

## ***Estudo, coleta de dados e informações específicas de um inversor off-grid fotovoltaico***

Esta obra consiste no estudo, de um conversor de corrente contínua em corrente alternada com correção do fator de potência. Atualmente, um dos maiores problemas que a rede elétrica enfrenta é o ruído (sujeira) introduzido por cargas não lineares associados ao baixo fator de potência que geralmente caracteriza esses tipos de cargas. Na presente dissertação é apresentado o projeto para a nova tecnologia mencionada, com dados dos desempenhos, com o objetivo final de ter todos os dados dos ensaios laboratoriais de um dispositivo de economia elétrica. No Brasil atualmente existe um grande número de oscilações na qualidade da energia elétrica e isso é bastante prejudicial a equipamentos eletrônicos em geral por causa deste fator. O intuito deste projeto é mostrar efeitos de oscilações, economia, cargas e mudanças de comportamento do equipado a ser descrito. Para obtenção dos resultados usaremos um protótipo de um inversor de onda senoidal pura como parte desta obra, de acordo com os testes feitos dentro das normas estabelecidas pela ANEEL.

**Palavras-chave:** Efeitos de oscilações; Economia; Cargas e mudanças de comportamento do equipado.

## ***Study, data collection and specific information of a photovoltaic off-grid inverter***

This work consists of the study, of a converter of direct current in alternating current with correction of the power factor. Currently, one of the biggest problems that the electrical network faces is the noise (dirt) introduced by non-linear loads associated with the low power factor that generally characterizes these types of loads. In this dissertation, the project for the new technology mentioned is presented, with performance data and graphs, with the ultimate goal of having all the data from the laboratory tests of an electrical saving device. In Brazil, there are currently a large number of fluctuations in the quality of electrical energy and this is very harmful to electronic equipment in general because of this factor. The purpose of this project is to show the effects of oscillations, economy, loads and behavior changes of the equipment to be described. To obtain the results we will use a prototype of a pure sine wave inverter as part of this work, according to the tests carried out within the norms established by ANEEL.

**Keywords:** Oscillation effects; Economy; Loads and behavior changes of the equipment.

Topic: **Engenharia Civil**

Received: **17/12/2020**

Approved: **10/03/2021**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

**Juliano Ferreira Moraes**

Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/7248003883159176>

[2419agro@gmail.com](mailto:2419agro@gmail.com)

**Eduardo Gouveia Santiago Lage**

Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/4344949197847151>

[eduardogslage@gmail.com](mailto:eduardogslage@gmail.com)



DOI: 10.6008/CBPC2318-3055.2021.001.0010

### **Referencing this:**

MORAES, J. F.; LAGE, E. G. S.. Estudo, coleta de dados e informações específicas de um inversor off-grid fotovoltaico. **Engineering Sciences**, v.9, n.1, p.92-101, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2021.001.0010>

## INTRODUÇÃO

Atualmente, o modelo energético mundial vem sendo questionado, devido ao acelerado crescimento populacional e consequente aumento do consumo de energia. Portanto os países buscam várias maneiras para produção de energia elétrica, que degrade menos o meio ambiente e que seja de forma sustentável.

O Brasil é um país rico em recursos naturais e possui recursos humanos disponíveis para atuar na geração de energia solar fotovoltaica. Assim sendo, em novembro de 2015, teve-se a criação da Resolução Normativa nº 687 (complementar a norma nº482), que possibilita a compensação de energia com a instalação de pequenos geradores na unidade consumidora (ANEEL, 2012; 2015).

Com o grande impacto positivo econômico na utilização da energia solar, abriu campo e oportunidades para criar uma sustentabilidade de energia elétrica independente, seja ela na zona rural ou urbana. Mas sabemos que os painéis fotovoltaicos produzem energia contínua DC e embora funcionem muitos equipamentos elétricos não é o padrão aceitável pela ANEEL. Contudo a necessidade da conversão da energia de Corrente Contínua DC para Corrente Alternada AC se torna necessária, dentro deste aspecto transformando-a em Energia comum para uso de todos os equipamentos convencionais.

O dispositivo inversor que será testado e desenvolvido será construído basicamente por cinco circuitos: um drive EGS 002, um circuito de potência com barramento reforçado, um circuito de amostragem de tensão com leitura no painel e por dois disjuntores de entrada DC e um disjuntor de corrente alternada AC para saída, no qual se pretende manter o nível de tensão e a frequência de saída na forma senoidal pura.

