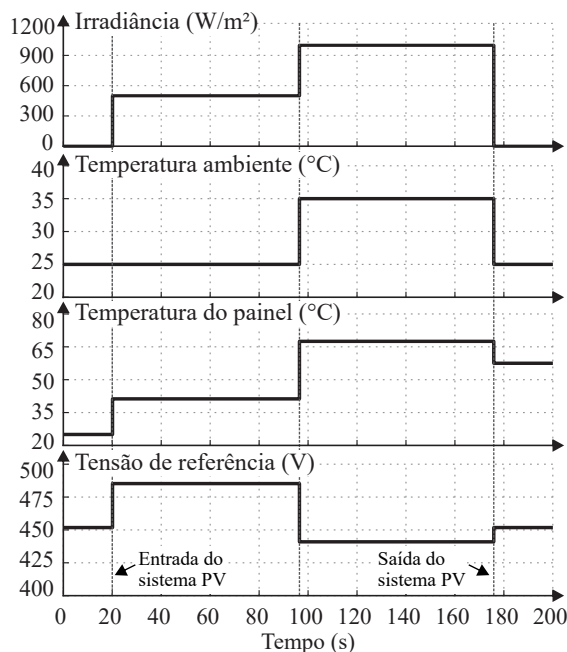
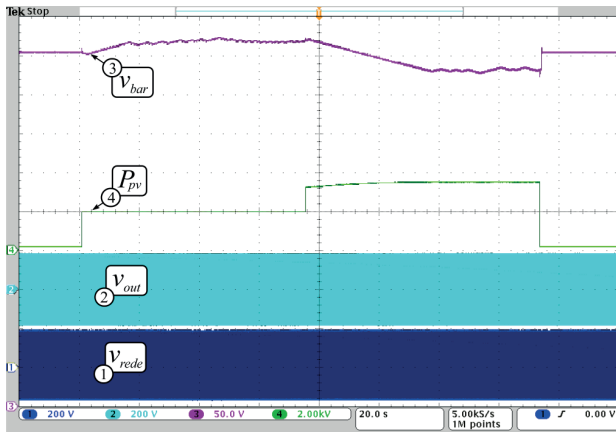
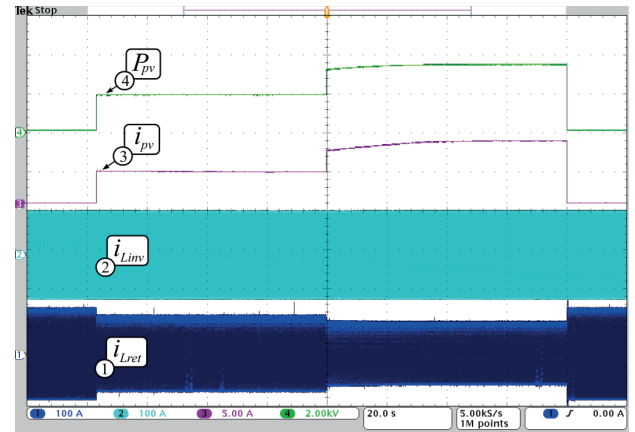


Fig. 7. Degráus de irradiância solar e temperatura ambiente.

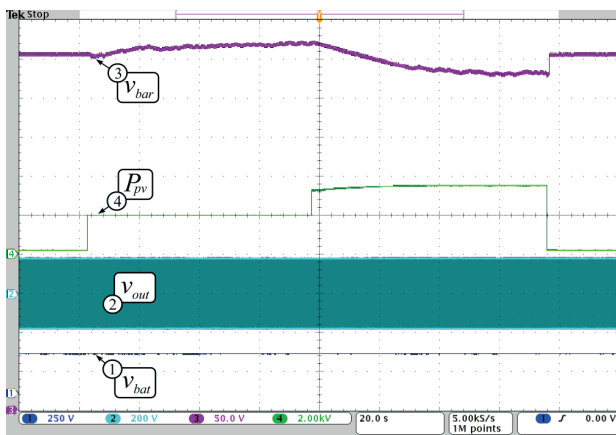


(a)

