

CARTILHA VIRTUAL

INVERSORES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE

PROCEDIMENTOS DE ENSAIO
NBR 16149, NBR 16150 e NBR IEC 62116

Organização



Parceiros



Apoio



GOVERNO DO ESTADO DO
RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO DESENVOLVIMENTO
ECONÔMICO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA



Essa cartilha virtual é resultado do projeto ENSAIOS E DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA APOIO AO SETOR DE ENERGIAS RENOVÁVEIS DO RS, aprovado no Edital 01/2016 – Programa de Apoio aos Pólos Tecnológicos da Secretaria de Desenvolvimento Econômico, Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul (SDECT/RS), Convênio DCIT 62/2016.

Autores:

Prof. Leandro Michels – UFSM (organizador)
Prof. Lucas Vizzotto Bellinaso – UFSM
Henrique Horst Figueira – UFSM
Ricardo Jochann Franceschi Bortolini – UFSM
Débora de Moura Steinhorst – UFSM
Alexandre Torres Ruschel – UFSM
Lucas Gais Gularte – UFSM
Alisson Mazzorani Vieira – UFSM
Igor Antônio Baldissera de Bitencourt – UFSM
Mateus Nava Mezaroba – URI/Erechim

Equipe do projeto:

Prof. Dr. Leandro Michels (coordenador) – UFSM
Prof. Dr. José Renes Pinheiro (pesquisador) – UFSM
Prof. Dr. Hélio Leães Hey (pesquisador) – UFSM
Prof. Dr. Cassiano Rech (pesquisador) – UFSM
Prof. Dr. Cassiano Rech (pesquisador) – UFSM
Prof. Dr. Julio Cezar Mairesse Siluk (pesquisador) – UFSM
Prof. Dr. Luciano Schuch (pesquisador) – UFSM
Prof. Dra. Morgana Pizzolato (pesquisadora) – UFSM
Prof. Dr. Jorge Rodrigo Massing (pesquisador) – UFSM
Prof. Dr. Elpidio Oscar Benitez Nara (pesquisador) – UNISC

Apoio:

Sonnen Energia Ltda - EPP

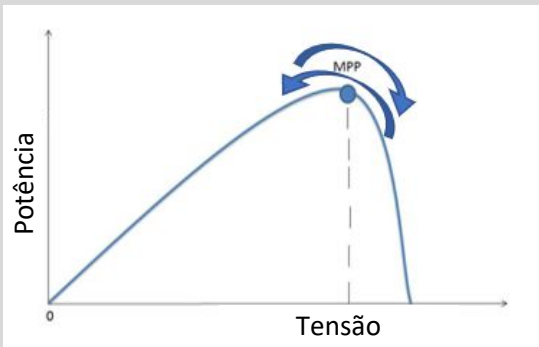
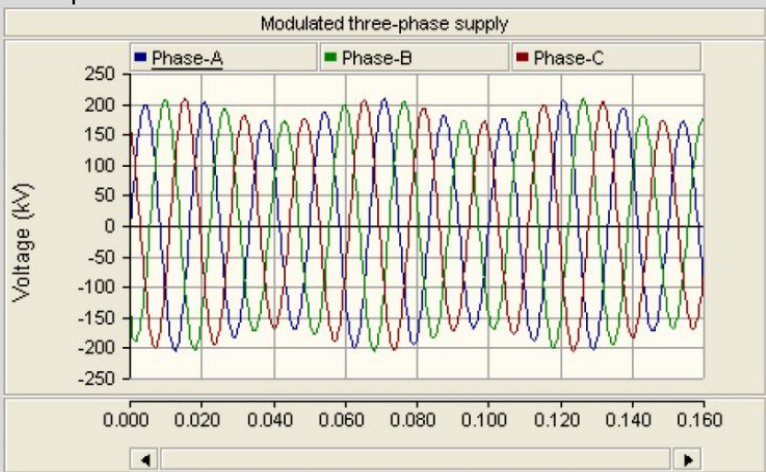
DISTRIBUIÇÃO ONLINE GRATUITA

Todos os direitos autorais estão reservados aos autores.

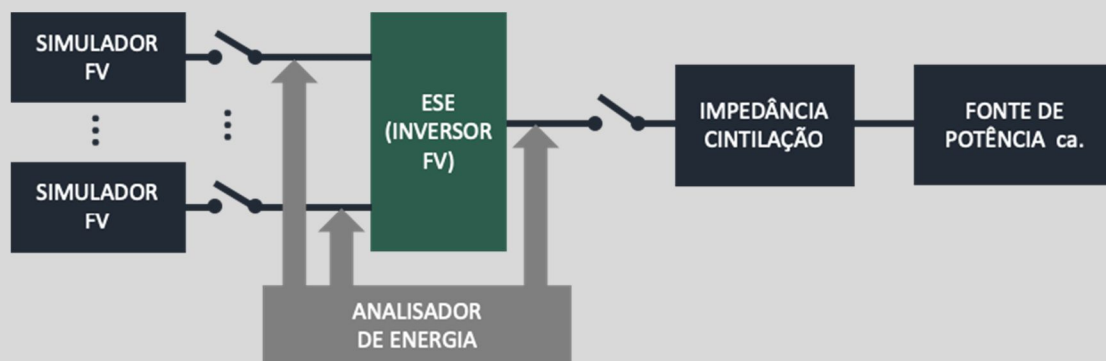
SUMÁRIO DOS ENSAIOS DE INVERSORES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE

Norma de Referência	Ensaio
ABNT NBR 16149 ABNT NBR 16150	1. Cintilação 2. Injeção de componente contínua 3. Harmônicos e distorção de forma de onda 4. Fator de potência: Fator de potência fixo 5. Fator de potência: Fator de potência com curva do FP 6. Injeção/demanda de potência reativa 7. Sobre/sub tensão: Tensão de desconexão por sobretensão 8. Sobre/sub tensão: Tempo de desconexão por sobretensão 9. Sobre/sub tensão: Tensão de desconexão por subtensão 10. Sobre/sub tensão: Tempo de desconexão por subtensão 11. Sobre/sub frequência: Frequência de desconexão por sobrefrequência 12. Sobre/sub frequência: Tempo de desconexão por sobrefrequência 13. Sobre/sub frequência: Frequência de desconexão por subfrequência 14. Sobre/sub frequência: Tempo de desconexão por subfrequência 15. Controle de potência ativa em sobrefrequência 16. Reconexão 17. Religamento automático fora de fase 18. Modulação de potência ativa 19. Modulação de potência reativa 20. Desconexão do sistema fotovoltaico da rede 21. Requisitos de suportabilidade a subtensões decorrentes de falta na rede
RAC INMETRO	22. Proteção contra inversão de polaridade 23. Sobrecarga
ABNT NBR IEC 62116	24. Anti-ilhamento

1. CINTILAÇÃO

Objetivo	Avaliar a adequação do inversor fotovoltaico quanto à geração de cintilação (ou flicker) junto ao ponto de conexão do mesmo com a rede c.a.
Definições	- Cintilação é um termo genérico usado para descrever rápidas variações no brilho aparente ou cor de uma fonte de luz - Impacto significativo em sistema de iluminação baseados em lâmpadas incandescentes e fluorescentes, causando efeito de perturbação - Efeito luminoso é pouco significativo em sistemas de iluminação baseado em conversores eletrônicos (ex.: LED) - Efeito pode existir em sistemas fotovoltaicos porque os inversores possuem algoritmos que constantemente buscam o ponto de máxima potência, e por vezes forçam variação de potência  - Exemplo prático de oscilações de potência geradas pelo algoritmo de rastreamento do ponto de máxima potência 
Motivações técnicas para a realização do ensaio	- Garantir que não sejam provocadas excessivas oscilações nas redes elétricas adjacentes à instalação fotovoltaica pelo sistema fotovoltaico - Oscilações excessivas podem forçar a instabilidade ou mal operação de equipamentos eletrônicos instalados nas adjacências (outros inversores fotovoltaicos, eletrodomésticos, equipamentos industriais, entre outros) Outra motivação deste ensaio é garantir que o inversor fotovoltaico opere em rede elétrica com impedância elevada, situação comum em locais distantes da subestação de energia elétrica

Aparato experimental para realização do ensaio



Detalhes do aparato são descritos nas normas IEC 61000-3-3 (para sistemas com corrente inferior a 16 A), IEC 61000-3-11 (para sistemas com corrente superior a 16 A e inferior a 75 A) e IEC 61000-3-5 (para sistemas com corrente superior a 75 A).

CrITÉRIOS de aceitação

Os limites máximos de cintilação são os definidos pelas normas IEC 61000-3-3, IEC 61000-3-11 e IEC 61000-3-5, onde:

- $P_{st} = 1,0$
- $P_{lt} = 0,65$
- $T_{max} = 500 \text{ ms}$
- $d_c = 3,3\%$
- $d_{max} = 6\%$

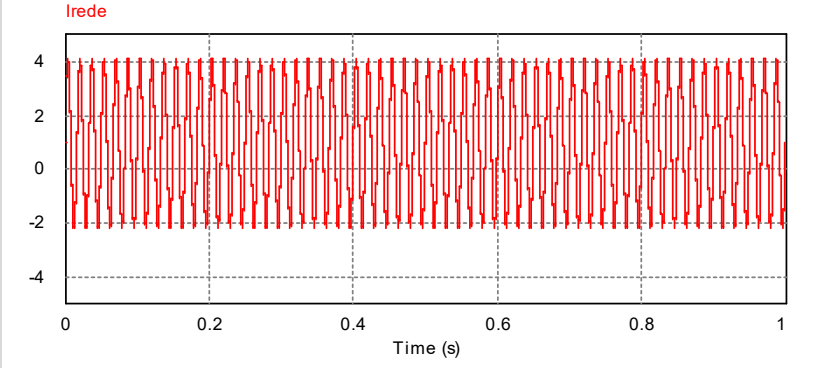
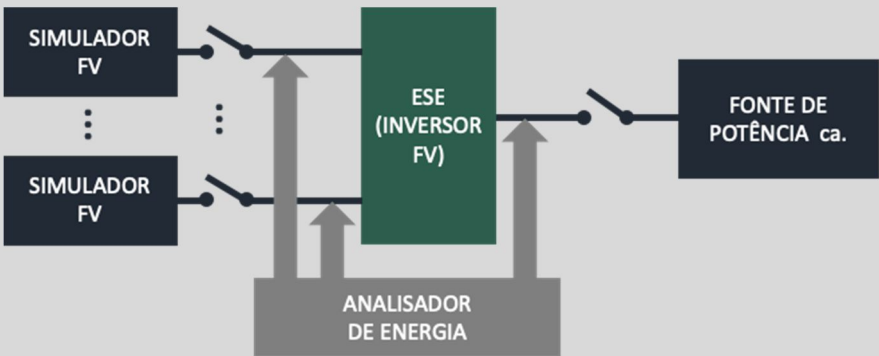
Condição de ensaio

- 100% da potência nominal

Procedimento de ensaio

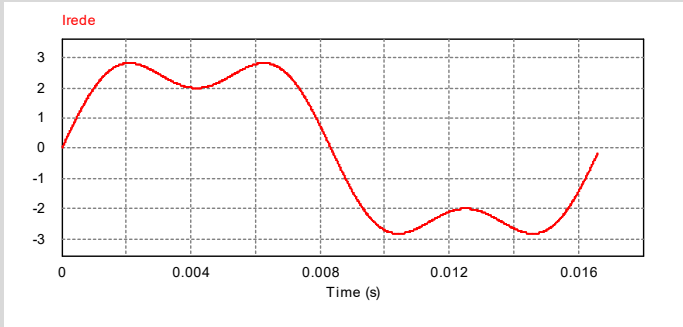
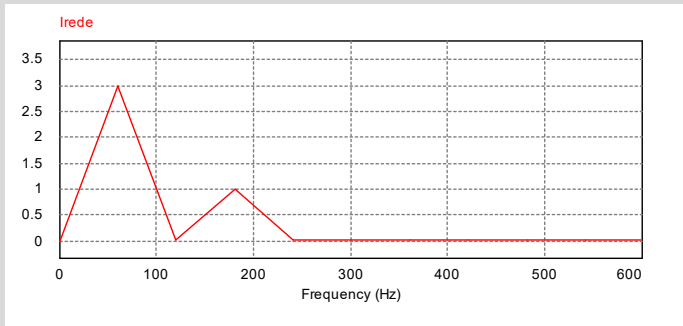
- a) Conectar o equipamento na carga de cintilação, conforme figura.
- b) Verificar se foram geradas as curvas fotovoltaicas para o ensaio.
- c) Ligar o termohigrômetro e configurar as condições ambientais contidas nesse documento no equipamento e iniciar a medição das condições climáticas durante os ensaios do dia.
- d) Configurar a tensão do emulador de rede CA em 100% da tensão nominal de ensaio e 60 Hz.
- e) Selecionar a curva fotovoltaica para que o equipamento sob ensaio opere em 100% de sua potência CA nominal e tensão de MPPT nominal.
- f) Enviar a curva definida no passo b) para os emuladores fotovoltaicos.
- g) Habilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica.
- h) Aguardar a estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência. Considera-se que o sistema está estabilizado quando o ponto de máxima potência se mantém dentro de uma faixa de tolerância de $\pm 2\%$ da potência de ensaios desejada. A estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência é avaliada pelo metrologista e alterações no equipamento podem ser realizadas para atingir o ponto de operação executando-se novamente um procedimento para obtenção do mapa de curvas. Caso o ESE não rastreie o ponto de máxima potência deve-se esperar pelo menos 5 minutos para avançar. Verificar a tensão CA da fonte, pois a injeção de potência por parte do inversor pode alterar a tensão da mesma, sendo necessário um reajuste.
- i) Carregar a configuração para execução do ensaio de cintilação.
- j) Aguarde o tempo de ensaio (2 horas) e extrair o resultado.
- k) Registrar os valores de " d_c ", " d_{max} ", " $d(t)$ ", " p_{st} " e " p_{lt} ".

2. INJEÇÃO DE COMPONENTE CONTÍNUA

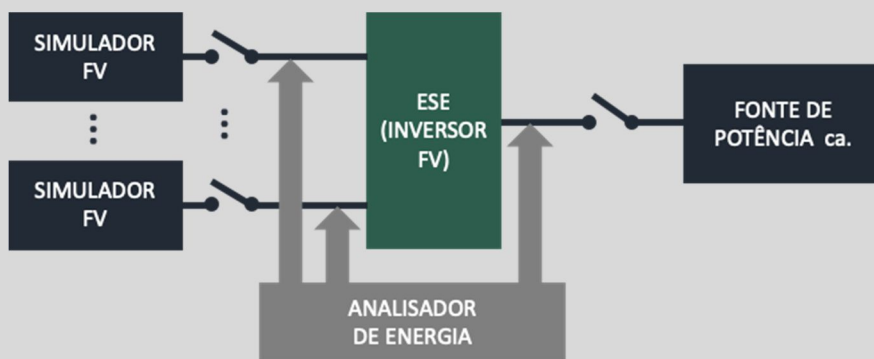
Objetivo	Avaliar a adequação do inversor fotovoltaico quanto à injeção de componente c.c. junto ao ponto de conexão do mesmo com a rede c.a.
Definições	- A corrente em equipamento c.a. normalmente não possui qualquer componente contínua. Geradores elétricos, motores, transformadores e cargas em geral não geram componente contínua. - Exemplo de offset de componente c.c. de corrente de 1 A sobreposta a uma corrente c.a. de 3 A. 
Motivações técnicas para a realização do ensaio	- Garantir que os inversores fotovoltaicos não contribuam para a saturação dos transformadores do sistema de distribuição de energia, o que resulta em aumento de perdas, distorção de forma de onda, e possível danificação (queima) por aquecimento excessivo. - Equipamentos eletrônicos, tais como os inversores fotovoltaicos sem transformador, podem produzir uma pequena quantidade de tensão c.c. devido ao controle ou diferenças no comando das chaves semicondutoras. Como a impedância da rede para componentes c.c. é muito pequena, normalmente pequenas tensões c.c. resultam em elevadas correntes c.c., que podem saturar os transformadores e gerar perdas no sistema elétrico.
Aparato experimental para realização do ensaio	 Observação: Para garantir que o emulador de rede c.a. não interfira no resultado, deve-se empregar um transformador com isolamento galvânica em baixa frequência na saída desse equipamento.
CrITÉRIOS de aceitação	O valor deve ser menor que o limite máximo de componente c.c.: 0,5% da corrente nominal c.a.

Condição de ensaio	• 100% da potência nominal • 66% da potência nominal • 33% da potência nominal
Procedimento de ensaio	a) Conectar os equipamentos conforme figura. b) Verificar se foram geradas as curvas fotovoltaicas para os ensaios. c) Ligar o termohigrômetro e configurar as condições ambientais contidas nesse documento no equipamento e iniciar a medição das condições climáticas durante os ensaios do dia. d) Configurar a tensão do emulador de rede CA em 100% da tensão nominal de ensaio e 60 Hz. e) Selecionar a curva fotovoltaica para que o equipamento sob ensaio opere em 33% de sua potência CA nominal e tensão de MPPT nominal. f) Enviar a curva definida no passo b) para os emuladores fotovoltaicos. g) Habilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica. h) Esperar a estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência. Considera-se que o sistema está estabilizado quando o ponto de máxima potência se mantém dentro de uma faixa de tolerância de $\pm 2\%$ da potência de ensaios desejada. A estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência é avaliada pelo metrologista e alterações no equipamento podem ser realizadas para atingir o ponto de operação executando-se novamente um procedimento para obtenção do mapa de curvas. Caso o ESE não rastreie o ponto de máxima potência deve-se esperar pelo menos 5 minutos para avançar. i) Medir e registrar o valor da corrente c.c. na saída do inversor (lado c.a.). j) Repetir os passos e) até i) alterando a potência da curva fotovoltaica listada para que o equipamento sob ensaio opere em 66% e 100% de sua potência CA nominal e tensão de MPPT nominal. k) Desabilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica.