O inversor de frequência, tensão e corrente elétrica será formado por um conjunto de dispositivos eletrônicos que transformam a frequência da rede em que estão conectados, para outra frequência desejada que neste caso é 60Hz.

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo geral analisar o comportamento e princípio de funcionamento de um novo inversor de frequência. Procurou-se também realizar ensaio de funcionamento ou avaliar o limite de carga para ensaio, determinar limite de potência, avaliar comportamento elétrico e temperaturas dos componentes tendo como limite a saída sem perda de tensão ou corrente e verificar a eficiência do circuito oscilatório a partir de dados mostrados pelo osciloscópio, aferindo assim a qualidade após a transformação do sinal.

De modo geral, serão apresentados resultados obtidos através de todo o conjunto de circuitos. E o inversor será testado dentro das normas técnicas estabelecidas em seguida serão verificadas todas as possíveis alterações no decorrer do trabalho.

## REVISÃO TEÓRICA

### **Normativas sobre controles universais de tensões e correntes de equipamentos**

Segundo a Norma EN 50160:2007 as características da tensão fornecida pela rede geral de distribuição (NP EN50160) é uma norma europeia que define, normaliza e limita todas as componentes da energia elétrica (frequência, amplitude, forma de onda e simetria das tensões) em baixa tensão ou média

tensão, que é fornecida pelo distribuidor aos seus consumidores, para que todos os seus equipamentos possam funcionar corretamente.

Devido à quantidade do uso da energia elétrica por todo o planeta em diferentes áreas, sistemas, dimensão da população e/ou hábitos de consumo, podem existir variantes desta norma tornando-se assim mais otimizada ao contexto atual. No entanto, esta norma define que a responsabilidade da qualidade não está assente somente no distribuidor de energia elétrica, mas também no consumidor e nos seus equipamentos. Assim, com esta sinergia de esforços é possível ter e manter uma qualidade de energia aceitável e dentro dos parâmetros definidos nesta norma.

Nesta norma, a maioria dos componentes da tensão elétrica é definida. Os mais importantes para este caso são os seguintes: Tensão de alimentação - Valor eficaz da tensão no ponto de ligação, durante um determinado tempo; Tensão nominal ( $U_n$ ) - Valor eficaz da tensão por defeito ou valor padronizado; Frequência da tensão de alimentação - Taxa de repetição da onda fundamental da tensão de alimentação, medida durante um intervalo de tempo; Variação da tensão - Uma variação positiva ou negativa do valor eficaz de tensão devido à variação de cargas no sistema de distribuição ou parte dele; Tremulação - Impressão de instabilidade da sensação visual provocada por um estímulo luminoso cuja luminância ou repartição espectral flutua no tempo.

Ainda a norma EN50160 estabelece limites para as redes de distribuição elétrica em baixa e média tensão. Considerando a necessidade de adequar os Requisitos de Avaliação da Conformidade para Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica (Módulo, Controlador de Carga, Inversor e Bateria), aprovados pela Portaria Inmetro n.º 004, de 04 de janeiro de 2011, publicada no Diário Oficial da União de 05 de janeiro de 2011, seção 01, página 59, às novas diretrizes de micro e minigeração ditadas pela ANEEL, resolve:

Art. 1º Aprovar a adequação aos Requisitos de Avaliação da Conformidade para Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica (Módulo, Controlador de Carga, Inversor e Bateria), estabelecidos pela Portaria Inmetro n.º 004/2011.

Art. 2º Cientificar que a Consulta Pública, que colheu contribuições da sociedade em geral, foi divulgada pela Portaria Inmetro n.º 128, de 19 de março de 2014, publicada no Diário Oficial da União - DOU de 21 de março de 2014, seção 01, página 57.

Na Norma EN 61000 onde foi criada em 1 de Janeiro de 2001 que todos os equipamentos eletrônicos usados pela sociedade, com um consumo máximo de 16A e que se destinem a ser ligados à rede da concessionária de energia elétrica têm de cumprir a norma EN 61000. Esta norma, que faz parte da diretiva Europeia sobre a compatibilidade Eletromagnética, tem como principal objetivo garantir que a poluição eletromagnética esteja sempre sob controle absoluto. Esta representatividade garante que todos os equipamentos elétricos e eletrônicos não produzam ou não sejam afetados por interferências eletromagnéticas.