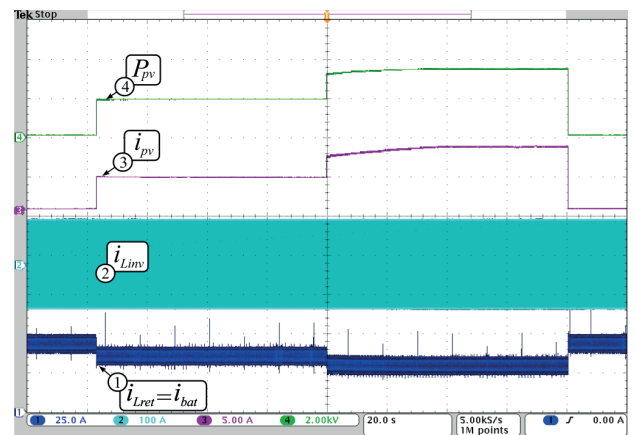


(b)

Fig. 8. Resultados HIL. Degraus de irradiância solar e temperatura ambiente. Modo normal de operação. 20 s/div. (a) Tensão da rede (200 V/div), tensão de saída (200 V/div), tensão de barramento (50 V/div) e potência do arranjo fotovoltaico (2 kW/div). (b) Corrente de entrada (100 A/div), corrente de saída (100 A/div), corrente do arranjo fotovoltaico (5 A/div) e potência do arranjo fotovoltaico (2 kW/div).



(a)



(b)

Fig. 9. Resultados HIL. Degraus de irradiância solar e temperatura ambiente. Modo bateria de operação. 20 s/div. (a) Tensão do banco de baterias (250 V/div), tensão de saída (200 V/div), tensão de barramento (50 V/div) e potência do arranjo fotovoltaico (2 kW/div). (b) Corrente de entrada (25 A/div), corrente de saída (100 A/div), corrente do arranjo fotovoltaico (5 A/div) e potência do arranjo fotovoltaico (2 kW/div).

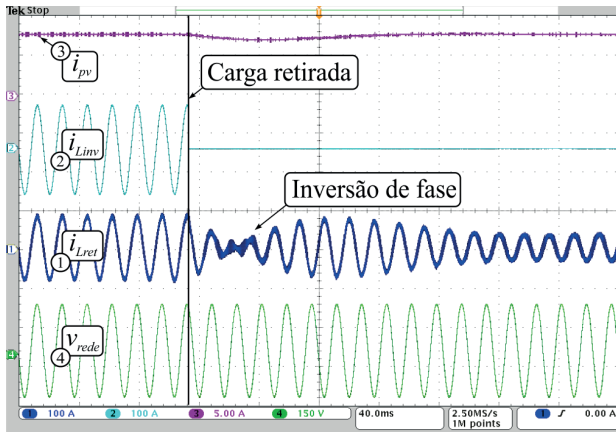
neste caso para o modo bateria de operação. A Figura 9.a mostra a tensão do banco de baterias, tensão de saída, tensão de barramento e potência do arranjo PV. Na Figura 9.b têm-se a corrente das baterias, corrente de saída, corrente e potência dos painéis PV. De forma semelhante ao caso anterior, diferentes níveis de energia gerados pelo arranjo PV representam distintos pontos de operação, os quais exigem valores específicos de tensão de barramento para a realização do MPPT. A corrente exigida do banco de baterias é menor conforme há o aumento da geração dos painéis PV.

No modo bateria, o banco de baterias é dimensionado para um tempo específico de autonomia do sistema. Porém, se houver geração PV, este tempo pode ser aumentado por tempo indeterminado, dependendo da quantidade de energia gerada e a quantidade de carga demandada. Cabe salientar que se houver excedente de geração durante o modo bateria, o algoritmo MPPT é interrompido e a tensão no barramento CC é modificada de modo a limitar a potência gerada pelos painéis PV, uma vez que o descarregador de baterias possui característica unidirecional. Contudo, esta situação possui uma probabilidade pequena de acontecer, pois deve haver uma falta na rede pública enquanto que a potência demandada pela carga