3. HARMÔNICOS E DISTORÇÃO DE FORMA DE ONDA

Objetivo	Avaliar a adequação do inversor fotovoltaico quanto à injeção de componentes harmônicas de corrente c.a. até a 33ª ordem da fundamental de 60 Hz junto ao ponto de conexão do mesmo com a rede c.a.
Definições	- Entende-se por componente harmônica as distorções que ocorrem em regime permanente para em frequências múltiplas inteiras da fundamental de 60Hz - Exemplo de forma de onda de corrente fundamental (60 Hz) com 3 A de magnitude incluindo uma componente harmônica de 3ª ordem (180 Hz) com 1 A de magnitude  The graph shows the current I_{rede} in Amperes (A) over time in seconds (s). The waveform is a distorted sine wave, representing the fundamental frequency (60 Hz) with a 3rd harmonic component. The x-axis ranges from 0 to 0.016 s, and the y-axis ranges from -3 to 3 A.  The graph shows the magnitude of the current I_{rede} in Amperes (A) versus frequency in Hertz (Hz). The fundamental frequency (60 Hz) has a magnitude of 3 A, and the 3rd harmonic (180 Hz) has a magnitude of 1 A. The x-axis ranges from 0 to 600 Hz, and the y-axis ranges from 0 to 3.5 A.
Motivações técnicas para a realização do ensaio	- Evitar que o inversor fotovoltaico injele nas redes c.a. uma excessiva quantidade de harmônicos, que resulta em aumento de perdas nos cabos, transformadores e capacitores de correção de fator de potência. - As componentes harmônicas não resultam em injeção de potência ativa na rede (considerando-se uma tensão senoidal no ponto de conexão), ou seja, essas componentes injetam potência reativa. - Componentes harmônicas de corrente podem gerar distorções harmônicas na tensão no ponto de conexão do sistema fotovoltaico junto à rede, resultando em perdas ou mau funcionamento de outros equipamentos como motores elétricos.

Aparato experimental para realização do ensaio



Critério de aceitação

A amplitude individual de cada componente harmônica deve ser menor que os seguintes valores:

- 2ª Harmônica < 1% da corrente nominal c.a.
- 3ª Harmônica < 4% da corrente nominal c.a.
- 4ª Harmônica < 1% da corrente nominal c.a.
- 5ª Harmônica < 4% da corrente nominal c.a.
- 6ª Harmônica < 1% da corrente nominal c.a.
- 7ª Harmônica < 4% da corrente nominal c.a.
- 8ª Harmônica < 1% da corrente nominal c.a.
- 9ª Harmônica < 4% da corrente nominal c.a.
- 10ª Harmônica < 0,5% da corrente nominal c.a.
- 11ª Harmônica < 2% da corrente nominal c.a.
- 12ª Harmônica < 0,5% da corrente nominal c.a.
- 13ª Harmônica < 2% da corrente nominal c.a.
- 14ª Harmônica < 0,5% da corrente nominal c.a.
- 15ª Harmônica < 2% da corrente nominal c.a.
- 16ª Harmônica < 0,5% da corrente nominal c.a.
- 17ª Harmônica < 1,5% da corrente nominal c.a.
- 18ª Harmônica < 0,5% da corrente nominal c.a.
- 19ª Harmônica < 1,5% da corrente nominal c.a.
- 20ª Harmônica < 0,5% da corrente nominal c.a.
- 21ª Harmônica < 1,5% da corrente nominal c.a.
- 22ª Harmônica < 0,5% da corrente nominal c.a.
- 23ª Harmônica < 0,6% da corrente nominal c.a.
- 24ª Harmônica < 0,5% da corrente nominal c.a.
- 25ª Harmônica < 0,6% da corrente nominal c.a.
- 26ª Harmônica < 0,5% da corrente nominal c.a.
- 27ª Harmônica < 0,6% da corrente nominal c.a.
- 28ª Harmônica < 0,5% da corrente nominal c.a.
- 29ª Harmônica < 0,6% da corrente nominal c.a.
- 30ª Harmônica < 0,5% da corrente nominal c.a.
- 31ª Harmônica < 0,6% da corrente nominal c.a.
- 32ª Harmônica < 0,5% da corrente nominal c.a.
- 33ª Harmônica < 0,6% da corrente nominal c.a.

A taxa de distorção harmônica total da corrente injetada da rede c.a. deve ser menor que 5%.

Condições de ensaio

- 100% da potência nominal
- 75% da potência nominal
- 50% da potência nominal
- 30% da potência nominal
- 20% da potência nominal
- 10% da potência nominal

Procedimento de
ensaio

- a) Conectar os equipamentos conforme figura.
- b) Verificar se foram geradas as curvas fotovoltaicas para os ensaios.
- c) Ligar o Termohigrômetro e configurar as condições ambientais contidas nesse documento no equipamento e iniciar a medição das condições climáticas durante os ensaios do dia.
- d) Configurar a tensão do emulador de rede CA em 100% da tensão nominal de ensaio e 60 Hz.
- e) Selecionar a curva fotovoltaica para que o equipamento sob ensaio opere em 100% de sua potência CA nominal e tensão de MPPT nominal.
- f) Enviar a curva definida no passo b) para os emuladores fotovoltaicos.
- g) Habilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica.
- h) Esperar a estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência. Considera-se que o sistema está estabilizado quando o ponto de máxima potência se mantém dentro de uma faixa de tolerância de $\pm 2\%$ da potência de ensaios desejada. A estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência é avaliada pelo metrologista e alterações no equipamento podem ser realizadas para atingir o ponto de operação executando-se novamente um procedimento para obtenção do mapa de curvas. Caso o ESE não rastreie o ponto de máxima potência deve-se esperar pelo menos 5 minutos para avançar.
- i) Medir e registrar o valor do 2º harmônico até o 33º harmônico de corrente, a potência ativa de saída e a THD de corrente de saída.
- j) Repetir os passos e) até i) alterando a potência da curva fotovoltaica listada para que o equipamento sob ensaio opere em 75%, 50%, 30%, 20%, 10% de sua potência CA nominal.
- k) Desabilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica.

4. FATOR DE POTÊNCIA: FATOR DE POTÊNCIA FIXO

Objetivo

- Avaliar a adequação do inversor fotovoltaico quanto à sua adequação aos requisitos de fator de potência

- O fator de potência (FP) é uma relação entre potência ativa e potência aparente do sistema:

$$FP = \frac{\text{Potência ativa}}{\text{Potência aparente}}$$

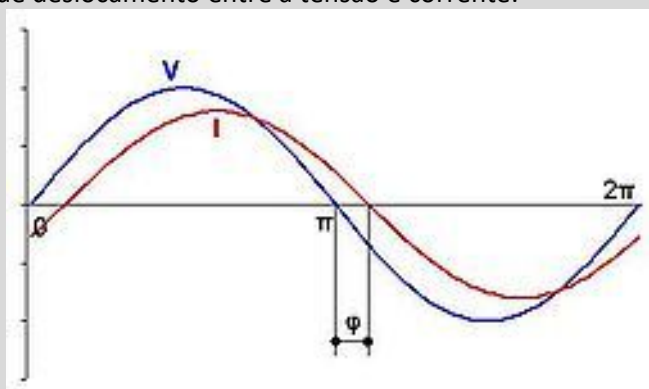
onde a potência aparente é dada por:

$$\text{Potência aparente} = \sqrt{(\text{Potência ativa})^2 + (\text{Potência reativa})^2}$$

- Para sistemas com tensões e correntes senoidais sem harmônicas, o fator de potência é dado por:

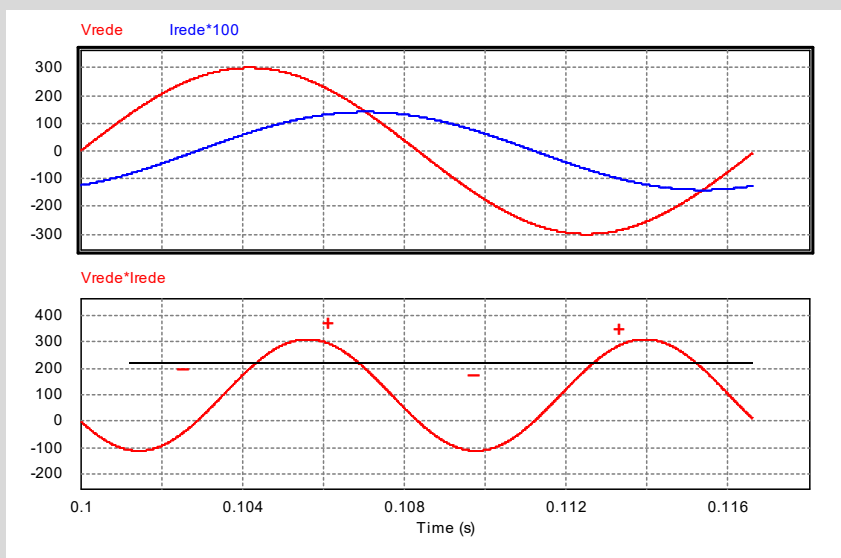
$$FP = \cos(\varphi)$$

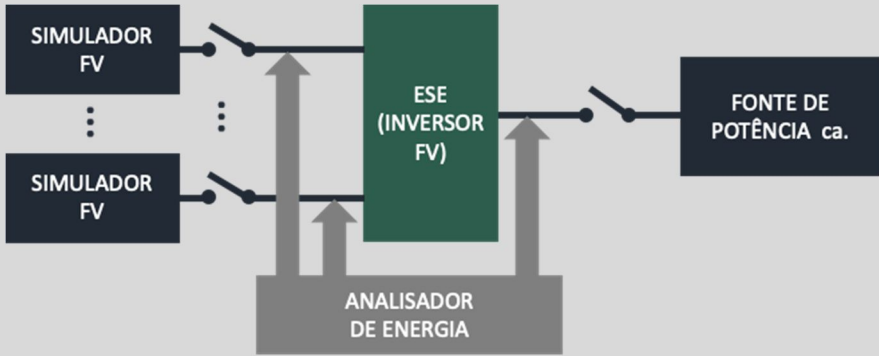
onde φ é ângulo de deslocamento entre a tensão e corrente:



Definições

- A existência de potência reativa resulta em potência circulante no sistema (potência reativa). Essa potência ora desloca-se no sentido do inversor para a rede, ora no sentido da rede para o inversor. Observa-se na figura abaixo que a potência possui uma parcela negativa, que é a componente reativa da potência.



Motivações técnicas para a realização do ensaio	- Fontes que injetam potência reativa aumentam a quantidade de corrente circulante na rede, o que resulta em aumento das perdas ôhmicas nos cabos e transformadores. - Fontes que injetam potência reativa podem alterar a tensão no ponto de conexão da rede. Em alguns casos isso é desejável, em outros não. Nos inversores fotovoltaicos, a menos que seja requerido a injeção de potência reativa (vide outros ensaios), espera-se que o inversor seja configurado de fábrica para operar com fator de potência unitário.
Aparato experimental para realização do ensaio	
Critérios de aceitação	Equipamento com potência <3kW - FP entre 0,98 indutivo e 0,98 capacitivo Equipamento com potência entre 3kW e 6kW - FP entre 0,95 indutivo e 0,95 capacitivo Equipamento com potência >6kW - FP entre 0,90 indutivo e 0,90 capacitivo OBS.: Considera-se em conformidade se os valores medidos estiverem dentro da tolerância de $\pm 0,025$.
Condição de ensaio	100% da potência nominal 75% da potência nominal 50% da potência nominal 30% da potência nominal 20% da potência nominal 10% da potência nominal
Procedimento de ensaio	- Conectar os equipamentos conforme figura. - Verificar se foram geradas as curvas fotovoltaicas para os ensaios. - Ligar o Termohigrômetro e configurar as condições ambientais contidas nesse documento no equipamento e iniciar a medição das condições climáticas durante os ensaios do dia. - Configurar a tensão do emulador de rede CA em 100% da tensão nominal de ensaio e 60 Hz. - Selecionar a curva fotovoltaica para que o equipamento sob ensaio opere em 100% de sua potência CA nominal e tensão de MPPT nominal. - Enviar a curva definida no passo b) para os emuladores fotovoltaicos. - Habilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica. - Esperar a estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência. Considera-se que o sistema está estabilizado quando o ponto de máxima potência se mantém dentro de uma faixa de tolerância de $\pm 2\%$ da potência de ensaios desejada. A estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência é avaliada pelo metrologista e alterações no equipamento podem ser realizadas para atingir o ponto de operação executando-se novamente um procedimento para obtenção do mapa de curvas. Caso o ESE não rastreie o ponto de máxima potência deve-se esperar pelo menos 5 minutos para avançar.

- i) Medir e registrar o valor do fator de potência de saída do inversor sob ensaio.
- j) Repetir os passos e) até i) alterando a potência da curva fotovoltaica listada para que o equipamento sob ensaio opere em 75%, 50%, 30%, 20%, 10% de sua potência CA nominal.
- k) Se o inversor for de potência entre 3 kW e 6 kW, repetir esse procedimento, alterando o fator de potência para 0,95 indutivo e depois 0,95 capacitivo, conforme orientações do fabricante para configuração do inversor.
- l) Se o inversor for de potência superior a 6 kW, repetir esse procedimento, alterando o fator de potência para 0,90 indutivo e depois 0,90 capacitivo, conforme orientações do fabricante para configuração do inversor.
- m) Desabilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica.

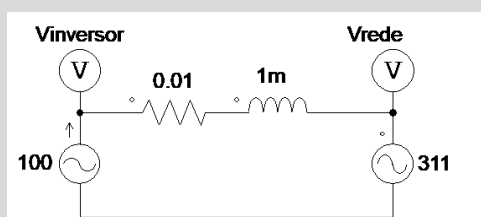
5. FATOR DE POTÊNCIA: COM CURVA DO FP

Objetivo

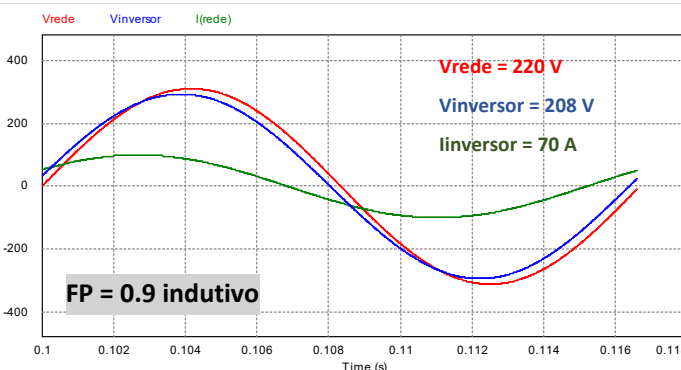
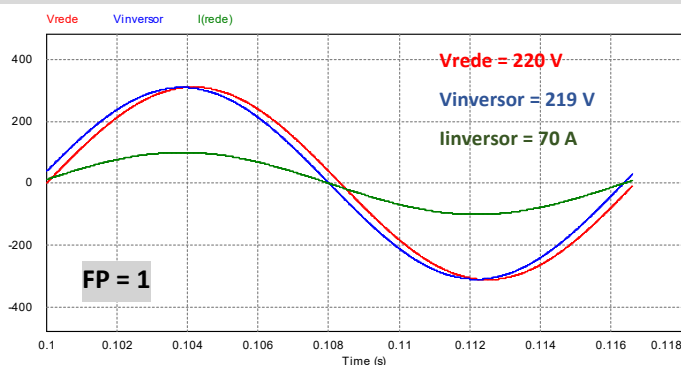
- Avaliar a adequação dos inversores fotovoltaicos com potência superior a 3 kW quanto ao ajuste automático do fator de potência quanto à elevação da tensão do ponto de conexão com a rede.

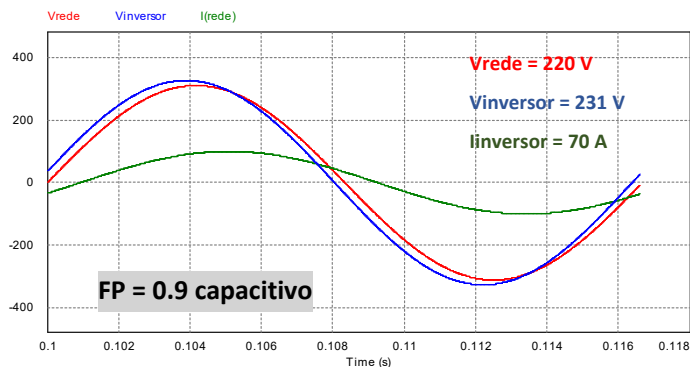
Definições

- As redes elétricas foram projetadas para operarem de forma radial, ou seja, em um sentido único da subestação para as cargas. Contudo, com a existência de geração distribuída tal como a fotovoltaica, pode ocorrer alteração na direção do fluxo de potência e isso impactar na regulação de tensão da rede. Considerando-se o caso exemplo abaixo, onde assume-se uma rede com uma tensão de 220 V eficazes (ou 311 V de pico) e um ramo com impedância de 0,4 Ω .



Caso o inversor fotovoltaico injete corrente de 70 A com fator de potência unitário, a tensão no ponto de conexão é de 219 V. Contudo, se a mesma for injetada com $FP = 0,9$ indutivo a tensão reduz para 208 V, enquanto para $PF = 0,9$ capacitivo aumenta para 231 V. Logo, dentro de certa margem, um ajuste de fator de potência pode colaborar com a regulação de tensão no ponto de conexão.

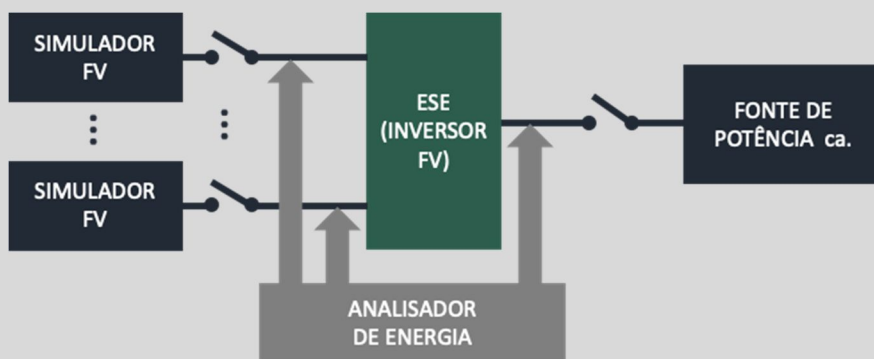




Motivações técnicas para a realização do ensaio

- Como os inversores fotovoltaicos tendem a aumentar a tensão no ponto de conexão, pois as redes de distribuição têm característica resistiva significativa, os inversores fotovoltaicos são projetados para injetar reativo equivalente a uma carga indutiva quando a tensão no ponto de conexão aumentar para reduzir o impacto do inversor fotovoltaico na tensão do ponto de conexão deste com a rede.