Esta norma aplica-se a todos os equipamentos elétricos que sejam alimentados pela rede de distribuição elétrica pública em Baixa Tensão e com corrente máxima até 16A por fase. Esta norma não se aplica nos seguintes casos: Redes de distribuição elétrica não pública; Equipamento médico; Equipamento que se enquadre na classe A e D, mas com uma potência inferior a 75W; Equipamento com uma tensão de

alimentação inferior a 230V AC (limites ainda não são considerados); Fontes de alimentação comutadas; Equipamento profissional com uma potência superior a 1Kw.

Com a norma EM 61000 entrar em vigor, o equipamento fica classificado num tabela do sistema de 4 classes com especificações próprias de cada classe, ou seja, existem 4 classes de equipamentos e caso o equipamento eletrônico não se enquadre em nenhuma das seguintes classes, então a norma não pode ser aplicada a esse equipamento.

Tipos de Classes: Classe A: Os Sistemas trifásicos o Equipamentos de linha branca, exceto equipamentos que se encaixem na classe D a Ferramentas que não sejam portáteis o Reguladores de intensidade para lâmpadas incandescentes o todo o restante equipamento que não seja compatível com as restantes classes. Classe B: Ferramentas portáteis o Equipamento de soldas onde gera arco que não seja equipamento profissional; Classe C: o Equipamento de iluminação; Classe D: o Computadores e similares com uma potência igual ou inferior a 600W o Receptores de Televisão com uma potência igual ou inferior a 600W.

Uma das mais importantes aplicações no sistema de energia elétrica e a normativa IEEE 519 – ‘Práticas recomendadas e requisitos para o controlo de harmónicas em sistemas de distribuição elétrica’, onde obteve sua última atualização em 2014, é uma norma não limitativa criada pelo IEEE com o objetivo de estabelecer vários limites importantes e recomendados de harmónicas e indicar métodos de medição das mesmas.

Com este princípio, todas as limitações harmónicas são recomendadas e não impostos a cada utilizador no seu PCC e não em cada equipamento eletrônico. Isto é justificado por uma alteração de paradigma em relação à emissão de harmónicas por parte de cada equipamento usado.

É possível em diversas partes de a instalação ter limites de harmónicas muito superiores aos limites presentes nesta norma desde que, estando todos os equipamentos na mesma instalação, possamos assistir ao seu cancelamento pela soma de todas as harmónicas existentes na instalação. Outra parte importantíssima onde esta norma assenta é o conceito de distorção total fornecida.

Como a gestão das harmónicas na rede de distribuição elétrica é uma gestão partilhada, envolvendo operadores e consumidores, existem limites recomendados tanto para a tensão como para a corrente. Contudo dentre os conceitos e aplicação das normas, não é possível fugir da regulamentação das mesmas por causa das adaptações globais necessárias facilitando a utilização dos produtos eletrônicos.

## **Ensaio de manutenção**

Os ensaios de manutenção ocorrem anualmente, consistindo na seleção de amostras disponíveis nas fábricas ou no comércio e na realização de ensaios em laboratórios de 3ª parte acreditados pelo Inmetro.

Essa ferramenta serve para avaliar se os fornecedores mantêm, ao longo do tempo, as características informadas na ENCE referentes ao desempenho e à segurança. As não conformidades identificadas devem ser corrigidas pelos fornecedores dentro dos prazos e das condições estabelecidas pelos Requisitos de Avaliação da Conformidade anexos à Portaria Inmetro no 4/2011. De acordo com

as regras previstas para Registro dos produtos no Inmetro, os ensaios de manutenção são pré-requisito para que o Registro dos modelos etiquetados compulsoriamente continue válido.

A não realização dos mesmos acarreta a suspensão e, posteriormente, o cancelamento do Registro- o que equivale à proibição de fabricação, importação e comercialização. O encaminhamento das amostras aos laboratórios, bem como quaisquer custos relacionados com os ensaios de manutenção são responsabilidade dos fornecedores responsáveis pelo Registro.

### Segurança em instalações e serviços em eletricidade

A NR-10 Norma Regulamentadora explica e estabelece os requisitos e condições mínimas necessárias onde seu principal objetivo é a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos, de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores que, direta ou indiretamente, interajam em instalações elétricas e serviços com eletricidade.

