

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA  
*PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA***

***RELATÓRIO FINAL DE PÓS-DOCTORADO***

**Ensaio em Inversores fotovoltaicos de acordo com  
normas e portaria INMETRO**

**Pós-doutorando: Rodrigo Alessandro Nunes de Oliveira**

**Coordenador: Prof. Dr. Carlos Alberto Canesin**

**Financiamento: FEPIA – Fundação de Ensino Pesquisa e Extensão de Ilha  
Solteira – Processo N° 009/2022**

**CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA – CONCLUSÃO 2024**

## Sumário

|                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------|-----|
| 1. Introdução.....                                                    | 3   |
| 2. Objetivos.....                                                     | 3   |
| 3. Metodologia.....                                                   | 4   |
| 4. Ensaio de inversores Huawei (17kW e 12kW).....                     | 4   |
| 4.1 Ensaio padronizados ABNT.....                                     | 4   |
| 4.1.1 Inversor SUN2000 12KTL-M2.....                                  | 6   |
| 4.1.2. Inversor SUN2000 17KTL-M0.....                                 | 8   |
| 4.1.3. Relatórios de certificação.....                                | 8   |
| 4.2. Avaliação de inversores a nível de componentes.....              | 9   |
| 4.2.1. Composição do protocolo de Avaliação.....                      | 15  |
| 4.2.2. Avaliação de capacitores.....                                  | 16  |
| 4.2.3. Levantamento das características dos capacitores.....          | 17  |
| 4.2.4. Avaliação das fontes auxiliares.....                           | 18  |
| 4.2.4. Avaliação de relés.....                                        | 19  |
| 4.2.5. Avaliação de SPD.....                                          | 20  |
| 4.2.6. Preparo dos inversores.....                                    | 21  |
| 4.2.7. Resultados da avaliação de degradação dos inversores.....      | 21  |
| 4.2.8. Avaliação de operação adequada dos inversores.....             | 21  |
| 4.2.9. Avaliação das fontes auxiliares.....                           | 23  |
| 4.2.9.1. Inversor de referência.....                                  | 23  |
| 4.2.10. Análise dos parâmetros para as fontes auxiliares.....         | 27  |
| 4.2.11. Ensaios dos demais componentes.....                           | 31  |
| 4.2.11.1. Avaliação dos capacitores.....                              | 31  |
| 4.2.11.2. Avaliação dos capacitores eletrolíticos.....                | 31  |
| 4.2.11.3. Avaliação dos capacitores não polarizados.....              | 38  |
| 4.2.11.4. Avaliação dos SPD.....                                      | 54  |
| 4.2.11.5. Avaliação dos relés.....                                    | 58  |
| 4.3. Conclusões.....                                                  | 60  |
| 4.4. Referências.....                                                 | 63  |
| Anexo 1 – Relatório de Certificação do Inversor SUN2000-12KTL-M2..... | 64  |
| Anexo 2 – Relatório de Certificação do Inversor SUN2000-17KTL-M0..... | 111 |

## 1. Introdução

O PBE (Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) incentiva a inovação e a evolução tecnológica de produtos/equipamentos industriais e funciona como instrumento para estimular a fabricação de aparelhos e equipamentos mais eficientes, seja em relação ao consumo de energia, seja para o consumo de combustível ou para água. Além de desempenho, o Programa também estabelece requisitos de segurança para os produtos, de modo que seja minimizada a possibilidade de um acidente de consumo, ou outros critérios utilizados para diferenciar os produtos no mercado como, por exemplo, o nível de potência sonora (ruído) de alguns aparelhos, dentre outros de importâncias estratégicas, comerciais e tecnológicas.

Dentre os equipamentos contemplados por tais normas, destaca-se o inversor fotovoltaico, responsável pela conversão CC-CA da energia elétrica gerada a partir dos módulos fotovoltaicos, o qual pode ter uma significativa influência na segurança, desempenho e características operacionais das redes de distribuição a qual estão conectados, bem como riscos à segurança dos usuários finais. Ainda, tal inversor deve possuir robustez para suportar situações operacionais adversas sem danos permanentes.

Desta forma, o ensaio e avaliação de qualquer inversor fotovoltaico utilizado no país é algo imperativo, conforme regulamentado por portarias do INMETRO e as referidas normas da ABNT, quais sejam: Portaria n.357 de 01 de agosto de 2014 do INMETRO, os testes/ensaios devem ter como base as normas técnicas e ensaios descritos nas normas ABNT NBR IEC 62116:2012, IEC 62109-2:2011, ABNT NBR 16149:2013 e ABNT NBR 16150:2013.

## 2. Objetivos

Esta pesquisa teve como objetivos principais dois pontos de interesse:

1) Ensaio experimental laboratorial de novos inversores fotovoltaicos ainda não certificados no país, a fim de verificar a compatibilidade dos equipamentos com as normas vigentes em nossa legislação, seguindo as recomendações da Portaria INMETRO n.357 de 01 de agosto de 2014, estabelecendo metodologias para o LEP-Laboratório de Eletrônica de Potência da FE/IS/UNESP.

2) Análise de eventuais falhas em equipamentos já em operação, tendo como foco principal os inversores fotovoltaicos, avaliando os danos causados, possibilidade e viabilidade de reparo, bem como as causas de origem de tais danos, possibilitando assim a sugestão de melhorias de projeto, ou instalação, para evitar novas ocorrências. Devido a escassez de informações técnicas, tal atividade envolve um grande nível de utilização de técnicas de engenharia reversa, tanto em hardware como firmware.

### 3. Metodologia

Todos os ensaios experimentais foram realizados nas dependências do Laboratório de Eletrônica de Potência (LEP), integrante do Departamento de Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira/Unesp. O LEP é equipado com os mais modernos equipamentos e dispositivos para análise e geração de sinais, fontes programáveis bidirecionais em quatro quadrantes, fontes para emulação de Array solar, analisadores de energia, cargas eletrônicas programáveis, bem como cargas passivas RLC, o que o coloca como um dos mais modernos e equipados laboratórios de eletrônica de potência do país, sendo adequado para tais avaliações.

Os ensaios foram realizados com base nas normas ABNT NBR 16149:2013, ABNT NBR 16150:2013 e ABNT NBR IEC 62116:2012, conforme o anexo III da portaria INMETRO nº 004:2011.

As avaliações dos inversores a nível de componentes, para eventual comparação em caso de falhas futuras e envelhecimento, foram realizadas com base em técnicas de engenharia reversa e análise de falhas.

### 4. Ensaio de inversores Huawei (17kW e 12kW)

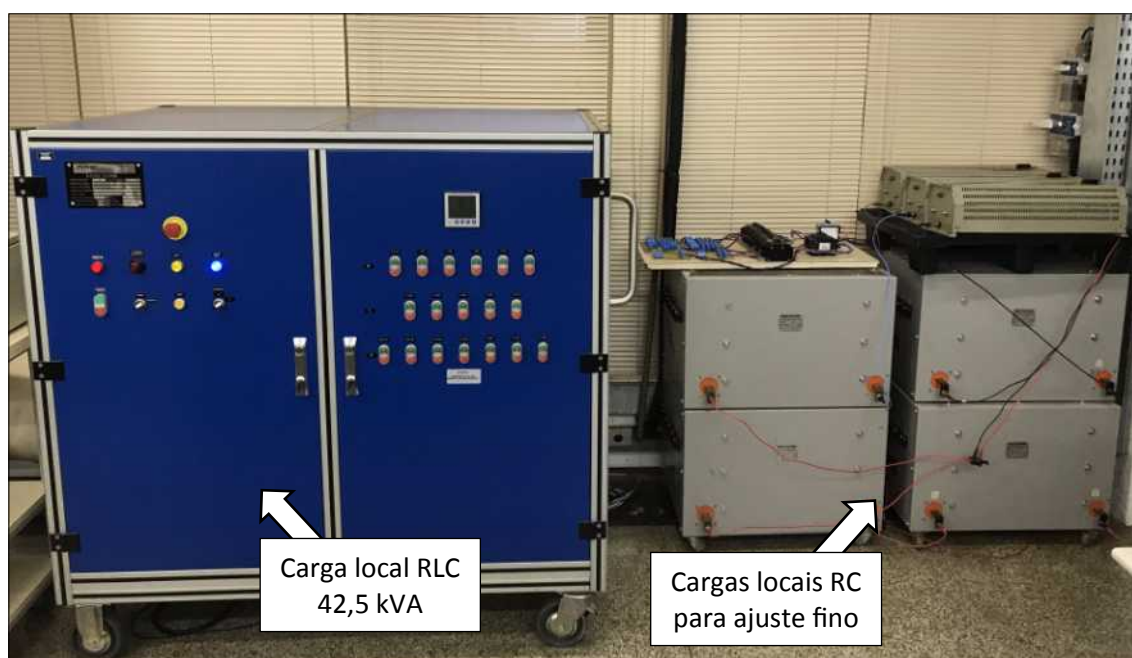
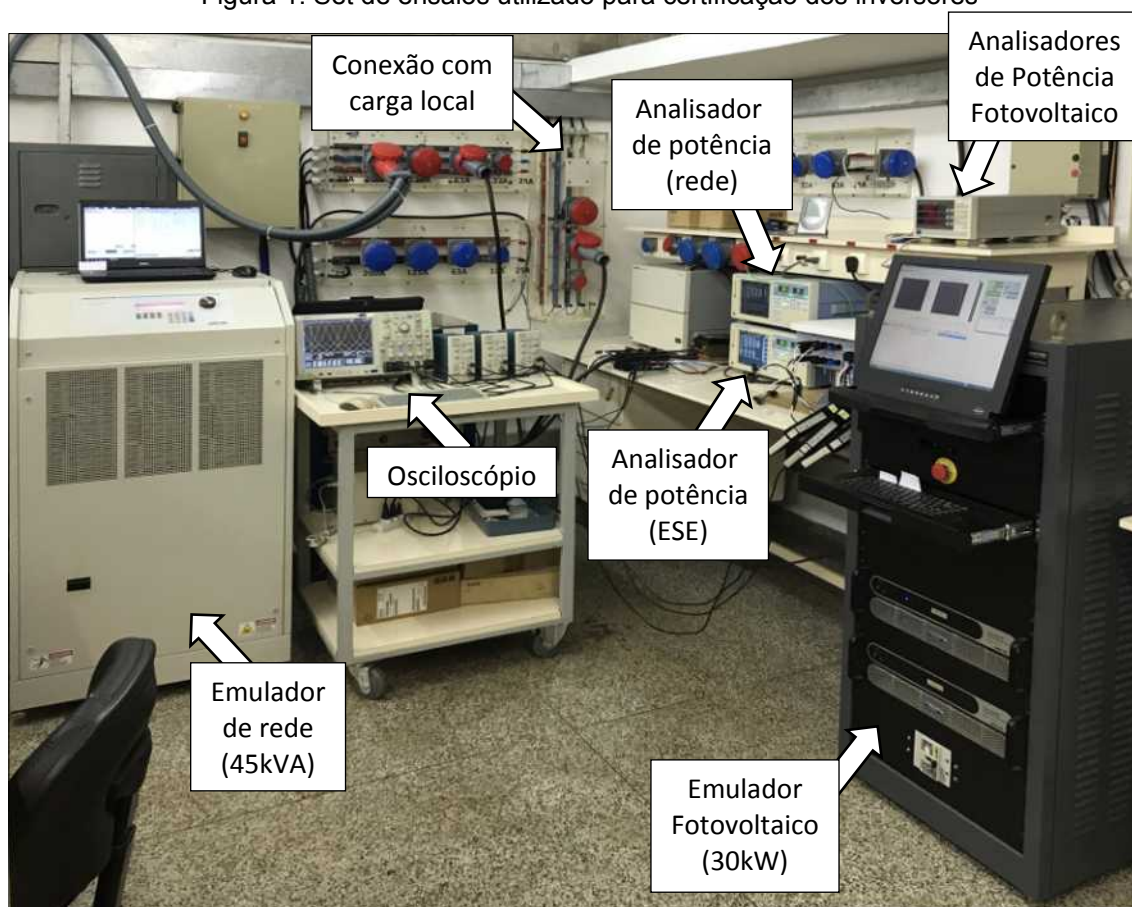
#### 4.1 Ensaios padronizados ABNT

Os ensaios foram realizados de acordo com as normas vigentes: ABNT NBR IEC 62116, ABNT NBR 16149, ABNT NBR 16150 e CEI IEC 61000-3-11.

O set de ensaio conta com os equipamentos apresentados na figura 1, de acordo com as especificações apresentadas na sequência. O inversor, o emulador de rede e a carga local, são conectados por disjuntores trifásicos e a carga é conectada por um transformador trifásico para ajuste da tensão nominal dos sistemas [inversor (380V) / carga (220V)].

- Analisadores de Potência Fotovoltaico
  - Yokogawa WT230
- Analisador de potência (rede)
  - Yokogawa WT3000
- Analisador de potência (ESE)
  - Yokogawa WT3000
- Emulador de rede (45kVA)
  - California Instruments MX45-3-pi
- Emulador Fotovoltaico (30kW)
  - 2 x TerraSAS ETS 600/25
- Carga local
  - Hilkar 3x220V 60Hz 42,5kVA
- Osciloscópio
  - Tektronix MSO 5104

Figura 1: Set de ensaios utilizado para certificação dos inversores

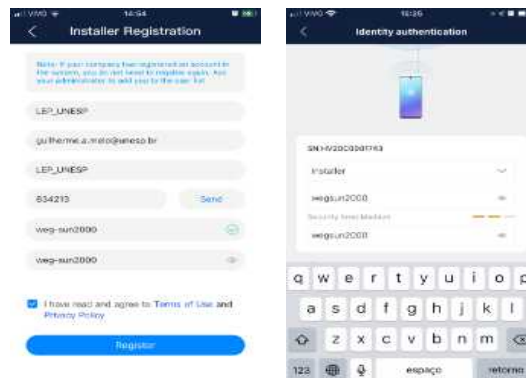


Fonte: Relatório de Etapas 1 – Ano 1

### 4.1.1. Inversor SUN2000 12KTL-M2

A configuração do inversor de 12kW foi realizada pelo aplicativo FusionSolar, utilizando um e-mail corporativo, como apresentado na figura 2. Além disso, o inversor foi cadastrado de acordo com as informações da imagem à direita.

Figura 2: Configuração do inversor SUN2000

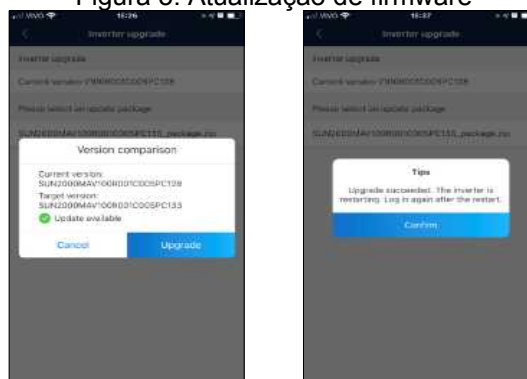


Fonte: Relatório de Etapas 1 – Ano 1

As figuras subsequentes apresentam as informações de:

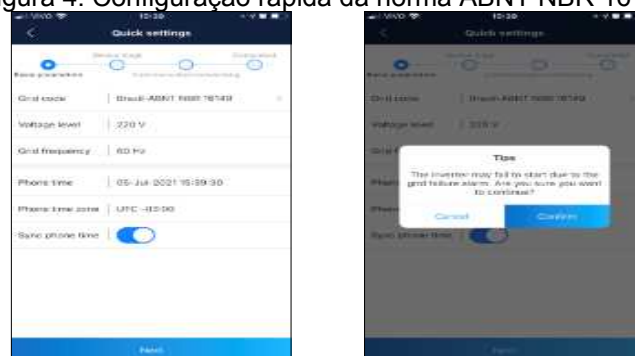
- Atualização de versão de firmware;
- Configuração rápida da norma ABNT NBR 16149;
- Configuração dos parâmetros da rede;
- Parâmetros de proteção;
- Parâmetros de recursos extras;
- Ajustes de relógio;
- Ajustes de potência;

Figura 3: Atualização de firmware



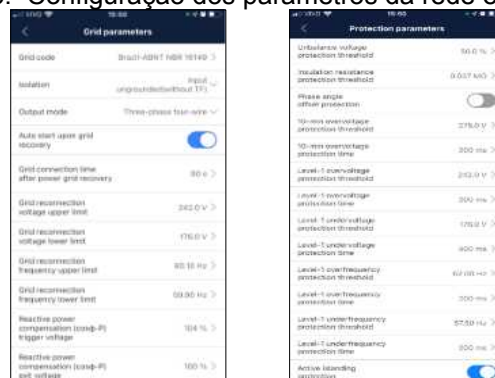
Fonte: Relatório de Etapas 1 – Ano 1

Figura 4: Configuração rápida da norma ABNT NBR 16149



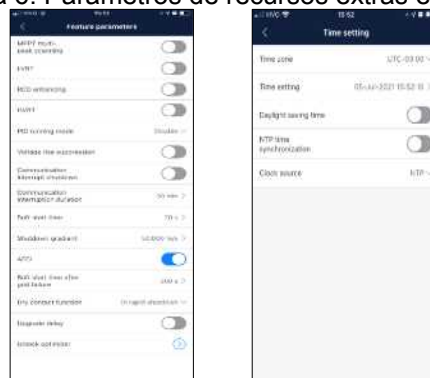
Fonte: Relatório de Etapas 1 – Ano 1

Figura 5: Configuração dos parâmetros da rede e proteção



Fonte: Relatório de Etapas 1 – Ano 1

Figura 6: Parâmetros de recursos extras e relógio



Fonte: Relatório de Etapas 1 – Ano 1

Figura 7: Ajustes de potência



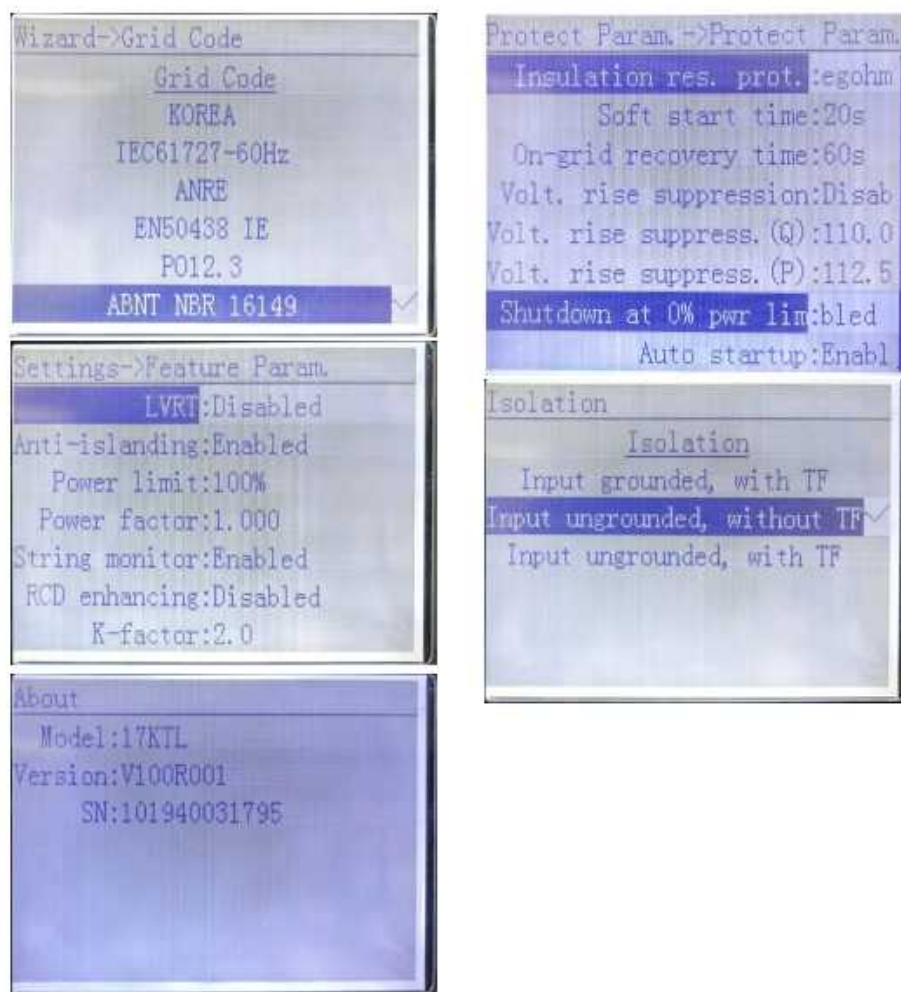
Fonte: Relatório de Etapas 1 – Ano 1

### 4.1.2. Inversor SUN2000 17KTL-M0

Não foi possível realizar a configuração do inversor de 17kW pelo aplicativo FusionPower porque o equipamento possui somente comunicação RS485, necessitando de equipamentos e conhecimentos específicos fornecidos pelo fabricante.

Sendo assim, a configuração do inversor foi realizada pelo display integrado, acessando a função Wizard após a inicialização do equipamento, como apresentado nas figuras abaixo.

Figura 8: Configuração do inversor 17kW



Fonte: Relatório de Etapas 1 – Ano 1

### 4.1.3. Relatórios de certificação

Devido a grande quantidade relativa de páginas, e afim de não poluir o relatório técnico, os relatórios de certificação gerados para os inversores ensaiados anteriormente foram anexados ao final deste relatório.

## 4.2. Avaliação de inversores a nível de componentes

Considerando o histórico de mau funcionamento relacionado a inversores aplicados à geração fotovoltaica, a avaliação de degradação de componentes deveria estar focada nos relés de conexão, nos semicondutores de potência, nos principais capacitores do equipamento e nos SPD. Contudo, devido às características construtivas do circuito, a avaliação dos semicondutores tornou-se inviável, visto que a remoção de tais componentes comprometeria a qualidade de conexão entre os terminais dos semicondutores e as vias da PCB, uma vez que os mesmos não são montados de forma tradicional, com solda, e sim via conectores montados com interferência nos pads do PCB.

Nesse sentido, os relés foram avaliados pela resistência dos contatos (RC), os capacitores pelas características de ESR e capacitância. Já os SPD pela tensão de condução.

A avaliação da RC do relé foi realizada pela imposição de uma corrente conhecida seus terminais, permitindo a leitura da queda de tensão entre os terminais de entrada e de saída do relé.

Para os capacitores, a avaliação é separada por dois grupos, sendo o primeiro grupo correspondente aos capacitores empregados no circuito de potência da geração fotovoltaica e o outro, correspondente aos filtros das fontes auxiliares do equipamento.

Os capacitores do circuito de potência são avaliados com medições de ESR e capacitância em cinco (5) frequências diferentes, de 100 Hz à 20 kHz. Já os capacitores associados às fontes auxiliares são testados indiretamente, pela avaliação de uma assinatura de forma de onda na saída de cada fonte de alimentação.

Os SPD empregados para proteção de surtos de tensão, os quais tem o varistor como elemento principal, são testados com limitação de corrente em 1mA para determinar a tensão de atuação do dispositivo, que corresponde à tensão de condução nessa corrente.

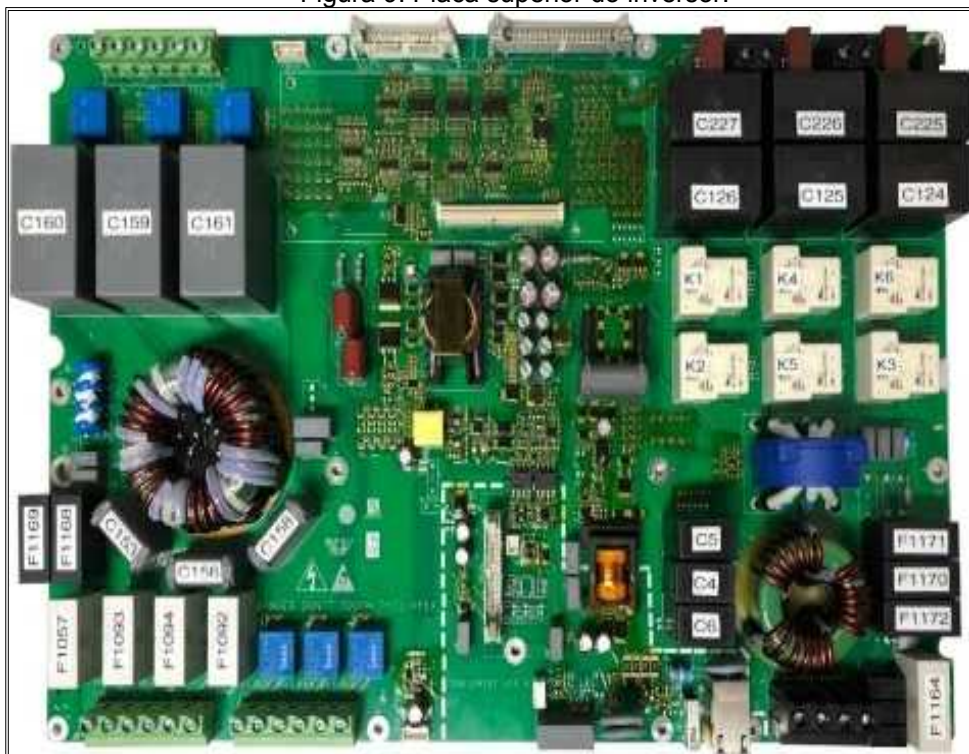
Com exceção dos capacitores de saída das fontes auxiliares, é necessário que todos os componentes sejam extraídos da PCB para serem testados isoladamente.

Pode-se visualizar a PCB que fica na parte superior do inversor, figura 9, à qual se visualiza assim que a tampa frontal do inversor é removida. Na primeira foto é possível identificar os capacitores, relés e SPD etiquetados com a mesma nomenclatura apresentada no *silk screen* da PCB na figura (a) e na foto subsequente, figura (b), a mesma PCB sem os componentes.

A PCB inferior, que se localiza sob a PCB superior, pode ser observada na figura 10, onde são apresentadas duas fotos nos mesmos moldes da figura 9, contudo essa PCB possui etiquetas apenas nos capacitores do circuito de potência e os transistores estão posicionados na outra face da PCB, ou seja, em sua parte inferior.

O protocolo de testes é iniciado com a avaliação de funcionamento do inversor, que conta com uma quantidade limitada de ensaios baseados nas normas NBR 16149, NBR 16150, NBR IEC 62116 e IEC61000-3-11, empregadas na certificação de inversores *on-grid*.

Figura 9: Placa superior do inversor.



(a)



(b)

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Figura 10: Placa inferior do inversor.



Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Após a validação de funcionamento do inversor, as avaliações dos componentes pertinentes foram realizadas. Uma vez que o inversor precisa ser desmontado para a avaliação dos componentes, e muitos deles são removidos, testados e recolocados, outra avaliação de funcionamento é realizada após sua remontagem.

Os capacitores etiquetados com seus respectivos nomes nas PCB foram ensaiados, contudo identificou-se a alteração de marcas e séries de capacitores nos seis inversores avaliados. Tal variação não impacta significativamente nas medições, mas podem impactar no tempo de vida útil do equipamento, o que não foi identificado nesta avaliação de vida precoce dos inversores.

Nas tabelas apresentadas na sequência, compostas por Tabela 1 a Tabela 4, estão os capacitores não polarizados e os capacitores eletrolíticos presentes em cada inversor. Observa-se que há três composições diferentes de capacitores no conjunto de inversores ensaiados, entretanto a tolerância de capacitância de cada um deles não sofreu alteração.