Aparato experimental para realização do ensaio



Equipamento com potência <3kW

- Não necessita realizar esse ensaio

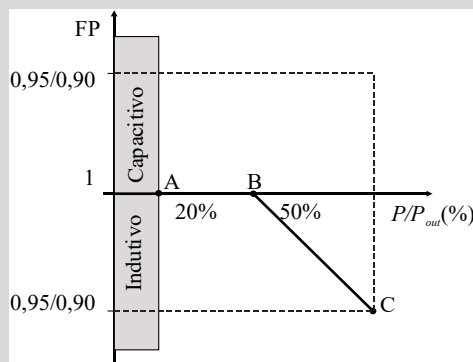
Equipamento com potência entre 3kW e 6kW

- Deve seguir a curva mostrada na figura com FP entre 0,95 indutivo e 0,95 capacitivo

Equipamento com potência >6kW

- FP entre 0,90 indutivo e 0,90 capacitivo

Critérios de aceitação

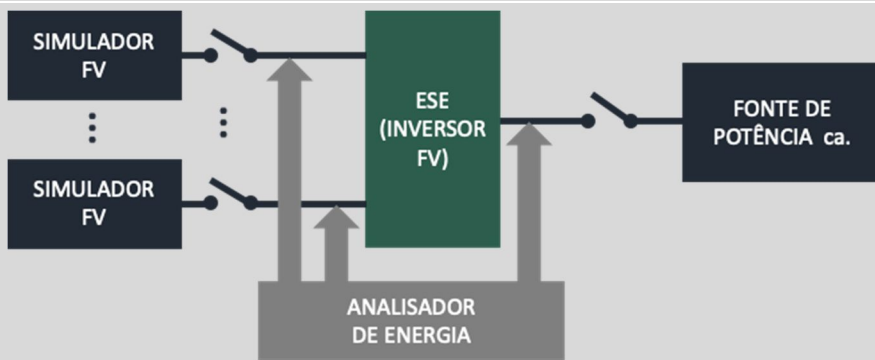
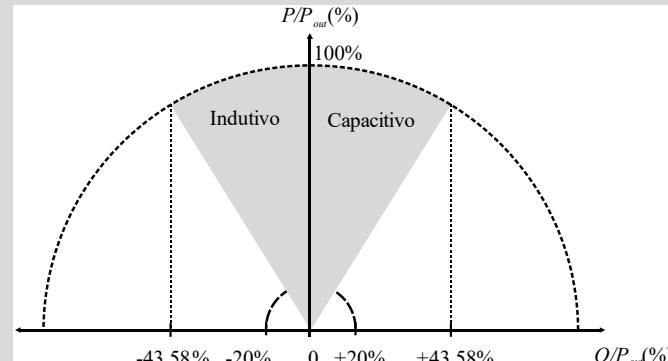


Observações importantes:

- A curva FP x Potência CA nominal deve vir configurada de fábrica
- O acionamento da curva de FP se dá através do nível de tensão da rede, sendo esse nível configurável entre 100% e 110% com valor padrão de 104%
- O acionamento da curva de FP ocorre quando a tensão retornar para um valor configurável entre 90% e 100% com valor padrão de 100%

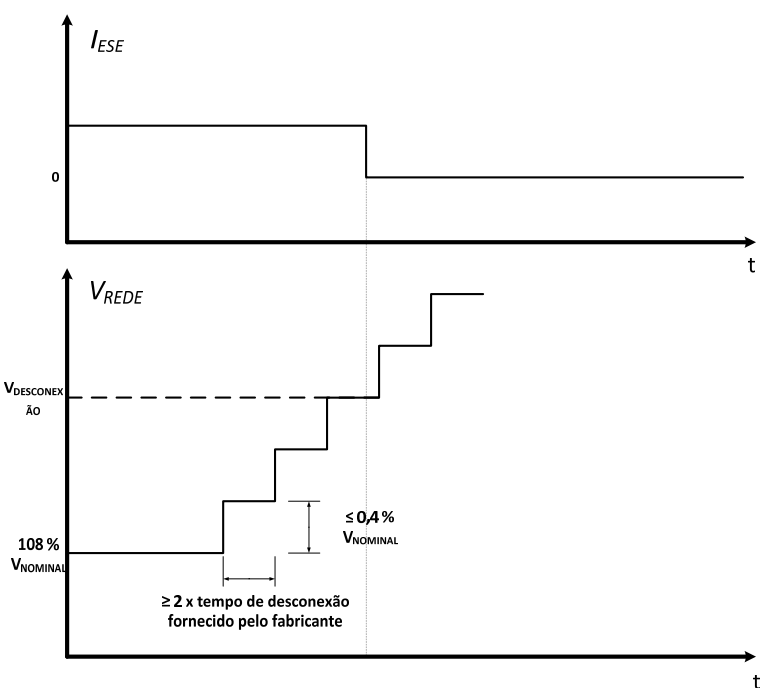
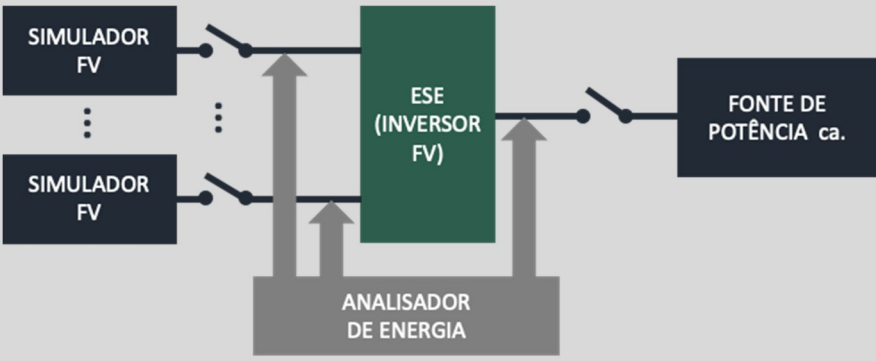
Condição de ensaio	• 100% da potência nominal • 75% da potência nominal • 50% da potência nominal • 30% da potência nominal • 20% da potência nominal • 10% da potência nominal
Procedimento de ensaio	a) Conectar os equipamentos conforme figura. b) Verificar se foram geradas as curvas fotovoltaicas para os ensaios. c) Ligar o Termohigrômetro e configurar as condições ambientais contidas nesse documento no equipamento e iniciar a medição das condições climáticas durante os ensaios do dia. d) Configurar a tensão do emulador de rede CA em 100% da tensão nominal de ensaio e 60 Hz. e) Selecionar a curva fotovoltaica para que o equipamento sob ensaio opere em 100% de sua potência CA nominal e tensão de MPPT nominal. f) Enviar a curva definida no passo b) para os emuladores fotovoltaicos. g) Caso a curva de fator de potência não venha habilitada de fábrica, configurar o equipamento sob ensaio para habilitar a curva de fator de potência. h) Habilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica. i) Esperar a estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência. Considera-se que o sistema está estabilizado quando o ponto de máxima potência se mantém dentro de uma faixa de tolerância de $\pm 2\%$ da potência de ensaios desejada. A estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência é avaliada pelo metrologista e alterações no equipamento podem ser realizadas para atingir o ponto de operação executando-se novamente um procedimento para obtenção do mapa de curvas. Caso o ESE não rastreie o ponto de máxima potência deve-se esperar pelo menos 5 minutos para avançar. j) Elevar a tensão da fonte emuladora CA para 104% da tensão nominal de ensaio. Nesse instante o valor do fator de potência deve se alterar para atender a curva padrão. Observação: A alteração do fator de potência deve ser observada a partir de 50% da potência nominal de saída. O valor de 104% da tensão nominal de ensaio é o valor padrão para ativação da curva de fator de potência. Caso a curva não se ative, alterar a tensão elevando de 1% em 1%. k) Medir e registrar o valor do fator de potência de saída no inversor. l) Repetir os passos e) até k) alterando a potência da curva fotovoltaica listada para que o equipamento sob ensaio opere em 75%, 50%, 30%, 20% e 10% e de sua potência CA nominal. m) Desabilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica.

6. INJEÇÃO/DEMANDA DE POTÊNCIA REATIVA

Objetivo	Avaliar a adequação dos inversores fotovoltaicos com potência superior a 6 kW quanto ao ajuste da potência ativa e reativa diante de comandos externos.
Explicação técnica	Além do ajuste automático descrito no item anterior, os inversores com potência superior a 6 kW devem estar aptos a receber comandos externos para operar com limitação da potência ativa e com potência reativa configurável entre 0,90 indutivo e 0,90 capacitivo em qualquer nível de potência.
Motivações técnicas para a realização do ensaio	- Inversores de maior potência tem um maior impacto nas tensões da rede de distribuição. Por isso, como medida antecipatória para evitar necessidades de retrofits futuros nos inversores, deixou-se implementado a possibilidade potências ativas e reativas dos inversores com potência maior que 6 kW, tornando possível o futuro gerenciamento dos mesmos pela distribuidora de energia para regular a tensão no ramal de distribuição. Destaca-se que a Califórnia já implementa esse tipo de regulação (vide CPUC – Rule 21). - O protocolo de comunicação não é definido, podendo ser escolhido pelo fabricante.
Aparato experimental para realização do ensaio	
Critérios de aceitação	Equipamento com potência <3kW - Não necessita realizar esse ensaio Equipamento com potência entre 3kW e 6kW - Não necessita realizar esse ensaio Equipamento com potência >6kW - Deve operar adequadamente em qualquer um dos pontos marcados na figura abaixo 

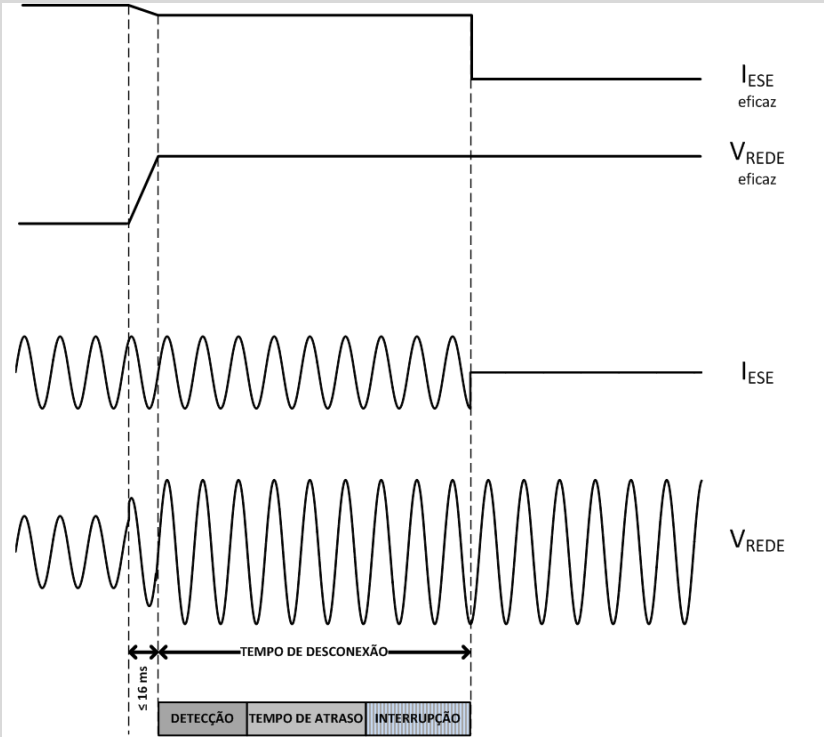
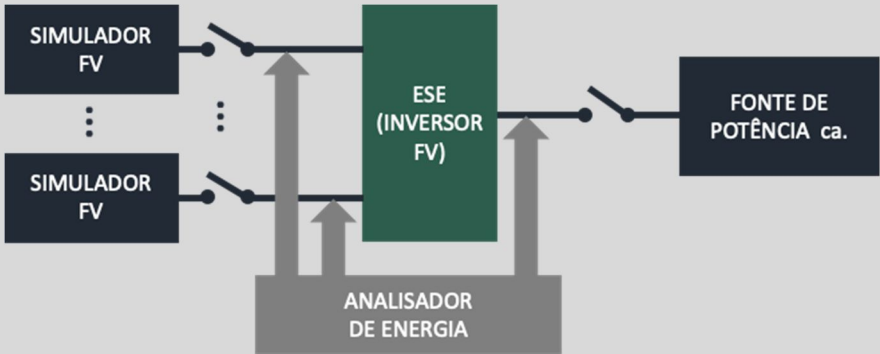
Condição de ensaio	• 100% da potência nominal • 75% da potência nominal • 50% da potência nominal • 30% da potência nominal • 20% da potência nominal • 10% da potência nominal
Procedimento de ensaio	a) Conectar os equipamentos conforme figura. b) Verificar se foram geradas as curvas fotovoltaicas para os ensaios. c) Ligar o Termohigrômetro e configurar as condições ambientais contidas nesse documento no equipamento e iniciar a medição das condições climáticas durante os ensaios do dia. d) Configurar a tensão do emulador de rede CA em 100% da tensão nominal de ensaio e 60 Hz. e) Selecionar a curva fotovoltaica para que o equipamento sob ensaio opere em 100% de sua potência CA nominal e tensão de MPPT nominal. f) Enviar a curva definida no passo b) para os emuladores fotovoltaicos. g) Configurar o inversor para fornecer potência reativa igual a 48,14% da potência ativa de ensaio (operação capacitiva), conforme procedimento fornecido pelo fabricante para configuração do inversor h) Habilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica. i) Esperar a estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência. Considera-se que o sistema está estabilizado quando o ponto de máxima potência se mantém dentro de uma faixa de tolerância de $\pm 2\%$ da potência de ensaios desejada. A estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência é avaliada pelo metrologista e alterações no equipamento podem ser realizadas para atingir o ponto de operação executando-se novamente um procedimento para obtenção do mapa de curvas. Caso o ESE não rastreie o ponto de máxima potência deve-se esperar pelo menos 5 minutos para avançar. Verificar a tensão CA da fonte, pois a injeção de potência por parte do inversor pode alterar a tensão da mesma, sendo necessário um reajuste j) Medir e registrar o valor do fator de potência de saída no inversor. k) Repetir os passos e) até j) alterando a potência da curva fotovoltaica listada para que o equipamento sob ensaio opere em 75%, 50%, 30%, 20% e 10% e de sua potência CA nominal. l) Desabilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica. m) Repetir os passos e) a l), porém com o ESE configurado para demandar potência reativa igual a 48,43% da potência ativa de ensaio (operação indutiva). n) Repetir os passos e) a l), porém com o ESE configurado para demandar apenas potência ativa (fator de potência unitário).

7. SOBRE/SUB TENSÃO: TENSÃO DE DESCONEXÃO POR SOBRETENSÃO

Objetivo	Avaliar a adequação dos inversores fotovoltaicos quanto à tensão no ponto de conexão que provoca sua desconexão automática por sobretensão.
Motivações técnicas para a realização do ensaio	- Para segurança pessoal dos usuários, do inversor fotovoltaico e da rede elétrica diante de eventuais sobretensões no ponto de conexão, deve-se garantir que o inversor se desconecte quanto a tensão for significativamente superior do valor nominal. - O ensaio é realizado através da realização de degraus na tensão do ponto de conexão através de ajuste no simulador de rede c.a., como mostrado na figura abaixo, até o inversor desconectar. 
Aparato experimental para realização do ensaio	
Critérios de aceitação	O ESE é considerado em conformidade se a tensão de desconexão por sobretensão não exceder 110% da tensão nominal do inversor, com tolerância de +2 % da tensão nominal de ensaio.

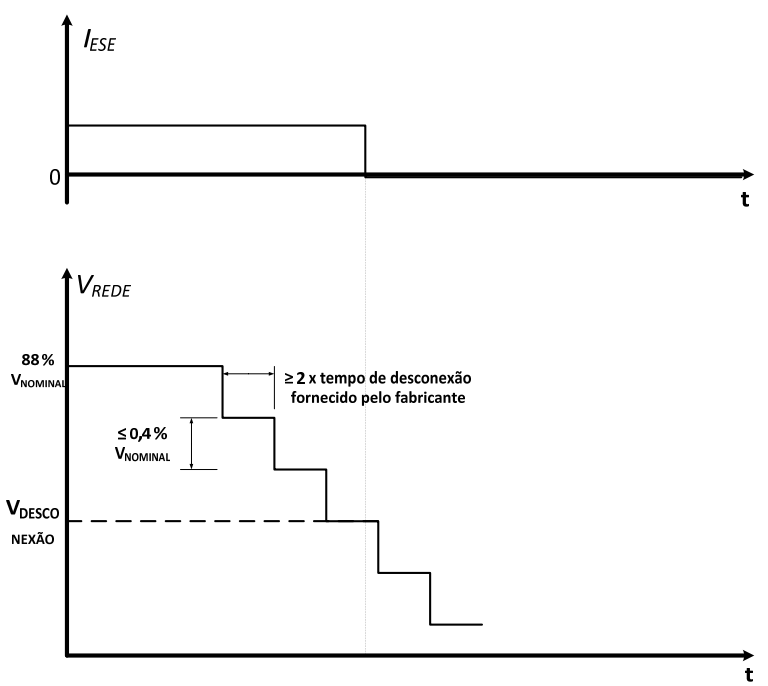
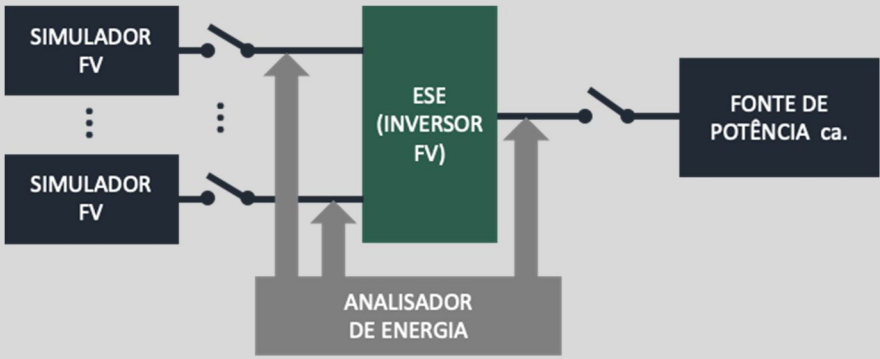
Condição de ensaio	• 100% da potência nominal
Critérios de aceitação	a) Conectar os equipamentos conforme figura. b) Verificar se foram geradas as curvas fotovoltaicas para os ensaios. c) Ligar o Termohigrômetro e configurar as condições ambientais contidas nesse documento no equipamento e iniciar a medição das condições climáticas durante os ensaios do dia. d) Configurar a tensão do emulador de rede CA em 108% da tensão nominal de ensaio (237,60 V para ensaios em 220 V e 137,16 V para ensaios em 127 V) e 60 Hz. e) Selecionar a curva fotovoltaica para que o equipamento sob ensaio opere em 100% de sua potência CA nominal e tensão de MPPT nominal. f) Enviar a curva definida no passo b) para os emuladores fotovoltaicos. g) Habilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica. h) Esperar a estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência. Considera-se que o sistema está estabilizado quando o ponto de máxima potência se mantém dentro de uma faixa de tolerância de $\pm 2\%$ da potência de ensaios desejada. A estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência é avaliada pelo metrologista e alterações no equipamento podem ser realizadas para atingir o ponto de operação executando-se novamente um procedimento para obtenção do mapa de curvas. Caso o ESE não rastreie o ponto de máxima potência deve-se esperar pelo menos 5 minutos para avançar. Verificar a tensão CA da fonte, pois a injeção de potência por parte do inversor pode alterar a tensão da mesma, sendo necessário um reajuste i) Elevar a tensão do emulador de rede CA em um passo de até 0,4% da tensão nominal de ensaio (Ex: 0,5 V para 220 V e 127 V). j) Medir e registrar o valor de tensão no equipamento. k) Verificar se ocorreu a desconexão do equipamento sob ensaio da rede. Caso afirmativo, avance para item l). Caso contrário, retorne para item i). l) Medir e registrar o valor de tensão no equipamento. m) Preparar o cronômetro para medir o tempo de reconexão. n) Aumentar a tensão do emulador de rede CA para uma tensão 5 V acima da que causou a desconexão. o) Reduzir a tensão do emulador de rede CA para a tensão nominal de ensaio e acionar o cronômetro simultaneamente. Quando o inversor iniciar a injetar corrente na rede, pause o cronômetro. Medir e registrar o valor de tensão e do tempo medido no cronômetro. p) Desabilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica.