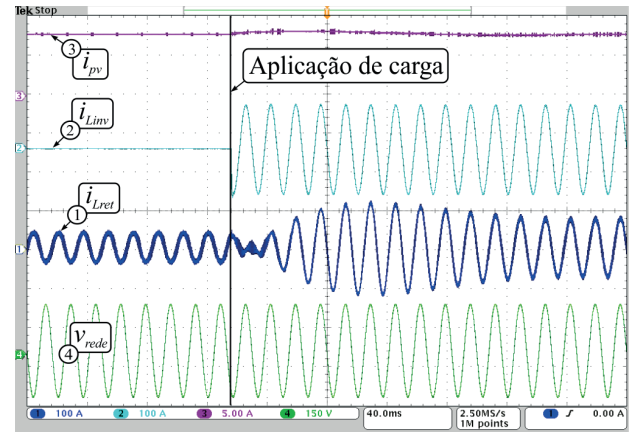
é menor que a gerada pelos painéis PV.

De forma a avaliar o desempenho dos controladores, bem como verificar a característica bidirecional do circuito de entrada, a Figura 10 apresenta os resultados adquiridos para o modo normal de operação perante a aplicação de degraus de carga com o sistema PV na condição nominal de geração. São mostradas a corrente de entrada, corrente de saída, corrente do arranjo PV e tensão da rede. Na Figura 10.a inicia-se a operação do sistema em condição nominal e então retira-se 100% de carga. Na Figura 10.b o sistema inicia a vazio e então aplica-se a carga nominal. Observa-se que quando a carga é retirada, como a energia proveniente dos painéis PV é superior à requerida pela carga, a corrente de entrada tem sua fase invertida de forma a injetar a energia excedente na rede elétrica. Quando a carga nominal é reestabelecida, a corrente de entrada inverte a fase novamente, uma vez que a potência da carga é maior que a potência gerada pelo arranjo PV, contribuindo então para a alimentação das cargas.

Na Figura 11 são apresentados os resultados HIL para a transferência do modo normal para o modo bateria e de volta para o modo normal com a UPS operando com carga nominal,

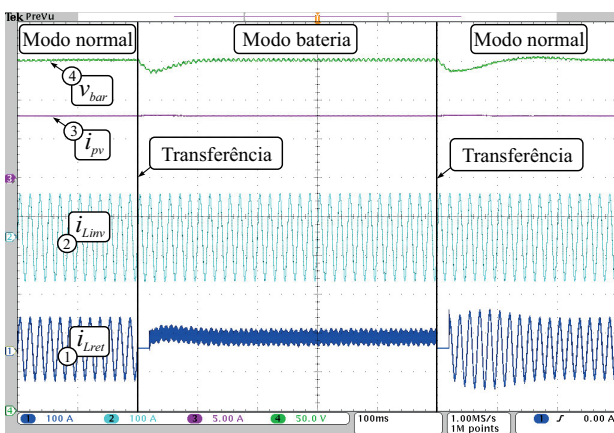


(a)

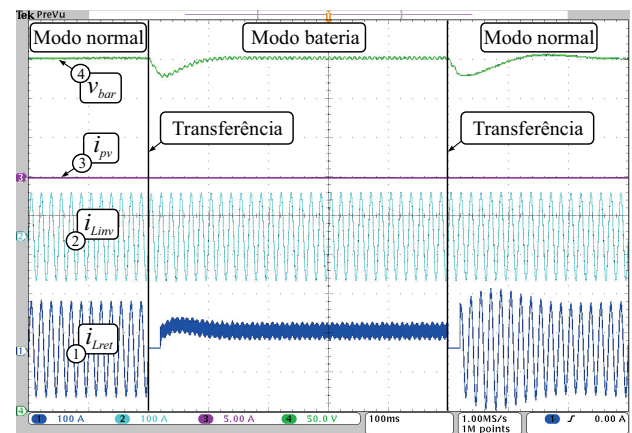


(b)

Fig. 10. Resultados HIL. Degraus de carga. Modo normal de operação. 40 ms/div. Corrente de entrada (100 A/div), corrente de saída (100 A/div), corrente do arranjo fotovoltaico (5 A/div) e tensão da rede (150 V/div). (a) Retirada de carga nominal. (b) Aplicação de carga nominal.