Tabela 1: Dados dos capacitores não polarizados presentes no inversor de referência, assim como nas amostras 3 e 5.

| Nome | Valor N.<br>[μF] | Tensão<br>[V] | Marca                | Série | Tolerância<br>[%] | ESR<br>[mΩ] a 10 kHz |
|------|------------------|---------------|----------------------|-------|-------------------|----------------------|
| C4   | 1,8              | 350 AC        | Xiamen Faratronic-CO | C4B   | 20                | ---                  |
| C5   | 1,8              | 350 AC        | Xiamen Faratronic-CO | C4B   | 20                | ---                  |
| C6   | 1,8              | 350 AC        | Xiamen Faratronic-CO | C4B   | 20                | ---                  |
| C66  | 110,0            | 600 DC        | Xiamen Faratronic-CO | C3D   | 20                | 3,8                  |
| C67  | 110,0            | 600 DC        | Xiamen Faratronic-CO | C3D   | 20                | 3,8                  |
| C57  | 30,0             | 1100<br>DC    | TDK/Epcos            | MKP   | 10                | 8.2                  |
| C58  | 30,0             | 1100<br>DC    | TDK/Epcos            | MKP   | 10                | 8.2                  |
| C62  | 30,0             | 1100<br>DC    | TDK/Epcos            | MKP   | 10                | 8.2                  |
| C159 | 30,0             | 1100<br>DC    | Xiamen Faratronic-CO | C3D   | 10                | 4,8                  |
| C160 | 30,0             | 1100<br>DC    | Xiamen Faratronic-CO | C3D   | 10                | 4,8                  |
| C161 | 30,0             | 1100<br>DC    | Xiamen Faratronic-CO | C3D   | 10                | 4,8                  |
| C124 | 8,0              | 380 AC        | Panasonic            | EZP-Q | 10                | 11,9                 |
| C125 | 8,0              | 380 AC        | Panasonic            | EZP-Q | 10                | 11,9                 |
| C126 | 8,0              | 380 AC        | Panasonic            | EZP-Q | 10                | 11,9                 |
| C225 | 8,0              | 380 AC        | Panasonic            | EZP-Q | 10                | 11,9                 |
| C226 | 8,0              | 380 AC        | Panasonic            | EZP-Q | 10                | 11,9                 |
| C227 | 8,0              | 380 AC        | Panasonic            | EZP-Q | 10                | 11,9                 |
| C153 | 2,0              | 1100<br>DC    | Xiamen Faratronic-CO | C3D   | 10                | 27,9                 |
| C156 | 2,0              | 1100<br>DC    | Xiamen Faratronic-CO | C3D   | 10                | 27,9                 |
| C158 | 2,0              | 1100<br>DC    | Xiamen Faratronic-CO | C3D   | 10                | 27,9                 |

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Tabela 2: Dados dos capacitores eletrolíticos presentes no inversor de referência, assim como nas amostras 1, 2 e 4.

| Nome | Valor N.<br>[μF] | Tensão<br>[VDC] | Marca    | Série | Tolerância<br>[%] | ESR<br>[mΩ] a 100 Hz |
|------|------------------|-----------------|----------|-------|-------------------|----------------------|
| C70  | 330,0            | 500             | Chemi/CO | LXS   | 20                | ---                  |
| C68  | 330,0            | 500             | Chemi/CO | LXS   | 20                | ---                  |
| C23  | 330,0            | 500             | Chemi/CO | LXS   | 20                | ---                  |
| C78  | 330,0            | 500             | Chemi/CO | LXS   | 20                | ---                  |
| C69  | 330,0            | 500             | Chemi/CO | LXS   | 20                | ---                  |
| C28  | 330,0            | 500             | Chemi/CO | LXS   | 20                | ---                  |
| C74  | 330,0            | 500             | Chemi/CO | LXS   | 20                | ---                  |
| C76  | 330,0            | 500             | Chemi/CO | LXS   | 20                | ---                  |

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Avaliando as características dos capacitores não polarizados, não foi encontrado o valor da ESR dos capacitores de 1,8 μF da série C4B fabricado pela *Xiamen Faratronic CO*. Destaca-se ainda que as resistências série de referência desses capacitores, medidas a 10 kHz, são da ordem de alguns Miliohm (mΩ) a algumas dezenas de mΩ, tornando o processo de medição de ESR muito suscetível a erros.

Observa-se ainda que valores típicos de ESR dos capacitores de filme plástico medidos a 10 kHz e 20°C são normalmente 2,5 vezes menores que os valores típicos de ESR apresentados como referência nos datasheets.

Avaliando os capacitores eletrolíticos, duas marcas foram utilizadas, com séries de tolerância de 20%, sendo que apenas a marca TDK forneceu o valor da ESR a 100 Hz.

Tabela 3: Dados dos capacitores não polarizados presentes nas amostras 1, 2 e 4.

| Nome | Valor N.<br>[ $\mu$ F] | Tensão<br>[V] | Marca                | Série | Tolerância<br>[%] | ESR<br>[m $\Omega$ ] a 10 kHz |
|------|------------------------|---------------|----------------------|-------|-------------------|-------------------------------|
| C4   | 1,8                    | 350 AC        | Xiamen Faratronic-CO | C4B   | 20                | ---                           |
| C5   | 1,8                    | 350 AC        | Xiamen Faratronic-CO | C4B   | 20                | ---                           |
| C6   | 1,8                    | 350 AC        | Xiamen Faratronic-CO | C4B   | 20                | ---                           |
| C66  | 110                    | 600 DC        | Xiamen Faratronic-CO | C3D   | 20                | 3,8                           |
| C67  | 110                    | 600 DC        | Xiamen Faratronic-CO | C3D   | 20                | 3,8                           |
| C57  | 30                     | 1100<br>DC    | Xiamen Faratronic-CO | C3D   | 10                | 9,7                           |
| C58  | 30                     | 1100<br>DC    | Xiamen Faratronic-CO | C3D   | 10                | 9,7                           |
| C62  | 30                     | 1100<br>DC    | Xiamen Faratronic-CO | C3D   | 10                | 9,7                           |
| C159 | 30                     | 1100<br>DC    | Xiamen Faratronic-CO | C3D   | 10                | 4,8                           |
| C160 | 30                     | 1100<br>DC    | Xiamen Faratronic-CO | C3D   | 10                | 4,8                           |
| C161 | 30                     | 1100<br>DC    | Xiamen Faratronic-CO | C3D   | 10                | 4,8                           |
| C124 | 8                      | 380 AC        | Xiamen Faratronic-CO | C6A   | 10                | 4,6                           |
| C125 | 8                      | 380 AC        | Xiamen Faratronic-CO | C6A   | 10                | 4,6                           |
| C126 | 8                      | 380 AC        | Xiamen Faratronic-CO | C6A   | 10                | 4,6                           |
| C225 | 8                      | 380 AC        | Xiamen Faratronic-CO | C6A   | 10                | 4,6                           |
| C226 | 8                      | 380 AC        | Xiamen Faratronic-CO | C6A   | 10                | 4,6                           |
| C227 | 8                      | 380 AC        | Xiamen Faratronic-CO | C6A   | 10                | 4,6                           |
| C153 | 2                      | 1100<br>DC    | Xiamen Faratronic-CO | C3D   | 10                | 27,9                          |
| C156 | 2                      | 1100<br>DC    | Xiamen Faratronic-CO | C3D   | 10                | 27,9                          |
| C158 | 2                      | 1100<br>DC    | Xiamen Faratronic-CO | C3D   | 10                | 27,9                          |

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Tabela 4: Dados dos capacitores eletrolíticos presentes nos inversores das amostras 3 e 5.

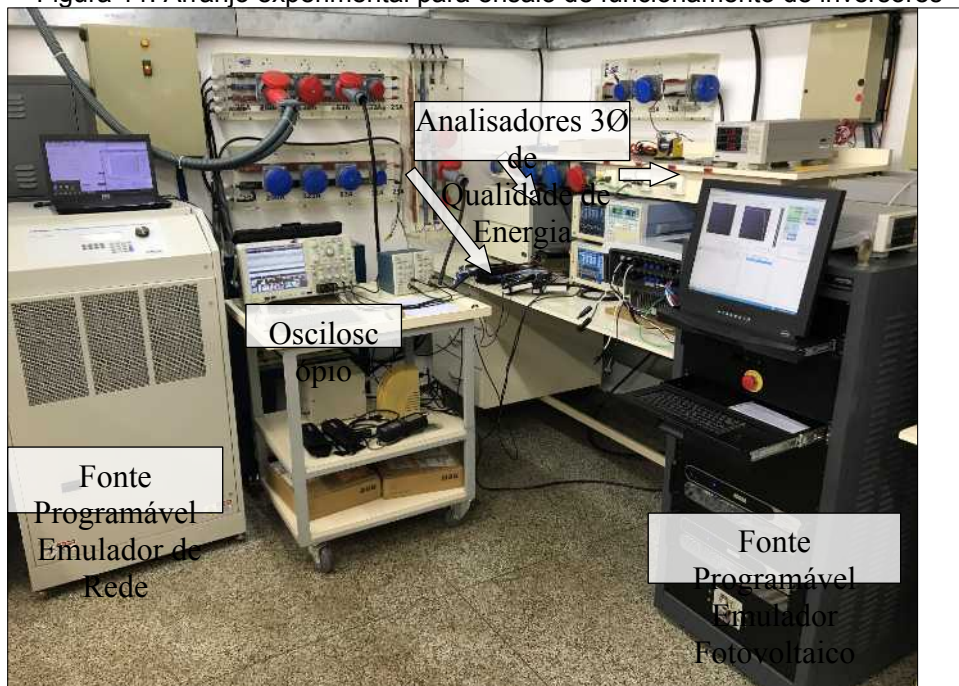
| Nome | Valor N.<br>[ $\mu$ F] | Tensão<br>[VDC] | Marca     | Série  | Tolerância<br>[%] | ESR<br>[m $\Omega$ ] a 100 Hz |
|------|------------------------|-----------------|-----------|--------|-------------------|-------------------------------|
| C70  | 330,0                  | 500             | TDK/Epcos | B43505 | 20                | 250                           |
| C68  | 330,0                  | 500             | TDK/Epcos | B43505 | 20                | 250                           |
| C23  | 330,0                  | 500             | TDK/Epcos | B43505 | 20                | 250                           |
| C78  | 330,0                  | 500             | TDK/Epcos | B43505 | 20                | 250                           |
| C69  | 330,0                  | 500             | TDK/Epcos | B43505 | 20                | 250                           |
| C28  | 330,0                  | 500             | TDK/Epcos | B43505 | 20                | 250                           |
| C74  | 330,0                  | 500             | TDK/Epcos | B43505 | 20                | 250                           |
| C76  | 330,0                  | 500             | TDK/Epcos | B43505 | 20                | 250                           |

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

#### 4.2.1. Composição do protocolo de Avaliação

Uma vez que o modelo do inversor a ser testado já foi certificado, apenas alguns testes são necessários para sua avaliação de funcionamento, os quais utilizam o mesmo set experimental empregado nos ensaios de certificação, como pode ser observado na figura 11. Além dos equipamentos presentes na foto do arranjo experimental, uma carga RLC trifásica programável também é utilizada.

Figura 11: Arranjo experimental para ensaio de funcionamento de inversores



Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

A confecção do teste de funcionamento de inversores on-grid está fundamentada em avaliações de esforços de tensão e corrente, em nível de distorção harmônica de corrente e no funcionamento do sistema de anti-ilhamento. Os demais testes aplicados para a certificação possuem correlação apenas com o firmware do inversor, o qual **difícilmente** poderia ser danificado, alterado ou corrompido no processo de desmontagem e remontagem dos componentes avaliados no inversor, os quais se tratam de capacitores, relés e SPD.

Quanto aos testes escolhidos para a avaliação de funcionamento do inversor, destaca-se que os testes de esforços são necessários para avaliar a possível existência de pontos de soldagem precária, assim como de diminuição de impedância em pontos de maiores esforços de tensão.

Já com relação à avaliação de distorção harmônica e do sistema de anti-ilhamento, alterações nas características dos capacitores podem influenciar na filtragem de ruídos e no armazenamento de energia, o que teria potencial para alterar o funcionamento do inversor nos dois temas supracitados.

Sendo assim, os testes para avaliação de funcionamento de inversores são classificados na Tabela 5, onde são listados todos os testes requeridos para a certificação.

Tabela 5: Escolha dos testes para avaliação do funcionamento de inversores

|                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ensaio                                                                                                      |
|                                                                                                             |
| Cintilação                                                                                                  |
| Injeção de componente de corrente contínua (CC)                                                             |
| Harmônicos e distorção de forma de onda                                                                     |
| Fator de Potência                                                                                           |
| Injeção/demanda de potência reativa                                                                         |
| Variação de tensão                                                                                          |
| Variação de frequência                                                                                      |
| Controle de potência ativa em sobrefrequência                                                               |
| Tempo de reconexão                                                                                          |
| Religamento automático fora de fase                                                                         |
| Limitação de potência ativa                                                                                 |
| Comando de potência reativa                                                                                 |
| Desconexão e reconexão remota do sistema fotovoltaico da rede                                               |
| Requisitos de suportabilidade a sobtensões decorrentes de faltas na rede ( <i>fault ride through</i> - FRT) |
| Inversão de polaridade                                                                                      |
| Proteção anti-ilhamento                                                                                     |

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

### **4.2.2. Avaliação de capacitores**

Os inversores avaliados contam com grande quantidade de capacitores, vários deles são cerâmicos de baixa tensão, baixa capacitância e do tipo SMD (Surface-Mount Device), os quais são utilizados para filtragem de ruídos de pequenos sinais e desacoplamento. Esses capacitores possuem elevada vida útil, são utilizados em quantidades muito elevadas nas PCB, são de difícil remoção e possuem margem para larga variação de capacitância sem comprometer o funcionamento do circuito.

Outro grupo de capacitores, normalmente de filme metálico, são utilizados para filtragem de ruídos com tensões e correntes elevadas, os quais também podem ser integrados a indutores para composição de filtros LC. Sua finalidade está em adequar os níveis de ruído das formas de onda de tensão e corrente para uma apropriada aquisição dos sinais por sensores imprescindíveis para o funcionamento adequado do circuito. A leitura apropriada dos sinais supracitados é fundamental para garantir o fluxo de potência correto entre os painéis fotovoltaicos (PF) e a rede de distribuição de energia elétrica, garantindo segurança de operação e formas de onda de corrente com baixo nível de componentes harmônicas.

Também importantes para o funcionamento adequado dos inversores estão os capacitores eletrolíticos de elevadas capacitâncias e elevadas tensões, empregados no armazenamento de energia proveniente dos PF, os quais compõem o barramento CC que alimenta a ponte inversora, ou seja, o circuito de potência que transforma uma entrada de CC em saída senoidal trifásica neste caso.

Por fim, os capacitores de baixa tensão que compõem as fontes auxiliares do inversor. Tais fontes auxiliares possuem capacitores eletrolíticos e cerâmicos em sua maioria.

Com base nas informações disponibilizadas no primeiro parágrafo desta seção, observa-se a inviabilidade de avaliação individual dos capacitores cerâmicos SMD, uma vez que a tolerância à variação em torno de 30% de suas capacitâncias é perfeitamente aceitável.

Já os demais capacitores que compõem o inversor devem possuir tolerâncias mais rígidas para garantir o funcionamento adequado do equipamento. Desta forma, todos os demais serão testados com a utilização de alguma metodologia.

Os capacitores de filtro com tensões elevadas, assim como os eletrolíticos para armazenamento de energia são avaliados por leituras de capacitância e ESRs. Já os capacitores que compõem as fontes auxiliares não serão testados individualmente, mas sim avaliados em função das formas de onda das tensões de saída das fontes auxiliares.

### **4.2.3. Levantamento das características dos capacitores**

Utilizando um medidor LCR fabricado pela HP (Hewlett Packard), modelo 4263B com três casas de precisão e 0,1% de exatidão, foram realizadas medições de capacitância e ESR em várias frequências, incluindo 100Hz, 120Hz, 1kHz, 10kHz e 20kHz para todos os capacitores avaliados por esta metodologia.

Para os ensaios realizados nos capacitores não polarizados, o procedimento adotado consistiu em uma hora de estabilização térmica do medidor RLC, calibração do equipamento com as ponteiros acopladas, seguido das medições. Para os capacitores polarizados (eletrolíticos), as medições contaram com o mesmo procedimento adicionando-se uma tensão de *bias* no valor de 2V, necessária para melhor estabilidade das medições.

Os resultados são apresentados em tabelas, possibilitando a comparação entre inversores e com futuras análises após a utilização dos mesmos inversores ao longo de sua utilização após sua reintrodução na planta piloto.

#### 4.2.4. Avaliação das fontes auxiliares

Inicialmente, definem-se as condições de contorno para a aquisição das formas de onda de tensão nas saídas das fontes auxiliares.

Duas condições de carregamento foram configuradas, sendo uma sem processamento de energia pelo inversor, para a qual adota-se a denominação SC (Sem Carga) e outra com meia carga de carregamento, a qual recebe a denominação de 50%.

Os inversores avaliados contam com duas fontes auxiliares, sendo uma alimentada pela conexão com a rede alternada, identificada como “Fonte Auxiliar CA”, e a outra alimentada pelo barramento CC oriundo dos painéis fotovoltaicos, identificada como “Fonte Auxiliar CC”.

Observa-se ainda que a “Fonte Auxiliar CC” possui 3 saídas com referência comum, identificadas como “ $V_{C11+}$ ”, “ $V_{C12+}$ ” e “ $V_{C14+}$ ”, as quais são dedicadas à alimentação do sistema de controle, circuitos de ataque dos semicondutores ativos e sistemas acessórios.

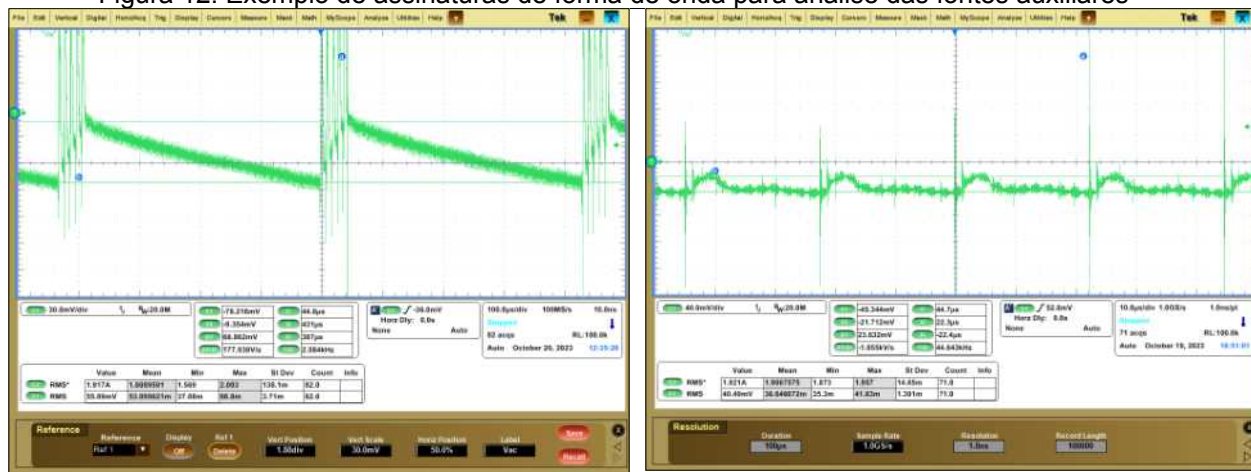
Já o ponto identificado como “ $V_{Display-}$ ”, presente na saída do transformador da “Fonte Auxiliar CC”, possui referência isolada das demais e está dedicada à alimentação do display informativo do equipamento. O sinal desse enrolamento de saída é retificado e resulta na tensão “ $V_{C65+}$ ”, que se converte em “ $V_{Display+}$ ” após passar por um diodo.

A “Fonte Auxiliar CA” é dedicada a alimentar apenas o display, a qual possui funcionalidade quando o inversor não recebe energia dos painéis fotovoltaicos e, conseqüentemente, a “Fonte Auxiliar CC” fica desenergizada. Nessa situação, o display recebe energia originária de “ $V_{C66+}$ ”. Destaca-se que “ $V_{Display-}$ ” presente na “Fonte Auxiliar CA” coincide eletricamente com “ $V_{Display-}$ ” presente na “Fonte Auxiliar CC”.

Todas as formas de onda oriundas dos 5 pontos escolhidos possuem um padrão que pode ser interpretado como uma assinatura da forma de onda. Esse padrão pode ser identificado por um período de chaveamento ou por um tempo que caracterize uma forma periódica da forma de onda. Além disso, podem ser observados os valores máximo e mínimo do sinal, assim como os decaimentos lineares de tensão que ocorrem na descarga dos capacitores de saída das fontes.

A determinação da assinatura de cada forma de onda foi determinada pela observação dos sinais coletados nos pontos escolhidos, desde que os mesmos coincidisse com os mesmos sinais coletados na maioria dos inversores. Desta forma, cada ponto escolhido possui sua assinatura, a qual apresenta formatos característicos. Dois desses exemplos podem ser observados na figura 12.

Figura 12: Exemplo de assinaturas de forma de onda para análise das fontes auxiliares



Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

#### 4.2.4. Avaliação de relés

O bom funcionamento dos relés é fundamental para que as conexões e desconexões do sistema sejam realizadas com segurança e eficiência.

O ponto primordial a ser avaliado em um relé é a resistência série de seu contato (RC), que no caso deste inversor utiliza a liga de AgNi. O valor elevado da RC resulta em aquecimento excessivo, degradação do material condutor que compõe seus contatos internos e elevação da resistência, culminando em um ciclo de degradação com progressão exponencial e na deterioração catastrófica dos contatos. Nessa situação é necessária a substituição do componente.

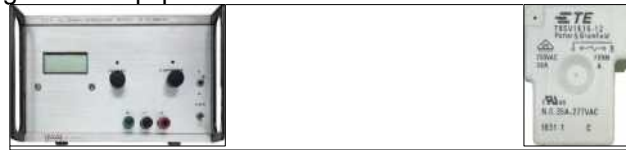
Destaca-se que, com um protocolo adequado de conexão e desconexão, assim como circuitos e componentes de proteção dos relés, a degradação dos contatos é suficientemente lenta para garantir a vida útil preconizada pelo fabricante.

De qualquer forma, se o inversor passou pelos testes iniciais de funcionamento, o principal parâmetro a ser avaliado, referente à degradação dos contatos é sua RC.

A avaliação da RC do relé, descrita em [4], consiste na medição da tensão entre os contatos do relé acionado para a condução e com corrente de 1A fluindo pelo dispositivo. Recomenda-se a utilização de uma fonte controlada em tensão e em corrente para a imposição da corrente de teste e outra fonte controlada para o acionamento do contato NA (Normalmente Aberto), aplicada à bobina de acionamento do relé.

Todos os relés do circuito são do mesmo modelo T9SV1K15-12 e os testes foram realizados com fontes controladas de modelo TC 30-03xA2A (30 V e 3 A) e multímetros de modelo DMM916 com 4 e 3/4 dígitos de exibição no display, ao quais podem ser observados na figura 13.

Figura 13: Equipamentos utilizados nos ensaios dos relés



Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

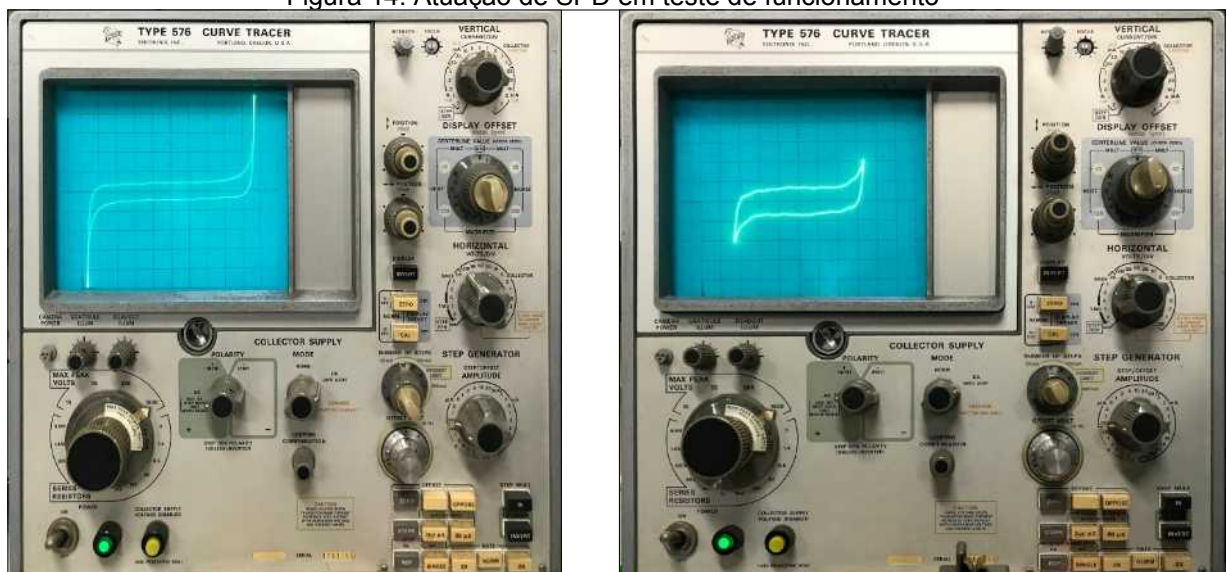
#### 4.2.5. Avaliação de SPD

Os dispositivos de proteção contra surtos de tensão, denominados SPD são de grande importância para os circuitos eletrônicos conectados à rede elétrica ou às fontes de geração sujeitas a influência de descargas atmosféricas.

Os surtos de tensão podem danificar os componentes que compõem o circuito de potência do inversor, sendo que os mais comumente atingidos são os semicondutores, que neste caso são especificamente transistores e os diodos.

Seu princípio de funcionamento pode ser descrito por um modelo que se baseia na diminuição da impedância devido à elevação da tensão imposta sobre ele. Exemplos desta característica de funcionamento podem ser observados na figura 14, onde a corrente através do dispositivo se eleva rapidamente ao ser atingida sua tensão de atuação.

Figura 14: Atuação de SPD em teste de funcionamento



Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

#### **4.2.6. Preparo dos inversores**

Após a realização dos testes de funcionamento, cada inversor tem a tampa frontal removida para a coleta das formas de onda referentes às assinaturas de cada saída de fonte auxiliar, assim como das duas alimentações do display, como já citado anteriormente; uma proveniente da conexão CA e outra proveniente da alimentação CC.

Para essa coleta de formas de onda, o inversor é energizado sem a tampa, chegando a um processamento de carga referente a 50% da potência nominal (PN).

Coletadas as assinaturas das FO, a pcb superior é retirada para que seus componentes sejam removidos e a pcb inferior fica aparente. Removendo-se a pcb inferior, fica aparente apenas a parte interna da estrutura, que é o dissipador, com a pasta térmica destacada.

#### **4.2.7. Resultados da avaliação de degradação dos inversores**

Os ensaios de degradação consistem em uma avaliação prévia de funcionamento de cada inversor, sendo que seis (6) testes extraídos das normas NBR foram escolhidos para tal. Adicionalmente, incluiu-se um levantamento da curva de rendimento de cada inversor, resultando em sete (7) ensaios ao todo.

Os ensaios para avaliação do funcionamento das fontes auxiliares são realizados com a coleta das assinaturas das FO, cujas referências de FO foram apresentadas anteriormente.