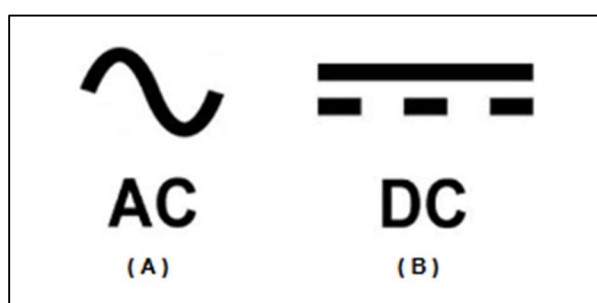
Esta NR se aplica às fases de geração, transmissão, distribuição e consumo, incluindo as etapas de projeto, construção, montagem, operação, manutenção das instalações elétricas e quaisquer trabalhos realizados nas suas proximidades, observando-se as normas técnicas oficiais estabelecidas pelos órgãos competentes e, na ausência ou omissão destas, as normas internacionais cabíveis.

### Conceitos básicos das normas técnicas e componentes eletrônicos

O uso de símbolos gráficos em desenhos de esquemas elétricos serve para identificar e também representar os componentes eletrônicos, os equipamentos, as relações entre estes e os efeitos físicos que compõe o funcionamento completo o parcial dos mesmos (NBR – 5280:1983).

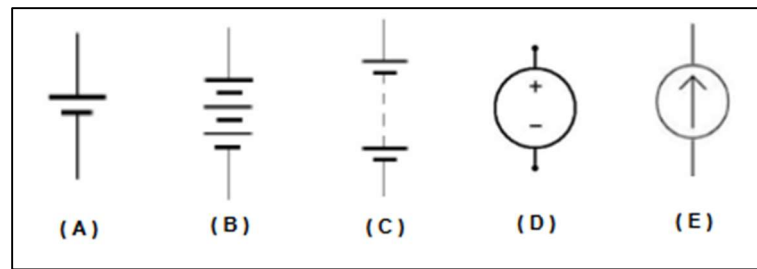
Os símbolos gráficos de circuitos elétricos são usados geralmente em projetos de instalações prediais, industriais e placas eletrônicas ou em qualquer aplicação elétrica que precise de uma esquematização através de gráficos. As tabelas a seguir mostram exemplos de símbolos utilizados em desenhos técnicos relacionados a diagramas de circuitos eletroeletrônicos ou na esquematização de projetos de circuitos eletrônicos (NBR – 5280:1983).

Conforme podemos observar na figura 2, a simbologia que alimenta os circuitos eletrônicos, podendo ser DC ( Tensão e corrente contínua ) e ou AC (Tensão e corrente alternada). A simbologia apresentada abaixo e muito utilizada para representar os botões seletores de instrumentos de medição eletro eletrônicos, seja multímetros, amperímetros, voltímetros, osciloscópios, etc.



**Figura 1:** (A) Símbolo de Corrente Alternada; Figura 02: (B) Símbolo de Corrente Contínua.

As simbologias de fonte de alimentação DC podem ser representadas da forma descrita na figura 2.



**Figura 2:** Simbologia de fontes de tensão.

- (A) Símbolo de Alimentação de Tensão contínua por pilha ou bateria;  
 (B) Símbolo de Alimentação de Tensão contínua por pilha ou acumuladores forma 1;  
 (C) Símbolo de Alimentação de Tensão contínua por pilha ou acumuladores forma 2;  
 (D) Símbolo de Alimentação de Tensão contínua por Fonte DC;  
 (E) Símbolo de Alimentação por Corrente contínua DC.

As simbologias de fonte de alimentação AC podem ser representadas de acordo com cada autor.

## METODOLOGIA

A pesquisa é de caráter experimental, descritiva e de intuito econômico, onde será testada de acordo com o estabelecido pelas normas. Será realizado no Laboratório Elétrico do Instituto Presidente Antônio Carlos, localizado no Município de Porto Nacional - TO, Localização: Latitude 10°42'29" Sul e Longitude 48°25'02" Oeste, Zona 22, a cerca de 62km da Capital do estado, Palmas – TO.

O teste será feito com propósito de estabilidade do protótipo e a potência a ser retirada do equipamento é de 1500W. Com um banco de 2 baterias de 12V somadas formarão 300Ah, ligadas a uma Fonte de carregamento de 200ah para fornecer tensão e corrente estabilizadas.

Os inversores de energia são circuitos de potência responsáveis em converter tensões contínuas (geralmente originadas de baterias de carregamento fotovoltaico de 12V ou 24V) em uma tensões alternadas (127 ou 220V). E nesse projeto foi realizado análises e testes de um novo inversor de frequência.

Visando não apenas a facilidade do monitoramento no painel do equipamento, o protótipo foi avaliado com o uso de osciloscópio e vários outros equipamentos conforme estabelece o INMETRO.