(a)



(b)

Fig. 11. Resultados HIL. Transferência entre os modos de operação. Modo normal para bateria e novamente para o modo normal. 100 ms/div. Corrente no indutor de entrada (100 A/div), corrente no indutor de saída (100 A/div), corrente do arranjo fotovoltaico (5 A/div) e tensão do barramento (50 V/div). (a) Arranjo fotovoltaico com potência nominal. (b) Arranjo fotovoltaico com potência zero.

sob potência nominal do arranjo PV, na Figura 11.a, e sem geração PV, Figura 11.b. Quando os tiristores desconectam o circuito de entrada da rede ou das baterias, é predefinido um tempo de transição de 17 ms [11], suficiente para zerar a corrente do tiristor em operação e então acionar o tiristor do modo complementar de forma segura. Sendo assim, há uma queda na tensão do barramento CC, uma vez que toda a energia demandada pela carga é suprida pelos capacitores do barramento CC. Após o tempo de transição, quando o banco de baterias ou a rede é conectado ao circuito de entrada, a tensão de barramento é regulada novamente no valor nominal. Nota-se que, quando há geração PV no momento da transição, a corrente do arranjo PV sofre uma suave elevação no intuito de manter a mesma potência de geração, agora com uma tensão menor devido à queda da tensão de barramento.

VI. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma topologia de UPS de dupla conversão bidirecional para a integração de painéis PV. Os painéis são conectados diretamente ao barramento CC, e o algoritmo de MPPT do tipo P&O é realizado pelo sistema de controle do circuito de entrada. Uma análise do perfil

de missão fotovoltaico é apresentada utilizando modelagem dos painéis PV e dados meteorológicos medidos por cinco anos. O sistema PV é então projetado considerando as características locais e os limites de operação da UPS. Como principais características da topologia proposta podem-se destacar: ausência de conversor CC-CC específico para a conexão dos painéis PV e MPPT, capacidade de injetar corrente na rede quando houver excedente de geração PV, possibilidade de aumentar a autonomia do banco de baterias em modo bateria de operação. Resultados *Hardware-in-the-Loop* comprovam a bidirecionalidade e versatilidade da UPS proposta, tanto em modo normal como em modo bateria de operação. Dessa forma, a integração de fontes ininterruptas de energia com painéis PV oferece mais autonomia ao sistema e ainda permite a redução do custo do sistema a longo prazo através da injeção da energia excedente para a rede pública.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES/PROEX) - Código de Financiamento 001, INCT-GD, CNPq (465640/2014-1) e (315101/2018-0), CAPES