Para a apresentação dos resultados de ensaio dos capacitores, relés e SPD, foram utilizadas tabelas para exposição dos dados levantados nos ensaios realizados.

Excetuando-se o inversor de referência, considerado desta forma por ser o equipamento utilizado para o ensaio de certificação no início do projeto, estavam disponíveis cinco (5) inversores para avaliação, os quais são denominados com “amostra 1” a “amostra 5”. Uma vez que o inversor de referência não foi instalado em campo e não sofreu degradação por uso e exposição às intempéries, considerou-se que o ensaio de certificação obtinha validade como ensaio de funcionamento. Nesse inversor de referência foi levantada apenas a curva de rendimento no primeiro ensaio.

Ao longo do processo de avaliação, a amostra 3 sofreu avarias na fonte auxiliar principal, o que impossibilitou sua avaliação. Para as demais amostras, todos os ensaios foram realizados.

#### **4.2.8. Avaliação de operação adequada dos inversores**

A primeira avaliação realizada é a de funcionamento dos inversores, que conta com ensaios extraídos das normas NBR e o levantamento da curva de rendimento dos inversores, como pode ser observado na Tabela 6.

Destaca-se que, exceto a amostra 3, que é tratada separadamente, as demais amostras foram submetidas ao primeiro ensaio, assim como ao segundo ensaio de operação e apresentaram resultados satisfatórios, equivalentes aos observados no inversor de referência.

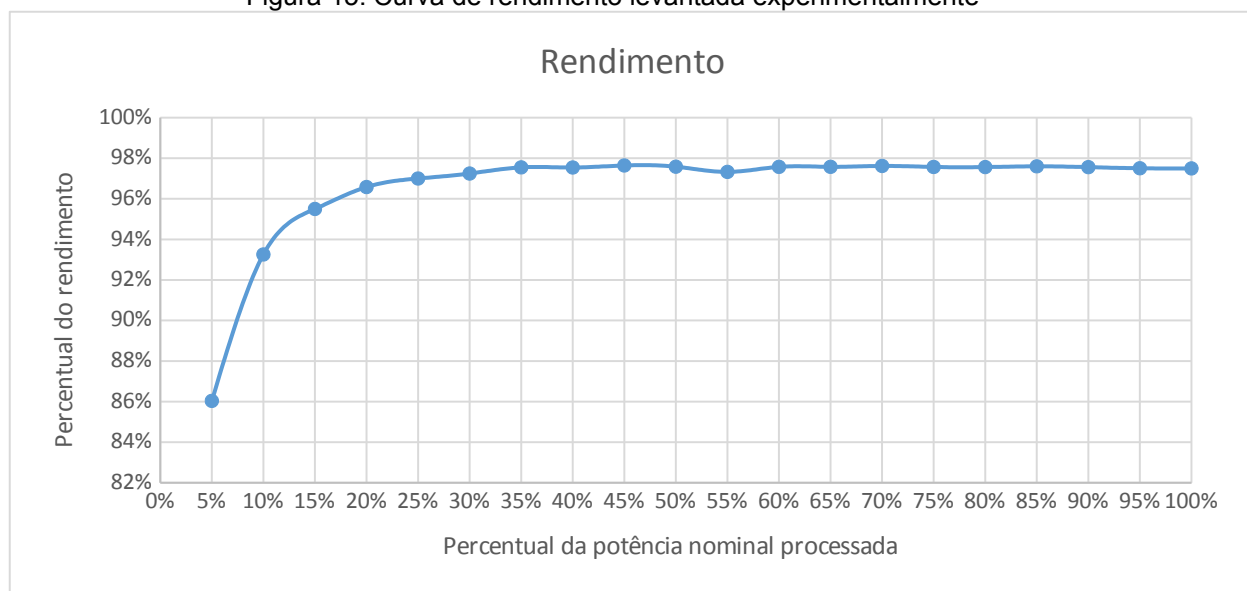
Tabela 6: Testes para avaliação do funcionamento de inversores

| nº | Ensaio                                                                                                      |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Harmônicos e distorção de forma de onda                                                                     |
| 2  | Variação de tensão                                                                                          |
| 3  | Religamento automático fora de fase                                                                         |
| 4  | Requisitos de suportabilidade a sobtensões decorrentes de faltas na rede ( <i>fault ride through</i> - FRT) |
| 5  | Inversão de polaridade                                                                                      |
| 6  | Proteção anti-ilhamento                                                                                     |
| 7  | Curva de rendimento                                                                                         |

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Dentre os ensaios realizados, destaca-se a curva de rendimento, que embora não seja exigido no ensaio de certificação, reflete as perdas de energia envolvidas no processo de conversão de energia realizado pelo inversor. Desta forma, mesmo que os gráficos sejam apresentados juntamente com os resultados dos demais ensaios, pode-se observar uma curva de rendimento na figura 15, levantada experimentalmente para uma ampla faixa do processamento de potência do inversor denominado “amostra 1”.

Figura 15: Curva de rendimento levantada experimentalmente



Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

## 4.2.9. Avaliação das fontes auxiliares

No caso das fontes auxiliares, a metodologia de análise foi constituída pela verificação de assinaturas de FO. De modo a realiza uma avaliação mais abrangente, foram coletadas formas de onda para o inversor operando sem fluxo de potência (sem carga) e para o inversor operando com 50% da PN.

Para exemplificar a metodologia, as FO em cada saída independente da fonte principal, alimentada de CC, podem ser vistas na sequência de figuras a seguir, abrangendo as saídas  $V_{C12+}$ ,  $V_{C13+}$  e  $V_{C14+}$  para alimentação dos sistemas de comando e controle (figura 16 a figura 21), além da saída  $V_{C65+}$  dedicada à alimentação do display (figura 22 e figura 23).

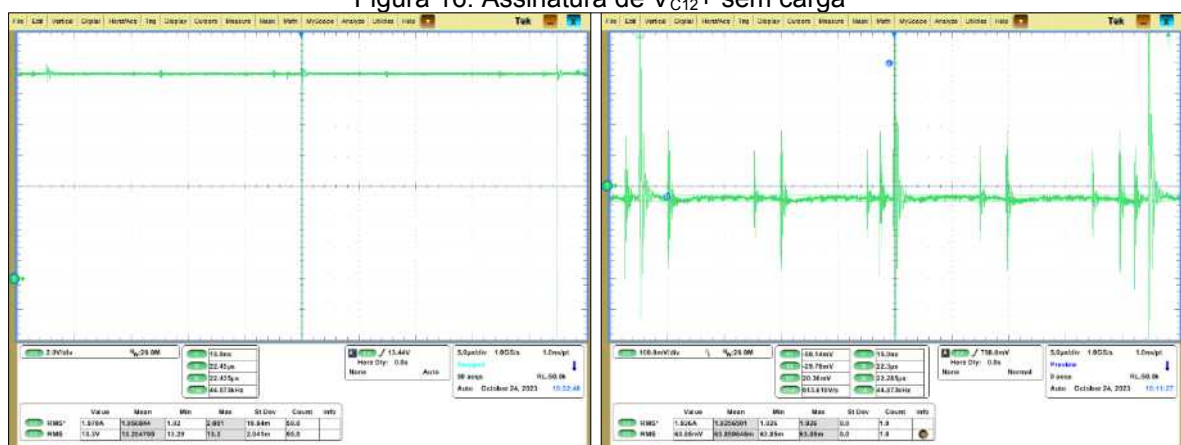
As assinaturas de FO da saída da fonte CA, dedicada apenas à alimentação do display para a situação em que o inversor não recebe energia dos PF, podem ser observadas na figura 24 e figura 25.

### 4.2.9.1. Inversor de referência

Utilizadas para a descrição do processo de coleta e análise das assinaturas de FO coletadas nos ensaios do inversor de referência (figura 16 a figura 25), apresentam valores médios, ciclos periódicos e variações de tensão (*ripple* de tensão) característicos de cada ponto de tensão avaliado. Todas as FO estão alocadas em anexo 1, inclusive as de referência, com maiores dimensões para uma avaliação mais precisa.

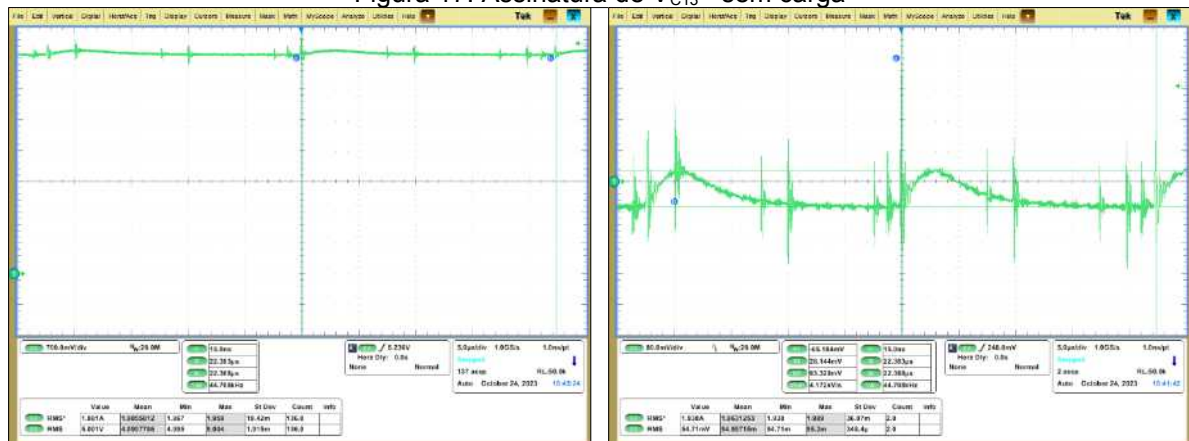
Da figura 16 a figura 21 estão as assinaturas de FO das três (3) saídas utilizadas para a alimentação dos circuitos de controle e comando para os drivers dos IGBT.

Figura 16: Assinatura de  $V_{C12+}$  sem carga



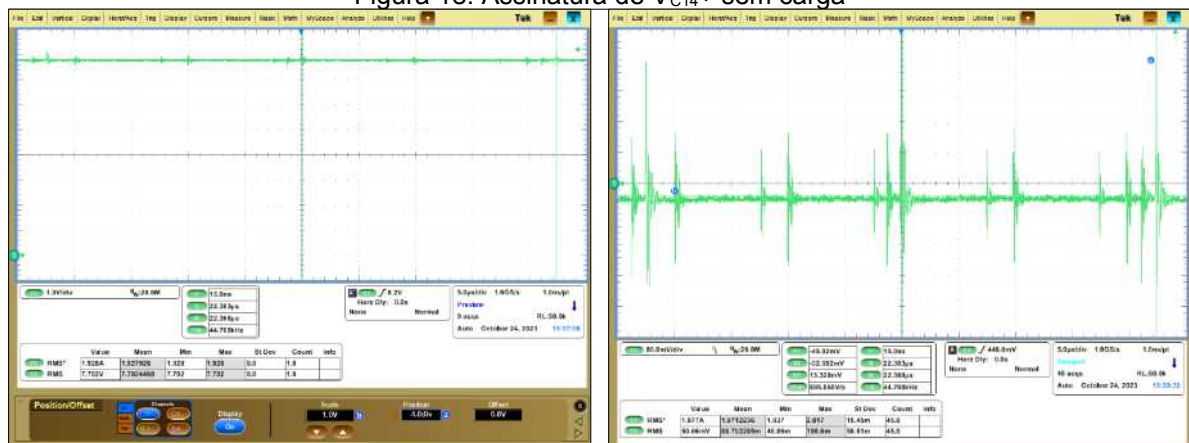
Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Figura 17: Assinatura de  $V_{C13+}$  sem carga



Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

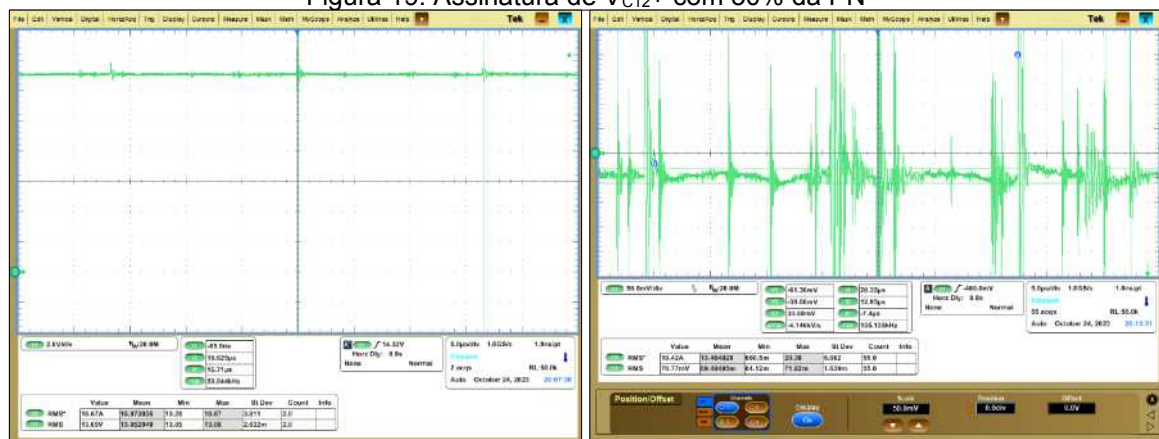
Figura 18: Assinatura de  $V_{C14+}$  sem carga



Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

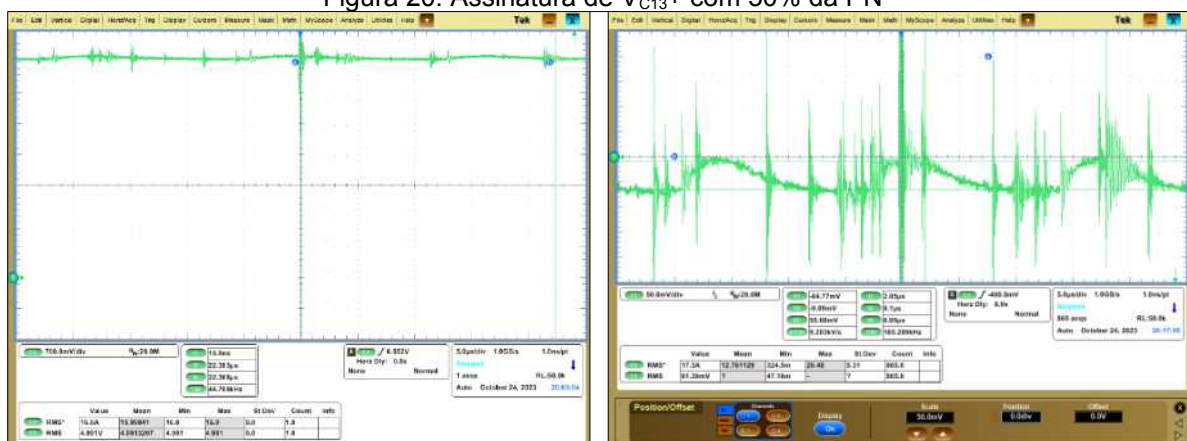
Destaca-se que as saídas  $V_{C12+}$ ,  $V_{C13+}$  e  $V_{C14+}$  possuem a mesma referência elétrica no circuito e que esta fonte auxiliar é alimentada em CC, pelos PF e pode ser encarada como a fonte auxiliar principal do inversor.

Figura 19: Assinatura de  $V_{C12+}$  com 50% da PN



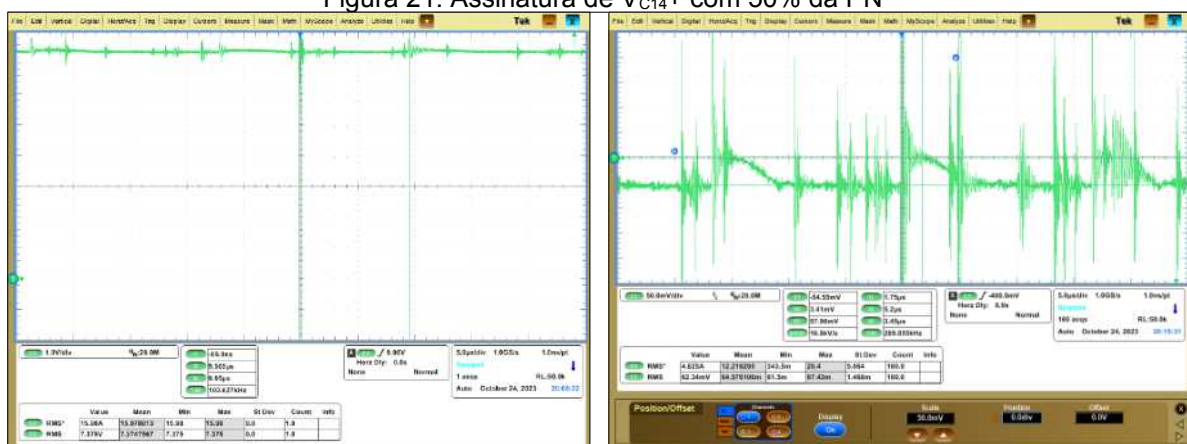
Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Figura 20: Assinatura de  $V_{C13+}$  com 50% da PN



Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Figura 21: Assinatura de  $V_{C14+}$  com 50% da PN



Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

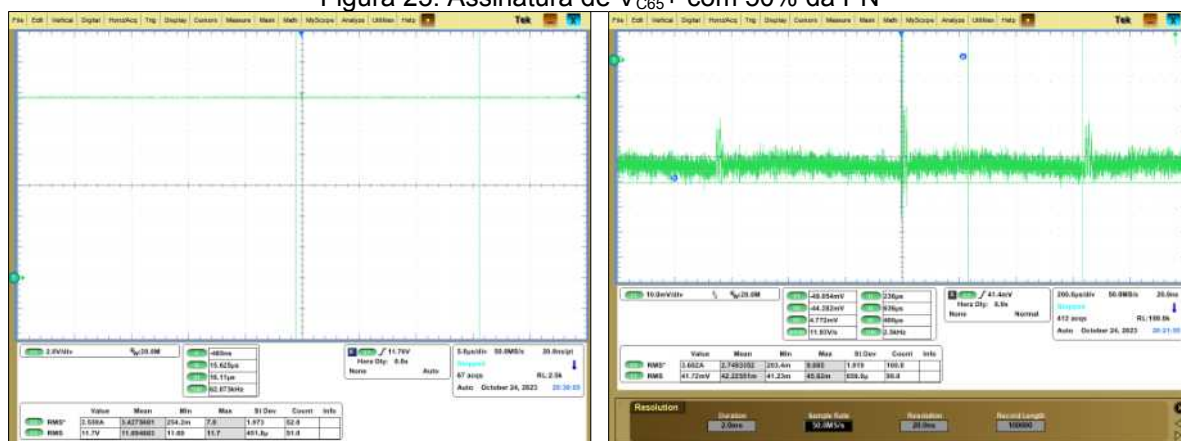
Originaria da mesma fonte auxiliar principal, uma saída  $V_{C65+}$  (figura 22 e figura 23) é dedicada à alimentação do display e possui referência elétrica diferente das saídas anteriormente apresentadas. Sua referência elétrica coincide com a referência da fonte alimentada em CA e dedicada exclusivamente à alimentação do display.

Figura 22: Assinatura de  $V_{C65+}$  sem carga



Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

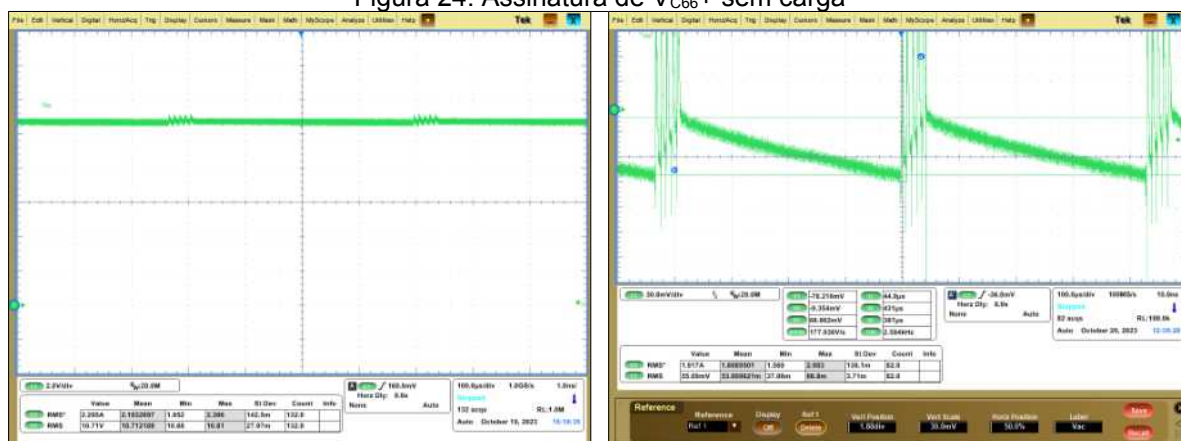
Figura 23: Assinatura de  $V_{C65+}$  com 50% da PN



Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

As figuras 24 e 25 referem-se às FO da saída  $V_{C66+}$ , que possui mesma referência elétrica da saída  $V_{C65+}$ , porém é gerada por uma fonte auxiliar alimentada em CA e exclusiva para alimentação do display para as situações em que os PF não possuem energia para alimentar o inversor.

Figura 24: Assinatura de  $V_{C66+}$  sem carga



Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Figura 25: Assinatura de  $V_{C66+}$  com 50% da PN



Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

#### 4.2.10. Análise dos parâmetros para as fontes auxiliares

Para uma avaliação adequada da consistência das assinaturas de FO, são avaliados os parâmetros citados anteriormente e o formato da tensão ao longo de um período de repetição de cada FO.

A Tabela 7 contém os valores dos parâmetros avaliados em cada FO coletada para análise. Na sequência, pode-se observar a Tabela 8, que contém os desvios percentuais dos valores observados no inversor de referência. Os valores de base foram adotados do inversor de referência porque todos os valores dos seus parâmetros se aproximaram da média dos valores da amostra dos 6 inversores.

Observando a Tabela 7, verifica-se que alguns parâmetros são muito próximos ou iguais ao observado no inversor de referência, entretanto outros parâmetros se diferem de maneira significativa, o que pode significar mal funcionamento ou degradação dos componentes da fonte, mas também podem caracterizar apenas uma pequena divergência de valores de capacitância do circuito de controle das fontes auxiliares.

Quando se trata de *ripple* de tensão com elevação maior do que 100% do padrão esperado, pode indicar que os capacitores do filtro de saída estão degradados ou foram fabricados fora das tolerâncias garantidas ao componente. Esta conclusão é válida para quando o período de repetição da FO é equivalente; caso contrário a avaliação deve levar os dois parâmetros em consideração.

Quando apenas o período de repetição da FO apresenta divergências de até 15%, e o *ripple* se mantém, pode ser que as capacitâncias do circuito de controle das fontes auxiliares possuam valores ligeiramente diferentes, mas dentro das tolerâncias de variação especificadas pelo fabricante.

Na Tabela 7, encontram-se valores destacados em vermelho, os quais apresentaram elevadas divergência dos valores de referência. Todos os valores destacados referem-se à amostra 3, que parou de funcionar após os testes iniciais e coleta das FO das fontes auxiliares. Além disso, alguns valores da amostra 3 não foram coletados, o que denota dificuldade na aquisição das formas de onda e impossibilidade de realização de nova coleta, uma vez que o inversor sofreu avarias com impossibilidade de operação.

Observando-se a Tabela 8, nota-se que os mesmos valores destacados na Tabela 7 possuem elevação maior do que 100% ou diminuição abaixo de 50% do padrão.

Tabela 7: Parâmetros para avaliação das saídas  $V_{C12+}$ ,  $V_{C13+}$  e  $V_{C14+}$ 

| Saída      | Parâmetro    | Am. 0.       | Am. 1        | Am. 2        | Am. 3                         | Am. 4        | Am. 5        |
|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------------|--------------|--------------|
| $V_{C12+}$ | V (SC)       | 13,3 V       | 13,3 V       | 13,3 V       | 13,3 V                        | 13,3 V       | 13,2 V       |
|            | Ripple (SC)  | 15,0 mV      | 20,4 mV      | 15,6 mV      | <b>58,3 mV</b>                | 10,0 mV      | 15,8 mV      |
|            | T (SC)       | 10,0 $\mu$ s | 11,1 $\mu$ s | 10,0 $\mu$ s | <b>20,9 <math>\mu</math>s</b> | 11,3 $\mu$ s | 10,3 $\mu$ s |
|            | V (50%)      | 13,1 V       | 13,0 V       | 13,0 V       | 13,1 V                        | 13,1 V       | 13,0 V       |
|            | Ripple (50%) | 17,2 mV      | 30,7 mV      | 20,0 mV      | 20,0 mV                       | 25,0 mV      | 14,0 mV      |
|            | T (50%)      | 10,0 $\mu$ s | 10,0 $\mu$ s | 10,0 $\mu$ s | 16,7 $\mu$ s                  | 16,9 $\mu$ s | 11,6 $\mu$ s |
| $V_{C13+}$ | V (SC)       | 5,0 V        | 5,0 V        | 5,0 V        | ---                           | 4,9 V        | 5,0 V        |
|            | Ripple (SC)  | 69,6 mV      | 93,3 mV      | 69,6 mV      | ---                           | 68,0 mV      | 63,5 mV      |
|            | T (SC)       | 21,2 $\mu$ s | 22,4 $\mu$ s | 22,4 $\mu$ s | ---                           | 22,6 $\mu$ s | 20,6 $\mu$ s |
|            | V (50%)      | 5,0 V        | 5,0 V        | 5,0 V        | 5,0 V                         | 5,0 V        | 5,0 V        |
|            | Ripple (50%) | 45,6 mV      | 55,7 mV      | 55,0 mV      | <b>20,0 mV</b>                | 48,9 mV      | 42,2 mV      |
|            | T (50%)      | 16,4 $\mu$ s | 17,0 $\mu$ s | 16,0 $\mu$ s | 17,0 $\mu$ s                  | 17,0 $\mu$ s | 15,2 $\mu$ s |
| $V_{C14+}$ | V (SC)       | 7,8 V        | 7,8 V        | 8,0 V        | 8,1 V                         | 7,8 V        | 8,0 V        |
|            | Ripple (SC)  | 12,0 mV      | 13,3 mV      | 11,9 mV      | <b>80,0 mV</b>                | 10,0 mV      | 10,4 mV      |
|            | T (SC)       | 10,6 $\mu$ s | 11,2 $\mu$ s | 11,2 $\mu$ s | <b>22,5 <math>\mu</math>s</b> | 11,3 $\mu$ s | 10,3 $\mu$ s |
|            | V (50%)      | 7,3 V        | 7,4 V        | 7,4 V        | 7,4 V                         | 7,4 V        | 7,4 V        |
|            | Ripple (50%) | 48,9 mV      | 58,0 mV      | 60,0 mV      | <b>32,0 mV</b>                | 57,0 mV      | 57,0 mV      |
|            | T (50%)      | 16,4 $\mu$ s | 18,5 $\mu$ s | 17,0 $\mu$ s | 17,0 $\mu$ s                  | 17,2 $\mu$ s | 16,4 $\mu$ s |
| $V_{C65+}$ | V (SC)       | 11,5 V       | 11,5 V       | 11,5 V       | 11,6 V                        | 11,6 V       | 11,5 V       |
|            | Ripple (SC)  | 19,3 mV      | 24,0 mV      | 22,5 mV      | <b>11,1 mV</b>                | 18,4 mV      | 19,3 mV      |
|            | T (SC)       | 22,0 $\mu$ s | 22,0 $\mu$ s | 22,2 $\mu$ s | 20,4 $\mu$ s                  | 22,7 $\mu$ s | 20,0 $\mu$ s |
|            | V (50%)      | 11,7 V       | 11,7 V       | 11,7 V       | 11,8 V                        | 11,8         | 11,7 V       |
|            | Ripple (50%) | 3,8 mV       | 4,8 mV       | 4,3 mV       | <b>12 mV</b>                  | 2 mV         | 3,5 mV       |
|            | T (50%)      | 600 $\mu$ s  | 650 $\mu$ s  | 560 $\mu$ s  | ---                           | 560 $\mu$ s  | 608 $\mu$ s  |
| $V_{C66+}$ | V (CA)       | 10,6 V       | 10,7 V       | 10,8 V       | 10,8 V                        | 10,6         | 10,7 V       |
|            | Ripple (CA)  | 68 mV        | 69 mV        | 69 mV        | 71 mV                         | 64 mV        | 79,4 mV      |
|            | T (CA)       | 410 $\mu$ s  | 387 $\mu$ s  | 380 $\mu$ s  | 415 $\mu$ s                   | 395 $\mu$ s  | 388 $\mu$ s  |
|            | V (50%)      | 11,6 V       | 11,7 V       | 11,6V        | 11,8 V                        | 11,8 V       | 11,7 V       |
|            | Ripple (50%) | 26,3 mV      | 30,0 mV      | 34,1 mV      | ---                           | 26,2 mV      | 41,2 mV      |
|            | T (50%)      | 592 $\mu$ s  | 616 $\mu$ s  | 528 $\mu$ s  | 600 $\mu$ s                   | 545 $\mu$ s  | 608 $\mu$ s  |

Obs.: V: Tensão média; Ripple: Variação de tensão; T: Período de análise; (SC): Sem carga; (50%): Processando 50% da PN; Am. 0.: Inversor de referência; Am.: Amostra.