8. SOBRE/SUB TENSÃO: TEMPO DE DESCONEXÃO POR SOBRETENSÃO

Objetivo	Avaliar a adequação dos inversores fotovoltaicos quanto ao tempo máximo em condição de sobretensão no ponto de conexão que resulta em sua desconexão automática.
Motivações técnicas para a realização do ensaio	- Para segurança pessoal dos usuários, do inversor fotovoltaico e da rede elétrica diante de eventuais sobretensões no ponto de conexão, deve-se garantir que o inversor se desconecte rapidamente quando a tensão for significativamente superior ao valor nominal. - O propósito do tempo de atraso é garantir que distúrbios de curta duração não façam com que o sistema cesse o fornecimento de energia para a rede, evitando desconexões excessivas e desnecessárias. - O ensaio é realizado através da realização de um degrau na tensão do ponto de conexão através de ajuste da tensão no simulador de rede c.a., como mostrado na figura abaixo, medindo-se o tempo até o inversor desconectar. 
Aparato experimental para realização do ensaio	

Critérios de aceitação	O ESE é considerado em conformidade se o tempo de desconexão por sobretensão não exceder 0,2 s, com tolerância de +2%.
Condição de ensaio	• 100% da potência nominal
Procedimento de ensaio	- Conectar os equipamentos conforme figura. - Verificar se foram geradas as curvas fotovoltaicas para os ensaios. - Ligar o Termohigrômetro e configurar as condições ambientais contidas nesse documento no equipamento e iniciar a medição das condições climáticas durante os ensaios do dia. - Configurar a tensão do emulador de rede CA em 100% da tensão nominal de ensaio e 60 Hz. - Selecionar a curva fotovoltaica para que o equipamento sob ensaio opere em 100% de sua potência CA nominal e tensão de MPPT nominal. - Enviar a curva definida no passo b) para os emuladores fotovoltaicos. - Habilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica. - Esperar a estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência. Considera-se que o sistema está estabilizado quando o ponto de máxima potência se mantém dentro de uma faixa de tolerância de $\pm 2\%$ da potência de ensaios desejada. A estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência é avaliada pelo metrologista e alterações no equipamento podem ser realizadas para atingir o ponto de operação executando-se novamente um procedimento para obtenção do mapa de curvas. Caso o ESE não rastreie o ponto de máxima potência deve-se esperar pelo menos 5 minutos para avançar. Verificar a tensão CA da fonte, pois a injeção de potência por parte do inversor pode alterar a tensão da mesma, sendo necessário um reajuste - Ajustar a tensão do emulador de rede CA para uma tensão 10% abaixo da tensão que causou a desconexão do inversor no ensaio 7. - Configurar o emulador de rede CA para um degrau de 7 V acima da tensão configurada no passo i). - Aplicar o degrau de tensão programado na fonte emuladora CA. - Desabilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica. - Extrair o resultado do ensaio de medição do tempo de desconexão por sobretensão. - Medir e registrar o valor de tempo de desconexão.

9. SOBRE/SUB TENSÃO: TENSÃO DE DESCONEXÃO POR SUBTENSÃO

Objetivo	Avaliar a adequação dos inversores fotovoltaicos quanto à tensão no ponto de conexão que provoca sua desconexão automática por subtensão.
Motivações técnicas para a realização do ensaio	- Para segurança pessoal dos usuários, do inversor fotovoltaico e da rede elétrica diante de eventuais subtensões no ponto de conexão, deve-se garantir que o inversor desconecte automaticamente. - O ensaio é realizado através da realização de degraus na tensão do ponto de conexão através de ajuste no simulador de rede c.a., como mostrado na figura abaixo, até o inversor desconectar. 
Aparato experimental para realização do ensaio	
Critérios de aceitação	O ESE é considerado em conformidade se a tensão de desconexão por subtensão não exceder 80% da tensão nominal do inversor, com tolerância de +2 % da tensão nominal de ensaio.

Condição de ensaio	• 100% da potência nominal
Procedimento de ensaio	- Conectar os equipamentos conforme figura. - Verificar se foram geradas as curvas fotovoltaicas para os ensaios. - Ligar o Termohigrômetro e configurar as condições ambientais contidas nesse documento no equipamento e iniciar a medição das condições climáticas durante os ensaios do dia. - Configurar a tensão do emulador de rede CA em 88% da tensão nominal de ensaio (193,6 V para ensaios em 220 V e 111,76 V para ensaios em 127 V) e 60 Hz. - Selecionar a curva fotovoltaica para que o equipamento sob ensaio opere em 100% de sua potência CA nominal e tensão de MPPT nominal. - Enviar a curva definida no passo b) para os emuladores fotovoltaicos. - Habilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica. - Esperar a estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência. Considera-se que o sistema está estabilizado quando o ponto de máxima potência se mantém dentro de uma faixa de tolerância de $\pm 2\%$ da potência de ensaios desejada. A estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência é avaliada pelo metrologista e alterações no equipamento podem ser realizadas para atingir o ponto de operação executando-se novamente um procedimento para obtenção do mapa de curvas. Caso o ESE não rastreie o ponto de máxima potência deve-se esperar pelo menos 5 minutos para avançar. Verificar a tensão CA da fonte, pois a injeção de potência por parte do inversor pode alterar a tensão da mesma, sendo necessário um reajuste - Reduzir a tensão do emulador de rede CA em um passo de até 0,4% da tensão nominal de ensaio (Ex: 0,5 V para 220 V e 127 V). - Medir e registrar o valor de tensão no equipamento. - Verificar se ocorreu a desconexão do equipamento sob ensaio da rede. Caso afirmativo, avance para item l). Caso contrário, retorne para item i). - Medir e registrar o valor de tensão no equipamento. - Preparar o cronômetro para medir o tempo de reconexão. - Aumentar a tensão do emulador de rede CA para uma tensão 5 V acima da que causou a desconexão. - Elevar a tensão do emulador de rede CA para a tensão nominal de ensaio e acionar o cronômetro simultaneamente. Quando o inversor iniciar a injetar corrente na rede, pause o cronômetro. Medir e registrar o valor de tensão e do tempo medido no cronômetro. - Desabilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica.

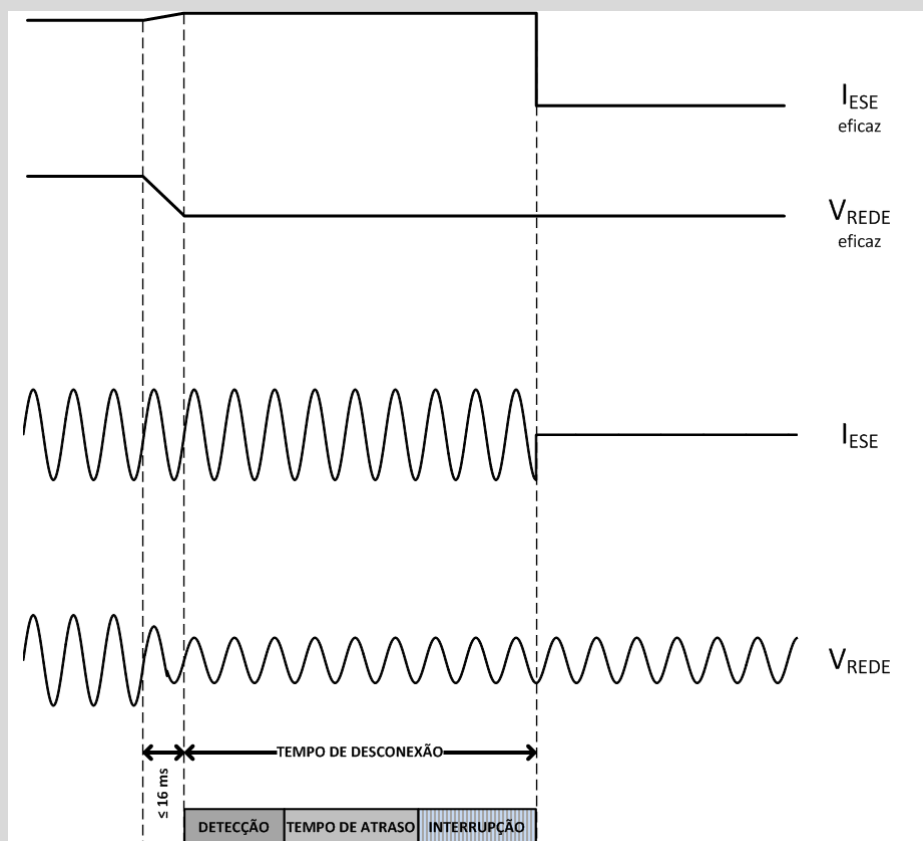
10. SOBRE/SUB TENSÃO: TEMPO DE DESCONEXÃO POR SUBTENSÃO

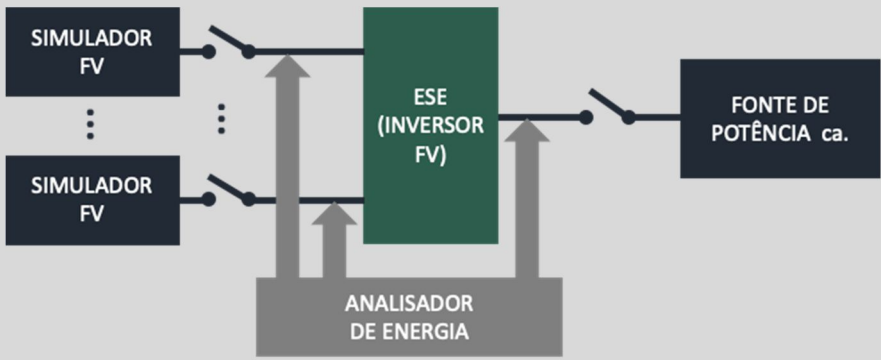
Objetivo

- Avaliar a adequação dos inversores fotovoltaicos quanto ao tempo máximo em condição de subtensão no ponto de conexão que resulta em sua desconexão automática.

Motivações técnicas para a realização do ensaio

- Para segurança pessoal dos usuários, do inversor fotovoltaico e da rede elétrica diante de eventuais subtensões no ponto de conexão, deve-se garantir que o inversor se desconecte rapidamente quando a tensão for significativamente superior ao valor nominal.
- O propósito do tempo de atraso é garantir que distúrbios de curta duração não façam com que o sistema cesse o fornecimento de energia para a rede, evitando desconexões excessivas e desnecessárias.
- O ensaio é realizado através da realização de um degrau na tensão do ponto de conexão através de ajuste da tensão no simulador de rede c.a., como mostrado na figura abaixo, medindo-se o tempo até o inversor desconectar.



Aparato experimental para realização do ensaio	
CrITÉRIOS de aceitação	O ESE é considerado em conformidade se o tempo de desconexão por subtensão não exceder 0,4 s, com tolerância de +2%.
Condição de ensaio	• 100% da potência nominal
Procedimento de ensaio	- Conectar os equipamentos conforme figura. - Verificar se foram geradas as curvas fotovoltaicas para os ensaios. - Ligar o Termohigrômetro e configurar as condições ambientais contidas nesse documento no equipamento e iniciar a medição das condições climáticas durante os ensaios do dia. - Configurar a tensão do emulador de rede CA em 100% da tensão nominal de ensaio e 60 Hz. - Selecionar a curva fotovoltaica para que o equipamento sob ensaio opere em 100% de sua potência CA nominal e tensão de MPPT nominal. - Enviar a curva definida no passo b) para os emuladores fotovoltaicos. - Habilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica. - Esperar a estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência. Considera-se que o sistema está estabilizado quando o ponto de máxima potência se mantém dentro de uma faixa de tolerância de $\pm 2\%$ da potência de ensaios desejada. A estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência é avaliada pelo metrologista e alterações no equipamento podem ser realizadas para atingir o ponto de operação executando-se novamente um procedimento para obtenção do mapa de curvas. Caso o ESE não rastreie o ponto de máxima potência deve-se esperar pelo menos 5 minutos para avançar. Verificar a tensão CA da fonte, pois a injeção de potência por parte do inversor pode alterar a tensão da mesma, sendo necessário um reajuste - Ajustar a tensão do emulador de rede CA para uma tensão 10% acima da tensão que causou a desconexão do inversor no ensaio 9. - Configurar o emulador de rede CA para um degrau de 5 V abaixo da tensão configurada no passo i). - Aplicar o degrau de tensão programado na fonte emuladora CA. - Desabilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica. - Extrair o resultado do ensaio de medição do tempo de desconexão por sobretensão. - Medir e registrar o valor de tempo de desconexão.

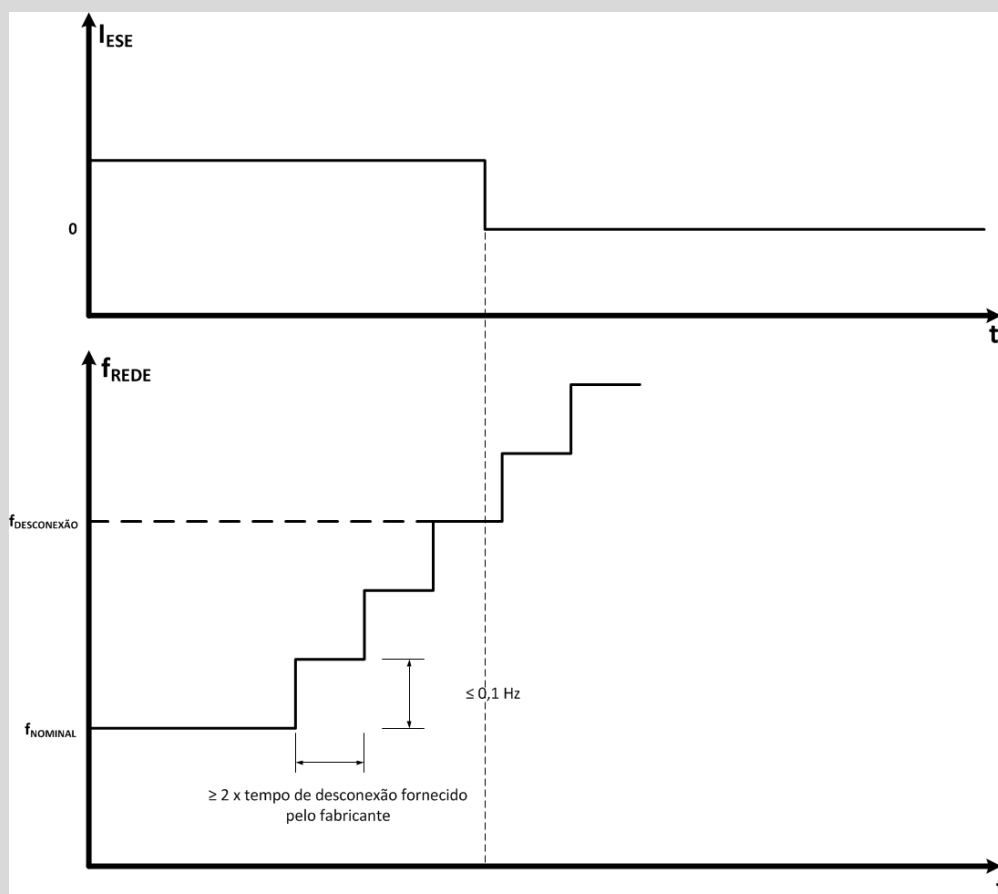
11. SOBRE/SUB FREQUÊNCIA: FREQUÊNCIA DE DESCONEXÃO POR SOBREFREQUÊNCIA

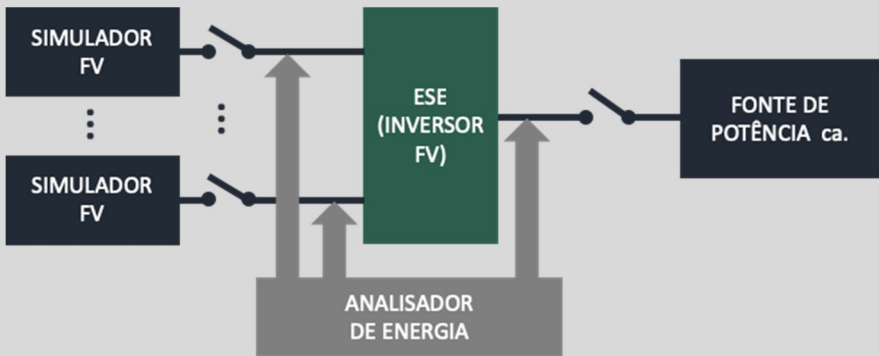
Objetivo

- Avaliar a adequação dos inversores fotovoltaicos quanto à frequência de desconexão em que ocorre a desconexão automática por sobrefrequência da tensão c.a. no ponto de conexão.