REFERÊNCIAS

- [1] G. G. Facchinello, R. F. Coelho, T. B. Lazzarin, “Inversores do tipo forward para conexão de fontes renováveis à rede elétrica”, *Eletrônica de Potência - SOBRAEP*, vol. 23, no. 2, p. 193–203, Junho 2018.
- [2] A. M. S. S. Andrade, A. P. Meurer, M. L. da S. Martins, “Conversor Boost Isolado de Alto Ganho de Tensão com Retificador Multiplicador de Tensão Cockcroft-Walton”, *Eletrônica de Potência - SOBRAEP*, vol. 24, no. 2, p. 196–203, Abr./Jun. 2019.
- [3] P. F. S. Costa, P. H. B. Löbler, A. Toebe, L. Roggia, L. Schuch, “Modelagem e controle do conversor DAB aplicado à carga de baterias”, *Eletrônica de Potência - SOBRAEP*, vol. 23, no. 3, p. 292–301, Setembro 2018.
- [4] Department of Energy & Climate Change, *Smart Grid Vision and Routemap*, Rep. Number URN 14D/056, 2014.
- [5] *Uninterruptible power systems (UPS) Part 3: Method of specifying the performance and test requirements*, IEC 62040-3, 1999.
- [6] W. A. Venturini, H. Jank, F. E. Bisogno, M. L. da S. Martins, H. Pinheiro, “Estágio de entrada com dupla funcionalidade aplicado a uma UPS trifásica de alto desempenho”, *Eletrônica de Potência - SOBRAEP*, vol. 23, no. 2, p. 244–255, Junho 2018.
- [7] W. A. Venturini, J. M. Lenz, H. Jank, F. E. Bisogno, J. R. Pinheiro, “Estrutura de controle hierárquico para o paralelismo de UPS de dupla conversão com equalização das temperaturas dos capacitores dos barramentos CC”, *Eletrônica de Potência - SOBRAEP*, vol. 23, no. 4, p. 442–453, Dezembro 2018.
- [8] C. H. G. Treviso, A. E. Demian, A. L. B. Ferreira, “No-Break para Aplicações Residenciais, Comerciais e Industriais de 5kW com Interface para Painel Solar”, *Eletrônica de Potência - SOBRAEP*, vol. 14, no. 3, p. 173–180, Agosto 2009.
- [9] S. Kumar, B. Singh, “Self-Normalized-Estimator-Based Control for Power Management in Residential Grid Synchronized PV-BES Microgrid”, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 15, no. 8, p. 4764–4774, August 2019.
- [10] J. Lu, M. Savaghebi, S. Golestan, J. C. Vasquez, J. M. Guerrero, “Multimode Operation for On-Line Uninterruptible Power Supply System”, *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, vol. 7, no. 2, p. 1181–1196, June 2019.
- [11] P. C. Todd, *UC3854 Controlled Power Factor Correction Circuit Design*, Unitrode Product and Applications Handbook, 1995-1996.
- [12] X. Tang, H. Wu, J. Zhao, Y. Xing, “Family of half-bridge LLC resonant converters with auxiliary switches for hold-up operation”, *IET Power Electronics*, vol. 12, no. 6, p. 1376–1384, February 2019, doi:10.1049/iet-pel.2018.5654.
- [13] A. Vidal, F. D. Freijedo, A. G. Yepes, P. Fernandez-Comesana, J. Malvar, Ó. Lopez, J. Doval-Gandoy, “Assessment and optimization of the transient response of proportional-resonant current controllers for distributed power generation systems”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 60, no. 4, p. 1367–1383, February 2013.
- [14] S. Buso, P. Mattavelli, “Digital control in power electronics”, *Synthesis Lectures on Power Electronics*, vol. 2, p. 1–158, 2006.
- [15] Y. Lei, C. Barth, S. Qin, W. C. Liu, I. Moon, A. Stillwell, D. Chou, T. Foulkes, Z. Ye, Z. Liao, R. C. Pilawa-Podgurski, “A 2-kW Single-Phase Seven-Level Flying Capacitor Multilevel Inverter with an Active Energy Buffer”, *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 32, no. 11, p. 8570–8581, January 2017.
- [16] J. H. Kim, K. Y. Choi, R. Y. Kim, “A low frequency input current reduction scheme of a two-stage single-phase inverter with DC-DC boost converter”, in *Conference Proceedings - IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition - APEC*, p. 2351–2358, April 2014.
- [17] E. N. Chaves, L. S. Vilefort, H. T. M. Carvalho, E. A. A. Coelho, L. C. G. Freitas, J. B. V. Júnior, L. C. Freitas, “Projeto De Controlador Baseado no Modelo Interno Utilizado em P&O-MPPT e Conversor CC-CC Boost Quadrático”, *Eletrônica de Potência - SOBRAEP*, vol. 20, no. 4, p. 383–394, Set./Nov. 2015.
- [18] T. M. K. Faistel, C. H. I. Font, A. M. S. S. Andrade, M. L. da Silva Martins, “Família de Conversores Isolados com Células R2P2 e Multiplicador de Tensão para Microgeradores PV”, *Eletrônica de Potência - SOBRAEP*, vol. 24, no. 3, p. 378–388, Jul./Set. 2019.
- [19] J. M. Lenz, H. C. Sartori, J. R. Pinheiro, “Mission profile characterization of PV systems for the specification of power converter design requirements”, *Solar Energy*, vol. 157.
- [20] SONDA, INPE, “Dados ambientais”, Online, 2017, URL: sonda.ccst.inpe.br.
- [21] Long, C.N. and Dutton, E.G., “BSRN Global Network recommended QC tests”, Online, 2019, URL: bsrn.awi.de/data/quality-checks.html.
- [22] M. Villalva, J. Gazoli, E. Filho, “Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays”, *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 24, no. 5, p. 1198–1208, 2009.
- [23] U. C. C. W. H. C. W. M. Rhodes, J.D., “A multi-objective assessment of the effect of solar PV array orientation and tilt on energy production and system economics”, *Solar Energy*, vol. 108.
- [24] X. Ge, J. Pu, B. Gou, Y. Liu, “An Open-Circuit Fault Diagnosis Approach for Single-Phase Three-Level Neutral-Point-Clamped Converters”, *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 33, no. 3, p. 2559–2570, March 2018.
- [25] J. Chen, J. Chen, “Stability Analysis and Parameters Optimization of Islanded Microgrid With Both Ideal and Dynamic Constant Power Loads”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 65, no. 4, p. 3263–3274, April 2018.