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Destaca-se que a amostra 3 passou pelo primeiro ensaio de funcionamento, baseado nas normas NBR. Logo em seguida, no ensaio das fontes auxiliares, foram observadas divergências nas assinaturas das FO utilizadas para a avaliação, além de elevadas divergências nos valores de *ripple* de tensão em várias saídas das fontes.

O inversor foi desligado normalmente na data do ensaio das fontes, uma vez que estava operando corretamente. Contudo, ao energiza-lo novamente no dia seguinte, a fim de dar continuidade aos ensaios, a fonte principal do inversor não partiu, o que resultou em falta de energia ao controle e aos sinais de entrada dos drivers.

Acredita-se que o problema possa ter ocorrido durante as aquisições de tensão iniciais, possivelmente um curto circuito causado pela ponteira do osciloscópio, uma vez que os pontos de medição possuem dimensões reduzidas.

Tabela 8: Desvio de valores padronizados pelo inversor de referência

| Saída      | Parâmetro    | Am. 0.       | Am. 1 | Am. 2 | Am. 3       | Am. 4 | Am. 5 |
|------------|--------------|--------------|-------|-------|-------------|-------|-------|
| $V_{C12+}$ | V (SC)       | 13,3 V       | 100%  | 100%  | 100%        | 100%  | 99%   |
|            | Ripple (SC)  | 15,0 mV      | 136%  | 104%  | <b>389%</b> | 67%   | 105%  |
|            | T (SC)       | 10,0 $\mu$ s | 111%  | 100%  | <b>209%</b> | 113%  | 103%  |
|            | V (50%)      | 13,1 V       | 99%   | 99%   | 100%        | 100%  | 99%   |
|            | Ripple (50%) | 17,2 mV      | 178%  | 116%  | 116%        | 145%  | 81%   |
|            | T (50%)      | 10,0 $\mu$ s | 100%  | 100%  | 167%        | 169%  | 116%  |
| $V_{C13+}$ | V (SC)       | 5,0 V        | 100%  | 100%  | ---         | 98%   | 100%  |
|            | Ripple (SC)  | 69,6 mV      | 134%  | 100%  | ---         | 98%   | 91%   |
|            | T (SC)       | 21,2 $\mu$ s | 106%  | 106%  | ---         | 107%  | 97%   |
|            | V (50%)      | 5,0 V        | 100%  | 100%  | 100%        | 100%  | 100%  |
|            | Ripple (50%) | 45,6 mV      | 122%  | 121%  | <b>44%</b>  | 107%  | 93%   |
|            | T (50%)      | 16,4 $\mu$ s | 104%  | 98%   | 104%        | 104%  | 93%   |
| $V_{C14+}$ | V (SC)       | 7,8 V        | 100%  | 103%  | 104%        | 100%  | 103%  |
|            | Ripple (SC)  | 12,0 mV      | 111%  | 99%   | <b>667%</b> | 83%   | 87%   |
|            | T (SC)       | 10,6 $\mu$ s | 106%  | 106%  | <b>212%</b> | 107%  | 97%   |
|            | V (50%)      | 7,3 V        | 101%  | 101%  | 101%        | 101%  | 101%  |
|            | Ripple (50%) | 48,9 mV      | 119%  | 123%  | 65%         | 117%  | 117%  |
|            | T (50%)      | 16,4 $\mu$ s | 113%  | 104%  | 104%        | 105%  | 100%  |
| $V_{C65+}$ | V (SC)       | 11,5 V       | 100%  | 100%  | 101%        | 101%  | 100%  |
|            | Ripple (SC)  | 19,3 mV      | 124%  | 117%  | 58%         | 95%   | 100%  |
|            | T (SC)       | 22,0 $\mu$ s | 100%  | 101%  | 93%         | 103%  | 91%   |
|            | V (50%)      | 11,7 V       | 100%  | 100%  | 101%        | 101%  | 100%  |
|            | Ripple (50%) | 3,8 mV       | 126%  | 113%  | <b>316%</b> | 53%   | 92%   |
|            | T (50%)      | 600 $\mu$ s  | 108%  | 93%   | ---         | 93%   | 101%  |
| $V_{C66+}$ | V (CA)       | 10,6 V       | 101%  | 102%  | 102%        | 100%  | 101%  |
|            | Ripple (CA)  | 68 mV        | 101%  | 101%  | 104%        | 94%   | 117%  |
|            | T (CA)       | 410 $\mu$ s  | 94%   | 93%   | 101%        | 96%   | 95%   |
|            | V (50%)      | 11,6 V       | 101%  | 100%  | 102%        | 102%  | 101%  |
|            | Ripple (50%) | 26,3 mV      | 114%  | 130%  | ---         | 100%  | 157%  |
|            | T (50%)      | 592 $\mu$ s  | 104%  | 89%   | 101%        | 92%   | 103%  |

Obs.: V: Tensão média; Ripple: Variação de tensão; T: Período de análise; (SC): Sem carga; (50%): Processando 50% da PN; Am. 0.: Inversor de referência; Am.: Amostra.

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

## **4.2.11. Ensaios dos demais componentes**

Nesta seção, os componentes são avaliados de forma individual, os quais foram removidos das PCB de cada inversor, e relacionados nos subitens subsequentes. Foram elencados para tal avaliação, os capacitores eletrolíticos e os não polarizados, os relés e os SPD, como citado anteriormente.

### **4.2.11.1. Avaliação dos capacitores**

Para a avaliação dos capacitores, foram medidas as capacitâncias e resistência série dos componentes em cinco frequências diferentes. Esta metodologia permite a verificação da aderência dos valores com relação à capacitância especificada pelos fabricantes, entretanto as ESR são muito suscetíveis a erros de medição, devido ao seu relativo baixo valor, na casa dos mili ohms, e apresentaram valores com certa aderência para os capacitores eletrolíticos, mas valores muito divergentes para os capacitores não polarizados de filme.

Embora haja uma variedade de fabricantes diferentes dos capacitores entre amostras de inversores, os valores de capacitância e de tolerância são os mesmos. Por outro lado, o parâmetro que não foi encontrado de forma integral e por vezes variou ligeiramente foi o da ESR. Sendo assim, para efeito de comparação entre medições de amostras, foram consideradas as ESR da amostra 5 como referência, uma vez que tal amostra possui maiores valores do que os capacitores equivalentes utilizados em outras amostras.

Desta forma, os desvios de valores das capacitâncias serão avaliados de acordo com a especificação dos *datasheets*, observando que a Tabela 1 e a Tabela 3 trazem os capacitores não polarizados, sendo que os cinco primeiros possuem tolerância de 20% e o restante possui tolerância de 10%. Já os capacitores eletrolíticos, presentes na Tabela 2 e na Tabela 4, possuem tolerância de 20% para os modelos dos dois fabricantes.

Por outro lado, a ESR dos capacitores não polarizados de filme, também presentes na Tabela 1 e na Tabela 3, possuem valores entre alguns mΩ e poucas dezenas de mΩ, resultaram em medições com erros consideravelmente maiores que suas tolerâncias. Já a ESR dos capacitores eletrolíticos, por possuírem valores na ordem de centenas de mΩ, puderam ser aferidas apropriadamente, o que se avalia apenas na frequência de 100 Hz para comparação com os dados do fabricante.

### **4.2.11.2. Avaliação dos capacitores eletrolíticos**

Observa-se na Tabela 9 e na Tabela 10 que os desvios não excederam a especificação do fabricante, ficando o menor valor de capacitância em 83% do nominal e o maior valor de ESR em 102% do típico. Destaca-se que as capacitâncias e ESR de referência são disponibilizadas pelo fabricante com aferições em 100Hz.

As aferições nas demais frequências, presentes entre a Tabela 11 e a Tabela 18, mostram uma tendência de diminuição nos valores das capacitâncias e das ESR, o que caracteriza um comportamento adequado dos componentes.

Destaca-se que as aferições a 20 kHz são interessantes para avaliar os valores dos parâmetros quando operam próximos à frequência de chaveamento do inversor. Observa-se ainda que, na Tabela 17 e na Tabela 18, que os valores das capacitâncias aferidas em 20 kHz variam entre 63% e 98% dos valores nominais de referência aferidos a 100 Hz. Para facilitar a observação dos valores inferiores aos 20%, o texto das tabelas foi destacado em negrito e vermelho e para propiciar a visualização da variação entre valores dos capacitores aferidos, uma tabela de cores foi implementada, onde os tons mais próximos do amarelo significam valores que propiciam melhor qualidade para os capacitores. Sendo assim, capacitâncias menores apresentam tonalidades mais alaranjadas para destacar a perda de capacidade de retenção de carga. Já a resistências menores recebem tons mais amarelados para identificar que as perdas são menores devido à menor ESR.

Embora menores que os valores nominais, tais valores de capacitância são previstos em projeto e garantem um funcionamento adequado do circuito.

Como notação nas tabelas, utilizou-se ESR: Resistência sérica do capacitor; Cs: Capacitância série; Valor N.: Valor Nominal; Valor Típ.: Valor Típico; Am. 0.: Inversor de referência; Am.: Amostra.

Tabela 9: Valores aferidos das capacitâncias e ESR para os capacitores eletrolíticos a 100Hz.

| 100 Hz |               |               |       |       |       |       |                    |                   |       |       |       |       |
|--------|---------------|---------------|-------|-------|-------|-------|--------------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| Nome   | Valor         | Cs [ $\mu$ F] |       |       |       |       | Valor              | ESR [m $\Omega$ ] |       |       |       |       |
|        | N. [ $\mu$ F] | Am. 0         | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 | Típ. [m $\Omega$ ] | Am. 0             | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 |
| C70    | 330,0         | 302,4         | 287,4 | 303,9 | 304,9 | 285,9 | 250                | 252,4             | 236,4 | 214,1 | 228,3 | 236,2 |
| C68    | 330,0         | 301,6         | 288,3 | 309,3 | 308,3 | 283,8 | 250                | 234,6             | 236,8 | 185,8 | 206,8 | 234,6 |
| C23    | 330,0         | 311,4         | 285,2 | 308,9 | 308,8 | 284,9 | 250                | 222,8             | 241,1 | 204,6 | 226,5 | 255,9 |
| C78    | 330,0         | 302,3         | 284,3 | 309,0 | 310,1 | 286,8 | 250                | 242,9             | 237,3 | 192,8 | 235,5 | 247,5 |
| C69    | 330,0         | 301,6         | 289,1 | 304,7 | 308,6 | 275,5 | 250                | 203,5             | 239,2 | 171,2 | 234,7 | 245,2 |
| C28    | 330,0         | 310,4         | 281,1 | 301,9 | 300,5 | 278,5 | 250                | 200,7             | 234,3 | 220,9 | 245,9 | 231,7 |
| C74    | 330,0         | 300,6         | 283,7 | 304,1 | 303,2 | 281,5 | 250                | 214,4             | 241,2 | 170,3 | 213,6 | 256,2 |
| C76    | 330,0         | 312,4         | 286,7 | 303,3 | 302,0 | 288,6 | 250                | 223,8             | 242,2 | 189,2 | 235,1 | 248,5 |

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Tabela 10: Comparação percentual entre dados do fabricante e valores aferidos das capacitâncias e ESR para os capacitores eletrolíticos a 100Hz.

| 100 Hz |        |       |       |       |       |         |       |       |       |       |
|--------|--------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|
| Nome   | Cs [%] |       |       |       |       | ESR [%] |       |       |       |       |
|        | Am. 0  | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 | Am. 0   | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 |
| C70    | 92%    | 87%   | 92%   | 92%   | 87%   | 101%    | 95%   | 86%   | 91%   | 94%   |
| C68    | 91%    | 87%   | 94%   | 93%   | 86%   | 94%     | 95%   | 74%   | 83%   | 94%   |
| C23    | 94%    | 86%   | 94%   | 94%   | 86%   | 89%     | 96%   | 82%   | 91%   | 102%  |
| C78    | 92%    | 86%   | 94%   | 94%   | 87%   | 97%     | 95%   | 77%   | 94%   | 99%   |
| C69    | 91%    | 88%   | 92%   | 94%   | 83%   | 81%     | 96%   | 68%   | 94%   | 98%   |
| C28    | 94%    | 85%   | 91%   | 91%   | 84%   | 80%     | 94%   | 88%   | 98%   | 93%   |
| C74    | 91%    | 86%   | 92%   | 92%   | 85%   | 86%     | 96%   | 68%   | 85%   | 102%  |
| C76    | 95%    | 87%   | 92%   | 92%   | 87%   | 90%     | 97%   | 76%   | 94%   | 99%   |

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Tabela 11: Valores aferidos das capacitâncias e ESR para os capacitores eletrolíticos a 120Hz.

| 120 Hz |                     |               |       |       |       |       |                   |       |       |       |       |
|--------|---------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| Nome   | Valor N. [ $\mu$ F] | Cs [ $\mu$ F] |       |       |       |       | ESR [m $\Omega$ ] |       |       |       |       |
|        |                     | Am. 0         | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 | Am. 0             | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 |
| C70    | 330,0               | 302,1         | 286,5 | 303,5 | 304,5 | 285,5 | 244,7             | 226,3 | 205,2 | 219,8 | 225,9 |
| C68    | 330,0               | 301,3         | 287,4 | 308,9 | 307,9 | 283,4 | 226,9             | 225,7 | 177,3 | 197,9 | 224,1 |
| C23    | 330,0               | 311,1         | 284,7 | 308,6 | 308,4 | 284,5 | 215,9             | 233,5 | 195,7 | 217,4 | 245,5 |
| C78    | 330,0               | 301,9         | 284,1 | 308,6 | 309,7 | 286,4 | 235,5             | 231,7 | 184,4 | 226,4 | 237,2 |
| C69    | 330,0               | 301,3         | 285,9 | 304,3 | 308,2 | 275,1 | 196,3             | 234,2 | 162,8 | 225,6 | 234,2 |
| C28    | 330,0               | 310,1         | 279,3 | 301,6 | 300,1 | 278,0 | 193,6             | 231,8 | 212,4 | 236,7 | 225,5 |
| C74    | 330,0               | 301,3         | 283,2 | 303,7 | 302,8 | 281,1 | 206,9             | 238,2 | 161,1 | 204,5 | 245,5 |
| C76    | 330,0               | 312,1         | 286,5 | 302,9 | 301,6 | 288,2 | 217,7             | 233,7 | 180,7 | 225,9 | 238,2 |

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Tabela 12: Comparação percentual entre dados do fabricante e valores aferidos das capacitâncias e ESR para os capacitores eletrolíticos a 120Hz.

| 120 Hz |          |       |       |       |       |          |       |       |       |       |
|--------|----------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|
| Nome   | Cs [%]   |       |       |       |       | ESR [%]  |       |       |       |       |
|        | Am.<br>0 | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 | Am.<br>0 | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 |
| C70    | 92%      | 87%   | 92%   | 92%   | 87%   | 98%      | 91%   | 82%   | 88%   | 90%   |
| C68    | 91%      | 87%   | 94%   | 93%   | 86%   | 91%      | 90%   | 71%   | 79%   | 90%   |
| C23    | 94%      | 86%   | 94%   | 93%   | 86%   | 86%      | 93%   | 78%   | 87%   | 98%   |
| C78    | 91%      | 86%   | 94%   | 94%   | 87%   | 94%      | 93%   | 74%   | 91%   | 95%   |
| C69    | 91%      | 87%   | 92%   | 93%   | 83%   | 79%      | 94%   | 65%   | 90%   | 94%   |
| C28    | 94%      | 85%   | 91%   | 91%   | 84%   | 77%      | 93%   | 85%   | 95%   | 90%   |
| C74    | 91%      | 86%   | 92%   | 92%   | 85%   | 83%      | 95%   | 64%   | 82%   | 98%   |
| C76    | 95%      | 87%   | 92%   | 91%   | 87%   | 87%      | 93%   | 72%   | 90%   | 95%   |

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Tabela 13: Valores aferidos das capacitâncias e ESR para os capacitores eletrolíticos a 1 kHz.

| 1 kHz |                     |               |       |       |       |       |                   |       |       |       |       |
|-------|---------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| Nome  | Valor N. [ $\mu$ F] | Cs [ $\mu$ F] |       |       |       |       | ESR [m $\Omega$ ] |       |       |       |       |
|       |                     | Am. 0         | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 | Am. 0             | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 |
| C70   | 330,0               | 297,1         | 279,7 | 298,9 | 299,8 | 280,8 | 205,4             | 178,5 | 164,5 | 178,4 | 179,6 |
| C68   | 330,0               | 296,7         | 278,4 | 304,5 | 303,3 | 278,8 | 188,3             | 177,6 | 138,1 | 157,1 | 176,9 |
| C23   | 330,0               | 306,3         | 280,1 | 304,1 | 303,8 | 279,8 | 179,7             | 179,4 | 156,2 | 177,3 | 199,3 |
| C78   | 330,0               | 297,1         | 277,4 | 304,1 | 305,1 | 281,7 | 196,6             | 180,1 | 145,6 | 186,7 | 191,1 |
| C69   | 330,0               | 296,8         | 275,7 | 299,9 | 303,4 | 270,6 | 157,2             | 175,7 | 122,2 | 184,9 | 185,2 |
| C28   | 330,0               | 305,4         | 279,3 | 296,8 | 295,4 | 273,6 | 156,2             | 178,3 | 171,2 | 194,8 | 177,9 |
| C74   | 330,0               | 296,7         | 280,2 | 299,2 | 298,2 | 276,4 | 167,7             | 182,1 | 121,1 | 162,8 | 198,1 |
| C76   | 330,0               | 307,3         | 279,8 | 298,4 | 296,8 | 283,5 | 180,4             | 181,8 | 139,6 | 184,1 | 192,4 |

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Tabela 14: Comparação percentual entre dados do fabricante e valores aferidos das capacitâncias e ESR para os capacitores eletrolíticos a 1 kHz.

| 1 kHz |          |       |       |       |       |          |       |       |       |       |
|-------|----------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|
| Nome  | Cs [%]   |       |       |       |       | ESR [%]  |       |       |       |       |
|       | Am.<br>0 | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 | Am.<br>0 | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 |
| C70   | 90%      | 85%   | 91%   | 91%   | 85%   | 82%      | 71%   | 66%   | 71%   | 72%   |
| C68   | 90%      | 84%   | 92%   | 92%   | 84%   | 75%      | 71%   | 55%   | 63%   | 71%   |
| C23   | 93%      | 85%   | 92%   | 92%   | 85%   | 72%      | 72%   | 62%   | 71%   | 80%   |
| C78   | 90%      | 84%   | 92%   | 92%   | 85%   | 79%      | 72%   | 58%   | 75%   | 76%   |
| C69   | 90%      | 84%   | 91%   | 92%   | 82%   | 63%      | 70%   | 49%   | 74%   | 74%   |
| C28   | 93%      | 85%   | 90%   | 90%   | 83%   | 62%      | 71%   | 68%   | 78%   | 71%   |
| C74   | 90%      | 85%   | 91%   | 90%   | 84%   | 67%      | 73%   | 48%   | 65%   | 79%   |
| C76   | 93%      | 85%   | 90%   | 90%   | 86%   | 72%      | 73%   | 56%   | 74%   | 77%   |

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Tabela 15: Valores aferidos das capacitâncias e ESR para os capacitores eletrolíticos a 10 kHz.

| 10 kHz |                        |               |              |       |       |              |                   |       |       |       |       |
|--------|------------------------|---------------|--------------|-------|-------|--------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| Nome   | Valor<br>N. [ $\mu$ F] | Cs [ $\mu$ F] |              |       |       |              | ESR [ $m\Omega$ ] |       |       |       |       |
|        |                        | Am. 0         | Am. 1        | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5        | Am. 0             | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 |
| C70    | 330,0                  | <b>259,9</b>  | <b>257,3</b> | 287,8 | 285,4 | <b>256,6</b> | 195,2             | 173,5 | 157,2 | 171,5 | 170,8 |
| C68    | 330,0                  | 266,7         | <b>255,6</b> | 299,3 | 295,5 | <b>255,5</b> | 178,9             | 171,4 | 131,8 | 150,9 | 168,6 |
| C23    | 330,0                  | 273,2         | <b>254,5</b> | 297,5 | 290,6 | <b>252,6</b> | 171,3             | 175,3 | 149,3 | 170,6 | 189,9 |
| C78    | 330,0                  | <b>258,7</b>  | <b>256,9</b> | 300,2 | 288,8 | <b>257,0</b> | 187,2             | 174,9 | 139,0 | 179,9 | 182,2 |
| C69    | 330,0                  | 274,2         | <b>251,4</b> | 298,5 | 288,2 | <b>248,0</b> | 148,9             | 172,8 | 116,1 | 177,7 | 176,2 |
| C28    | 330,0                  | 280,8         | <b>254,9</b> | 285,6 | 277,1 | <b>252,8</b> | 148,2             | 174,2 | 163,8 | 187,3 | 169,8 |
| C74    | 330,0                  | 272,2         | <b>257,7</b> | 299,8 | 288,1 | <b>251,2</b> | 159,4             | 180,1 | 115,1 | 156,3 | 188,7 |
| C76    | 330,0                  | 277,8         | <b>255,6</b> | 296,1 | 281,4 | <b>258,4</b> | 171,2             | 178,4 | 133,1 | 176,6 | 183,5 |

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Tabela 16: Comparação percentual entre dados do fabricante e valores aferidos das capacitâncias e ESR para os capacitores eletrolíticos a 10 kHz.

| 10 kHz |          |       |       |       |       |          |       |       |       |       |
|--------|----------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|
| Nome   | Cs [%]   |       |       |       |       | ESR [%]  |       |       |       |       |
|        | Am.<br>0 | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 | Am.<br>0 | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 |
| C70    | 79%      | 78%   | 87%   | 86%   | 78%   | 78%      | 69%   | 63%   | 69%   | 68%   |
| C68    | 81%      | 77%   | 91%   | 90%   | 77%   | 72%      | 69%   | 53%   | 60%   | 67%   |
| C23    | 83%      | 77%   | 90%   | 88%   | 77%   | 69%      | 70%   | 60%   | 68%   | 76%   |
| C78    | 78%      | 78%   | 91%   | 88%   | 78%   | 75%      | 70%   | 56%   | 72%   | 73%   |
| C69    | 83%      | 76%   | 90%   | 87%   | 75%   | 60%      | 69%   | 46%   | 71%   | 70%   |
| C28    | 85%      | 77%   | 87%   | 84%   | 77%   | 59%      | 70%   | 66%   | 75%   | 68%   |
| C74    | 82%      | 78%   | 91%   | 87%   | 76%   | 64%      | 72%   | 46%   | 63%   | 75%   |
| C76    | 84%      | 77%   | 90%   | 85%   | 78%   | 68%      | 71%   | 53%   | 71%   | 73%   |

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Tabela 17: Valores aferidos das capacitâncias e ESR para os capacitores eletrolíticos a 20 kHz.

| 20 kHz |                     |               |              |       |              |              |                   |       |       |       |       |
|--------|---------------------|---------------|--------------|-------|--------------|--------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| Nome   | Valor N. [ $\mu$ F] | Cs [ $\mu$ F] |              |       |              |              | ESR [ $m\Omega$ ] |       |       |       |       |
|        |                     | Am. 0         | Am. 1        | Am. 2 | Am. 4        | Am. 5        | Am. 0             | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 |
| C70    | 330,0               | <b>211,4</b>  | <b>224,9</b> | 281,2 | 269,6        | <b>225,8</b> | 190,2             | 171,5 | 156,2 | 170,2 | 169,5 |
| C68    | 330,0               | <b>229,2</b>  | <b>226,4</b> | 305,9 | 295,6        | <b>224,5</b> | 174,3             | 173,5 | 131,5 | 150,1 | 167,4 |
| C23    | 330,0               | <b>227,7</b>  | <b>229,5</b> | 303,2 | 277,7        | <b>216,9</b> | 167,4             | 177,4 | 148,3 | 169,5 | 188,2 |
| C78    | 330,0               | <b>206,8</b>  | <b>224,6</b> | 314,5 | 269,7        | <b>224,8</b> | 182,6             | 174,7 | 138,6 | 178,4 | 180,7 |
| C69    | 330,0               | <b>245,9</b>  | <b>223,7</b> | 316,5 | 272,8        | <b>219,2</b> | 145,3             | 180,2 | 116,1 | 176,4 | 174,8 |
| C28    | 330,0               | <b>250,5</b>  | <b>225,2</b> | 279,8 | <b>254,9</b> | <b>225,4</b> | 144,7             | 175,1 | 162,9 | 185,6 | 168,6 |
| C74    | 330,0               | <b>241,6</b>  | <b>228,2</b> | 322,7 | 282,5        | <b>218,9</b> | 155,7             | 182,8 | 116,5 | 155,4 | 187,2 |
| C76    | 330,0               | <b>240,8</b>  | <b>225,3</b> | 312,8 | 265,8        | <b>225,5</b> | 166,8             | 181,7 | 132,4 | 175,3 | 182,1 |

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Tabela 18: Comparação percentual entre dados do fabricante e valores aferidos das capacitâncias e ESR para os capacitores eletrolíticos a 20 kHz.

| 20 kHz |          |       |       |       |       |          |       |       |       |       |
|--------|----------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|
| Nome   | Cs [%]   |       |       |       |       | ESR [%]  |       |       |       |       |
|        | Am.<br>0 | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 | Am.<br>0 | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 |
| C70    | 64%      | 68%   | 85%   | 82%   | 68%   | 76%      | 69%   | 62%   | 68%   | 68%   |
| C68    | 69%      | 69%   | 93%   | 90%   | 68%   | 70%      | 69%   | 53%   | 60%   | 67%   |
| C23    | 69%      | 70%   | 92%   | 84%   | 66%   | 67%      | 71%   | 59%   | 68%   | 75%   |
| C78    | 63%      | 68%   | 95%   | 82%   | 68%   | 73%      | 70%   | 55%   | 71%   | 72%   |
| C69    | 75%      | 68%   | 96%   | 83%   | 66%   | 58%      | 72%   | 46%   | 71%   | 70%   |
| C28    | 76%      | 68%   | 85%   | 77%   | 68%   | 58%      | 70%   | 65%   | 74%   | 67%   |
| C74    | 73%      | 69%   | 98%   | 86%   | 66%   | 62%      | 73%   | 47%   | 62%   | 75%   |
| C76    | 73%      | 68%   | 95%   | 81%   | 68%   | 67%      | 73%   | 53%   | 70%   | 73%   |

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Observa-se que os valores aferidos fora da margem de tolerância das capacitâncias são apresentados em negrito nas tabelas. Todavia, essa característica só é observada em frequências acima de 10 kHz, o que é perfeitamente aceitável dentro das características de operação dos capacitores eletrolíticos, denotando que os componentes apresentam bom funcionamento.