Os ensaios para inversores que foram feitos: 1. Cintilação; 2. Injeção de corrente contínua; 3. Harmônicos e distorção de forma de onda; 4. Fator de potência; 5. Controle da potência ativa em sobrefrequência; 6. Requisitos de suportabilidade a subtensões decorrentes de faltas na rede; 7. Proteção contra inversão de polaridade.

Não foi ligada a rede elétrica pública ou concessionária local, isso implica no benefício de uma estrutura totalmente independente na parte de gastos mensais na compra de energia para consumo.

## Cintilação

Descreve as flutuações de tensão provocadas por cargas variáveis de potência elevada.

### **Injeção de corrente contínua**

Observar todos os comportamentos de aquecimento do Inversor na sua alimentação.

### **Harmônicos e distorção de forma de onda**

Foi de grande importância a conferência das distorções harmônicas que são fenômenos associados com deformações na forma de onda das tensões e correntes em relação à onda senoidal da frequência fundamental.

### **Fator de potência**

A análise completa do fator de potência (FP) é uma relação entre potência ativa e potência reativa por consequência energia ativa e reativa.

### **Controle da potência ativa em sobrefrequência**

O controle de frequência é importante, pois a frequência é uma medida do balanço de potência ativa do sistema. Se as cargas do sistema crescem e a potência gerada não aumenta, o saldo de potência necessário para alimentar as cargas é obtido da energia cinética armazenada nas massas girantes das unidades dos geradores, que em consequência sofrem redução de sua velocidade, o que implica em decréscimo de frequência.

### **Requisitos de suportabilidade a subtensões decorrentes de faltas na rede**

Entende-se por tensão máxima de um sistema, a máxima tensão de linha eficaz que pode ser mantida em condições normais de operação, em qualquer instante e em qualquer ponto do sistema. A determinação das sobretensões que podem ocorrer em um sistema elétrico é defundamental importância, uma vez que fornece subsídios para a coordenação do isolamento de redes de distribuição, linhas de transmissão e subestações, bem como para a especificação dos equipamentos.

### **Organização da instalação recomendada pela norma NR -10**

Todo o banco de bateria foi ligado em série gerando apenas 24volts DC, com um total de 4 (quatro) baterias de 110AH. Optamos por baterias estacionárias apenas da mesma marca, tamanho, potência e modelo, para evitar problemas de captação de cargas e diferenças de tamanhos de polaridades.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A Tecnologia do circuito é a nova atualização da EGS002 que está no projeto, ela nos permite ganhar grande eficiência na parte de desenvolvimento do equipamento e embora seja um inversor de baixo custo gerou os seguintes resultados abaixo: Potência nominal (uso contínuo) 1500W; Potência nominal de saída

(15 min) 2000W; Potência de Pico: (5 s) 3200w; Tensão da saída: 220/230Vca +/- 5%; Formato de onda: Senoidal Pura; Eficiência típica: 95%.

Outra vantagem encontrada no uso dessa tecnologia foi referente a conferência de carga recebida e transformada, pois na entrada essa carga passou por um filtro e análise para carregamento dos capacitores do protótipo. O aparelho identificou a tensão mínima evitando o trabalho com pouca carga e o mesmo se desligou sozinho para garantir a integridade da bateria e não descarrega-la por completo.

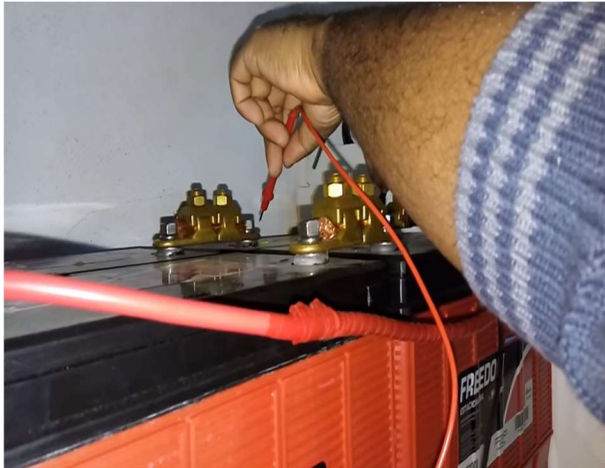


Figura 3: Testando a carga de cada uma das baterias com o auxílio de um multímetro.



Figura 4: Resultado do teste de tensão de cada uma.