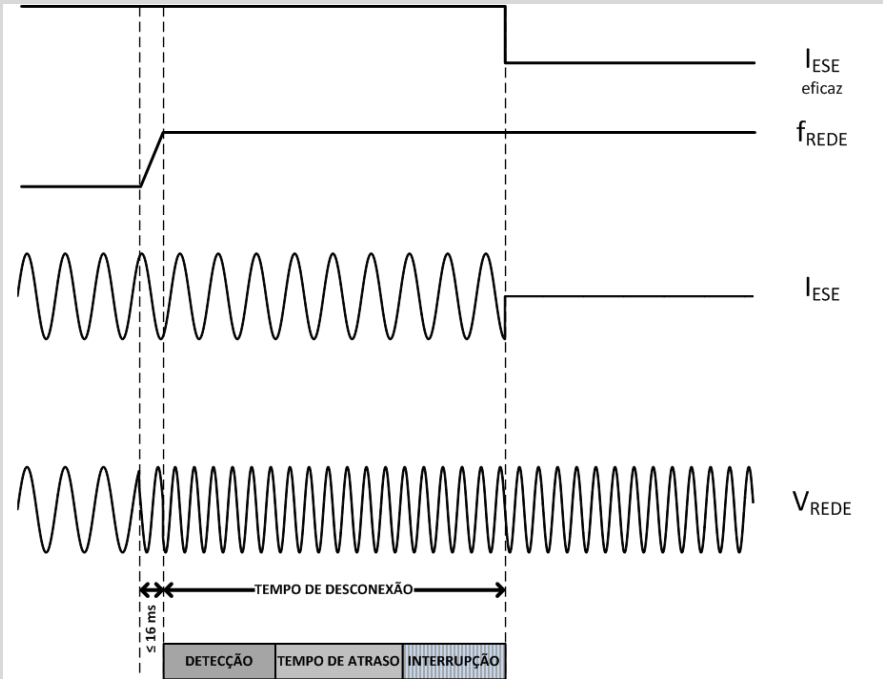
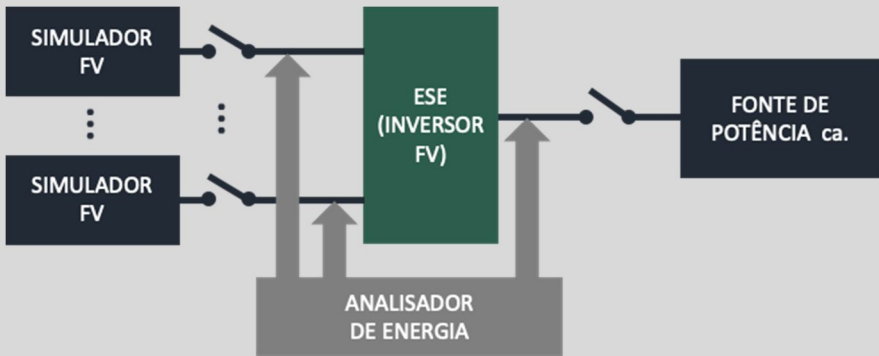
Motivações técnicas para a realização do ensaio

- Para suporte ao sistema elétrico de potência, pois a frequência é um indicador do balanço de potência do sistema elétrico de potência. Frequência acima de 60 Hz indica que há um excesso de potência gerada com relação à carga. Quando a frequência torna-se excessivamente elevada, existe um indicativo de falta na rede elétrica e, por isso, é necessário desconectar o inversor.
- O ensaio é realizado através da realização de degraus na frequência junto ponto de conexão através de ajuste da frequência no simulador de rede c.a., como mostrado na figura abaixo.



Aparato experimental para realização do ensaio	
Critérios de aceitação	O ESE é considerado em conformidade se a frequência de desconexão não exceder 62 Hz, com tolerância de $\pm 0,1$ Hz.
Condição de ensaio	• 100% da potência nominal
Procedimento de ensaio	- Conectar os equipamentos conforme figura. - Verificar se foram geradas as curvas fotovoltaicas para os ensaios. - Ligar o Termohigrômetro e configurar as condições ambientais contidas nesse documento no equipamento e iniciar a medição das condições climáticas durante os ensaios do dia. - Configurar a tensão do emulador de rede CA em 100% da tensão nominal de ensaio e 60 Hz. - Selecionar a curva fotovoltaica para que o equipamento sob ensaio opere em 100% de sua potência CA nominal e tensão de MPPT nominal. - Enviar a curva definida no passo b) para os emuladores fotovoltaicos. - Habilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica. - Esperar a estabilização do rastreo do ponto de máxima potência. Considera-se que o sistema está estabilizado quando o ponto de máxima potência se mantém dentro de uma faixa de tolerância de $\pm 2\%$ da potência de ensaios desejada. A estabilização do rastreo do ponto de máxima potência é avaliada pelo metrologista e alterações no equipamento podem ser realizadas para atingir o ponto de operação executando-se novamente um procedimento para obtenção do mapa de curvas. Caso o ESE não rastreie o ponto de máxima potência deve-se esperar pelo menos 5 minutos para avançar. Verificar a tensão CA da fonte, pois a injeção de potência por parte do inversor pode alterar a tensão da mesma, sendo necessário um reajuste - Elevar a frequência do emulador de rede CA em passo de 0,1Hz. - Medir e registrar o valor de frequência no analisador de energia. - Verificar se ocorreu a desconexão do ESE da rede. Caso afirmativo, avance para item l). Caso contrário, retorne para item i). - Desabilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica.

12. SOBRE/SUB FREQUÊNCIA: TEMPO DE DESCONEXÃO POR SOBREFREQUÊNCIA

Objetivo	Avaliar a adequação dos inversores fotovoltaicos quanto ao tempo máximo em condição de sobrefrequência no ponto de conexão que resulta em sua desconexão automática.
Motivações técnicas para a realização do ensaio	- Para segurança pessoal dos usuários, do inversor fotovoltaico e da rede elétrica diante de eventuais problemas no ponto de conexão, deve-se garantir que o inversor se desconecte rapidamente quando a frequência for significativamente superior ao valor nominal. - O propósito do tempo de atraso é garantir que distúrbios de curta duração não façam com que o sistema cesse o fornecimento de energia para a rede, evitando desconexões excessivas e desnecessárias. - O ensaio é realizado através da realização de um degrau na frequência do ponto de conexão através de ajuste da tensão no simulador de rede c.a., como mostrado na figura abaixo, medindo-se o tempo até o inversor desconectar. 
Aparato experimental para realização do ensaio	

Critérios de aceitação	O ESE é considerado em conformidade se o tempo de desconexão por sobretensão não exceder 0,2 s, com tolerância de +2%.
Condição de ensaio	• 100% da potência nominal
Procedimento de ensaio	- Conectar os equipamentos conforme figura. - Verificar se foram geradas as curvas fotovoltaicas para os ensaios. - Ligar o Termohigrômetro e configurar as condições ambientais contidas nesse documento no equipamento e iniciar a medição das condições climáticas durante os ensaios do dia. - Configurar a tensão do emulador de rede CA em 100% da tensão nominal. Configurar o degrau de frequência do emulador de rede CA para partir de 60Hz até 1Hz acima do valor que causou desconexão no ensaio 11. - Selecionar a curva fotovoltaica para que o equipamento sob ensaio opere em 100% de sua potência CA nominal e tensão de MPPT nominal. - Enviar a curva definida no passo b) para os emuladores fotovoltaicos. - Habilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica. - Esperar a estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência. Considera-se que o sistema está estabilizado quando o ponto de máxima potência se mantém dentro de uma faixa de tolerância de $\pm 2\%$ da potência de ensaios desejada. A estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência é avaliada pelo metrologista e alterações no equipamento podem ser realizadas para atingir o ponto de operação executando-se novamente um procedimento para obtenção do mapa de curvas. Caso o ESE não rastreie o ponto de máxima potência deve-se esperar pelo menos 5 minutos para avançar. Verificar a tensão CA da fonte, pois a injeção de potência por parte do inversor pode alterar a tensão da mesma, sendo necessário um reajuste - Aplicar o degrau de frequência programado na fonte emuladora CA. - Medir e registrar o valor de tempo de desconexão. - Desabilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica.

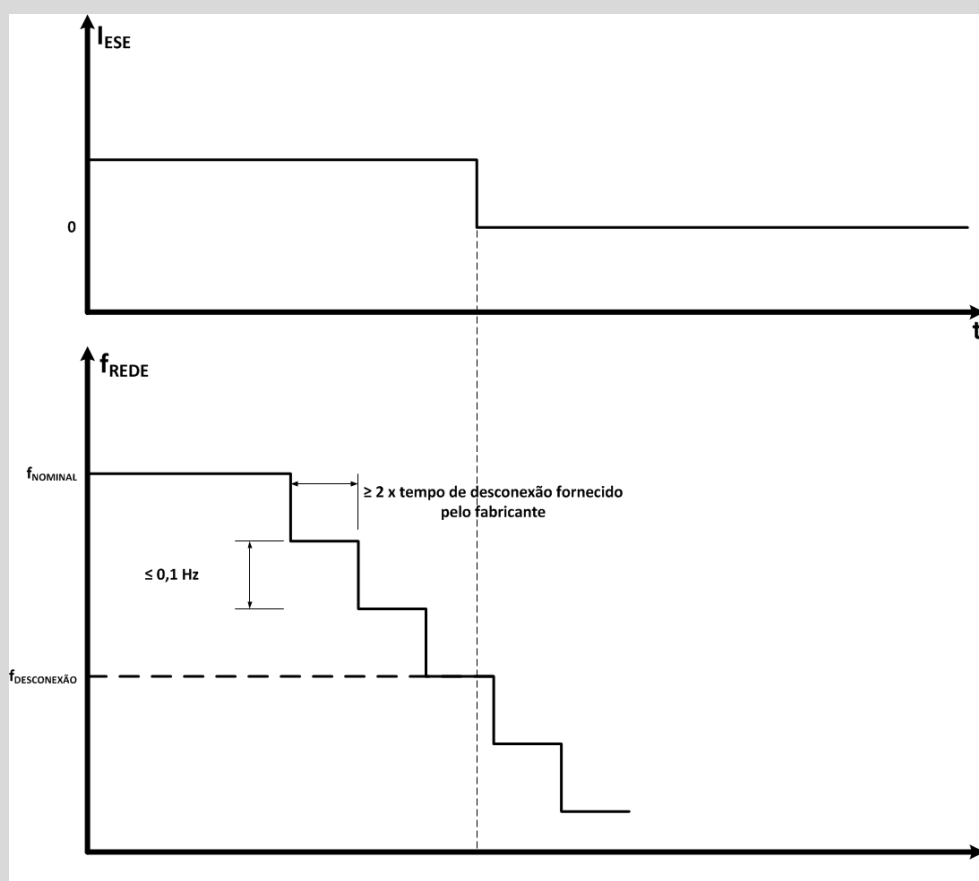
13. SOBRE/SUB FREQUÊNCIA: FREQUÊNCIA DE DESCONEXÃO POR SUBFREQUÊNCIA

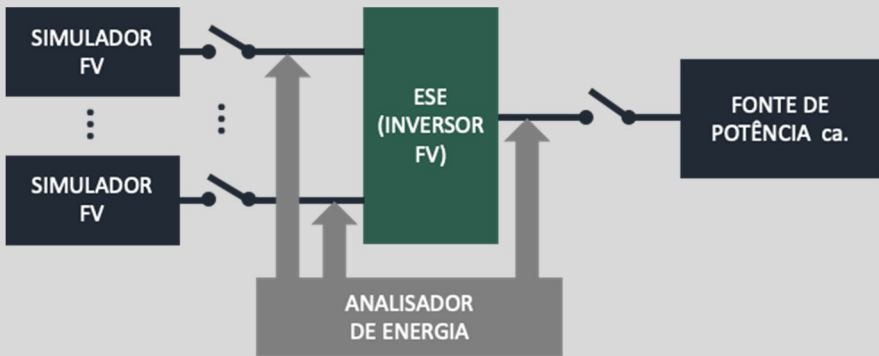
Objetivo

- Avaliar a adequação dos inversores fotovoltaicos quanto à frequência de desconexão em que ocorre a desconexão automática por subfrequência da tensão c.a. no ponto de conexão.

Motivações técnicas para a realização do ensaio

- Para suporte ao sistema elétrico de potência, pois a frequência é um indicador do balanço de potência do sistema. Frequência abaixo de 60 Hz indica que há um excesso de carga no sistema de potência. Quando a frequência torna-se excessivamente baixa, o inversor deve ser desconectado pois isso é indicativo de que a rede elétrica está sob falta.
- O ensaio é realizado através da realização de degraus na frequência junto ponto de conexão através de ajuste da frequência no simulador de rede c.a., como mostrado na figura abaixo.



Aparato experimental para realização do ensaio	
CrITÉRIOS de aceitação	O ESE é considerado em conformidade se a frequência de desconexão não for inferior a 57,5 Hz, com tolerância de $\pm 0,1$ Hz.
Condição de ensaio	• 100% da potência nominal
Procedimento de ensaio	- Conectar os equipamentos conforme figura. - Verificar se foram geradas as curvas fotovoltaicas para os ensaios. - Ligar o Termohigrômetro e configurar as condições ambientais contidas nesse documento no equipamento e iniciar a medição das condições climáticas durante os ensaios do dia. - Configurar a tensão do emulador de rede CA em 100% da tensão nominal de ensaio e 60 Hz. - Selecionar a curva fotovoltaica para que o equipamento sob ensaio opere em 100% de sua potência CA nominal e tensão de MPPT nominal. - Enviar a curva definida no passo b) para os emuladores fotovoltaicos. - Habilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica. - Esperar a estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência. Considera-se que o sistema está estabilizado quando o ponto de máxima potência se mantém dentro de uma faixa de tolerância de $\pm 2\%$ da potência de ensaios desejada. A estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência é avaliada pelo metrologista e alterações no equipamento podem ser realizadas para atingir o ponto de operação executando-se novamente um procedimento para obtenção do mapa de curvas. Caso o ESE não rastreie o ponto de máxima potência deve-se esperar pelo menos 5 minutos para avançar. Verificar a tensão CA da fonte, pois a injeção de potência por parte do inversor pode alterar a tensão da mesma, sendo necessário um reajuste - Reduzir a frequência do emulador de rede CA para 58 Hz. - Medir e registrar o valor de frequência no analisador de energia. - Reduzir a frequência do emulador de rede CA em um passo de até 0,1Hz. - Medir e registrar o valor de frequência no analisador de energia. - Verificar se ocorreu a desconexão do ESE da rede. Caso afirmativo, avance para item n). Caso contrário, retorne para item k). - Desabilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica.

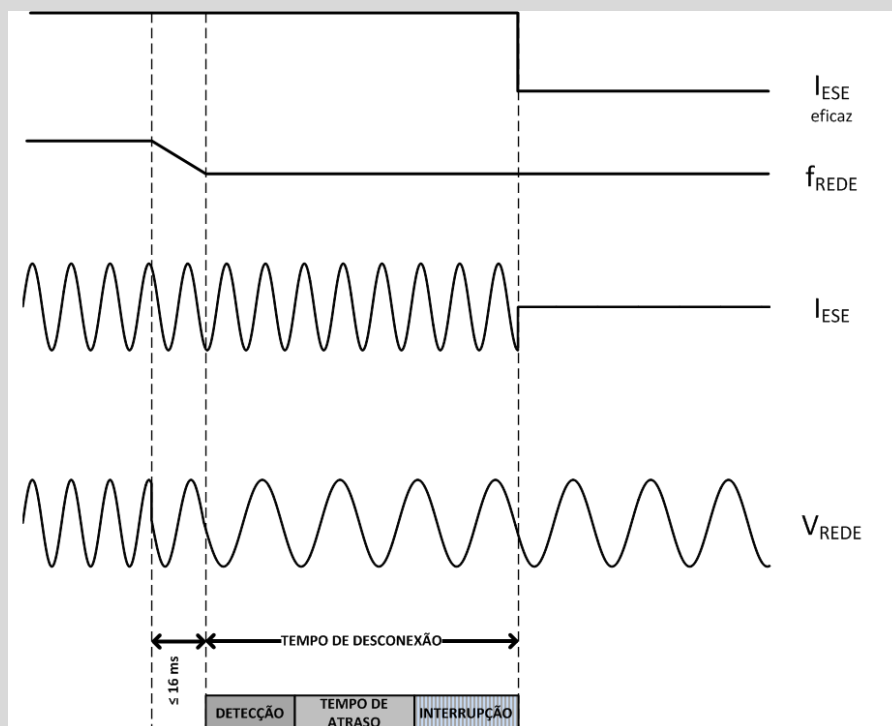
14. SOBRE/SUB FREQUÊNCIA: TEMPO DE DESCONEXÃO POR SUBFREQUÊNCIA

Objetivo

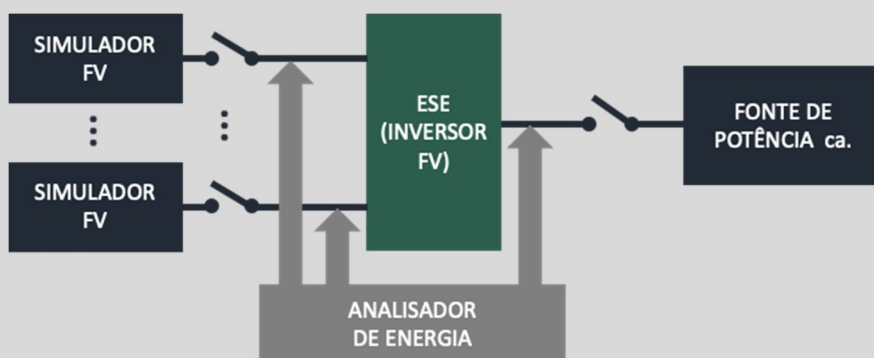
- Avaliar a adequação dos inversores fotovoltaicos quanto ao tempo máximo em condição de subfrequência no ponto de conexão que resulta em sua desconexão automática.