DADOS BIOGRÁFICOS

William Alegranci Venturini, possui graduação (2014) e mestrado (2016) em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria. Atualmente cursa doutorado pela mesma instituição, onde desenvolve seus trabalhos no Grupo de Eletrônica de Potência e Controle (GEPOC). Realizou Doutorado Sanduíche na Concordia University, em Montreal - Canadá, pelo Programa Institucional de Internacionalização (PrInt) da CAPES e o Estágio Curricular de Graduação junto ao Fraunhofer Institute - IZM, situado em Berlim - Alemanha. Suas principais áreas de interesse incluem modelagem e controle digital de sistemas, fontes ininterruptas de energia e paralelismo de inversores. É membro da Sociedade Brasileira de Eletrônica de Potência (SOBRAEP) e sociedades IEEE.

João Manoel Lenz, recebeu o grau de Bacharel e de Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria, em 2013 e 2015, respectivamente. Em 2019, recebeu o grau de Doutor em Engenharia Elétrica na linha de Eletrônica de Potência, pela mesma instituição. Entre 2018 e 2019 foi pesquisador visitante no Center of Reliable Power Electronics (CORPE), na Aalborg University, Dinamarca. Tem experiência em modelagem de sistemas fotovoltaicos e eólicos, geração e integração com fontes renováveis. Realiza pesquisas com ênfase em energia fotovoltaica, projeto otimizado de conversores, e confiabilidade em eletrônica de potência.

Henrique Jank, nascido em 16/04/1991, engenheiro eletricitista pela Universidade de Santa Cruz do Sul (2013), mestre pela Universidade Federal de Santa Maria (2016), atualmente cursa doutorado pela Universidade Federal de Santa Maria, onde atua como pesquisador no Grupo de Eletrônica de Potência e Controle (GEPOC). Seus interesses atuais de pesquisa incluem conversores estáticos, modelagem e controle, fontes ininterruptas de energia e paralelismo de inversores.

José Renes Pinheiro, recebeu o grau de Bacharel em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria, e de Mestre e Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina, respectivamente em 1981, 1984 e 1994. Foi Chair do Programa Técnico e Chair Geral do Congresso Brasileiro de Eletrônica de Potência de 1999 e 2013 e do Seminário de Eletrônica e Controle de Potência de 2000, 2005 e 2017. De 2001 a 2002, trabalhou no Center for Power Electronics Systems, Virginia Polytechnic Institute and State University (Virginia Tech), Blacksburg, como Pesquisador de Pós-Doutorado. Ele é autor de mais de 300 artigos técnicos publicados em conferências e revistas. Seus interesses atuais de pesquisa incluem conversão de alta frequência e alta potência, fontes de alimentação, conversores multiníveis, modelagem e controle de conversores e projeto otimizado de conversores.

Luiz Antônio Correa Lopes, nascido em Belém-PA, Brasil, em 1965. Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará (UFPA) em 1986, Mestre pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) em Florianópolis, Brasil, em 1989 e Ph. D. pela McGill University em Montreal, Canadá, em 1996. Desde 2002, atua como professor associado ao Departamento de Engenharia da Concordia University. Suas áreas de interesse incluem sistemas de potência distribuídos e fontes de energia renováveis.

Fábio Ecke Bisogno, nascido em 07/04/1973 em Santa Maria, RS, é engenheiro eletricitista (1999) e mestre (2001) em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria e doutor (2006) em Engenharia Elétrica pela Technische Universität Chemnitz. Paralelo com o doutorado esteve empregado no instituto de pesquisa Fraunhofer AIS e depois Fraunhofer IAIS e IZM, Alemanha. Atualmente é professor adjunto na Universidade Federal de Santa Maria. Suas principais áreas de interesse são: reatores eletrônicos, sistemas auto-oscilantes, transformadores piezolétricos, conversores ressonantes e fontes ininterruptas de energia (UPS).