#### **4.2.11.3. Avaliação dos capacitores não polarizados**

Seguindo a análise para os capacitores não polarizados de filme, observa-se que os capacitores presentes entre a Tabela 19 e a Tabela 28, possuem tolerância de 20%, enquanto os presentes entre a Tabela 29 e a Tabela 38 apresentam tolerância de 10%.

De acordo com a norma IEC 60384-14, as medições de capacitância para capacitores de filme são realizadas em 1 kHz para componentes com capacitância maior que 1  $\mu\text{F}$ , já a ESR é medida a 10 kHz.

As aferições foram realizadas em cinco frequências diferentes para observar a tendência dos parâmetros de interesse, mas as aferições utilizadas como referência de comparação estão nas tabelas com medições em 1 kHz para capacitâncias e nas medições com 10 kHz para ESR.

É fácil observar que os valores das capacitâncias aferidas são praticamente invariáveis em função da frequência e que dois capacitores entre os de tolerância de 20% obtiveram resultados ligeiramente fora da margem de tolerância garantida pelo fabricante, chegando a 28% de desvio para aferição na frequência de 1 kHz.

Ainda avaliando os capacitores com tolerância de 20%, destaca-se que o fabricante dos capacitores C4 a C6 não fornece o valor da ESR típica desta série de capacitores de filme, o que impossibilita uma comparação percentual destes componentes. Desta forma, observa-se que as tabelas de valores percentuais não contemplam as comparações para os capacitores supracitados. Já os capacitores C66 e C67 apresentam medições com valores inferiores aos especificados em datasheet para todas as frequências utilizadas nas aferições.

Avaliando-se os capacitores com tolerância de 10%, cujas aferições e comparações de valores podem ser observadas entre a Tabela 29 e a Tabela 38, pode ser verificado que as capacitâncias possuem característica pouco variável em função da frequência, embora o mesmo não ocorra com as ESR, que atingem valores superiores a 500% da ESR típica em baixas frequências.

Tabela 19: Valores aferidos a 100 Hz das capacitâncias e ESR para os capacitores de filme com 20% de tolerância.

| 100 Hz |                     |               |       |            |            |        |                   |       |       |       |        |
|--------|---------------------|---------------|-------|------------|------------|--------|-------------------|-------|-------|-------|--------|
| Nome   | Valor N. [ $\mu$ F] | Cs [ $\mu$ F] |       |            |            |        | ESR [ $m\Omega$ ] |       |       |       |        |
|        |                     | Am. 0         | Am. 1 | Am. 2      | Am. 4      | Am. 5  | Am. 0             | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5  |
| C4     | 1,8                 | 1,5           | 1,6   | <b>1,4</b> | 1,5        | 1,51   | 1895              | 975,3 | 1623  | 1216  | 1406,2 |
| C5     | 1,8                 | 1,5           | 1,6   | 1,5        | 1,5        | 1,51   | 1889              | 987,8 | 2076  | 1389  | 2697,7 |
| C6     | 1,8                 | 1,5           | 1,6   | 1,5        | <b>1,4</b> | 1,53   | 1914              | 988,3 | 1658  | 1314  | 720,5  |
| C66    | 110,0               | 99,9          | 104,5 | 99,3       | 98,9       | 102,53 | 0,8               | 2,5   | 2,1   | 3,5   | 2,1    |
| C67    | 110,0               | 99,7          | 105,2 | 99,4       | 98,5       | 101,89 | 0,7               | 2,4   | 2,1   | 2,3   | 2,2    |

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Tabela 20: Comparação percentual entre dados do fabricante e valores aferidos a 100 Hz das capacitâncias e ESR para os capacitores de filme com 20% de tolerância.

| 100 Hz |          |       |       |       |       |          |       |       |       |       |
|--------|----------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|
| Nome   | Cs [%]   |       |       |       |       | ESR [%]  |       |       |       |       |
|        | Am.<br>0 | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 | Am.<br>0 | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 |
| C4     | 83%      | 89%   | 78%   | 83%   | 84%   | ---      | ---   | ---   | ---   | ---   |
| C5     | 83%      | 89%   | 83%   | 83%   | 84%   | ---      | ---   | ---   | ---   | ---   |
| C6     | 83%      | 89%   | 83%   | 78%   | 85%   | ---      | ---   | ---   | ---   | ---   |
| C66    | 91%      | 95%   | 90%   | 90%   | 93%   | 21%      | 66%   | 55%   | 92%   | 55%   |
| C67    | 91%      | 96%   | 90%   | 90%   | 93%   | 18%      | 63%   | 55%   | 61%   | 57%   |

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Tabela 21: Valores aferidos a 120 Hz das capacitâncias e ESR para os capacitores de filme com 20% de tolerância.

| 120 Hz |                     |               |       |            |            |        |                   |       |       |       |        |
|--------|---------------------|---------------|-------|------------|------------|--------|-------------------|-------|-------|-------|--------|
| Nome   | Valor N. [ $\mu$ F] | Cs [ $\mu$ F] |       |            |            |        | ESR [ $m\Omega$ ] |       |       |       |        |
|        |                     | Am. 0         | Am. 1 | Am. 2      | Am. 4      | Am. 5  | Am. 0             | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5  |
| C4     | 1,8                 | 1,5           | 1,6   | <b>1,4</b> | 1,5        | 1,51   | 1845              | 974,6 | 1334  | 1097  | 1113,5 |
| C5     | 1,8                 | 1,5           | 1,6   | 1,5        | 1,5        | 1,51   | 1846              | 987,3 | 1628  | 1302  | 2173,4 |
| C6     | 1,8                 | 1,5           | 1,6   | 1,5        | <b>1,4</b> | 1,53   | 1823              | 988,1 | 1292  | 1144  | 580,9  |
| C66    | 110,0               | 99,9          | 104,5 | 99,3       | 98,9       | 102,52 | 0,6               | 2,5   | 1,7   | 3,0   | 1,8    |
| C67    | 110,0               | 99,7          | 105,2 | 99,4       | 98,5       | 101,9  | 0,5               | 2,4   | 1,8   | 1,9   | 1,8    |

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Tabela 22: Comparação percentual entre dados do fabricante e valores aferidos a 120 Hz das capacitâncias e ESR para os capacitores de filme com 20% de tolerância.

| 120 Hz |          |       |       |       |       |          |       |       |       |       |
|--------|----------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|
| Nome   | Cs [%]   |       |       |       |       | ESR [%]  |       |       |       |       |
|        | Am.<br>0 | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 | Am.<br>0 | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 |
| C4     | 83%      | 89%   | 78%   | 83%   | 84%   | ---      | ---   | ---   | ---   | ---   |
| C5     | 83%      | 89%   | 83%   | 83%   | 84%   | ---      | ---   | ---   | ---   | ---   |
| C6     | 83%      | 89%   | 83%   | 78%   | 85%   | ---      | ---   | ---   | ---   | ---   |
| C66    | 91%      | 95%   | 90%   | 90%   | 93%   | 16%      | 66%   | 45%   | 79%   | 47%   |
| C67    | 91%      | 96%   | 90%   | 90%   | 93%   | 13%      | 63%   | 47%   | 50%   | 47%   |

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Tabela 23: Valores aferidos a 1 kHz das capacitâncias e ESR para os capacitores de filme com 20% de tolerância.

| 1 kHz |                     |               |       |            |            |        |                   |       |       |       |       |
|-------|---------------------|---------------|-------|------------|------------|--------|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| Nome  | Valor N. [ $\mu$ F] | Cs [ $\mu$ F] |       |            |            |        | ESR [ $m\Omega$ ] |       |       |       |       |
|       |                     | Am. 0         | Am. 1 | Am. 2      | Am. 4      | Am. 5  | Am. 0             | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 |
| C4    | 1,8                 | 1,5           | 1,6   | <b>1,3</b> | 1,5        | 1,51   | 382               | 143,2 | 92,4  | 71,3  | 93,2  |
| C5    | 1,8                 | 1,5           | 1,6   | 1,5        | 1,5        | 1,51   | 386               | 151,7 | 109,2 | 42,3  | 168,8 |
| C6    | 1,8                 | 1,5           | 1,6   | 1,5        | <b>1,4</b> | 1,53   | 387               | 144,3 | 87,4  | 74,2  | 58,7  |
| C66   | 110,0               | 99,9          | 104,4 | 99,3       | 98,9       | 102,54 | 0,2               | 2,0   | 1,0   | 2,2   | 1,3   |
| C67   | 110,0               | 99,7          | 105,2 | 99,5       | 98,5       | 101,9  | 0,2               | 1,8   | 1,9   | 1,1   | 1,2   |

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Tabela 24: Comparação percentual entre dados do fabricante e valores aferidos a 1 kHz das capacitâncias e ESR para os capacitores de filme com 20% de tolerância.

| 1 kHz |        |       |       |       |       |         |       |       |       |       |
|-------|--------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|
| Nome  | Cs [%] |       |       |       |       | ESR [%] |       |       |       |       |
|       | Am. 0  | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 | Am. 0   | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 |
| C4    | 83%    | 89%   | 72%   | 83%   | 84%   | ---     | ---   | ---   | ---   | ---   |
| C5    | 83%    | 89%   | 83%   | 83%   | 84%   | ---     | ---   | ---   | ---   | ---   |
| C6    | 83%    | 89%   | 83%   | 78%   | 85%   | ---     | ---   | ---   | ---   | ---   |
| C66   | 91%    | 95%   | 90%   | 90%   | 93%   | 5%      | 53%   | 26%   | 58%   | 34%   |
| C67   | 91%    | 96%   | 90%   | 90%   | 93%   | 5%      | 47%   | 50%   | 29%   | 32%   |

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Tabela 25: Valores aferidos a 10 kHz das capacitâncias e ESR para os capacitores de filme com 20% de tolerância.

| 10 kHz |                            |                      |       |            |            |        |                                 |                          |       |       |       |       |
|--------|----------------------------|----------------------|-------|------------|------------|--------|---------------------------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Nome   | Valor N. [ $\mu\text{F}$ ] | Cs [ $\mu\text{F}$ ] |       |            |            |        | Valor típ. [ $\text{m}\Omega$ ] | ESR [ $\text{m}\Omega$ ] |       |       |       |       |
|        |                            | Am. 0                | Am. 1 | Am. 2      | Am. 4      | Am. 5  |                                 | Am. 0                    | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 |
| C4     | 1,8                        | 1,5                  | 1,6   | <b>1,4</b> | 1,5        | 1,51   | ---                             | 22,8                     | 16,3  | 13,5  | 7,1   | 14,9  |
| C5     | 1,8                        | 1,5                  | 1,6   | 1,5        | 1,5        | 1,5    | ---                             | 23,2                     | 21,5  | 15,6  | 8,9   | 17,8  |
| C6     | 1,8                        | 1,5                  | 1,6   | 1,5        | <b>1,4</b> | 1,53   | ---                             | 22,7                     | 17,2  | 13,9  | 7,3   | 14,5  |
| C66    | 110,0                      | 101,2                | 104,5 | 101,3      | 100,7      | 104,09 | 3,8                             | 0,4                      | 1,5   | 0,9   | 2,0   | 1,1   |
| C67    | 110,0                      | 101,8                | 105,2 | 99,4       | 100,3      | 103,25 | 3,8                             | 0,4                      | 1,1   | 1,1   | 1,0   | 1,0   |

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Tabela 26: Comparação percentual entre dados do fabricante e valores aferidos a 10 kHz das capacitâncias e ESR para os capacitores de filme com 20% de tolerância.

| 10 kHz |        |       |            |            |       |         |       |       |       |       |
|--------|--------|-------|------------|------------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|
| Nome   | Cs [%] |       |            |            |       | ESR [%] |       |       |       |       |
|        | Am. 0  | Am. 1 | Am. 2      | Am. 4      | Am. 5 | Am. 0   | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 |
| C4     | 83%    | 89%   | <b>78%</b> | 83%        | 84%   | ---     | ---   | ---   | ---   | ---   |
| C5     | 83%    | 89%   | 83%        | 83%        | 83%   | ---     | ---   | ---   | ---   | ---   |
| C6     | 83%    | 89%   | 83%        | <b>78%</b> | 85%   | ---     | ---   | ---   | ---   | ---   |
| C66    | 92%    | 95%   | 92%        | 92%        | 95%   | 11%     | 39%   | 24%   | 53%   | 29%   |
| C67    | 93%    | 96%   | 90%        | 91%        | 94%   | 11%     | 29%   | 29%   | 26%   | 27%   |

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Tabela 27: Valores aferidos a 20 kHz das capacitâncias e ESR para os capacitores de filme com 20% de tolerância.

| 20 kHz |                     |               |       |       |            |        |                   |       |       |       |       |
|--------|---------------------|---------------|-------|-------|------------|--------|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| Nome   | Valor N. [ $\mu$ F] | Cs [ $\mu$ F] |       |       |            |        | ESR [ $m\Omega$ ] |       |       |       |       |
|        |                     | Am. 0         | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4      | Am. 5  | Am. 0             | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 |
| C4     | 1,8                 | 1,5           | 1,6   | 1,6   | 1,5        | 1,51   | 22,3              | 15,9  | 13,9  | 7,8   | 15,5  |
| C5     | 1,8                 | 1,5           | 1,6   | 1,5   | 1,5        | 1,5    | 22,5              | 17,2  | 17,4  | 7,5   | 16,3  |
| C6     | 1,8                 | 1,5           | 1,6   | 1,5   | <b>1,4</b> | 1,53   | 22,7              | 16,9  | 16,8  | 8,6   | 13,5  |
| C66    | 110,0               | 105,1         | 104,5 | 108,3 | 106,8      | 109,49 | 0,7               | 1,2   | 1,0   | 1,9   | 1,2   |
| C67    | 110,0               | 108,3         | 105,2 | 101,3 | 106,4      | 107,86 | 0,7               | 1,1   | 0,9   | 1,1   | 1,2   |

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Tabela 28: Comparação percentual entre dados do fabricante e valores aferidos a 20 kHz das capacitâncias e ESR para os capacitores de filme com 20% de tolerância.

| 20 kHz |        |       |       |       |       |         |       |       |       |       |
|--------|--------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|
| Nome   | Cs [%] |       |       |       |       | ESR [%] |       |       |       |       |
|        | Am. 0  | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 | Am. 0   | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 |
| C4     | 83%    | 89%   | 89%   | 83%   | 84%   | ---     | ---   | ---   | ---   | ---   |
| C5     | 83%    | 89%   | 83%   | 83%   | 83%   | ---     | ---   | ---   | ---   | ---   |
| C6     | 83%    | 89%   | 83%   | 78%   | 85%   | ---     | ---   | ---   | ---   | ---   |
| C66    | 96%    | 95%   | 98%   | 97%   | 100%  | 18%     | 32%   | 26%   | 50%   | 32%   |
| C67    | 98%    | 96%   | 92%   | 97%   | 98%   | 18%     | 29%   | 24%   | 29%   | 32%   |

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

As aferições da ESR na frequência de 10 kHz, as quais servem de referência de comparação perante os valores disponibilizados pelos fabricantes resultaram em valores que variaram entre 2% a 148% dos valores típicos, evidenciando que a exatidão das medições de ESR não se mostrou confiável, podendo-se desprezar este resultado até uma segunda avaliação dos equipamentos.

Embora os capacitores C153, C156 e C158 da amostra 1 tenham atingido o limite da tolerância de capacitância entre os componentes com tolerância de 10%, nenhum deles excedeu a margem especificada pelo fabricante.

Estatisticamente, os capacitores de filme possuem vida útil mais elevada que os capacitores eletrolíticos. Normalmente, sua função nos circuitos destina-se à filtragem de ruídos, os quais se apresentam em frequências elevadas, que podem ocorrer de dezenas de kHz a alguns MHz. Embora as frequências sejam elevadas, a energia processada por esse tipo de componente é consideravelmente menor que a energia processada pelos capacitores eletrolíticos, uma vez que estes têm a função de armazenar a energia que flui da fonte para a carga; no caso do inversor solar conectado à rede, dos painéis fotovoltaicos para a rede de alimentação de energia elétrica.

De forma geral, avalia-se que todos os capacitores avaliados, eletrolíticos e de filme apresentaram características aderentes à margem de tolerância, tendo em vista que lotes diferentes de componentes apresentam variação nas características e que tais desvios de valores de capacitância podem estar relacionados às questões de fabricação, podendo não resultar em prejuízos a longo prazo.

Para uma avaliação mais assertiva à cerca da vida útil dos capacitores, os equipamentos devem voltar a ser utilizados por mais um período de dois anos para que uma nova avaliação seja realizada. Tal avaliação revelará da tendência dos parâmetros, resultando em uma conclusão a respeito do tempo de falha dos capacitores.

Tabela 29: Valores aferidos a 100 Hz das capacitâncias e ESR para os capacitores de filme com 10% de tolerância.

| 100 Hz |                     |               |       |       |       |       |                   |       |       |       |       |
|--------|---------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| Nome   | Valor N. [ $\mu$ F] | Cs [ $\mu$ F] |       |       |       |       | ESR [ $m\Omega$ ] |       |       |       |       |
|        |                     | Am. 0         | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 | Am. 0             | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 |
| C57    | 30,0                | 29,2          | 29,4  | 29,3  | 28,7  | 28,85 | 4,7               | 15,6  | 8,4   | 5,6   | 12,1  |
| C58    | 30,0                | 29,4          | 28,7  | 29,4  | 28,5  | 28,9  | 5,7               | 15,4  | 4,5   | 5,2   | 12,1  |
| C62    | 30,0                | 29,3          | 27,3  | 29,5  | 28,5  | 28,6  | 5,6               | 15,9  | 4,6   | 3,7   | 12,2  |
| C159   | 30,0                | 29,2          | 29,2  | 28,8  | 28,5  | 28,7  | 5,9               | 6,4   | 7,1   | 6,5   | 7,0   |
| C160   | 30,0                | 29,2          | 28,3  | 28,8  | 28,5  | 28,9  | 5,5               | 6,8   | 5,7   | 3,7   | 7,5   |
| C161   | 30,0                | 28,6          | 27,9  | 28,5  | 28,7  | 28,7  | 5,8               | 6,1   | 5,8   | 5,9   | 10,3  |
| C124   | 8,0                 | 7,7           | 7,7   | 7,6   | 7,6   | 7,8   | 25,7              | 28,4  | 60,5  | 50,6  | 27,5  |
| C125   | 8,0                 | 7,8           | 7,7   | 7,6   | 7,6   | 7,8   | 24,2              | 27,5  | 62,1  | 52,4  | 26,5  |
| C126   | 8,0                 | 7,7           | 7,7   | 7,5   | 7,6   | 7,8   | 24,5              | 26,9  | 65,2  | 53,7  | 27,2  |
| C225   | 8,0                 | 7,7           | 7,7   | 7,6   | 7,6   | 7,8   | 25,8              | 27,2  | 66,4  | 51,2  | 26,8  |
| C226   | 8,0                 | 7,7           | 7,7   | 7,6   | 7,6   | 7,8   | 24,1              | 28,8  | 65,3  | 47,1  | 26,7  |
| C227   | 8,0                 | 7,8           | 7,7   | 7,6   | 7,5   | 7,8   | 25,8              | 26,1  | 62,5  | 53,4  | 27,5  |
| C153   | 2,0                 | 1,9           | 1,8   | 1,9   | 1,9   | 1,9   | 93,9              | 116,3 | 113,3 | 153,1 | 112,2 |
| C156   | 2,0                 | 1,9           | 1,8   | 1,9   | 1,9   | 1,9   | 84,8              | 113,5 | 110,5 | 157,5 | 114,9 |
| C158   | 2,0                 | 1,9           | 1,8   | 1,9   | 1,9   | 1,9   | 94,5              | 114,6 | 119,2 | 156,8 | 113,4 |

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Tabela 30: Comparação percentual entre dados do fabricante e valores aferidos a 100 Hz das capacitâncias e ESR para os capacitores de filme com 10% de tolerância.

| <b>100 Hz</b> |        |       |       |       |       |             |             |             |             |             |
|---------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Nome          | Cs [%] |       |       |       |       | ESR [%]     |             |             |             |             |
|               | Am. 0  | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 | Am. 0       | Am. 1       | Am. 2       | Am. 4       | Am. 5       |
| C57           | 97%    | 98%   | 98%   | 96%   | 96%   | 57%         | <b>190%</b> | <b>102%</b> | 68%         | <b>148%</b> |
| C58           | 98%    | 96%   | 98%   | 95%   | 96%   | 70%         | <b>188%</b> | 55%         | 63%         | <b>148%</b> |
| C62           | 98%    | 91%   | 98%   | 95%   | 95%   | 68%         | <b>194%</b> | 56%         | 45%         | <b>149%</b> |
| C159          | 97%    | 97%   | 96%   | 95%   | 96%   | <b>123%</b> | <b>133%</b> | <b>148%</b> | <b>135%</b> | <b>146%</b> |
| C160          | 97%    | 94%   | 96%   | 95%   | 96%   | <b>115%</b> | <b>142%</b> | <b>119%</b> | 77%         | <b>156%</b> |
| C161          | 95%    | 93%   | 95%   | 96%   | 96%   | <b>121%</b> | <b>127%</b> | <b>121%</b> | <b>123%</b> | <b>215%</b> |
| C124          | 96%    | 96%   | 95%   | 95%   | 98%   | <b>216%</b> | <b>239%</b> | <b>508%</b> | <b>425%</b> | <b>231%</b> |
| C125          | 98%    | 96%   | 95%   | 95%   | 98%   | <b>203%</b> | <b>231%</b> | <b>522%</b> | <b>440%</b> | <b>223%</b> |
| C126          | 96%    | 96%   | 94%   | 95%   | 98%   | <b>206%</b> | <b>226%</b> | <b>548%</b> | <b>451%</b> | <b>229%</b> |
| C225          | 96%    | 96%   | 95%   | 95%   | 98%   | <b>217%</b> | <b>229%</b> | <b>558%</b> | <b>430%</b> | <b>225%</b> |
| C226          | 96%    | 96%   | 95%   | 95%   | 98%   | <b>203%</b> | <b>242%</b> | <b>549%</b> | <b>396%</b> | <b>224%</b> |
| C227          | 98%    | 96%   | 95%   | 94%   | 98%   | <b>217%</b> | <b>219%</b> | <b>525%</b> | <b>449%</b> | <b>231%</b> |
| C153          | 95%    | 90%   | 95%   | 95%   | 95%   | <b>337%</b> | <b>417%</b> | <b>406%</b> | <b>549%</b> | <b>402%</b> |
| C156          | 95%    | 90%   | 95%   | 95%   | 95%   | <b>304%</b> | <b>407%</b> | <b>396%</b> | <b>565%</b> | <b>412%</b> |
| C158          | 95%    | 90%   | 95%   | 95%   | 95%   | <b>339%</b> | <b>411%</b> | <b>427%</b> | <b>562%</b> | <b>406%</b> |

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Tabela 31: Valores aferidos a 120 Hz das capacitâncias e ESR para os capacitores de filme com 10% de tolerância.

| 120 Hz |                        |               |       |       |       |       |                   |       |       |       |       |
|--------|------------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| Nome   | Valor<br>N. [ $\mu$ F] | Cs [ $\mu$ F] |       |       |       |       | ESR [ $m\Omega$ ] |       |       |       |       |
|        |                        | Am.<br>0      | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 | Am.<br>0          | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 |
| C57    | 30,0                   | 29,2          | 29,4  | 29,3  | 28,7  | 28,85 | 4,3               | 15,5  | 7,6   | 5,9   | 10,9  |
| C58    | 30,0                   | 29,4          | 28,7  | 29,4  | 28,5  | 29,9  | 5,1               | 15,4  | 3,5   | 5,1   | 10,9  |
| C62    | 30,0                   | 29,3          | 27,3  | 29,5  | 28,5  | 28,6  | 4,7               | 15,7  | 3,3   | 3,3   | 11,1  |
| C159   | 30,0                   | 29,2          | 29,2  | 28,8  | 28,5  | 28,7  | 5,2               | 6,3   | 6,4   | 6,3   | 6,2   |
| C160   | 30,0                   | 29,2          | 28,3  | 28,8  | 28,5  | 28,9  | 5,1               | 6,8   | 4,6   | 3,5   | 6,5   |
| C161   | 30,0                   | 28,6          | 27,9  | 28,5  | 28,7  | 28,7  | 5,1               | 6,0   | 5,3   | 5,6   | 9,5   |
| C124   | 8,0                    | 7,7           | 7,7   | 7,6   | 7,6   | 7,8   | 23,8              | 28,3  | 48,4  | 43,9  | 23,9  |
| C125   | 8,0                    | 7,8           | 7,7   | 7,6   | 7,6   | 7,8   | 22,2              | 27,1  | 44,3  | 45,2  | 22,9  |
| C126   | 8,0                    | 7,7           | 7,7   | 7,5   | 7,5   | 7,8   | 22,4              | 26,5  | 44,5  | 45,6  | 22,7  |
| C225   | 8,0                    | 7,7           | 7,7   | 7,5   | 7,6   | 7,8   | 22,9              | 27,0  | 51,3  | 44,6  | 22,6  |
| C226   | 8,0                    | 7,7           | 7,7   | 7,6   | 7,6   | 7,8   | 21,7              | 28,5  | 40,4  | 40,8  | 22,6  |
| C227   | 8,0                    | 7,8           | 7,7   | 7,6   | 7,5   | 7,8   | 22,5              | 25,8  | 44,6  | 45,4  | 23,4  |
| C153   | 2,0                    | 1,9           | 1,8   | 1,9   | 1,9   | 1,9   | 88,7              | 116,1 | 88,2  | 89,5  | 86,0  |
| C156   | 2,0                    | 1,9           | 1,8   | 1,9   | 1,9   | 1,9   | 78,8              | 113,2 | 89,7  | 95,5  | 90,3  |
| C158   | 2,0                    | 1,9           | 1,8   | 1,9   | 1,9   | 1,9   | 83,7              | 114,4 | 89,2  | 92,1  | 89,4  |

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Tabela 32: Comparação percentual entre dados do fabricante e valores aferidos a 120 Hz das capacitâncias e ESR para os capacitores de filme com 10% de tolerância.