Motivações técnicas para a realização do ensaio

- Para segurança pessoal dos usuários, do inversor fotovoltaico e da rede elétrica diante de eventuais problemas no ponto de conexão, deve-se garantir que o inversor se desconecte rapidamente quando a frequência for significativamente inferior ao valor nominal.
- O propósito do tempo de atraso é garantir que distúrbios de curta duração não façam com que o sistema cesse o fornecimento de energia para a rede, evitando desconexões excessivas e desnecessárias.
- O ensaio é realizado através da realização de um degrau na frequência do ponto de conexão através de ajuste da tensão no simulador de rede c.a., como mostrado na figura abaixo, medindo-se o tempo até o inversor desconectar.

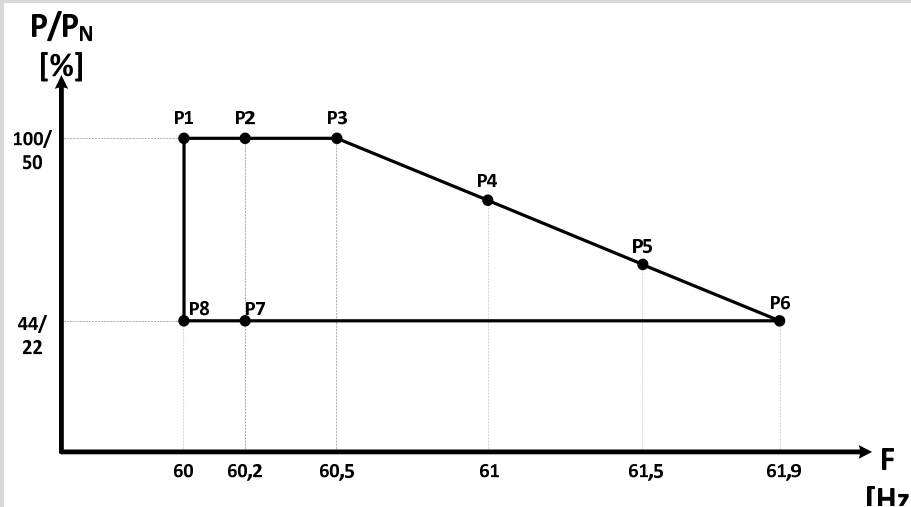
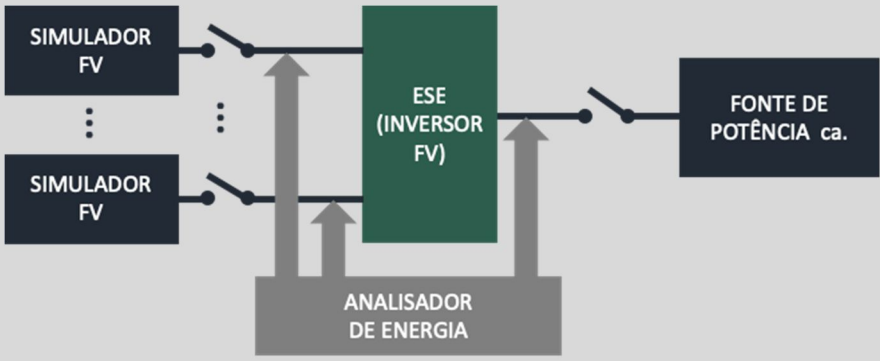


Aparato experimental para realização do ensaio



Critérios de aceitação	O ESE é considerado em conformidade se o tempo de desconexão por sobretensão não exceder 0,2 s, com tolerância de +2%.
Condição de ensaio	• 100% da potência nominal
Procedimento de ensaio	- Conectar os equipamentos conforme figura. - Verificar se foram geradas as curvas fotovoltaicas para os ensaios. - Ligar o Termohigrômetro e configurar as condições ambientais contidas nesse documento no equipamento e iniciar a medição das condições climáticas durante os ensaios do dia. - Configurar a tensão do emulador de rede CA em 100% da tensão nominal. Configurar o degrau de frequência do emulador de rede CA para partir de 60Hz até 1Hz abaixo do valor que causou desconexão no ensaio 11. - Selecionar a curva fotovoltaica para que o equipamento sob ensaio opere em 100% de sua potência CA nominal e tensão de MPPT nominal. - Enviar a curva definida no passo b) para os emuladores fotovoltaicos. - Habilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica. - Esperar a estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência. Considera-se que o sistema está estabilizado quando o ponto de máxima potência se mantém dentro de uma faixa de tolerância de $\pm 2\%$ da potência de ensaios desejada. A estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência é avaliada pelo metrologista e alterações no equipamento podem ser realizadas para atingir o ponto de operação executando-se novamente um procedimento para obtenção do mapa de curvas. Caso o ESE não rastreie o ponto de máxima potência deve-se esperar pelo menos 5 minutos para avançar. Verificar a tensão CA da fonte, pois a injeção de potência por parte do inversor pode alterar a tensão da mesma, sendo necessário um reajuste - Aplicar o degrau de frequência programado na fonte emuladora CA. - Medir e registrar o valor de tempo de desconexão. - Desabilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica.

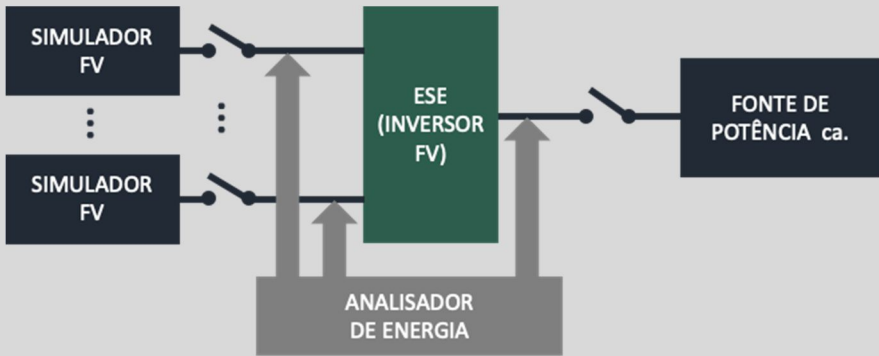
15. CONTROLE DE POTÊNCIA ATIVA EM SOBREFREQUÊNCIA

Objetivo	Avaliar a adequação dos inversores fotovoltaicos quanto ao suporte ao sistema elétrico em condições de sobrefrequência, reduzindo parcimoniosamente a potência injetada quando a frequência da rede ultrapassa 60,5 Hz.
Motivações técnicas para a realização do ensaio	- Frequência acima de 60 Hz indica que há um excesso de potência gerada com relação à carga. Contudo, muitas vezes são oscilações transitórias de cargas que são acomodadas pelos reguladores de tensão das grandes unidades geradoras do sistema. Desligamentos abruptos dos sistemas fotovoltaicos em 60,5 Hz poderiam causar um déficit muito grande de potência em um sistema elétrico que apresenta elevada penetração desse tipo de fonte, podendo levar a blackouts. - A Alemanha realizou um retrofit de todos os inversores fotovoltaicos para incluírem controle de potência ativa em sobrefrequência, devido aos riscos ao seu sistema elétrico com elevada penetração de fonte fotovoltaica. - O ensaio é realizado através da realização de degraus na frequência junto ponto de conexão através de ajuste da frequência no simulador de rede c.a., como mostrado na figura abaixo. 
Aparato experimental para realização do ensaio	
Critérios de aceitação	O ESE é considerado em conformidade se satisfizer as seguintes exigências: a) A diferença entre os valores de potência ativa medidos e os valores esperados está dentro da

	tolerância de $\pm 2,5$ % da potência nominal do ESE. b) O tempo necessário para o ESE começar a aumentar a potência ativa injetada, após a redução da frequência da rede, é maior ou igual a 300s. c) A variação de elevação da potência ativa injetada é inferior a 20% da potência ativa por segundo, medido em 60,5 Hz..
Condição de ensaio	• 100% da potência nominal • 50% da potência nominal
Procedimento de ensaio	- Conectar os equipamentos conforme figura. - Verificar se foram geradas as curvas fotovoltaicas para os ensaios. - Ligar o Termohigrômetro e configurar as condições ambientais contidas nesse documento no equipamento e iniciar a medição das condições climáticas durante os ensaios do dia. - Configurar a tensão do emulador de rede CA em 100% da tensão nominal de ensaio e 60 Hz. - Selecionar a curva fotovoltaica para que o equipamento sob ensaio opere em 100% de sua potência CA nominal e tensão de MPPT nominal. - Enviar a curva definida no passo b) para os emuladores fotovoltaicos. - Habilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica. - Esperar a estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência. Considera-se que o sistema está estabilizado quando o ponto de máxima potência se mantém dentro de uma faixa de tolerância de $\pm 2\%$ da potência de ensaios desejada. A estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência é avaliada pelo metrologista e alterações no equipamento podem ser realizadas para atingir o ponto de operação executando-se novamente um procedimento para obtenção do mapa de curvas. Caso o ESE não rastreie o ponto de máxima potência deve-se esperar pelo menos 5 minutos para avançar. Verificar a tensão CA da fonte, pois a injeção de potência por parte do inversor pode alterar a tensão da mesma, sendo necessário um reajuste - Medir e registrar a potência ativa de saída e a frequência do ESE. - Elevar a frequência do emulador de rede CA para 60,20 Hz e esperar a estabilização da potência. - Medir e registrar a potência ativa de saída e a frequência do ESE. - Elevar a frequência do emulador de rede CA para 60,50 Hz e esperar a estabilização da potência. - Medir e registrar a potência ativa de saída e a frequência do ESE. - Elevar a frequência do emulador de rede CA para 61,00 Hz e esperar a estabilização da potência. - Medir e registrar a potência ativa de saída e a frequência do ESE. - Elevar a frequência do emulador de rede CA para 61,50 Hz e esperar a estabilização da potência. - Medir e registrar a potência ativa de saída e a frequência do ESE. - Elevar a frequência do emulador de rede CA para 61,90 Hz e esperar a estabilização da potência. - Medir e registrar a potência ativa de saída e a frequência do ESE. - Reduzir a frequência do emulador de rede CA para 60,20 Hz e simultaneamente disparar o cronômetro. Medir e registrar a potência ativa de saída e a frequência do ESE a cada 30s por um período de 300s. - Zerar o cronômetro. - Reduzir a frequência do emulador de rede CA para 60,00 Hz e simultaneamente disparar o cronômetro. Medir e registrar a potência ativa de saída e a frequência do ESE a cada 30s (começando no momento que a frequência retornou para 60 Hz) até que a potência ativa de saída retorne para o valor medido no passo j). - Desabilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica.

- x) Repetir os passos e) ao w) alterando a curva fotovoltaica cadastrada no emuladora fotovoltaico para que o ESE opere com 50% de sua potência CA nominal.

16. RECONEXÃO

Objetivo	Avaliar a adequação dos inversores fotovoltaicos quanto aos procedimentos de reconexão após uma desconexão causada por uma condição anormal da rede
Motivações técnicas para a realização do ensaio	Quando ocorre uma desconexão por condição anormal da rede (subtensão, sobretensão, subfrequência, sobrefrequência), o inversor deve aguardar um tempo antes da sua reconexão. Isso é necessário para evitar conflitos com proteções, religadores automáticos e outros dispositivos que atuam para corrigir esse evento. Adicionalmente, aguardar um tempo de desconexão é importante para verificar se a potência injetada pelo inversor fotovoltaico está colaborando para gerar a condição anormal da rede.
Aparato experimental para realização do ensaio	
CrITÉRIOS de aceitação	O ESE é considerado em conformidade se o tempo de reconexão for menor que o estabelecido (mínimo de 20s a 300s).
Condição de ensaio	100% da potência nominal
Procedimento de ensaio	Esse ensaio é realizado durante os ensaios 7, 8, 9 e 10.

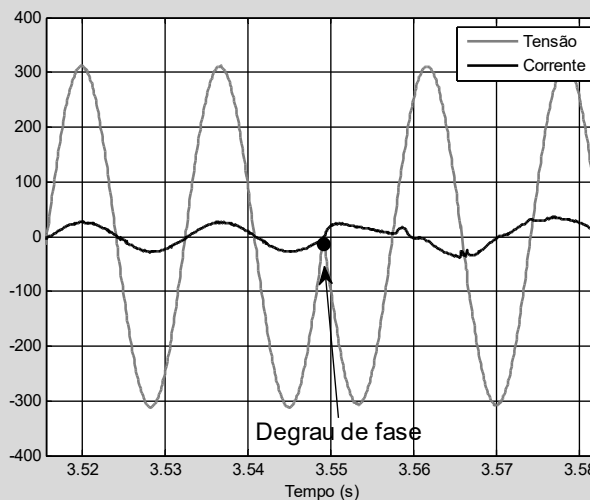
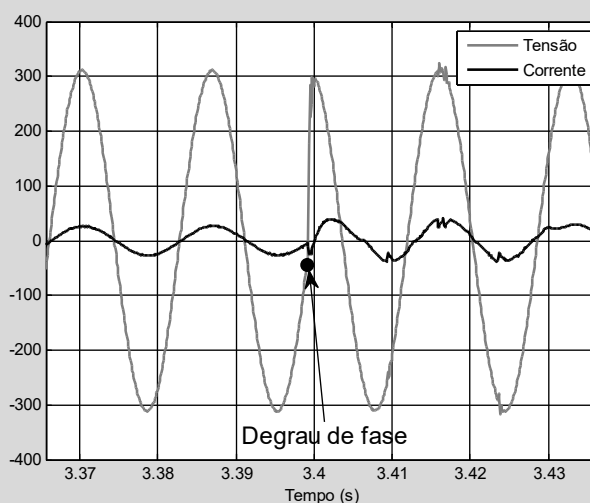
17. RELIGAMENTO AUTOMÁTICO FORA DE FASE

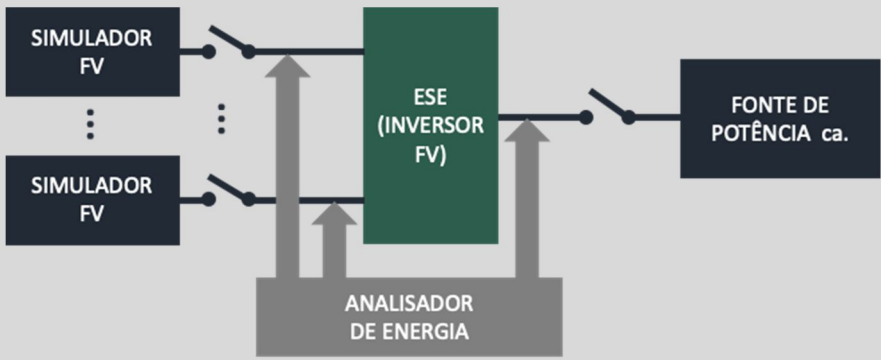
Objetivo

- Avaliar se os inversores fotovoltaicos suportam as condições extremas de operação resultante em um religamento automático fora de fase.

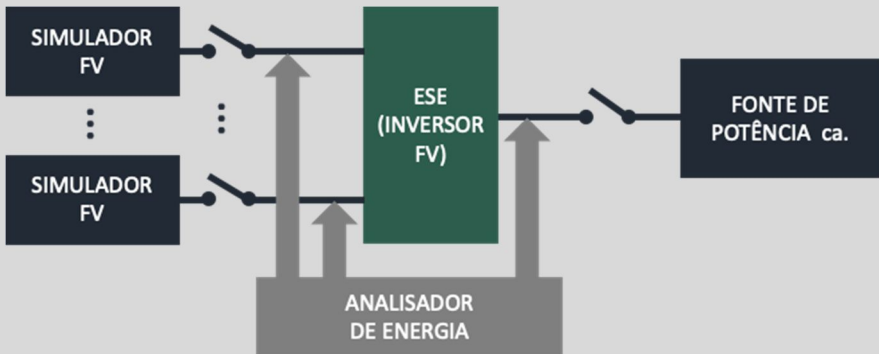
Motivações técnicas para a realização do ensaio

- Quando ocorre uma desconexão por condição anormal da rede (subtensão, sobretensão, subfrequência, sobrefrequência), o inversor pode permanecer injetando corrente antes da atuação do sistema de detecção de ilhamento não intencional. Nessa situação, a tensão no ponto de conexão pode ser mantida quase inalterada pela corrente injetada pelo inversor. Contudo, pode ocorrer em situações de exceção da rede reconectar antes de a detecção de ilhamento ocorrer. Quando essa reconexão mantém a tensão em fase, não ocorre nenhum problema. Contudo, quando essa reconexão se dá fora de fase, pode gerar uma sobrecorrente que poderia danificar um inversor sem as devidas proteções.
- Os testes práticos são realizados considerando os piores casos possíveis: reconexão com defasamento de 90° e com defasamento de 180° , mostrados respectivamente nas figura abaixo.