Figura 5: Ligação em série das baterias e medidas exatas de suas devidas tensões somadas.

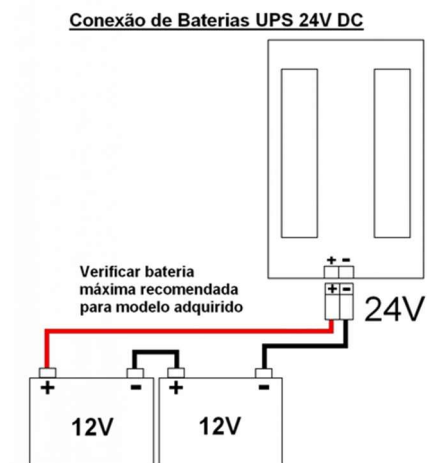


Figura 6: Esquema de ligações do banco de baterias (Alimentação).

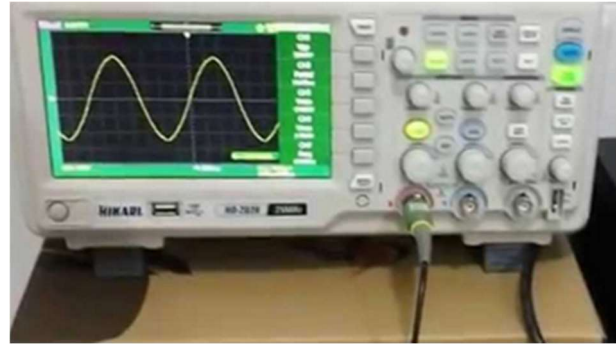


Figura 7: Verificação de circuito de todo o sistema interno do Inversor (desmontagem).



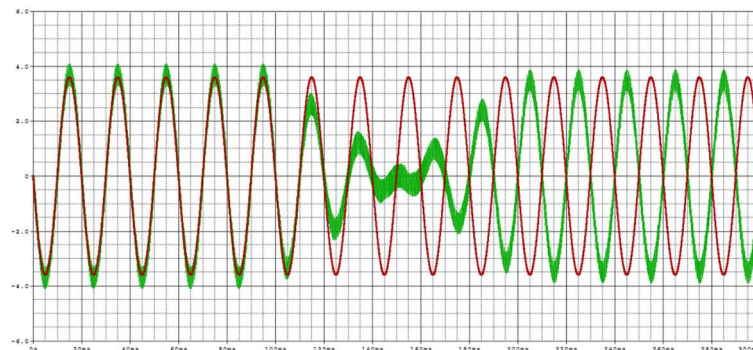


**Figura 8:** Inversor em potência total, como esperado atingiu todos os níveis de garantia.



**Figura 9:** Osciloscópio ligado aos conectores de saída do inversor.

Detalhamento: Potência nominal (uso contínuo) 1500W; Potência nominal de saída (15 min) 2000W; Frequência 60hz; Potência de Pico: (5 s) 3200w; Tensão da saída: 220/230Vca +/- 5%; Formato de onda: Senoidal Pura; Eficiência típica: 97%.



**Figura 10:** Gráfico de ondas de Tensão e Corrente em trabalho. Inversão de fluxo de potência alterando a referência de potência ativa. Tensão da rede (vermelha) e corrente (verde).



**Figura 11:** Monitor de processos do aparelho inversor

Dados mostrados são informações coletadas de osciloscópio, multímetro, amperímetro e voltímetro.

## CONCLUSÕES

Com todas essas análises que foram realizadas ficou claro que o projeto não é só viável como também pode promover um bom investimento financeiro, quando feita a análise ao longo aproximadamente vinte e cinco anos. Então se conclui que para esse estudo da implantação do sistema OFF GRID nas residências é completamente recomendável, seguro e confiável porque todos os testes foram satisfatórios e compatível diante das normas técnicas de aprovação para o sistema.

É notório que atualmente um sistema de energia independente não seja de custo tão baixo e com todo esse sistema estável foi possível perceber que à formas de melhor custo benefício para o investidor. Mas, depois de um determinado período de tempo à um grande impacto na economia de energia residencial e rural. Como esperado o inversor (protótipo), atuou nos testes de maneira correta e eficaz e, contudo assegurou de maneira satisfatória os conceitos de maneira geral. Portanto, o inversor está preparado para todos os testes do IMMETRO.

## REFERÊNCIAS

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa n. 482**. ANEEL, 2012.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa n. 687**. ANEEL, 2015.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.