| 120 Hz |        |       |       |       |       |             |             |             |             |             |
|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Nome   | Cs [%] |       |       |       |       | ESR [%]     |             |             |             |             |
|        | Am. 0  | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 | Am. 0       | Am. 1       | Am. 2       | Am. 4       | Am. 5       |
| C57    | 97%    | 98%   | 98%   | 96%   | 96%   | 52%         | <b>189%</b> | 93%         | 72%         | <b>133%</b> |
| C58    | 98%    | 96%   | 98%   | 95%   | 100%  | 62%         | <b>188%</b> | 43%         | 62%         | <b>133%</b> |
| C62    | 98%    | 91%   | 98%   | 95%   | 95%   | 57%         | <b>191%</b> | 40%         | 40%         | <b>135%</b> |
| C159   | 97%    | 97%   | 96%   | 95%   | 96%   | <b>108%</b> | <b>131%</b> | <b>133%</b> | <b>131%</b> | <b>129%</b> |
| C160   | 97%    | 94%   | 96%   | 95%   | 96%   | <b>106%</b> | <b>142%</b> | 96%         | 73%         | <b>135%</b> |
| C161   | 95%    | 93%   | 95%   | 96%   | 96%   | <b>106%</b> | <b>125%</b> | <b>110%</b> | <b>117%</b> | <b>198%</b> |
| C124   | 96%    | 96%   | 95%   | 95%   | 98%   | <b>200%</b> | <b>238%</b> | <b>407%</b> | <b>369%</b> | <b>201%</b> |
| C125   | 98%    | 96%   | 95%   | 95%   | 98%   | <b>187%</b> | <b>228%</b> | <b>372%</b> | <b>380%</b> | <b>192%</b> |
| C126   | 96%    | 96%   | 94%   | 94%   | 98%   | <b>188%</b> | <b>223%</b> | <b>374%</b> | <b>383%</b> | <b>191%</b> |
| C225   | 96%    | 96%   | 94%   | 95%   | 98%   | <b>192%</b> | <b>227%</b> | <b>431%</b> | <b>375%</b> | <b>190%</b> |
| C226   | 96%    | 96%   | 95%   | 95%   | 98%   | <b>182%</b> | <b>239%</b> | <b>339%</b> | <b>343%</b> | <b>190%</b> |
| C227   | 98%    | 96%   | 95%   | 94%   | 98%   | <b>189%</b> | <b>217%</b> | <b>375%</b> | <b>382%</b> | <b>197%</b> |
| C153   | 95%    | 90%   | 95%   | 95%   | 95%   | <b>318%</b> | <b>416%</b> | <b>316%</b> | <b>321%</b> | <b>308%</b> |
| C156   | 95%    | 90%   | 95%   | 95%   | 95%   | <b>282%</b> | <b>406%</b> | <b>322%</b> | <b>342%</b> | <b>324%</b> |
| C158   | 95%    | 90%   | 95%   | 95%   | 95%   | <b>300%</b> | <b>410%</b> | <b>320%</b> | <b>330%</b> | <b>320%</b> |

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Tabela 33: Valores aferidos a 1 kHz das capacitâncias e ESR para os capacitores de filme com 10% de tolerância.

| 1 kHz |                        |               |       |       |       |       |                   |       |       |       |       |
|-------|------------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| Nome  | Valor<br>N. [ $\mu$ F] | Cs [ $\mu$ F] |       |       |       |       | ESR [ $m\Omega$ ] |       |       |       |       |
|       |                        | Am.<br>0      | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 | Am.<br>0          | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 |
| C57   | 30,0                   | 29,2          | 29,4  | 29,3  | 28,7  | 28,85 | 1,7               | 7,3   | 4,0   | 3,1   | 6,8   |
| C58   | 30,0                   | 29,4          | 28,7  | 29,4  | 28,5  | 28,9  | 1,9               | 7,2   | 1,0   | 3,2   | 6,9   |
| C62   | 30,0                   | 29,3          | 27,4  | 29,5  | 28,5  | 28,6  | 1,7               | 6,9   | 1,1   | 3,1   | 6,7   |
| C159  | 30,0                   | 29,2          | 29,2  | 28,8  | 28,5  | 28,7  | 2,3               | 5,5   | 3,9   | 5,4   | 3,0   |
| C160  | 30,0                   | 29,2          | 28,1  | 28,8  | 28,5  | 28,9  | 1,8               | 7,3   | 2,3   | 2,9   | 3,5   |
| C161  | 30,0                   | 28,6          | 27,9  | 28,5  | 28,7  | 28,7  | 1,9               | 7,5   | 2,8   | 4,8   | 6,6   |
| C124  | 8,0                    | 7,7           | 7,7   | 7,6   | 7,6   | 7,8   | 7,6               | 7,1   | 5,7   | 2,3   | 7,5   |
| C125  | 8,0                    | 7,8           | 7,6   | 7,6   | 7,6   | 7,8   | 6,2               | 7,8   | 4,2   | 3,1   | 6,9   |
| C126  | 8,0                    | 7,7           | 7,7   | 7,6   | 7,5   | 7,8   | 5,9               | 6,5   | 4,2   | 2,5   | 7,1   |
| C225  | 8,0                    | 7,7           | 7,7   | 7,5   | 7,6   | 7,8   | 6,5               | 6,3   | 5,3   | 2,8   | 6,9   |
| C226  | 8,0                    | 7,7           | 7,6   | 7,6   | 7,6   | 7,8   | 5,8               | 7,3   | 5,1   | 3,1   | 6,9   |
| C227  | 8,0                    | 7,8           | 7,7   | 7,6   | 7,5   | 7,8   | 6,2               | 8,1   | 4,9   | 3,8   | 7,5   |
| C153  | 2,0                    | 1,9           | 1,8   | 1,9   | 1,9   | 1,9   | 17,2              | 21,4  | 16,7  | 17,1  | 16,9  |
| C156  | 2,0                    | 1,9           | 1,8   | 1,9   | 1,9   | 1,9   | 16,8              | 17,3  | 16,6  | 17,9  | 18,4  |
| C158  | 2,0                    | 1,9           | 1,8   | 1,9   | 1,9   | 1,9   | 17,4              | 18,5  | 16,6  | 15,9  | 18,3  |

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Tabela 34: Comparação percentual entre dados do fabricante e valores aferidos a 1 kHz das capacitâncias e ESR para os capacitores de filme com 10% de tolerância.

| 1 kHz |        |       |       |       |       |         |             |       |             |             |
|-------|--------|-------|-------|-------|-------|---------|-------------|-------|-------------|-------------|
| Nome  | Cs [%] |       |       |       |       | ESR [%] |             |       |             |             |
|       | Am. 0  | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 | Am. 0   | Am. 1       | Am. 2 | Am. 4       | Am. 5       |
| C57   | 97%    | 98%   | 98%   | 96%   | 96%   | 21%     | 89%         | 49%   | 38%         | 83%         |
| C58   | 98%    | 96%   | 98%   | 95%   | 96%   | 23%     | 88%         | 12%   | 39%         | 84%         |
| C62   | 98%    | 91%   | 98%   | 95%   | 95%   | 21%     | 84%         | 13%   | 38%         | 82%         |
| C159  | 97%    | 97%   | 96%   | 95%   | 96%   | 48%     | <b>115%</b> | 81%   | <b>113%</b> | 63%         |
| C160  | 97%    | 94%   | 96%   | 95%   | 96%   | 38%     | <b>152%</b> | 48%   | 60%         | 73%         |
| C161  | 95%    | 93%   | 95%   | 96%   | 96%   | 40%     | <b>156%</b> | 58%   | 100%        | <b>138%</b> |
| C124  | 96%    | 96%   | 95%   | 95%   | 98%   | 64%     | 60%         | 48%   | 19%         | 63%         |
| C125  | 98%    | 95%   | 95%   | 95%   | 98%   | 52%     | 66%         | 35%   | 26%         | 58%         |
| C126  | 96%    | 96%   | 95%   | 94%   | 98%   | 50%     | 55%         | 35%   | 21%         | 60%         |
| C225  | 96%    | 96%   | 94%   | 95%   | 98%   | 55%     | 53%         | 45%   | 24%         | 58%         |
| C226  | 96%    | 95%   | 95%   | 95%   | 98%   | 49%     | 61%         | 43%   | 26%         | 58%         |
| C227  | 98%    | 96%   | 95%   | 94%   | 98%   | 52%     | 68%         | 41%   | 32%         | 63%         |
| C153  | 95%    | 90%   | 95%   | 95%   | 95%   | 62%     | 77%         | 60%   | 61%         | 61%         |
| C156  | 95%    | 90%   | 95%   | 95%   | 95%   | 60%     | 62%         | 59%   | 64%         | 66%         |
| C158  | 95%    | 90%   | 95%   | 95%   | 95%   | 62%     | 66%         | 59%   | 57%         | 66%         |

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Tabela 35: Valores aferidos a 10 kHz das capacitâncias e ESR para os capacitores de filme com 10% de tolerância.

| 10 kHz |                            |                      |       |       |       |       |                                 |                          |            |       |       |            |
|--------|----------------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|---------------------------------|--------------------------|------------|-------|-------|------------|
| Nome   | Valor N. [ $\mu\text{F}$ ] | Cs [ $\mu\text{F}$ ] |       |       |       |       | Valor típ. [ $\text{m}\Omega$ ] | ESR [ $\text{m}\Omega$ ] |            |       |       |            |
|        |                            | Am. 0                | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 |                                 | Am. 0                    | Am. 1      | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5      |
| C57    | 30,0                       | 29,4                 | 29,4  | 29,5  | 28,9  | 28,98 | 8,2                             | 1,5                      | 6,4        | 3,3   | 2,7   | 6,1        |
| C58    | 30,0                       | 29,6                 | 28,7  | 29,5  | 28,7  | 29,1  | 8,2                             | 1,7                      | 6,6        | 0,6   | 2,3   | 6,2        |
| C62    | 30,0                       | 29,5                 | 27,3  | 29,7  | 28,7  | 28,7  | 8,2                             | 1,3                      | 5,9        | 0,6   | 2,9   | 6,0        |
| C159   | 30,0                       | 29,4                 | 29,2  | 28,9  | 28,6  | 28,8  | 4,8                             | 2,1                      | <b>6,3</b> | 3,5   | 4,7   | 2,4        |
| C160   | 30,0                       | 29,4                 | 28,3  | 28,9  | 28,6  | 29    | 4,8                             | 1,5                      | <b>7,1</b> | 1,9   | 1,8   | 3,0        |
| C161   | 30,0                       | 28,7                 | 27,9  | 28,6  | 28,8  | 28,8  | 4,8                             | 1,6                      | <b>5,9</b> | 2,4   | 3,4   | <b>5,5</b> |
| C124   | 8,0                        | 7,7                  | 7,7   | 7,6   | 7,6   | 7,8   | 11,9                            | 6,6                      | 6,9        | 0,4   | 0,5   | 6,3        |
| C125   | 8,0                        | 7,8                  | 7,7   | 7,6   | 7,6   | 7,8   | 11,9                            | 5,3                      | 7,5        | 0,2   | 0,7   | 6,2        |
| C126   | 8,0                        | 7,7                  | 7,7   | 7,5   | 7,5   | 7,8   | 11,9                            | 5,2                      | 5,3        | 0,2   | 0,5   | 5,8        |
| C225   | 8,0                        | 7,7                  | 7,7   | 7,5   | 7,6   | 7,8   | 11,9                            | 5,5                      | 6,5        | 0,3   | 0,3   | 5,8        |
| C226   | 8,0                        | 7,7                  | 7,7   | 7,6   | 7,6   | 7,8   | 11,9                            | 5,1                      | 6,9        | 0,4   | 0,4   | 5,9        |
| C227   | 8,0                        | 7,8                  | 7,7   | 7,6   | 7,6   | 7,8   | 11,9                            | 5,1                      | 7,2        | 0,9   | 0,7   | 6,5        |
| C153   | 2,0                        | 1,9                  | 1,8   | 1,9   | 1,9   | 1,9   | 27,9                            | 8,9                      | 13,2       | 8,6   | 8,9   | 9,2        |
| C156   | 2,0                        | 1,9                  | 1,8   | 1,9   | 1,9   | 1,9   | 27,9                            | 9,7                      | 10,5       | 7,9   | 9,4   | 10,6       |
| C158   | 2,0                        | 1,9                  | 1,8   | 1,9   | 1,9   | 1,9   | 27,9                            | 9,2                      | 12,3       | 7,9   | 7,9   | 10,1       |

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Tabela 36: Comparação percentual entre dados do fabricante e valores aferidos a 10 kHz das capacitâncias e ESR para os capacitores de filme com 10% de tolerância.

| 10 kHz |        |       |       |       |       |         |       |       |       |       |
|--------|--------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|
| Nome   | Cs [%] |       |       |       |       | ESR [%] |       |       |       |       |
|        | Am. 0  | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 | Am. 0   | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 |
| C57    | 98%    | 98%   | 98%   | 96%   | 97%   | 18%     | 78%   | 40%   | 33%   | 75%   |
| C58    | 99%    | 96%   | 98%   | 96%   | 97%   | 21%     | 80%   | 7%    | 28%   | 76%   |
| C62    | 98%    | 91%   | 99%   | 96%   | 96%   | 16%     | 72%   | 7%    | 35%   | 73%   |
| C159   | 98%    | 97%   | 96%   | 95%   | 96%   | 44%     | 131%  | 73%   | 98%   | 50%   |
| C160   | 98%    | 94%   | 96%   | 95%   | 97%   | 31%     | 148%  | 40%   | 38%   | 63%   |
| C161   | 96%    | 93%   | 95%   | 96%   | 96%   | 33%     | 123%  | 50%   | 71%   | 115%  |
| C124   | 96%    | 96%   | 95%   | 95%   | 98%   | 55%     | 58%   | 3%    | 4%    | 53%   |
| C125   | 98%    | 96%   | 95%   | 95%   | 98%   | 45%     | 63%   | 2%    | 6%    | 52%   |
| C126   | 96%    | 96%   | 94%   | 94%   | 98%   | 44%     | 45%   | 2%    | 4%    | 49%   |
| C225   | 96%    | 96%   | 94%   | 95%   | 98%   | 46%     | 55%   | 3%    | 3%    | 49%   |
| C226   | 96%    | 96%   | 95%   | 95%   | 98%   | 43%     | 58%   | 3%    | 3%    | 50%   |
| C227   | 98%    | 96%   | 95%   | 95%   | 98%   | 43%     | 61%   | 8%    | 6%    | 55%   |
| C153   | 95%    | 90%   | 95%   | 95%   | 95%   | 32%     | 47%   | 31%   | 32%   | 33%   |
| C156   | 95%    | 90%   | 95%   | 95%   | 95%   | 35%     | 38%   | 28%   | 34%   | 38%   |
| C158   | 95%    | 90%   | 95%   | 95%   | 95%   | 33%     | 44%   | 28%   | 28%   | 36%   |

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Tabela 37: Valores aferidos a 20 kHz das capacitâncias e ESR para os capacitores de filme com 10% de tolerância.

| 20 kHz |                     |               |       |       |       |       |                   |       |       |       |       |
|--------|---------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| Nome   | Valor N. [ $\mu$ F] | Cs [ $\mu$ F] |       |       |       |       | ESR [ $m\Omega$ ] |       |       |       |       |
|        |                     | Am. 0         | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 | Am. 0             | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 |
| C57    | 30,0                | 29,9          | 29,4  | 30    | 29,4  | 29,39 | 1,5               | 5,9   | 2,8   | 2,6   | 5,9   |
| C58    | 30,0                | 30,1          | 28,7  | 29,9  | 28,5  | 29,4  | 1,7               | 5,8   | 0,5   | 2,4   | 5,9   |
| C62    | 30,0                | 30,1          | 27,3  | 30,3  | 29    | 29,1  | 1,4               | 5,1   | 0,6   | 2,8   | 5,8   |
| C159   | 30,0                | 29,9          | 29,2  | 29,4  | 28,9  | 29,1  | 1,9               | 4,7   | 3,5   | 3,4   | 2,1   |
| C160   | 30,0                | 29,9          | 28,3  | 29,3  | 28,9  | 29,3  | 1,5               | 5,6   | 1,9   | 1,1   | 2,8   |
| C161   | 30,0                | 29,2          | 27,9  | 28,9  | 29    | 29,1  | 1,6               | 4,9   | 2,4   | 2,1   | 5,1   |
| C124   | 8,0                 | 7,7           | 7,7   | 7,6   | 7,6   | 7,8   | 6,8               | 5,5   | 0,5   | 0,4   | 5,9   |
| C125   | 8,0                 | 7,8           | 7,7   | 7,6   | 7,6   | 7,8   | 5,6               | 5,8   | 0,2   | 0,5   | 5,9   |
| C126   | 8,0                 | 7,8           | 7,7   | 7,6   | 7,5   | 7,8   | 5,1               | 5,2   | 0,1   | 0,3   | 6,1   |
| C225   | 8,0                 | 7,7           | 7,7   | 7,6   | 7,6   | 7,8   | 5,3               | 4,6   | 0,1   | 0,2   | 5,9   |
| C226   | 8,0                 | 7,8           | 7,7   | 7,6   | 7,6   | 7,9   | 5,4               | 5,4   | 0,3   | 0,4   | 5,9   |
| C227   | 8,0                 | 7,8           | 7,7   | 7,7   | 7,6   | 7,8   | 5,3               | 6,1   | 0,2   | 0,5   | 6,8   |
| C153   | 2,0                 | 1,9           | 1,8   | 1,9   | 1,9   | 1,9   | 8,3               | 9,7   | 8,3   | 8,3   | 8,5   |
| C156   | 2,0                 | 1,9           | 1,8   | 1,9   | 1,9   | 1,9   | 8,5               | 8,3   | 8,2   | 8,1   | 8,9   |
| C158   | 2,0                 | 1,9           | 1,8   | 1,9   | 1,9   | 1,9   | 8,6               | 9,5   | 6,7   | 6,9   | 9,1   |

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Tabela 38: Comparação percentual entre dados do fabricante e valores aferidos a 20 kHz das capacitâncias e ESR para os capacitores de filme com 10% de tolerância.

| 20 kHz |        |       |       |       |       |         |             |       |       |             |
|--------|--------|-------|-------|-------|-------|---------|-------------|-------|-------|-------------|
| Nome   | Cs [%] |       |       |       |       | ESR [%] |             |       |       |             |
|        | Am. 0  | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 | Am. 0   | Am. 1       | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5       |
| C57    | 100%   | 98%   | 100%  | 98%   | 98%   | 18%     | 72%         | 34%   | 32%   | 72%         |
| C58    | 100%   | 96%   | 100%  | 95%   | 98%   | 21%     | 71%         | 6%    | 29%   | 72%         |
| C62    | 100%   | 91%   | 101%  | 97%   | 97%   | 17%     | 62%         | 7%    | 34%   | 71%         |
| C159   | 100%   | 97%   | 98%   | 96%   | 97%   | 40%     | 98%         | 73%   | 71%   | 44%         |
| C160   | 100%   | 94%   | 98%   | 96%   | 98%   | 31%     | <b>117%</b> | 40%   | 23%   | 58%         |
| C161   | 97%    | 93%   | 96%   | 97%   | 97%   | 33%     | <b>102%</b> | 50%   | 44%   | <b>106%</b> |
| C124   | 96%    | 96%   | 95%   | 95%   | 98%   | 57%     | 46%         | 4%    | 3%    | 50%         |
| C125   | 98%    | 96%   | 95%   | 95%   | 98%   | 47%     | 49%         | 2%    | 4%    | 50%         |
| C126   | 98%    | 96%   | 95%   | 94%   | 98%   | 43%     | 44%         | 1%    | 3%    | 51%         |
| C225   | 96%    | 96%   | 95%   | 95%   | 98%   | 45%     | 39%         | 1%    | 2%    | 50%         |
| C226   | 98%    | 96%   | 95%   | 95%   | 99%   | 45%     | 45%         | 3%    | 3%    | 50%         |
| C227   | 98%    | 96%   | 96%   | 95%   | 98%   | 45%     | 51%         | 2%    | 4%    | 57%         |
| C153   | 95%    | 90%   | 95%   | 95%   | 95%   | 30%     | 35%         | 30%   | 30%   | 30%         |
| C156   | 95%    | 90%   | 95%   | 95%   | 95%   | 30%     | 30%         | 29%   | 29%   | 32%         |
| C158   | 95%    | 90%   | 95%   | 95%   | 95%   | 31%     | 34%         | 24%   | 25%   | 33%         |

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

#### 4.2.11.4. Avaliação dos SPD

Os SPD empregados para proteção de surtos de tensão dos inversores avaliados são compostos por elementos denominados MOV (*Metal Oxide Varistor*), além disso o componente conta com sistema de proteção de sobrecorrente, proteção de superaquecimento e sinalização remota de atuação do fusível. Na figura 26 é mostrado o diagrama dos elementos internos deste tipo de SPD, denominado de Classe II e Tipo 2. Os terminais 1 e 2 são conectados entre as conexões que se deseja proteger, enquanto os terminais 11 e 12 funcionam como uma sinalização de que o fusível se rompeu e a proteção de sobretensão não está mais garantida nesse ponto do circuito.

Dois modelos de SPD são utilizados nos inversores avaliados, os quais podem ser observados na figura 26 e seus dados principais são disponibilizados na Tabela 39.

Para a realização dos testes de SPD foi utilizado um traçador de curvas, como observado anteriormente, onde destacou-se que a corrente de teste foi limitada a 1 mA e que a tensão observada para tal corrente é considerada como a de atuação do dispositivo. Sendo assim, é importante notar que a corrente de teste não deve ocorrer para a tensão especificada no parâmetro “ $U_{CPV}$ ”, muito menos para a especificada no parâmetro  $U_C$ . Deve-se ter em mente também que o parâmetro  $U_P$  estabelece a tensão de pico suportável pelo componente, o que fica nas eminência da queima do componente.

Os parâmetros  $U_C$  e  $U_{CPV}$  possuem margens de tolerância e significam que os dispositivos devem ser utilizados em sistemas com tais níveis máximos de tensão, alternada ou contínua. A atuação efetiva do componente deve ocorrer para uma margem que gira em torno do pico da tensão  $U_C$  com 20% de acréscimo, ajustando-se aos níveis de variação de tensão comumente observados nos sistemas de alimentação de energia elétrica, com adição de 10% para garantir que a tensão de atuação do SPD esteja em um valor certificadamente anormal. Fazendo tal consideração, pode-se considerar uma tensão de atuação teórica para comparação, determinado por (1).

Figura 26: SPD empregados nos circuitos dos inversores



Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Tabela 39: Parâmetros do fabricante referentes aos SPD dos circuitos dos inversores

| Parâmetro                                      | PV20K510-ZG | PV20K385-ZG |
|------------------------------------------------|-------------|-------------|
| SPD according to IEC 61643-11:2011             | Class II    | Class II    |
| SPD according to EN 61643-11:2012              | Type 2      | Type 2      |
| Maximum continuous operating voltage $U_C$     | 510 VAC     | 385VAC      |
| Maximum continuous operating voltage $U_{CPV}$ | 670 VDC     | 500 VDC     |
| Nominal discharge current $I_n(8/20\mu s)$     | 10 kA       | 10 kA       |
| Max. discharge current $I_{max}(8/20\mu s)$    | 20 kA       | 20 kA       |
| Voltage protection level $U_P$                 | 1.8 kV      | 1.5 kV      |

$$V_{Teo} = U_C \cdot \sqrt{2} \cdot 1,2 \quad (1)$$

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Como os SPD são componentes dedicados à supressão de tensão de surto, definida como um pico de tensão de elevado valor e curto período de tempo, o qual é normalmente causado por descargas atmosféricas, é muito comum que tais eventos provoquem níveis de tensão superiores ao dobro da tensão especificada por  $U_{cpv}$ . Nesse nível de tensão, o SPD precisa atuar, suportando picos de tensão determinados por  $U_p$ .

Observa-se, na Tabela 40, que os valores aferidos não se diferem consideravelmente dos estabelecidos como referência teórica ( $V_{Teo}$ ). Tal variação fica mais evidente quando se observa a Tabela 41, que possui os valores percentuais em uma escala de cores, onde os tons mais amarelados identificam os valores mais próximos de  $V_{Teo}$  e os mais alaranjados podem divergir para valores maiores ou menores.

Tabela 40: Valores aferidos e teóricos de atuação dos SPD.

| Nome  | Código      | $V_{Teo}$<br>[V] | +Vbreakdown [V] |       |       |       |       | -Vbreakdown [V] |       |       |       |       |
|-------|-------------|------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-----------------|-------|-------|-------|-------|
|       |             |                  | Am. 0           | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 | Am. 0           | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 |
| F1057 | PV20K510-MH | 865              | 810             | 872   | 875   | 878   | 878   | 808             | 879   | 879   | 875   | 878   |
| F1092 | PV20K510-MH | 865              | 799             | 869   | 874   | 877   | 867   | 799             | 864   | 874   | 879   | 860   |
| F1093 | PV20K510-MH | 865              | 844             | 865   | 869   | 873   | 863   | 846             | 866   | 873   | 875   | 859   |
| F1094 | PV20K510-MH | 865              | 810             | 871   | 868   | 879   | 864   | 811             | 869   | 865   | 875   | 864   |
| F1164 | PV20K510-MH | 865              | 788             | 867   | 871   | 872   | 864   | 788             | 864   | 873   | 876   | 865   |
| F1168 | PV20K385-MH | 653              | 571             | 665   | 665   | 668   | 663   | 572             | 667   | 669   | 671   | 664   |
| F1169 | PV20K385-MH | 653              | 606             | 673   | 664   | 675   | 679   | 608             | 675   | 669   | 672   | 679   |
| F1170 | PV20K385-MH | 653              | 610             | 672   | 673   | 671   | 667   | 611             | 674   | 675   | 671   | 667   |
| F1171 | PV20K385-MH | 653              | 609             | 665   | 675   | 669   | 660   | 610             | 669   | 669   | 679   | 661   |
| F1172 | PV20K385-MH | 653              | 610             | 663   | 665   | 673   | 661   | 611             | 668   | 661   | 676   | 662   |

Obs.: Nome: Nomenclatura na PCB; Código: Código do fabricante;  $V_{Teo}$ : Tensão teórica de atuação;

Am.: Amostra; Am. 0: Inversor de referência; +Vbreakdown [V]: Tensão positiva de atuação; -Vbreakdown [V]: Tensão negativa de atuação.

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Tabela 41: Comparação percentual entre valores teóricos e aferidos para atuação dos SPD.

| Nome  | Código      | +Vbreakdown [V] |       |       |       |       | -Vbreakdown [V] |       |       |       |       |
|-------|-------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-----------------|-------|-------|-------|-------|
|       |             | Am. 0           | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 | Am. 0           | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 |
| F1057 | PV20K510-MH | 94%             | 101%  | 101%  | 101%  | 101%  | 93%             | 102%  | 102%  | 101%  | 101%  |
| F1092 | PV20K510-MH | 92%             | 100%  | 101%  | 101%  | 100%  | 92%             | 100%  | 101%  | 102%  | 99%   |
| F1093 | PV20K510-MH | 98%             | 100%  | 100%  | 101%  | 100%  | 98%             | 100%  | 101%  | 101%  | 99%   |
| F1094 | PV20K510-MH | 94%             | 101%  | 100%  | 102%  | 100%  | 94%             | 100%  | 100%  | 101%  | 100%  |
| F1164 | PV20K510-MH | 91%             | 100%  | 101%  | 101%  | 100%  | 91%             | 100%  | 101%  | 101%  | 100%  |
| F1168 | PV20K385-MH | 87%             | 102%  | 102%  | 102%  | 101%  | 88%             | 102%  | 102%  | 103%  | 102%  |
| F1169 | PV20K385-MH | 93%             | 103%  | 102%  | 103%  | 104%  | 93%             | 103%  | 102%  | 103%  | 104%  |
| F1170 | PV20K385-MH | 93%             | 103%  | 103%  | 103%  | 102%  | 94%             | 103%  | 103%  | 103%  | 102%  |
| F1171 | PV20K385-MH | 93%             | 102%  | 103%  | 102%  | 101%  | 93%             | 102%  | 102%  | 104%  | 101%  |
| F1172 | PV20K385-MH | 93%             | 101%  | 102%  | 103%  | 101%  | 94%             | 102%  | 101%  | 103%  | 101%  |

Obs.: Nome: Nomenclatura na PCB; Código: Código do fabricante; Am. 0.: Inversor de referência; Am.: Amostra; +Vbreakdown [V]: Tensão positiva de atuação; -Vbreakdown [V]: Tensão negativa de atuação.