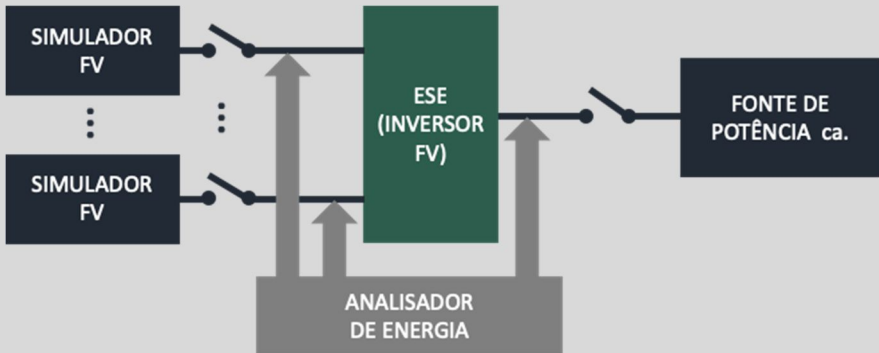
Aparato experimental para realização do ensaio	
Critérios de aceitação	O ESE é considerado em conformidade se a corrente de saída estiver dentro dos parâmetros normais de funcionamento.
Condição de ensaio	• 100% da potência nominal
Procedimento de ensaio	- Conectar os equipamentos conforme figura. - Verificar se foram geradas as curvas fotovoltaicas para os ensaios. - Ligar o Termohigrômetro e configurar as condições ambientais contidas nesse documento no equipamento e iniciar a medição das condições climáticas durante os ensaios do dia. - Configurar a tensão do emulador de rede CA em 100% da tensão nominal de ensaio e 60 Hz, e com um degrau de fase de 90° - Selecionar a curva fotovoltaica para que o equipamento sob ensaio opere em 100% de sua potência CA nominal e tensão de MPPT nominal. - Enviar a curva definida no passo b) para os emuladores fotovoltaicos. - Habilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica. - Esperar a estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência. Considera-se que o sistema está estabilizado quando o ponto de máxima potência se mantém dentro de uma faixa de tolerância de $\pm 2\%$ da potência de ensaios desejada. A estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência é avaliada pelo metrologista e alterações no equipamento podem ser realizadas para atingir o ponto de operação executando-se novamente um procedimento para obtenção do mapa de curvas. Caso o ESE não rastreie o ponto de máxima potência deve-se esperar pelo menos 5 minutos para avançar. Verificar a tensão CA da fonte, pois a injeção de potência por parte do inversor pode alterar a tensão da mesma, sendo necessário um reajuste - Esperar 5 minutos. - Medir e registrar o valor da corrente de saída antes do degrau de fase. - Aplicar o degrau de fase programado na fonte emuladora CA. - Medir e registrar o valor da corrente de saída depois do degrau de fase no analisador de energia. - Desabilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica - Extrair o resultado do ensaio de medição do religamento automático fora de fase do osciloscópio. - Copiar o gráfico da forma de onda e inserir no relatório. - Realizar novamente os passos d) até o p) alterando o degrau de fase para 180°.

18. MODULAÇÃO DE POTÊNCIA ATIVA

Objetivo	Avaliar se os inversores fotovoltaicos com potência superior a 6 kW aceitam comandos para limitar a potência ativa injetada através de telecomando externo.
Motivações técnicas para a realização do ensaio	- Inversores de maior potência tem um maior impacto nas tensões da rede de distribuição. Por isso, como medida antecipatória para evitar necessidades de retrofits futuros nos inversores, deixou-se implementado a possibilidade do comando externo da potência ativa dos inversores com potência maior que 6 kW, tornando possível o futuro gerenciamento dos mesmos pela distribuidora de energia para regular a tensão no ramal de distribuição. Destaca-se que a Califórnia já implementa esse tipo de regulação (vide CPUC – Rule 21). - O protocolo de comunicação não é definido, podendo ser escolhido pelo fabricante.
Aparato experimental para realização do ensaio	
CrITÉRIOS de aceitação	O ESE é considerado em conformidade se a diferença entre os valores de potência medidos e os valores esperados estiver dentro da tolerância de $\pm 2,5 \%$ da potência nominal do ESE.
Condição de ensaio	100% da potência nominal 90% da potência nominal 80% da potência nominal 70% da potência nominal 60% da potência nominal 50% da potência nominal 40% da potência nominal 30% da potência nominal 20% da potência nominal
Procedimento de ensaio	- Conectar os equipamentos conforme figura. - Verificar se foram geradas as curvas fotovoltaicas para os ensaios. - Ligar o Termohigrômetro e configurar as condições ambientais contidas nesse documento no equipamento e iniciar a medição das condições climáticas durante os ensaios do dia. - Configurar a tensão do emulador de rede CA em 100% da tensão nominal de ensaio e 60 Hz. - Selecionar a curva fotovoltaica para que o equipamento sob ensaio opere em 100% de sua potência CA nominal e tensão de MPPT nominal. - Enviar a curva definida no passo b) para os emuladores fotovoltaicos. - Habilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica.

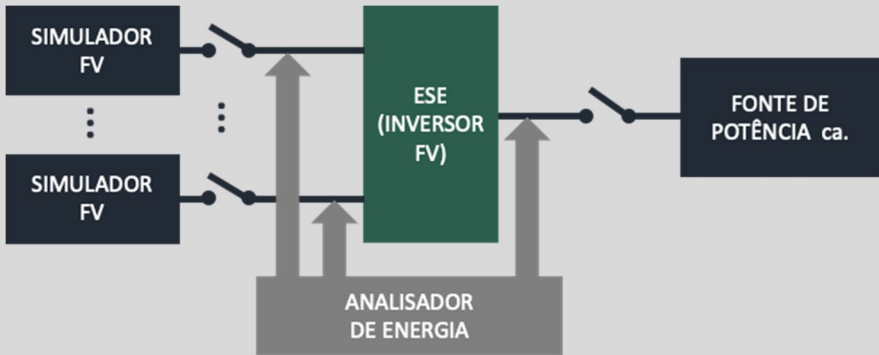
- h) Esperar a estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência. Considera-se que o sistema está estabilizado quando o ponto de máxima potência se mantém dentro de uma faixa de tolerância de $\pm 2\%$ da potência de ensaios desejada. A estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência é avaliada pelo metrologista e alterações no equipamento podem ser realizadas para atingir o ponto de operação executando-se novamente um procedimento para obtenção do mapa de curvas. Caso o ESE não rastreie o ponto de máxima potência deve-se esperar pelo menos 5 minutos para avançar. Verificar a tensão CA da fonte, pois a injeção de potência por parte do inversor pode alterar a tensão da mesma, sendo necessário um reajuste
- i) Esperar 1 minuto.
- j) Medir e registrar o valor da corrente de saída no analisador de energia.
- k) Enviar um comando para que o ESE reduza a potência CA injetada em 10%, conforme instruções do fabricante para operação do inversor.
- l) Repetir os passos i) até k) oito vezes para que seja medido 90% 80% 70% 60% 50% 40% 30% e 20% de sua potência CA nominal.
- m) Desabilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica.

19. MODULAÇÃO DE POTÊNCIA REATIVA

Objetivo	Avaliar se os inversores fotovoltaicos com potência superior a 6 kW aceitam comandos para forçar a injeção de potência reativa através de telecomando externo.
Motivações técnicas para a realização do ensaio	- Inversores de maior potência tem um maior impacto nas tensões da rede de distribuição. Por isso, como medida antecipatória para evitar necessidades de retrofits futuros nos inversores, deixou-se implementado a possibilidade do comando externo da potência reativa dos inversores com potência maior que 6 kW, tornando possível o futuro gerenciamento dos mesmos pela distribuidora de energia para regular a tensão no ramal de distribuição. Destaca-se que a Califórnia já implementa esse tipo de regulação (vide CPUC – Rule 21). - O protocolo de comunicação não é definido, podendo ser escolhido pelo fabricante.
Aparato experimental para realização do ensaio	
CrITÉRIOS de aceitação	O ESE é considerado em conformidade se a diferença entre os valores de potência medidos e os valores esperados estiver dentro da tolerância de $\pm 2,5 \%$ da potência nominal do ESE.
Condição de ensaio	100% da potência nominal 90% da potência nominal 80% da potência nominal 70% da potência nominal 60% da potência nominal 50% da potência nominal 40% da potência nominal 30% da potência nominal 20% da potência nominal
Procedimento de ensaio	- Conectar os equipamentos conforme figura. - Verificar se foram geradas as curvas fotovoltaicas para os ensaios. - Ligar o Termohigrômetro e configurar as condições ambientais contidas nesse documento no equipamento e iniciar a medição das condições climáticas durante os ensaios do dia. - Configurar a tensão do emulador de rede CA em 100% da tensão nominal de ensaio e 60 Hz. - Selecionar a curva fotovoltaica para que o equipamento sob ensaio opere em 100% de sua potência CA nominal e tensão de MPPT nominal. - Enviar a curva definida no passo b) para os emuladores fotovoltaicos. - Habilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica.

- h) Esperar a estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência. Considera-se que o sistema está estabilizado quando o ponto de máxima potência se mantém dentro de uma faixa de tolerância de $\pm 2\%$ da potência de ensaios desejada. A estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência é avaliada pelo metrologista e alterações no equipamento podem ser realizadas para atingir o ponto de operação executando-se novamente um procedimento para obtenção do mapa de curvas. Caso o ESE não rastreie o ponto de máxima potência deve-se esperar pelo menos 5 minutos para avançar. Verificar a tensão CA da fonte, pois a injeção de potência por parte do inversor pode alterar a tensão da mesma, sendo necessário um reajuste
- i) Esperar 1 minuto e enviar um comando para que o ESE opere com potência reativa indutiva igual a 0,4358 vezes a potência ativa.
- j) Esperar 10s, medir e registrar a potência reativa de saída no analisador de energia
- k) Esperar 1 minuto e enviar um comando para o ESE operar com potência reativa nula.
- l) Esperar 10s, medir e registrar a potência reativa de saída no analisador de energia.
- m) Enviar um comando para que o ESE opere com potência reativa capacitiva igual a 0,4358 vezes a potência ativa.
- n) Esperar 10s, medir e registrar a potência reativa de saída no analisador de energia.
- o) Desabilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica.

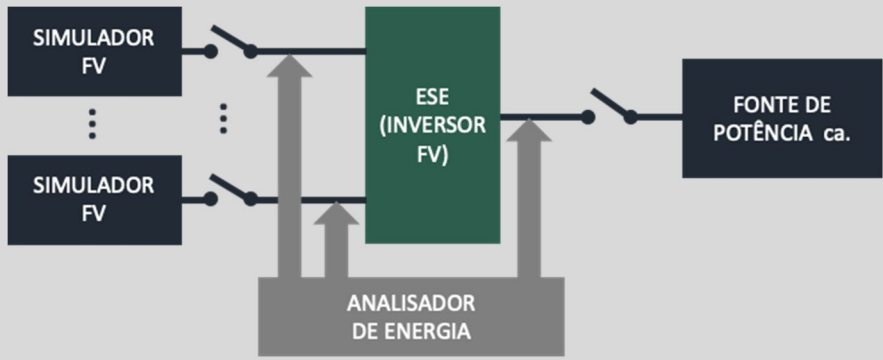
20. DESCONEXÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO DA REDE

Objetivo	Avaliar se os inversores fotovoltaicos podem ser conectados e desconectados através de telecomando externo.
Motivações técnicas para a realização do ensaio	- Como medida antecipatória para evitar necessidades de retrofits futuros nos inversores, deixou-se implementado a possibilidade do comando externo de conexão e desconexão dos inversores fotovoltaicos, tornando possível o futuro gerenciamento dos mesmos pela distribuidora de energia para regular a tensão no ramal de distribuição. Destaca-se que a Califórnia já implementa esse tipo de regulação (vide CPUC – Rule 21). - O protocolo de comunicação não é definido, podendo ser escolhido pelo fabricante.
Aparato experimental para realização do ensaio	
CrITÉRIOS de aceitação	O ESE é considerado em conformidade se desconectar-se e reconectar-se da rede após o comando externo correspondente.
Condição de ensaio	100% da potência nominal
Procedimento de ensaio	- Conectar os equipamentos conforme figura. - Verificar se foram geradas as curvas fotovoltaicas para os ensaios. - Ligar o Termohigrômetro e configurar as condições ambientais contidas nesse documento no equipamento e iniciar a medição das condições climáticas durante os ensaios do dia. - Configurar a tensão do emulador de rede CA em 100% da tensão nominal de ensaio e 60 Hz. - Selecionar a curva fotovoltaica para que o equipamento sob ensaio opere em 100% de sua potência CA nominal e tensão de MPPT nominal. - Enviar a curva definida no passo b) para os emuladores fotovoltaicos. - Habilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica. - Esperar a estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência. Considera-se que o sistema está estabilizado quando o ponto de máxima potência se mantém dentro de uma faixa de tolerância de $\pm 2\%$ da potência de ensaios desejada. A estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência é avaliada pelo metrologista e alterações no equipamento podem ser realizadas para atingir o ponto de operação executando-se novamente um procedimento para obtenção do mapa de curvas. Caso o ESE não rastreie o ponto de máxima potência deve-se esperar pelo menos 5 minutos para avançar. Verificar a tensão

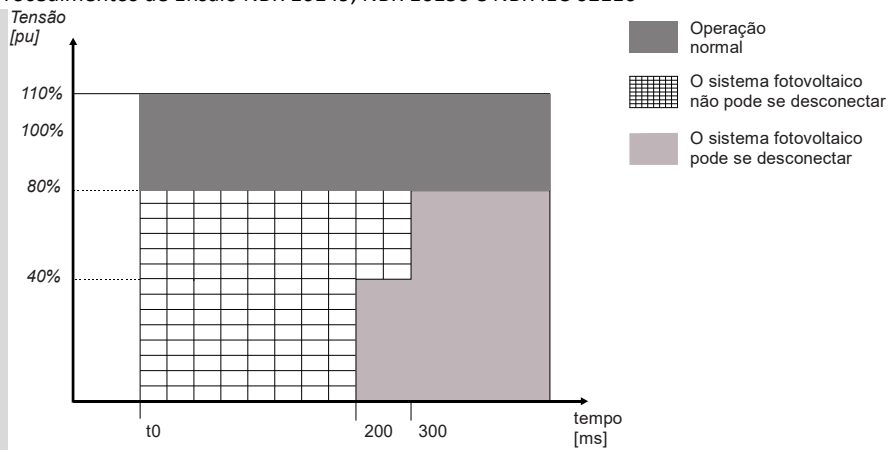
CA da fonte, pois a injeção de potência por parte do inversor pode alterar a tensão da mesma, sendo necessário um reajuste

- i) Medir e registrar a potência reativa de saída no analisador de energia
- a) Esperar 1 minuto de operação e enviar um comando para o ESE desconectar-se da rede elétrica.
- b) Esperar 1 minuto e medir e registrar a potência ativa de saída no analisador de energia.
- c) Após 1 minuto do evento de desconexão do ESE, enviar um comando externo para o ESE reconectar à rede elétrica.
- d) Esperar 1 minuto e medir e registrar a potência ativa de saída no analisador de energia.
- e) Desabilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica.

21. REQUISITOS DE SUPORTABILIDADE A SUBTENSÕES DECORRENTES DE FALTA NA REDE

Objetivo	Avaliar se os inversores fotovoltaicos com potência superior a 6 kW atendem aos requisitos de suportabilidade a sobtensões decorrentes de falta na rede.
Motivações técnicas para a realização do ensaio	- Também conhecido pelo termo em inglês Low Voltage Ride Through (LVRT), é a capacidade de um gerador elétrico permanecer conectados por curtos períodos de reduzida tensão no ponto conexão, decorrentes de faltas na rede. - Em uma rede contendo muitos geradores distribuídos sujeitos a desconexão por subtensão, é possível ocorrer uma reação em cadeia que também leva outros geradores à desconexão. Isso pode ocorrer no caso de uma queda de tensão que faz com que um dos geradores se desconecte da rede. Como as quedas de tensão são geralmente resultam em um consumo de potência muito pequeno pela carga em falta em uma rede de distribuição, a remoção da geração pode fazer com que a tensão caia ainda mais. Isso pode diminuir a tensão o suficiente para causar o desarme de outro gerador, diminuir ainda mais a tensão e causar uma falha em cascata.
Aparato experimental para realização do ensaio	
Critérios de aceitação	O ESE deve operar na área quadriculada da figura abaixo. O sistema FV não pode se desconectar da rede, porém é permitido cessar o fornecimento de energia. Se a tensão retornar para a faixa de operação normal (-20% a + 10% de V_{grid}), o sistema FV deve retornar a injetar a potência ativa que ocorria antes da falta, com tolerância de $\pm 10\%$ da potência nominal do sistema FV, dentro de 200ms. Se a tensão for restaurada, mas permanecer na faixa entre 80% e 90% de V_{grid}, é permitido uma redução da potência injetada na corrente máxima do inversor.

Inversores Fotovoltaicos Conectados à Rede
Procedimentos de Ensaio NBR 16149, NBR 16150 e NBR IEC 62116



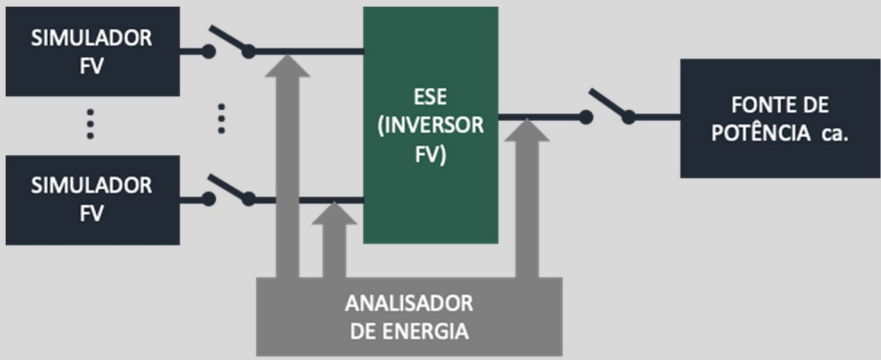
Condição de ensaio

- 100% da potência nominal

Procedimento de ensaio

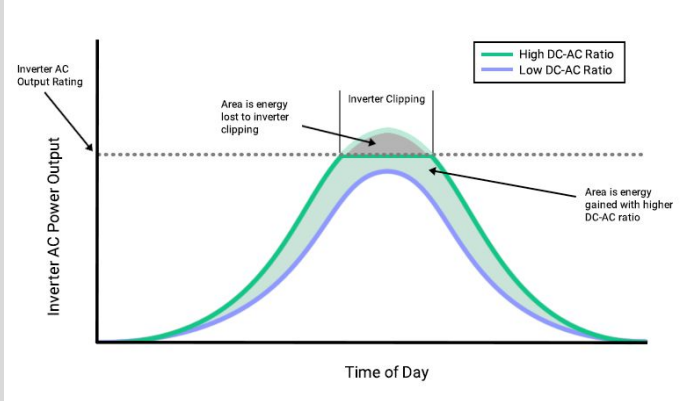
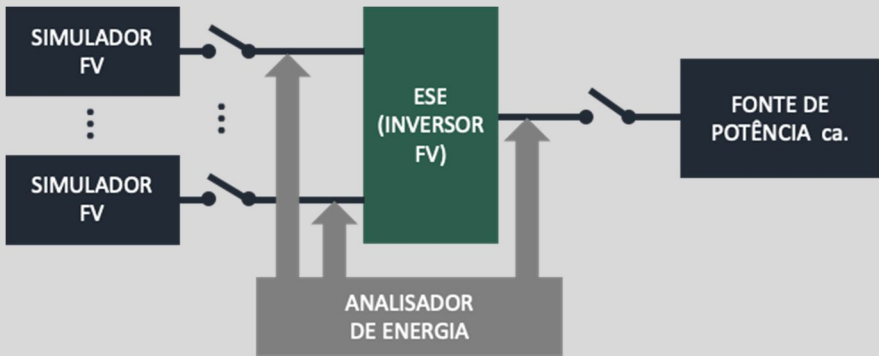
- Conectar os equipamentos conforme figura.
- Verificar se foram geradas as curvas fotovoltaicas para os ensaios.
- Ligar o Termohigrômetro e configurar as condições ambientais contidas nesse documento no equipamento e iniciar a medição das condições climáticas durante os ensaios do dia.
- Configurar a tensão do emulador de rede CA em 100% da tensão nominal de ensaio e 60 Hz, e para gerar um afundamento de tensão do tipo falta trifásica simétrica na rede, de forma que a tensão caia para 5% do valor nominal de ensaio por um tempo de 190 ms e depois retorne à tensão para o valor nominal de ensaio.
- Selecionar a curva fotovoltaica para que o equipamento sob ensaio opere em 100% de sua potência CA nominal e tensão de MPPT nominal.
- Enviar a curva definida no passo b) para os emuladores fotovoltaicos.
- Habilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica.
- Esperar a estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência. Considera-se que o sistema está estabilizado quando o ponto de máxima potência se mantém dentro de uma faixa de tolerância de $\pm 2\%$ da potência de ensaios desejada. A estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência é avaliada pelo metrologista e alterações no equipamento podem ser realizadas para atingir o ponto de operação executando-se novamente um procedimento para obtenção do mapa de curvas. Caso o ESE não rastreie o ponto de máxima potência deve-se esperar pelo menos 5 minutos para avançar. Verificar a tensão CA da fonte, pois a injeção de potência por parte do inversor pode alterar a tensão da mesma, sendo necessário um reajuste
- Esperar 5 minutos.
- Aplicar o afundamento de tensão programado na fonte emuladora CA.
- Desabilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica.
- Extrair o resultado do ensaio de medição dos requisitos de suportabilidade a sobtensões decorrentes de faltas na rede do osciloscópio.
- Medir e registrar os pares de tensão e corrente por fase e o tempo de suportabilidade e copiar o gráfico da forma de onda e inserir no relatório.
- Realizar novamente os passos g) até j) alterando o afundamento de tensão para: Falta trifásica simétrica na rede, de forma que a tensão caia para 45% do valor nominal de ensaio por um tempo de 290 ms e depois retorne à tensão para o valor nominal de ensaio.
- Realizar novamente os passos g) até k) alterando o afundamento de tensão para: Falta bifásica assimétrica na rede, de forma que a tensão caia para 5% do valor nominal de ensaio por um tempo de 190 ms e depois retorne à tensão para o valor nominal de ensaio.
- Realizar novamente os passos g) até l) alterando o afundamento de tensão para: Falta bifásica assimétrica na rede, de forma que a tensão caia para 45% do valor nominal de ensaio por um tempo de 290 ms e depois retorne à tensão para o valor nominal de ensaio.

22. PROTEÇÃO CONTRA INVERSÃO DE POLARIDADE

Objetivo	Avaliar se os inversores fotovoltaicos suportam inversão de polaridade no lado c.c. sem isso provocar sua danificação.
Motivações técnicas para a realização do ensaio	Erros de instalação do sistema fotovoltaico podem resultar em conexões equivocadas dos cabos c.c. do sistema fotovoltaico. O objetivo desse ensaio é que o inversor tenha proteção para evitar que o equipamento se danifique nessa situação.
Aparato experimental para realização do ensaio	
CrITÉRIOS de aceitação	O ESE é considerado em conformidade se estiver operando adequadamente ao final do ensaio.
Condição de ensaio	100% da potência nominal
Procedimento de ensaio	- Conectar os equipamentos conforme figura. - Verificar se foram geradas as curvas fotovoltaicas para os ensaios. - Ligar o Termohigrômetro e configurar as condições ambientais contidas nesse documento no equipamento e iniciar a medição das condições climáticas durante os ensaios do dia. - Alterar a conexão do emulador FV com a bancada de ensaios para utilizar a entrada invertida. - Configurar a tensão do emulador de rede CA em 100% da tensão nominal de ensaio e 60 Hz. - Selecionar a curva fotovoltaica para que o equipamento sob ensaio opere em 100% de sua potência CA nominal e tensão de MPPT nominal. - Enviar a curva definida no passo b) para os emuladores fotovoltaicos. - Habilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica. - Medir e registrar a tensão de entrada, corrente de entrada, potência de entrada, tensão de saída, corrente de saída e potência de saída no analisador de energia. - Esperar 1 minuto e repetir o passo i) 4 vezes. - Desabilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica. - Aguardar 5 minutos para descarregar os capacitores de saída das fontes e do ESE - Alterar a conexão do emulador FV com a bancada de ensaios para utilizar a entrada normal. Trocar os fusíveis do inversor se necessário. - Habilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica.

- o) Esperar a estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência. Considera-se que o sistema está estabilizado quando o ponto de máxima potência se mantém dentro de uma faixa de tolerância de $\pm 2\%$ da potência de ensaios desejada. A estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência é avaliada pelo metrologista e alterações no equipamento podem ser realizadas para atingir o ponto de operação executando-se novamente um procedimento para obtenção do mapa de curvas. Caso o ESE não rastreie o ponto de máxima potência deve-se esperar pelo menos 5 minutos para avançar. Verificar a tensão CA da fonte, pois a injeção de potência por parte do inversor pode alterar a tensão da mesma, sendo necessário um reajuste.
- p) Medir e registrar a tensão de entrada, corrente de entrada, potência de entrada, tensão de saída, corrente de saída e potência de saída no analisador de energia.
- q) Esperar 1 minuto e repetir o passo i) 4 vezes.

23. SOBRECARGA

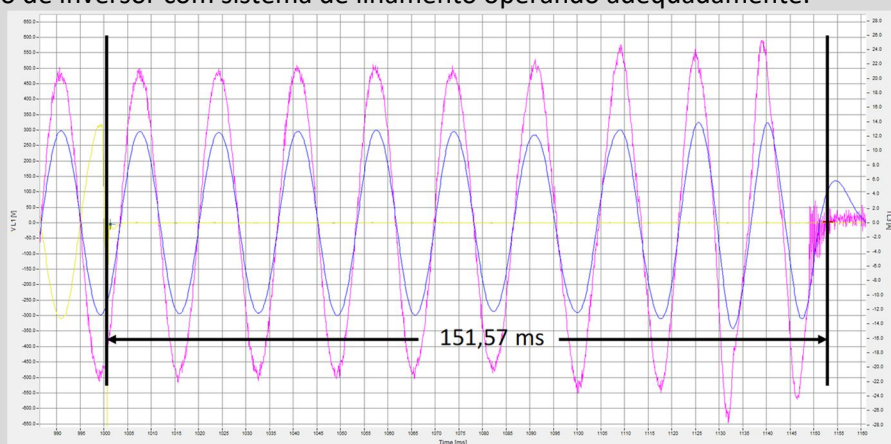
Objetivo	Avaliar se os inversores fotovoltaicos suportam sobrecarga de sistemas fotovoltaicos no lado c.c. sem isso provocar sua danificação.
Motivações técnicas para a realização do ensaio	Muitos projetos fotovoltaicos são projetados com inversores fotovoltaicos com potência inferior à máxima dos módulos fotovoltaicos. Nesses casos, o inversor deve garantir a limitação de potência sem danificar-se, como mostrado na figura abaixo. 
Aparato experimental para realização do ensaio	
Critérios de aceitação	O ESE é considerado em conformidade se estiver operando adequadamente ao final do ensaio.
Condição de ensaio	120% da potência nominal no lado CA
Procedimento de ensaio	- Conectar os equipamentos conforme figura. - Verificar se foram geradas as curvas fotovoltaicas para os ensaios. - Ligar o Termohigrômetro e configurar as condições ambientais contidas nesse documento no equipamento e iniciar a medição das condições climáticas durante os ensaios do dia. - Alterar a conexão do emulador FV com a bancada de ensaios para utilizar a entrada invertida. - Configurar a tensão do emulador de rede CA em 100% da tensão nominal de ensaio e 60 Hz. - Selecionar a curva fotovoltaica para que o equipamento sob ensaio opere em 120% de sua potência CA nominal e tensão de MPPT nominal. - Habilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica.

- h) Esperar a estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência. Considera-se que o sistema está estabilizado quando o ponto de máxima potência se mantém dentro de uma faixa de tolerância de $\pm 2\%$ da potência de ensaios desejada. A estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência é avaliada pelo metrologista e alterações no equipamento podem ser realizadas para atingir o ponto de operação executando-se novamente um procedimento para obtenção do mapa de curvas. Caso o ESE não rastreie o ponto de máxima potência deve-se esperar pelo menos 5 minutos para avançar. Verificar a tensão CA da fonte, pois a injeção de potência por parte do inversor pode alterar a tensão da mesma, sendo necessário um reajuste.
- i) Medir e registrar a tensão de entrada, corrente de entrada, potência de entrada, tensão de saída, corrente de saída e potência de saída no analisador de energia.
- j) Esperar 1 minuto e repetir o passo i) 14 vezes.
- k) Repetir os passos e) a j) para que o ESE opere em 100% de sua potência CA nominal.
- l) Medir e registrar a tensão de entrada, corrente de entrada, potência de entrada, tensão de saída, corrente de saída e potência de saída no analisador de energia.
- m) Esperar 1 minuto e repetir os passos l) 4 vezes.
- n) Medir e registrar a tensão de entrada, corrente de entrada, potência de entrada, tensão de saída, corrente de saída e potência de saída no analisador de energia.
- o) Desligar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica

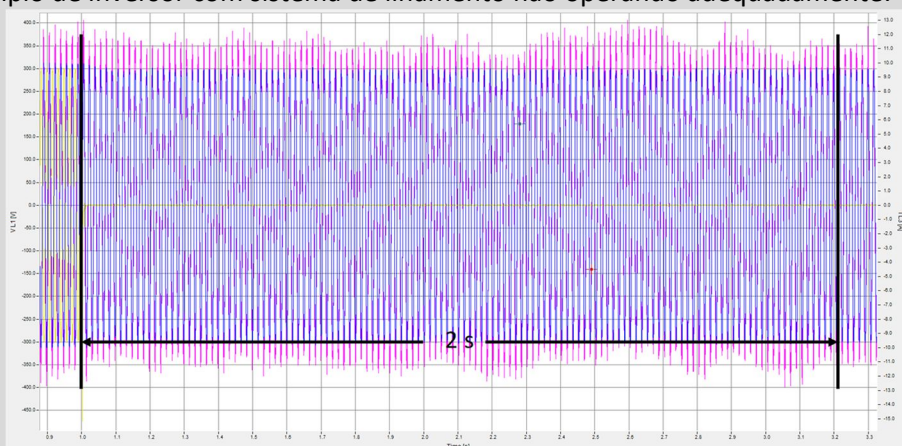
24. ANTI-ILHAMENTO

Objetivo

- Avaliar se os inversores fotovoltaicos desconectam-se adequadamente diante da ocorrência de um ilhamento não intencional.
- Criada pelo Instituto de Comissão Eletrotécnica Internacional (*International Electrotechnical Commission – IEC*), a norma *Utility-interconnected photovoltaic inverters - Test procedure of islanding prevention measures* (INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, 2014) tem por objetivo estabelecer um procedimento de ensaio para avaliar o desempenho das medidas de prevenção de ilhamento utilizadas nos sistemas fotovoltaicos conectados à rede, com objetivo de garantir a segurança de usuários e equipe de manutenção do setor elétrico.
- A norma descreve os requisitos (equipamentos e precisão) necessários para a realização dos ensaios. O banco RLC deve ter fator de qualidade (Q_f) $1 \pm 0,05$, e deve ser composto de resistores, indutores e capacitores associados em paralelo. Salienta-se que uma carga ativa também pode ser utilizada.
- O ensaio é realizado com várias configurações do banco RLC por meio de degraus de potência ativa e reativa em torno do ponto de sintonia de fator de qualidade unitário.. O banco RLC tem função de drenar toda potência ativa gerada pelo inversor, sendo permitido um erro de $\pm 1\%$ da corrente nominal em cada fase.
- Exemplo de inversor com sistema de ilhamento operando adequadamente:

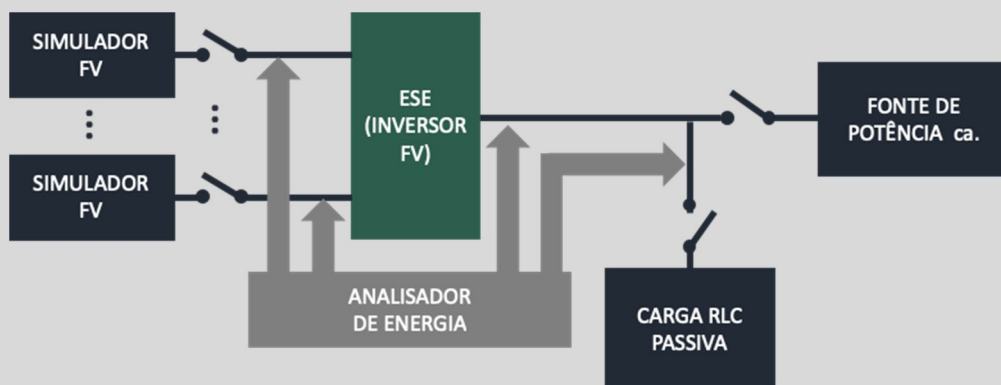


- Exemplo de inversor com sistema de ilhamento não operando adequadamente:



Motivações técnicas para a realização do ensaio

Aparato experimental para realização do ensaio



Crítérios de aceitação

O ESE é considerado em conformidade se em todos os testes de ilhamento, o tempo de desconexão não for maior que 2s.

Condição de ensaio

Condição	P_{out}	V_{in}
A	Máxima	> 90% da faixa de tensão de entrada do inversor.
B	50% - 66%	50% da faixa de tensão de entrada do inversor $\pm 10\%$.
C	25% - 33%	< 10% da faixa de tensão de entrada nominal do inversor.

Procedimento de ensaio

- Conectar os equipamentos conforme figura.
- Verificar se foram geradas as curvas fotovoltaicas para os ensaios.
- Ligar o Termohigrômetro e configurar as condições ambientais contidas nesse documento no equipamento e iniciar a medição das condições climáticas durante os ensaios do dia.
- Configurar a tensão do emulador de rede CA em 100% da tensão nominal de ensaio e 60 Hz.
- O ensaio anti-ilhamento é realizado em 3 diferentes faixas de potência. Primeiramente se deve escolher a curva fotovoltaica (tensão de circuito aberto, corrente de curto-circuito, ponto de máxima potência) para que o equipamento sob ensaio opere na Faixa A de ensaio. Escolher a curva de potência que foi assinalada como dentro da tolerância de potência. Caso o ESE utilize mais de um SPMP, a curva selecionada deve ser utilizada em todas fontes emuladoras FV.

Faixa de Ensaio	Potência mínima	Potência máxima
A	100	100
B	50	66
C	25	33

- Enviar a curva definida no passo e) para o emulador fotovoltaico.
- Fechar a contatora da fonte emuladora de rede CA
- Fechar a contatora da carga RLC e desligar todos os disjuntores, mantendo a carga conectada, mas desligada.
- Habilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica.
- Esperar a estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência. Considera-se que o sistema está estabilizado quando o ponto de máxima potência se mantém dentro de uma faixa de tolerância de $\pm 2\%$ da potência de ensaios desejada. A estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência é avaliada pelo metrologista e alterações no equipamento podem ser realizadas para atingir o ponto de operação executando-se novamente um procedimento para obtenção do mapa de curvas. Caso o ESE não rastreie o ponto de máxima potência deve-se esperar pelo menos 5 minutos para avançar. Verificar a tensão CA da fonte, pois a injeção de potência por parte do inversor pode alterar a tensão da mesma, sendo necessário um reajuste.
- Entre com os dados de placa do inversor no software de configuração da carga RLC para determinação do conjunto de resistores, indutores e capacitores para o ensaio. Medir e registrar o valor de potência reativa do equipamento (Q_{ese}).

- l) Desabilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica
- m) Selecionar na tabela do software a condição de equilíbrio da faixa sendo ensaiada (Faixa A, B ou C) e configurar a parte indutiva (L) da carga RLC com o valor apresentado.
- n) Abrir a contatora do ESE.
- o) Habilitar a saída da fonte emuladora de rede CA.
- p) Medir o valor da potência indutiva em módulo da carga (Q), e anotar no software.
- q) Desabilitar a saída da fonte emuladora de rede CA.
- r) Fechar a contatora do ESE.
- s) Configurar a parte capacitiva (C) e resistiva (R) da carga RLC, a configuração dos disjuntores.
- t) Fechar a contatora CA.
- u) Habilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica.
- v) Esperar a estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência. Considera-se que o sistema está estabilizado quando o ponto de máxima potência se mantém dentro de uma faixa de tolerância de $\pm 2\%$ da potência de ensaios desejada. A estabilização do rastreamento do ponto de máxima potência é avaliada pelo metrologista e alterações no equipamento podem ser realizadas para atingir o ponto de operação executando-se novamente um procedimento para obtenção do mapa de curvas. Caso o ESE não rastreie o ponto de máxima potência deve-se esperar pelo menos 5 minutos para avançar. Verificar a tensão CA da fonte, pois a injeção de potência por parte do inversor pode alterar a tensão da mesma, sendo necessário um reajuste.
- w) Verifique se a o ponto de equilíbrio foi atingido. Para tanto a corrente injetada na rede deve ser inferior a 1% da corrente nominal do inversor.
- x) Carregue a configuração para o ensaio de anti ilhamento.
- y) Abrir a contatora CA e aguardar a medida do osciloscópio (6,4s no máximo).
- z) Desabilitar as saídas das fontes emuladoras de rede CA e fotovoltaica.
- aa) Medir e registrar o valor do tempo de desconexão.
- bb) Voltar ao passo r) e repetir a sequência até que todos os pontos da faixa selecionada tenham sido ensaiados.
- cc) Voltar ao passo d) e repetir a sequência até que todas as faixas tenham sido ensaiadas.