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

Pode-se observar, na Tabela 41, que a maior divergência de valores ocorreu no inversor de referência (Am. 0), com variação de -13% para tensões positivas e de -12% para tensões negativas, o que ocorreu para o SPD F1168. Neste sentido, destaca-se que tal variação é considerada normal, uma vez que não é relevante a ponto de provocar uma atuação indevida do componente. Observa-se também que, embora todos os SPD sejam da mesma marca e do mesmo tipo, os componentes do inversor de referência apresentaram valores menores que os observados nos inversores utilizados em campo, o que pode ser uma variação devido ao lote de fabricação dos SPD ou uma alteração devido aos esforços de tensão a que os componentes foram submetidos no período de utilização dos inversores.

#### 4.2.11.5. Avaliação dos relés

Como afirmado anteriormente, o ponto primordial a ser avaliado em um relé é a resistência série de seu contato (RC), que no caso do modelo utilizado por este inversor (T9SV1K15-12) emprega liga de Prata Níquel AgNi. Os dados aferidos podem ser observados na Tabela 42.

Adicionalmente também foram aferidos os valores de resistência da bobina dos relés (Rb), uma vez que o fabricante fornece este parâmetro, que possibilita avaliar se a bobina do relé está danificada. Os valores de tais resistência foram aferidos com um multímetro modelo DMM916 na função ohmímetro, devendo estar na faixa de 10% de variação do valor de 46  $\Omega$ , o que também pode ser observado na Tabela 42.

Já descrita anteriormente, a aferição da RC do relé é realizada pela leitura da queda de tensão aferida entre os terminais do contato quando a corrente que circula por ele é de 1A. Como a corrente tem o valor unitário, determina-se que a tensão lida no voltímetro se iguala à RC, como pode ser avaliado pela lei de Ohm em (2).

$$V = R \cdot I \quad (2)$$

Destaca-se que os valores aferidos para a RC se encontram 15 vezes inferiores à RC inicial estabelecido pelo fabricante; medida no teste final de produção. Tal diferença é considerada normal devido ao tempo de acomodação dos contatos nos primeiros chaveamentos do dispositivo. Adicionalmente, as resistências das bobinas ficaram dentro da margem de tolerância admitida.

Na Tabela 43 encontram-se os valores percentuais comparativos para os dois parâmetros avaliados. Como o fabricante especifica uma RC inicial muito superior às medidas aferidas, o valor de referência foi estabelecido pela média dos valores aferidos para os 6 relés presentes no inversor de referência, à qual foi determinada em 4,8 m $\Omega$ . Já para a resistência da bobina (Rb) foi utilizado o parâmetro oferecido pelo fabricante, especificado com variação de 10% em torno de 64  $\Omega$ .

Tabela 42: Valores das RC e das Rb aferidas nos relés.

| Nome | Rc [mΩ] |       |       |       |       |       | Rs [Ω] |       |       |       |       |       |
|------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
|      | Ref.    | Am. 0 | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 | Ref.   | Am. 0 | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 |
| k1   | 4,8     | 4,7   | 4,6   | 4,5   | 4,6   | 4,7   | 64,0   | 65,2  | 67,4  | 67,3  | 67,5  | 67,3  |
| k2   | 4,8     | 4,6   | 4,7   | 4,7   | 4,6   | 4,9   | 64,0   | 66,2  | 67,2  | 67,5  | 67,9  | 67,0  |
| k3   | 4,8     | 4,9   | 4,8   | 4,9   | 4,7   | 4,7   | 64,0   | 64,5  | 67,2  | 67,1  | 67,6  | 67,3  |
| k4   | 4,8     | 4,9   | 4,8   | 4,9   | 4,5   | 4,6   | 64,0   | 65,2  | 67,4  | 67,3  | 67,4  | 67,6  |
| k5   | 4,8     | 4,8   | 4,7   | 4,7   | 4,7   | 4,8   | 64,0   | 65,8  | 67,4  | 68,1  | 67,7  | 67,2  |
| k6   | 4,8     | 4,8   | 4,9   | 4,8   | 4,6   | 4,7   | 64,0   | 65,2  | 67,6  | 67,6  | 68,0  | 67,4  |

Obs.: Nome: Nomenclatura na PCB; Código: Código do fabricante; Am.: Amostra; Am. 0: Inversor de referência; RC: Resistência do contato [mΩ]; Rb: Resistência da bobina [Ω].

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

A escala de cores utilizada para a RC ilustra os menores valores de resistência com tonalidade amarelada e os maiores com tonalidade alaranjada.

Para a Rb, a tonalidade amarelada significa uma proximidade maior ao valor de referência fornecido pelo fabricante e a tonalidade alaranjada significa um distanciamento.

Observa-se na Tabela 43 que todos os valores ficaram próximos das referências, obtendo-se deslocamentos percentuais máximos de 6,4% e dentro da margem de variação aceita pelo fabricante. Destaca-se QUE os valores aferidos para RC ficaram em torno de 6,4% da resistência máxima aceita pelo fabricante e que os valores aferidos não servem de comparação com a especificação do fabricante, mas sim como uma referência para uma possível análise posterior de degradação dos componentes após outro período de utilização.

Tabela 43: Comparação percentual entre valores de referência e valores aferidos de RC e Rb nos relés.

| Nome | RC [%] |       |       |       |       | Rb [%] |       |       |       |       |
|------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
|      | Am. 0  | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 | Am. 0  | Am. 1 | Am. 2 | Am. 4 | Am. 5 |
| k1   | 98,3   | 96,2  | 94,1  | 96,2  | 98,3  | 101,8  | 105,3 | 105,2 | 105,5 | 105,2 |
| k2   | 96,2   | 98,3  | 98,3  | 96,2  | 102,4 | 103,4  | 105,0 | 105,5 | 106,1 | 104,6 |
| k3   | 102,4  | 100,3 | 102,4 | 98,3  | 98,3  | 100,7  | 105,0 | 104,8 | 105,6 | 105,2 |
| k4   | 102,4  | 100,3 | 102,4 | 94,1  | 96,2  | 101,8  | 105,3 | 105,2 | 105,3 | 105,7 |
| k5   | 100,3  | 98,3  | 98,3  | 98,3  | 100,3 | 102,9  | 105,4 | 106,4 | 105,8 | 105,0 |
| k6   | 100,3  | 102,4 | 100,3 | 96,2  | 98,3  | 101,8  | 105,6 | 105,7 | 106,2 | 105,4 |

Obs.: Nome: Nomenclatura na PCB; Código: Código do fabricante; Am.: Amostra; Am. 0: Inversor de referência; RC: Resistência do contato; Rb: Resistência da bobina.

Fonte: Relatório de Etapas 2 – Ano 2

### 4.3. Conclusões

Após um período de aproximadamente dois anos de operação de cinco inversores, modelo SUN2000 – KTL17, os equipamentos foram enviados ao LEP (Laboratório de Eletrônica de Potência) com a finalidade de avaliação de degradação. Essa avaliação contou também com um inversor de referência nunca instalado em campo, entretanto foi o inversor que passou pelo processo de certificação no início do projeto.

Nesta avaliação, foram verificados vários parâmetros dos componentes passíveis de maiores falhas de acordo com as estatísticas, estando elencados os capacitores, SPD e relés. Embora os semicondutores de potência, constituídos de pontes transistorizadas, também estejam elencadas entre os componentes com elevado índice de falhas, não foi possível avalia-los de forma detalhada em função da fixação destes componentes na PCB. De qualquer forma, os inversores avaliados apresentaram funcionamento adequado e com rendimento energético próximo ao especificado pelo fabricante, demonstrando que os semicondutores também mantiveram suas características para o bom funcionamento dos circuitos.

Acredita-se ainda que, a avaliação do rendimento comparativo entre um mesmo inversor em diferentes momentos, por exemplo, intervalos anuais, pode ser utilizada como um indicativo da “saúde” dos semicondutores utilizados nos estágios de conversão de energia.

Inicialmente foram realizados testes de funcionamento, baseados nas normas ABNT para certificação de inversores “on-grid”, ao qual todos apresentaram características de operação perfeitas, não ocorrendo nenhum desvio de funcionamento.

Separadamente dos componentes que compõem os circuitos de processamento de potência do inversor, foram avaliadas as fontes auxiliares de alimentação de comandos e controle. Para avaliação das fontes, foi utilizada a metodologia de análise de formas de onda (FO) de tensão, interpretando-as como assinaturas de FO. Nesse tipo de análise os parâmetros podem variar significativamente sem que isso caracterize um defeito no circuito ou em algum componente, uma vez que até as características dos transdutores de coleta de FO podem influenciar na coleta das assinaturas de FO. É provável que tal fenômeno tenha ocorrido fortemente no inversor de amostra 3, o que causou uma falha irrecuperável na fonte principal desta amostra, impossibilitando a continuação da avaliação para o inversor em questão.

A suspeita do fenômeno descrito é ensejada pela operação adequada do inversor no primeiro ensaio de funcionamento, baseado nas normas da ABNT. Ao se iniciarem os ensaios das fontes auxiliares, notou-se que as assinaturas de FO não aderiam suficientemente às observadas nas demais amostras ensaiadas, além de apresentarem variações de tensão e frequências de controle muito distantes das esperadas, dificultando até a coleta dos parâmetros avaliados. Na ocasião, os testes se encerraram e o inversor foi desligado conforme o protocolo padronizado nos testes, sem ocorrências aparentes para a integridade do equipamento. No dia seguinte, ao iniciar-se o protocolo de energização do inversor, notou-se que a fonte auxiliar principal não partia, inviabilizando a continuidade dos testes e descartando a amostra da avaliação de degradação, uma vez que não foi possível identificar precisamente a causa da falha.

As outras amostras apresentaram funcionamento aderente com as assinaturas de FO e com os parâmetros de variação de tensão e frequência de controle adotados como referência, indicando que não houve degradação significativa nos circuitos das fontes auxiliares.

Para a análise dos capacitores eletrolíticos as aferições de capacitância e frequência são realizadas em 100 Hz para permitir a adequada comparação com os dados de referência fornecidos pelo fabricante. Nesta avaliação, as amostras 1 e 5 se destacaram por obter os menores valores de capacitâncias aferidas, entretanto não apresentaram desvios suficientes a ponto superar as variações especificadas pelo fabricante. O mesmo ocorreu com as resistências série (ESR) dos capacitores eletrolíticos, sendo que a amostra 2 apresentou os capacitores eletrolíticos com menor ESR, se destacando de forma positiva. As amostras 1 e 5, que apresentaram maiores desvios de capacitância foram identificadas com as maiores ESR, embora todos os valores tenham ficado muito próximos especificados pelo fabricante.

Já os capacitores de filme foram divididos em dois grupos de análise, os quais foram separados pela tolerância de variação especificada nos valores de capacitância; um grupo de 20% e outro de 10%. Independentemente do grupo, os valores de referência para comparação com os dados do fabricante, são realizadas aferições de capacitância e ESR na frequência de 10 kHz.

No grupo com variação de 20% foram notados dois capacitores (C4 e C6) de inversores diferentes, respectivamente Amostra 2 e 4 com variações ligeiramente superiores ao preconizado pelo fabricante, atingindo uma diminuição de 22% do valor esperado, o que pode representar um controle de qualidade baixo na fabricação do componente, não caracterizando uma degradação pela operação do inversor. Para as ESR não foram encontrados valores de referência do fabricante para dos capacitores C6, C5 e C6, mas foi notado que as ESR se mostraram adequadas para o tipo de capacitor avaliado. Já os valores aferidos para os capacitores C66 e C67 foram comparados com a referência do fabricante, os quais apresentaram valores bem menores que os estabelecidos, principalmente para os capacitores do inversor de referência.

Para o grupo com variação de 10%, não foram encontrados desvios de capacitância maiores que as tolerâncias esperadas, embora alguns tenham chegado aos 10% de decréscimo do valor esperado. Com relação às ESR dos capacitores C159 a C161, foram aferidos três componentes com valores superiores aos especificados pelo fabricante, referentes às amostras 1 e 5 dos inversores. Esse tipo de comportamento é incomum, á que a ESR costuma ficar bem abaixo dos valores especificados pelo fabricante em capacitores de filme.

Na avaliação dos SPD, observou-se que os componentes presentes no inversor de referência apresentaram valores de atuação consideravelmente menores do que as demais amostras, entretanto as variações notadas são consideradas normais dentro das especificações do projeto do circuito de proteção dos inversores, que considera níveis superiores a 1000 V para ativação dos SPD.

Avaliando os relés, foi observado que suas resistências de contato (RC) se mostraram em torno de 15 vezes inferiores ao valor máximo da RC inicial preconizado pelo fabricante, o que é considerado normal devido ao tempo de acomodação dos contatos nos primeiros chaveamentos do dispositivo após sua fabricação. As resistências das bobinas também foram aferidas e os valores observados atenderam as especificações do fabricante, denotando preservação das características das bobinas.

Todos os parâmetros avaliados nesse relatório demonstram que os componentes não sofreram degradação mensurável, entretanto é necessário que os mesmos inversores sejam submetidos novamente a condições operacionais, para que futuramente seja realizada a mesma análise e fomite condições comparativas suficientemente consistentes.

## 4.4. Referências

- [01] Yu-Jen Liu; Pei-Hsiu Lan; Hong-Hsun Lin. Grid-connected PV inverter test system for solar photovoltaic power system certification. IEEE General Meeting Power& Energy Society, 2014.
- [02] M. Bouzguenda; A. Gastli; A. H. Al Badi; T. Salmi. Solar photovoltaic inverter requirements for smart grid applications. IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies - Middle East (ISGT Middle East), 2011.
- [03] Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO. Portaria nº 004, 2011.
- [04] Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO. Portaria n.º 357, 2014.
- [05] Associação Brasileira De Normas Técnicas. ABNT 16149: Sistemas fotovoltaicos - Características de interface de conexão com a rede elétrica de distribuição. Rio de Janeiro, 2013.
- [06] Associação Brasileira De Normas Técnicas. ABNT 16150: Sistemas fotovoltaicos - Características de interface de conexão com a rede elétrica de distribuição - Procedimento de ensaio de conformidade. Rio de Janeiro, 2013.
- [07] Associação Brasileira De Normas Técnicas. ABNT NBR IEC 62116: Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. Rio de Janeiro, 2012.
- [08] Projeto de P&D - Geradores fotovoltaicos bifaciais de última geração: Maximização de desempenho e vida útil para geração centralizada em usinas solares de grande porte - Relatório de Etapas - Etapa 1 Ano 1
- [09] Projeto de P&D - Geradores fotovoltaicos bifaciais de última geração: Maximização de desempenho e vida útil para geração centralizada em usinas solares de grande porte - Relatório de Etapas - Etapa 2 Ano 2



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP (FEIS)  
LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA DE POTÊNCIA (LEP)

Av. Prof. José Carlos Rossi, 1370  
CEP 15385-000 Ilha Solteira SP BRASIL www.lep.dee.feis.unesp.br  
Fone: 0xx18 3743-1086  
e-mail: canesin@dee.feis.unesp.br



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

1 de 45

- 1- Laboratório Responsável:** Laboratório de Eletrônica de Potência - LEP/UNESP
- 2- Ordem de Serviço nº:** 0
- 3- Descrição do Corpo de Prova:** N°: 1 - Inversor para sistemas conectados a rede. Marca: Huawei Modelo: SUN2000-12KTL-M2, N° de série: HV20C0081743
- 4- Cliente:** UFSC  
**Endereço:** CAMPUS REITOR JOAO DAVID FERREIRA LIMA, 233229, TRINDADE  
**Cep:** 88040-970  
**Cidade/Estado:** FLORIANOPOLIS, SC
- 5- Interessado:** UFSC  
**Endereço:** CAMPUS REITOR JOAO DAVID FERREIRA LIMA, 233229, TRINDADE  
**Cep:** 88040-970  
**Cidade/Estado:** FLORIANOPOLIS, SC
- 6. Objetivo:** Serviço nº: 1/1 - Teste de Etiquetagem INMETRO - Inversores conectados a rede
- 7. Norma e/ou Procedimento:** Portarias INMETRO 004/2011 e 357/2014
- 8. Observações:**

**ENSAIOS REALIZADOS PARA 380V(F-F)/220V(F-N), PARA A SAÍDA EM CA DO INVERSOR /AMOSTRA**

- O Corpo de Prova foi recebido em: 01/06/2021
- Ensaio realizado no período de: 29/07/2021 a 06/08/2021
- Relatório de Ensaio em arquivo eletrônico:
  - É cópia integral e fiel do original impresso e assinado que estará à disposição no LEP-FEIS/UNESP.
  - Forma de apresentação: Arquivo Eletrônico (formato ADOBE® \*.pdf) assinado pelo coordenador do LEP-FEIS/UNESP.
  - Forma de envio: Forma eletrônica enviada para o endereço de email do contrato, ou, acesso ao documento através de download em link do LEP-FEIS/UNESP (com senha de acesso).
- O LEP-FEIS/UNESP mantém uma cópia impressa assinada fisicamente em seu sistema de arquivamento em papel.
- Legenda  
C: Conforme    N/C: Não Conforme    N/A: Não Aplicável

- A reprodução deste documento não pode ser parcial e depende da aprovação por escrito do coordenador do LEP-FEIS/UNESP;
- Os resultados apresentados neste documento referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido ao(s) ensaio(s) nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer outros lotes;
- O LEP-FEIS/UNESP manterá o original deste documento arquivado por um período de cinco anos, no mínimo.

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

2 de 45

| Item | Prescrição                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Conf     | Observação |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------|
|      | <b>Cintilação</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | ---      | ---        |
| 1    | A operação do sistemas fotovoltaico não pode causar cintilação acima dos limites mencionados nas seções pertinentes das 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/TS 61 61000-3-5 (para sistemas com corrente superior a 75 A). | <b>C</b> | ---        |

| Fase A |        |          |           |      |      |
|--------|--------|----------|-----------|------|------|
|        | dc (%) | dmax (%) | d(t) [ms] | Pst  | Plt  |
| 1      | 0,00   | 0,00     | 0,00      | 0,06 |      |
| 2      | 0,00   | 0,00     | 0,00      | 0,08 |      |
| 3      | 0,09   | 0,11     | 0,00      | 0,06 |      |
| 4      | 0,13   | 0,21     | 0,00      | 0,06 |      |
| 5      | 0,00   | 0,00     | 0,00      | 0,07 |      |
| 6      | 0,00   | 0,00     | 0,00      | 0,07 |      |
| 7      | 0,11   | 0,12     | 0,00      | 0,06 |      |
| 8      | 0,00   | 0,00     | 0,00      | 0,06 |      |
| 9      | 0,00   | 0,00     | 0,00      | 0,09 |      |
| 10     | 0,00   | 0,00     | 0,00      | 0,07 |      |
| 11     | 0,28   | 0,33     | 0,00      | 0,07 |      |
| 12     | 0,03   | 0,22     | 0,00      | 0,06 |      |
| Total  |        |          |           |      | 0,08 |

| Fase B |        |          |           |      |      |
|--------|--------|----------|-----------|------|------|
|        | dc (%) | dmax (%) | d(t) [ms] | Pst  | Plt  |
| 1      | 0,00   | 0,00     | 0,00      | 0,07 |      |
| 2      | 0,16   | 0,40     | 0,00      | 0,09 |      |
| 3      | 0,14   | 0,20     | 0,00      | 0,07 |      |
| 4      | 0,20   | 0,22     | 0,00      | 0,07 |      |
| 5      | 0,16   | 0,20     | 0,00      | 0,07 |      |
| 6      | 0,34   | 0,40     | 0,00      | 0,08 |      |
| 7      | 0,18   | 0,20     | 0,00      | 0,07 |      |
| 8      | 0,02   | 0,21     | 0,00      | 0,07 |      |
| 9      | 0,00   | 0,00     | 0,00      | 0,07 |      |
| 10     | 0,00   | 0,00     | 0,00      | 0,07 |      |
| 11     | 0,25   | 0,42     | 0,00      | 0,09 |      |
| 12     | 0,20   | 0,25     | 0,00      | 0,07 |      |
| Total  |        |          |           |      | 0,08 |



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

3 de 45

| Fase C |        |          |           |      |      |
|--------|--------|----------|-----------|------|------|
|        | dc (%) | dmax (%) | d(t) [ms] | Pst  | Plt  |
| 1      | 0,20   | 0,29     | 0,00      | 0,07 |      |
| 2      | 0,00   | 0,00     | 0,00      | 0,10 |      |
| 3      | 0,15   | 0,17     | 0,00      | 0,07 |      |
| 4      | 0,21   | 0,21     | 0,00      | 0,07 |      |
| 5      | 0,16   | 0,20     | 0,00      | 0,07 |      |
| 6      | 0,00   | 0,00     | 0,00      | 0,08 |      |
| 7      | 0,20   | 0,21     | 0,00      | 0,07 |      |
| 8      | 0,18   | 0,22     | 0,00      | 0,08 |      |
| 9      | 0,00   | 0,00     | 0,00      | 0,15 |      |
| 10     | 0,03   | 0,32     | 0,00      | 0,07 |      |
| 11     | 0,50   | 0,55     | 0,00      | 0,09 |      |
| 12     | 0,60   | 0,21     | 0,00      | 0,07 |      |
| Total  |        |          |           |      | 0,07 |



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

4 de 45

| Item | Prescrição                                                                                                                                                                | Conf | Observação |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------|
| 2    | <b>Proteção de injeção de componente c.c. na rede elétrica</b>                                                                                                            | ---  | ---        |
|      | O sistema fotovoltaico deve parar de fornecer energia à rede em 1 s se a injeção de componente c.c. na rede elétrica for superior a 0,5% da corrente nominal do inversor. | C    | ---        |
|      | O sistema fotovoltaico com transformador com separação galvânica em 60Hz não precisa ter proteções adicionais para atender a este requisito.                              | N/A  | ---        |

| Injeção de componente C.C. |        |        |        |
|----------------------------|--------|--------|--------|
| Ensaio a 33% da Potência   | Fase A | Fase B | Fase C |
| Pac (W)                    | 1340   | 1338   | 1325   |
| Iac[cc] (mA)               | 3,90   | 1,30   | 0,60   |
|                            |        |        |        |
| Ensaio a 66% da Potência   | Fase A | Fase B | Fase C |
| Pac (W)                    | 2682   | 2674   | 2645   |
| Iac[cc] (mA)               | 7,50   | 3,90   | 2,80   |
|                            |        |        |        |
| Ensaio a 100% da Potência  | Fase A | Fase B | Fase C |
| Pac (W)                    | 4015   | 4002   | 3960   |
| Iac[cc] (mA)               | -4,10  | 2,30   | 0,70   |

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

5 de 45

| Item | Prescrição                                                                                                                                                                                                             | Conf     | Observação |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------|
| 3    | <b>Harmônicos e distorção de forma de onda</b>                                                                                                                                                                         | ---      | ---        |
|      | A distorção harmônica total de corrente deve ser inferior a 5 % em relação à corrente fundamental na potência nominal do inversor. Cada harmônica individual deve estar limitada aos valores apresentados na Tabela 1. | <b>C</b> | ---        |

| Tabela 1 - Limite de distorção harmônica de corrente |                     |
|------------------------------------------------------|---------------------|
| Harmônicas ímpares                                   | Limite de distorção |
| 3º a 9º                                              | < 4,0%              |
| 11º a 15º                                            | < 2,0%              |
| 17º a 21º                                            | < 1,5%              |
| 23º a 33º                                            | < 0,6%              |
| Harmônicas pares                                     | Limite de distorção |
| 2º a 8º                                              | < 1,0%              |
| 10º a 32º                                            | < 0,5%              |

| Ensaio a 100% da Potência Nominal |          |        |        |        |                      |          |        |        |
|-----------------------------------|----------|--------|--------|--------|----------------------|----------|--------|--------|
|                                   |          | Fase A | Fase B | Fase C |                      | Fase A   | Fase B | Fase C |
| P(W):                             |          | 4014,6 | 4001,7 | 3959   | I <sub>thd</sub> (%) | 2,09%    | 2,06%  | 2,05%  |
| Ímpares                           |          |        |        |        | Pares                |          |        |        |
| Nº                                | Critério | Valor  |        |        | Nº                   | Critério | Valor  |        |
| 3                                 | < 4,0%   | 0,131% | 0,351% | 0,381% | 2                    | < 1,0%   | 0,066% | 0,111% |
| 5                                 |          | 1,836% | 1,769% | 1,743% | 4                    |          | 0,038% | 0,024% |
| 7                                 |          | 0,264% | 0,299% | 0,226% | 6                    |          | 0,029% | 0,029% |
| 9                                 |          | 0,023% | 0,030% | 0,071% | 8                    |          | 0,017% | 0,023% |
| 11                                | < 2,0%   | 0,137% | 0,134% | 0,174% | 10                   | < 0,5%   | 0,029% | 0,018% |
| 13                                |          | 0,112% | 0,147% | 0,148% | 12                   |          | 0,010% | 0,030% |
| 15                                |          | 0,000% | 0,000% | 0,000% | 14                   |          | 0,000% | 0,000% |
| 17                                | < 1,5%   | 0,423% | 0,429% | 0,495% | 16                   |          | 0,016% | 0,016% |
| 19                                |          | 0,314% | 0,337% | 0,280% | 18                   |          | 0,010% | 0,030% |
| 21                                |          | 0,029% | 0,040% | 0,038% | 20                   |          | 0,012% | 0,024% |
| 23                                | < 0,6%   | 0,504% | 0,457% | 0,510% | 22                   |          | 0,009% | 0,009% |
| 25                                |          | 0,229% | 0,259% | 0,213% | 24                   |          | 0,009% | 0,011% |
| 27                                |          | 0,036% | 0,022% | 0,020% | 26                   |          | 0,007% | 0,012% |
| 29                                |          | 0,327% | 0,294% | 0,305% | 28                   |          | 0,011% | 0,010% |
| 31                                |          | 0,099% | 0,111% | 0,115% | 30                   |          | 0,003% | 0,003% |
| 33                                |          | 0,034% | 0,025% | 0,022% | 32                   |          | 0,007% | 0,008% |

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

6 de 45

| Ensaio a 75% da Potência Nominal |          |        |        |         |          |          |        |        |        |
|----------------------------------|----------|--------|--------|---------|----------|----------|--------|--------|--------|
|                                  |          | Fase A | Fase B | Fase C  |          |          | Fase A | Fase B | Fase C |
| P(W):                            |          | 2998   | 3009,8 | 2981    | lthd (%) |          | 2,22%  | 2,24%  | 2,26%  |
| Impares                          |          |        |        |         | Pares    |          |        |        |        |
| Nº                               | Critério | Valor  |        |         | Nº       | Critério | Valor  |        |        |
| 3                                | < 4,0%   | 0,135% | 0,415% | 37,200% | 2        | < 1,0%   | 0,155% | 0,219% | 0,077% |
| 5                                |          | 1,985% | 1,920% | 1,976%  | 4        |          | 0,057% | 0,044% | 0,116% |
| 7                                |          | 0,228% | 0,253% | 0,208%  | 6        |          | 0,025% | 0,007% | 0,053% |
| 9                                |          | 0,027% | 0,163% | 0,142%  | 8        |          | 0,019% | 0,023% | 0,016% |
| 11                               | < 2,0%   | 0,246% | 0,230% | 0,134%  | 10       | < 0,5%   | 0,021% | 0,011% | 0,060% |
| 13                               |          | 0,279% | 0,354% | 0,278%  | 12       |          | 0,040% | 0,029% | 0,048% |
| 15                               |          | 0,018% | 0,079% | 0,039%  | 14       |          | 0,018% | 0,009% | 0,038% |
| 17                               | < 1,5%   | 0,541% | 0,551% | 0,613%  | 16       |          | 0,007% | 0,024% | 0,041% |
| 19                               |          | 0,270% | 0,295% | 0,157%  | 18       |          | 0,038% | 0,025% | 0,030% |
| 21                               |          | 0,036% | 0,072% | 0,025%  | 20       |          | 0,018% | 0,003% | 0,028% |
| 23                               | < 0,6%   | 0,316% | 0,304% | 0,392%  | 22       |          | 0,003% | 0,006% | 0,011% |
| 25                               |          | 0,033% | 0,097% | 0,123%  | 24       |          | 0,019% | 0,010% | 0,026% |
| 27                               |          | 0,053% | 0,058% | 0,031%  | 26       |          | 0,014% | 0,007% | 0,016% |
| 29                               |          | 0,241% | 0,227% | 0,262%  | 28       |          | 0,021% | 0,019% | 0,012% |
| 31                               |          | 0,094% | 0,071% | 0,100%  | 30       |          | 0,015% | 0,018% | 0,019% |
| 33                               |          | 0,044% | 0,109% | 0,055%  | 32       |          | 0,007% | 0,020% | 0,008% |

| Ensaio a 50% da Potência Nominal |          |        |        |        |          |          |        |        |        |
|----------------------------------|----------|--------|--------|--------|----------|----------|--------|--------|--------|
|                                  |          | Fase A | Fase B | Fase C |          |          | Fase A | Fase B | Fase C |
| P(W):                            |          | 2006   | 2007   | 1987   | lthd (%) |          | 2,63%  | 2,60%  | 2,73%  |
| Impares                          |          |        |        |        | Pares    |          |        |        |        |
| Nº                               | Critério | Valor  |        |        | Nº       | Critério | Valor  |        |        |
| 3                                | < 4,0%   | 0,105% | 0,435% | 0,399% | 2        | < 1,0%   | 0,168% | 0,398% | 0,169% |
| 5                                |          | 0,105% | 0,435% | 0,399% | 4        |          | 0,168% | 0,398% | 0,169% |
| 7                                |          | 0,459% | 0,561% | 0,568% | 6        |          | 0,077% | 0,021% | 0,088% |
| 9                                |          | 0,118% | 0,172% | 0,219% | 8        |          | 0,080% | 0,075% | 0,025% |
| 11                               | < 2,0%   | 0,243% | 0,321% | 0,309% | 10       | < 0,5%   | 0,067% | 0,048% | 0,093% |
| 13                               |          | 0,693% | 0,590% | 0,588% | 12       |          | 0,035% | 0,009% | 0,053% |
| 15                               |          | 0,074% | 0,020% | 0,102% | 14       |          | 0,072% | 0,077% | 0,020% |
| 17                               | < 1,5%   | 0,416% | 0,381% | 0,485% | 16       |          | 0,053% | 0,052% | 0,061% |
| 19                               |          | 0,155% | 0,199% | 0,191% | 18       |          | 0,042% | 0,041% | 0,036% |
| 21                               |          | 0,064% | 0,043% | 0,117% | 20       |          | 0,069% | 0,034% | 0,041% |
| 23                               | < 0,6%   | 0,459% | 0,561% | 0,568% | 22       |          | 0,077% | 0,021% | 0,088% |
| 25                               |          | 0,336% | 0,365% | 0,363% | 24       |          | 0,110% | 0,039% | 0,095% |
| 27                               |          | 0,052% | 0,080% | 0,130% | 26       |          | 0,029% | 0,019% | 0,049% |
| 29                               |          | 0,391% | 0,424% | 0,427% | 28       |          | 0,025% | 0,019% | 0,024% |
| 31                               |          | 0,181% | 0,147% | 0,164% | 30       |          | 0,019% | 0,002% | 0,046% |
| 33                               |          | 0,099% | 0,135% | 0,047% | 32       |          | 0,007% | 0,042% | 0,024% |



|                          |         |
|--------------------------|---------|
| RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1 | Folha   |
|                          | 7 de 45 |

| Ensaio a 30% da Potência Nominal |          |        |        |        |          |          |        |        |        |
|----------------------------------|----------|--------|--------|--------|----------|----------|--------|--------|--------|
|                                  |          | Fase A | Fase B | Fase C |          |          | Fase A | Fase B | Fase C |
| P(W):                            |          | 1205   | 1205   | 1191   | lthd (%) |          | 4,91%  | 5,10%  | 4,99%  |
| Impares                          |          |        |        |        | Pares    |          |        |        |        |
| Nº                               | Critério | Valor  |        |        | Nº       | Critério | Valor  |        |        |
| 3                                | < 4,0%   | 0,152% | 0,760% | 0,802% | 2        | < 1,0%   | 0,219% | 0,520% | 0,266% |
| 5                                |          | 3,830% | 3,878% | 3,563% | 4        |          | 0,118% | 0,235% | 0,178% |
| 7                                |          | 1,546% | 1,675% | 1,716% | 6        |          | 0,168% | 0,092% | 0,140% |
| 9                                |          | 0,134% | 0,359% | 0,508% | 8        |          | 0,053% | 0,054% | 0,055% |
| 11                               | < 2,0%   | 1,286% | 1,212% | 1,358% | 10       | < 0,5%   | 0,072% | 0,134% | 0,052% |
| 13                               |          | 0,672% | 1,148% | 0,952% | 12       |          | 0,128% | 0,103% | 0,220% |
| 15                               |          | 0,118% | 0,141% | 0,237% | 14       |          | 0,112% | 0,032% | 0,107% |
| 17                               | < 1,5%   | 1,305% | 1,221% | 1,405% | 16       |          | 0,017% | 0,089% | 0,048% |
| 19                               |          | 0,494% | 0,658% | 0,331% | 18       |          | 0,024% | 0,076% | 0,109% |
| 21                               |          | 0,046% | 0,169% | 0,199% | 20       |          | 0,047% | 0,058% | 0,054% |
| 23                               |          | 0,532% | 0,585% | 0,855% | 22       |          | 0,054% | 0,079% | 0,105% |
| 25                               | < 0,6%   | 0,545% | 0,360% | 0,630% | 24       |          | 0,010% | 0,079% | 0,038% |
| 27                               |          | 0,021% | 0,087% | 0,159% | 26       |          | 0,074% | 0,037% | 0,123% |
| 29                               |          | 0,508% | 0,490% | 0,525% | 28       |          | 0,060% | 0,013% | 0,075% |
| 31                               |          | 0,338% | 0,297% | 0,289% | 30       |          | 0,055% | 0,050% | 0,033% |
| 33                               |          | 0,131% | 0,182% | 0,068% | 32       |          | 0,046% | 0,052% | 0,055% |

| Ensaio a 20% da Potência Nominal |          |        |        |        |          |          |        |        |        |
|----------------------------------|----------|--------|--------|--------|----------|----------|--------|--------|--------|
|                                  |          | Fase A | Fase B | Fase C |          |          | Fase A | Fase B | Fase C |
| P(W):                            |          | 806    | 806    | 806    | lthd (%) |          | 8,9%   | 8,9%   | 8,9%   |
| Impares                          |          |        |        |        | Pares    |          |        |        |        |
| Nº                               | Critério | Valor  |        |        | Nº       | Critério | Valor  |        |        |
| 3                                | < 4,0%   | 0,565% | 0,964% | 1,194% | 2        | < 1,0%   | 0,580% | 0,941% | 0,371% |
| 5                                |          | 7,171% | 7,186% | 6,658% | 4        |          | 0,080% | 0,143% | 0,065% |
| 7                                |          | 2,063% | 2,118% | 2,242% | 6        |          | 0,418% | 0,058% | 0,470% |
| 9                                |          | 2,063% | 2,118% | 2,242% | 8        |          | 0,418% | 0,058% | 0,470% |
| 11                               | < 2,0%   | 1,354% | 1,168% | 1,596% | 10       | < 0,5%   | 0,208% | 0,232% | 0,022% |
| 13                               |          | 2,671% | 3,115% | 3,044% | 12       |          | 0,217% | 0,195% | 0,413% |
| 15                               |          | 0,146% | 0,257% | 0,383% | 14       |          | 0,024% | 0,162% | 0,177% |
| 17                               | < 1,5%   | 1,077% | 1,994% | 2,247% | 16       |          | 0,131% | 0,057% | 0,144% |
| 17                               |          | 0,760% | 0,554% | 0,907% | 16       |          | 0,157% | 0,084% | 0,232% |
| 19                               |          | 0,110% | 0,124% | 0,098% | 18       |          | 0,051% | 0,115% | 0,102% |
| 21                               |          | 1,536% | 1,419% | 1,449% | 20       |          | 0,168% | 0,043% | 0,168% |
| 23                               | < 0,6%   | 0,748% | 0,699% | 0,843% | 22       |          | 0,188% | 0,229% | 0,181% |
| 25                               |          | 1,354% | 1,168% | 1,596% | 24       |          | 0,208% | 0,232% | 0,022% |
| 27                               |          | 0,921% | 0,940% | 1,044% | 26       |          | 0,139% | 0,131% | 0,138% |
| 29                               |          | 0,601% | 0,467% | 0,582% | 28       |          | 0,043% | 0,064% | 0,073% |
| 31                               |          | 0,174% | 0,358% | 0,129% | 30       |          | 0,041% | 0,068% | 0,043% |



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

8 de 45

| Ensaio a 10% da Potência Nominal |          |         |         |         |                      |          |        |        |        |
|----------------------------------|----------|---------|---------|---------|----------------------|----------|--------|--------|--------|
|                                  |          | Fase A  | Fase B  | Fase C  |                      |          | Fase A | Fase B | Fase C |
| P(W):                            |          | 402     | 406     | 398     | I <sub>thd</sub> (%) |          | 16,3%  | 16,9%  | 16,4%  |
| Impares                          |          |         |         |         | Pares                |          |        |        |        |
| Nº                               | Critério | Valor   |         |         | Nº                   | Critério | Valor  |        |        |
| 3                                | < 4,0%   | 2,319%  | 0,510%  | 2,685%  | 2                    | < 1,0%   | 0,671% | 0,935% | 0,610% |
| 5                                |          | 13,617% | 13,857% | 13,502% | 4                    |          | 0,326% | 0,497% | 0,183% |
| 7                                |          | 5,441%  | 6,039%  | 5,191%  | 6                    |          | 0,315% | 0,191% | 0,131% |
| 9                                |          | 0,860%  | 0,792%  | 0,320%  | 8                    |          | 0,156% | 0,175% | 0,259% |
| 11                               | < 2,0%   | 1,877%  | 3,336%  | 3,151%  | 10                   | < 0,5%   | 0,269% | 0,453% | 0,228% |
| 13                               |          | 1,542%  | 2,083%  | 1,448%  | 12                   |          | 0,396% | 0,096% | 0,302% |
| 15                               |          | 0,677%  | 0,450%  | 0,311%  | 14                   |          | 0,192% | 0,331% | 0,223% |
| 17                               | < 1,5%   | 1,688%  | 1,901%  | 1,902%  | 16                   |          | 0,118% | 0,256% | 0,230% |
| 19                               |          | 2,597%  | 2,560%  | 1,636%  | 18                   |          | 0,045% | 0,171% | 0,213% |
| 21                               |          | 0,450%  | 0,729%  | 0,407%  | 20                   |          | 0,177% | 0,069% | 0,131% |
| 23                               | < 0,6%   | 2,496%  | 2,570%  | 2,892%  | 22                   |          | 0,285% | 0,316% | 0,369% |
| 25                               |          | 0,356%  | 0,682%  | 0,503%  | 24                   |          | 0,213% | 0,278% | 0,121% |
| 27                               |          | 0,208%  | 0,679%  | 0,280%  | 26                   |          | 0,124% | 0,206% | 0,240% |
| 29                               |          | 1,417%  | 1,782%  | 2,058%  | 28                   |          | 0,099% | 0,190% | 0,242% |
| 31                               |          | 2,139%  | 1,991%  | 1,866%  | 30                   |          | 0,089% | 0,047% | 0,082% |
| 33                               |          | 0,063%  | 0,539%  | 0,215%  | 32                   |          | 0,056% | 0,112% | 0,072% |

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

9 de 45

| Item | Prescrição                                                                                                                                                                                                                                                                  | Conf | Observação |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------|
| 4    | <b>Fator de potência</b>                                                                                                                                                                                                                                                    | ---  | ---        |
|      | Quando a potência ativa injetada na rede for superior a 20 % da potência nominal do inversor, o sistema fotovoltaico deve ser capaz de operar com fator de potência unitário ajustado em fábrica, com tolerância de trabalho na faixa de 0,98 indutivo até 0,98 capacitivo. | C    | ---        |
|      | Após uma mudança na potência ativa, o sistema fotovoltaico deve ser capaz de ajustar a potência reativa de saída automaticamente, para corresponder ao FP predefinido.                                                                                                      | C    | ---        |
|      | Qualquer ponto operacional resultante destas definições/curvas deve ser atingido em, no máximo, 10 s.                                                                                                                                                                       | C    | ---        |
|      | O inversor deve sair de fábrica com o FP igual a 1.                                                                                                                                                                                                                         | C    | ---        |

| Dados do Ensaio - Fator de Potência unitário |                    |        |        |                   |         |         |
|----------------------------------------------|--------------------|--------|--------|-------------------|---------|---------|
| Potência Nominal (W)                         |                    | 12000  |        |                   |         |         |
| Fator de Potência Fixo                       |                    |        |        |                   |         |         |
| UAN(V)                                       | 220                |        |        |                   |         |         |
| Potência Teórica (W)                         | Potência de ensaio |        |        | Fator de Potência |         |         |
|                                              | Fase A             | Fase B | Fase C | Fase A            | Fase B  | Fase C  |
| 12000                                        | 4015               | 4002   | 3959   | 0,99996           | 1,00000 | 0,99998 |
| 9000                                         | 2998               | 3010   | 2981   | 0,99994           | 1,00000 | 0,99997 |
| 6000                                         | 2006               | 2007   | 1987   | 0,99992           | 0,99999 | 0,99996 |
| 3600                                         | 1205               | 1205   | 1191   | 0,99986           | 0,99996 | 0,99992 |
| 2400                                         | 806                | 806    | 797    | 0,99976           | 0,99991 | 0,99987 |
| 1200                                         | 402                | 406    | 398    | 0,99922           | 0,99964 | 0,99971 |

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

10 de 45

| Item | Prescrição                                                                                                                                                                                                                              | Conf | Observação |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------|
| 5    | <b>Injeção/demanda de potência reativa</b>                                                                                                                                                                                              | ---  | ---        |
|      | O inversor deve apresentar, como opcional, a possibilidade de operar de acordo com a curva apresentada na norma e com fator de potência ajustável de 0,90 indutivo até 0,90 capacitivo.                                                 | C    | ---        |
|      | A curva solicitada só deve ser habilitada quando a tensão da rede ultrapassar a tensão de ativação, valor ajustável entre 100% e 110% da tensão nominal da rede, com valor padrão em 104%                                               | C    | ---        |
|      | A curva solicitada só deve ser desabilitada quando a tensão da rede retroceder para um valor abaixo da tensão de desativação, valor ajustável entre 90% e 100% da tensão nominal da rede, com valor padrão em 100% ajustado em fábrica. | C    | ---        |
|      | O inversor deve apresentar, como opcional, a possibilidade de operar com potência reativa (Var) fixa de 48,43% da potência nominal do inversor (capacitivo e indutivo).                                                                 | C    | ---        |

| Dados do Ensaio - Fator de Potência curva de FP - Ativação |                    |        |        |                   |         |         |
|------------------------------------------------------------|--------------------|--------|--------|-------------------|---------|---------|
| Potência Nominal (W)                                       |                    |        | 12000  |                   |         |         |
| Fator de Potência com curva de FP                          |                    |        |        |                   |         |         |
| UAN(V)                                                     | 230                |        |        |                   |         |         |
| Potência Teórica (W)                                       | Potência de ensaio |        |        | Fator de Potência |         |         |
|                                                            | Fase A             | Fase B | Fase C | Fase A            | Fase B  | Fase C  |
| 12000                                                      | 4019               | 4007   | 3969   | 0,99943           | 0,99940 | 0,99943 |
| 9000                                                       | 3015               | 3007   | 2979   | 0,99919           | 0,99912 | 0,99918 |
| 6000                                                       | 2005               | 2001   | 1979   | 0,99842           | 0,99820 | 0,99832 |
| 3600                                                       | 1205               | 1204   | 1192   | 0,99538           | 0,99472 | 0,99497 |
| 2400                                                       | 806                | 806    | 797    | 0,98885           | 0,98685 | 0,98769 |
| 1200                                                       | 402                | 404    | 397    | 0,95830           | 0,95159 | 0,95483 |



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

11 de 45

| Dados do Ensaio - Fator de Potência curva de FP - Desativação |                    |        |        |                   |         |         |
|---------------------------------------------------------------|--------------------|--------|--------|-------------------|---------|---------|
| Potência Nominal (W)                                          |                    |        | 12000  |                   |         |         |
| Fator de Potência com curva de FP                             |                    |        |        |                   |         |         |
| UAN(V)                                                        | 210                |        |        |                   |         |         |
| Potência Teórica (W)                                          | Potência de ensaio |        |        | Fator de Potência |         |         |
|                                                               | Fase A             | Fase B | Fase C | Fase A            | Fase B  | Fase C  |
| 12000                                                         | 4019               | 4005   | 3970   | 0,99947           | 0,99948 | 0,99947 |
| 9000                                                          | 3021               | 3011   | 2983   | 0,99930           | 0,99928 | 0,99929 |
| 6000                                                          | 2016               | 2010   | 1991   | 0,99874           | 0,99863 | 0,99865 |
| 3600                                                          | 1208               | 1204   | 1193   | 0,99569           | 0,99528 | 0,99529 |
| 2400                                                          | 807                | 806    | 798    | 0,99002           | 0,98906 | 0,98895 |
| 1200                                                          | 402                | 403    | 398    | 0,96124           | 0,95677 | 0,95946 |

| Dados do Ensaio - Demanda Reativa - Operação Capacitiva |                    |        |        |                        |        |        |
|---------------------------------------------------------|--------------------|--------|--------|------------------------|--------|--------|
| Potência Nominal (W)                                    |                    |        | 12000  |                        |        |        |
| Fator de Potência Fixo                                  |                    |        |        |                        |        |        |
| UAN(V)                                                  | 220                |        |        |                        |        |        |
| Potência Teórica (W)                                    | Potência ativa (W) |        |        | Potência reativa (VAr) |        |        |
|                                                         | Fase A             | Fase B | Fase C | Fase A                 | Fase B | Fase C |
| 12000                                                   | 3974               | 3961   | 3936   | 1963                   | 1926   | 1949   |
| 9000                                                    | 3000               | 3004   | 2966   | 1493                   | 1464   | 1465   |
| 6000                                                    | 2005               | 2009   | 1983   | 1001                   | 982    | 982    |
| 3600                                                    | 1202               | 1205   | 1190   | 607                    | 596    | 595    |
| 2400                                                    | 802                | 805    | 795    | 410                    | 403    | 401    |
| 1200                                                    | 399                | 402    | 397    | 211                    | 209    | 206    |

| Dados do Ensaio - Demanda Reativa - Operação Indutiva |                    |        |        |                        |        |        |
|-------------------------------------------------------|--------------------|--------|--------|------------------------|--------|--------|
| Potência Nominal (W)                                  |                    |        | 12000  |                        |        |        |
| Fator de Potência Fixo                                |                    |        |        |                        |        |        |
| UAN(V)                                                | 220                |        |        |                        |        |        |
| Potência Teórica (W)                                  | Potência ativa (W) |        |        | Potência reativa (VAr) |        |        |
|                                                       | Fase A             | Fase B | Fase C | Fase A                 | Fase B | Fase C |
| 12000                                                 | 3994               | 3954   | 3944   | 1896                   | 1912   | 1872   |
| 9000                                                  | 3015               | 2991   | 2972   | 1424                   | 1446   | 1415   |
| 6000                                                  | 2016               | 2002   | 1988   | 949                    | 963    | 844    |
| 3600                                                  | 1205               | 1198   | 1188   | 562                    | 572    | 561    |
| 2400                                                  | 808                | 804    | 797    | 373                    | 380    | 373    |
| 1200                                                  | 404                | 404    | 399    | 182                    | 185    | 183    |



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

12 de 45

| Dados do Ensaio - Demanda Reativa - Operação Resistiva |                    |        |        |                        |        |        |
|--------------------------------------------------------|--------------------|--------|--------|------------------------|--------|--------|
| Potência Nominal (W)                                   |                    |        | 12000  |                        |        |        |
| Fator de Potência Fixo                                 |                    |        |        |                        |        |        |
| UAN(V)                                                 | 220                |        |        |                        |        |        |
| Potência Teórica (W)                                   | Potência ativa (W) |        |        | Potência reativa (VAr) |        |        |
|                                                        | Fase A             | Fase B | Fase C | Fase A                 | Fase B | Fase C |
| 12000                                                  | 4015               | 4002   | 3959   | 36                     | 4      | 25     |
| 9000                                                   | 2998               | 3010   | 2981   | 32                     | 7      | 21     |
| 6000                                                   | 2006               | 2007   | 1987   | 25                     | 9      | 18     |
| 3600                                                   | 1205               | 1205   | 1191   | 20                     | 10     | 15     |
| 2400                                                   | 806                | 806    | 797    | 18                     | 11     | 13     |
| 1200                                                   | 402                | 406    | 398    | 16                     | 11     | 10     |



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

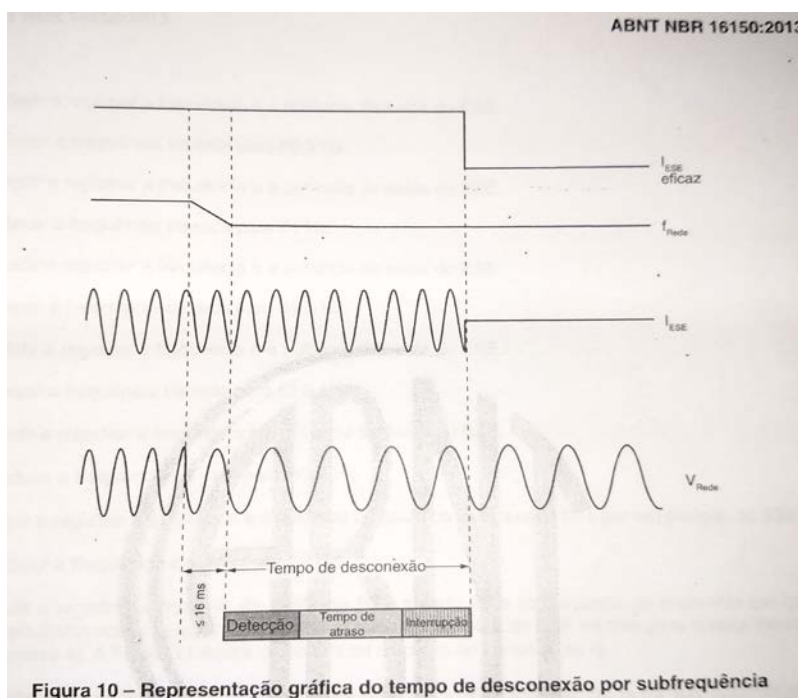
Folha

13 de 45

| Item | Prescrição                                                                                                                                                                                             | Conf | Observação |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------|
|      | <b>Sobre/sub tensão</b>                                                                                                                                                                                | ---  | ---        |
| 6    | Quando a tensão da rede sai da faixa de operação especificada na tabela, o sistema fotovoltaico deve parar de fornecer energia à rede. Isto se aplica a qualquer sistema, seja ele mono ou polifásico. | C    | ---        |

| Tabela 2 - Resposta às condições anormais de tensão |                              |
|-----------------------------------------------------|------------------------------|
| Tensão no ponto comum de conexão (% em relação à    | Tempo máximo de desligamento |
| $V < 80\%$                                          | 0,4 s                        |
| $80\% \leq V \leq 110\%$                            | Regime de operação normal    |
| $110\% < V$                                         | 0,2 s                        |

1 - As medições desconsideram o primeiro ciclo da perturbação de acordo com a norma ABNT NBR 16150:2013.





RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

14 de 45

| Ensaio de sobretensão |                            |        |        |
|-----------------------|----------------------------|--------|--------|
| Medição               | Tensão no Ponto de Conexão |        |        |
|                       | Fase A                     | Fase B | Fase C |
| 1º                    | 0,00                       | 0,00   | 0,00   |
| 2º                    | 0,00                       | 0,00   | 0,00   |
| 3º                    | 0,00                       | 0,00   | 0,00   |
| 4º                    | 222,60                     | 222,65 | 221,89 |
| 5º                    | 223,39                     | 223,46 | 222,69 |
| 6º                    | 224,30                     | 224,35 | 223,58 |
| 7º                    | 225,20                     | 225,20 | 224,40 |
| 8º                    | 226,10                     | 226,20 | 225,40 |
| 9º                    | 227,00                     | 227,10 | 226,30 |
| 10º                   | 227,80                     | 227,90 | 227,10 |
| 11º                   | 228,70                     | 228,80 | 227,90 |
| 12º                   | 229,60                     | 229,70 | 228,90 |
| 13º                   | 230,50                     | 230,60 | 229,80 |
| 14º                   | 231,30                     | 231,40 | 230,60 |
| 15º                   | 232,20                     | 232,30 | 231,50 |
| 16º                   | 233,10                     | 233,20 | 232,40 |
| 17º                   | 234,10                     | 234,10 | 233,30 |
| 18º                   | 234,90                     | 235,00 | 234,20 |
| 19º                   | 235,80                     | 235,80 | 234,90 |
| 20º                   | 236,70                     | 236,70 | 235,90 |
| 21º                   | 237,60                     | 237,60 | 236,80 |
| 22º                   | 238,50                     | 238,60 | 237,70 |
| 23º                   | 239,20                     | 239,30 | 238,50 |
| 24º                   | 0,00                       | 0,00   | 0,00   |
| 25º                   | 0,00                       | 0,00   | 0,00   |
| 26º                   | 0,00                       | 0,00   | 0,00   |
| 27º                   | 0,00                       | 0,00   | 0,00   |
| 28º                   | 0,00                       | 0,00   | 0,00   |
| 29º                   | 0,00                       | 0,00   | 0,00   |
| 30º                   | 0,00                       | 0,00   | 0,00   |



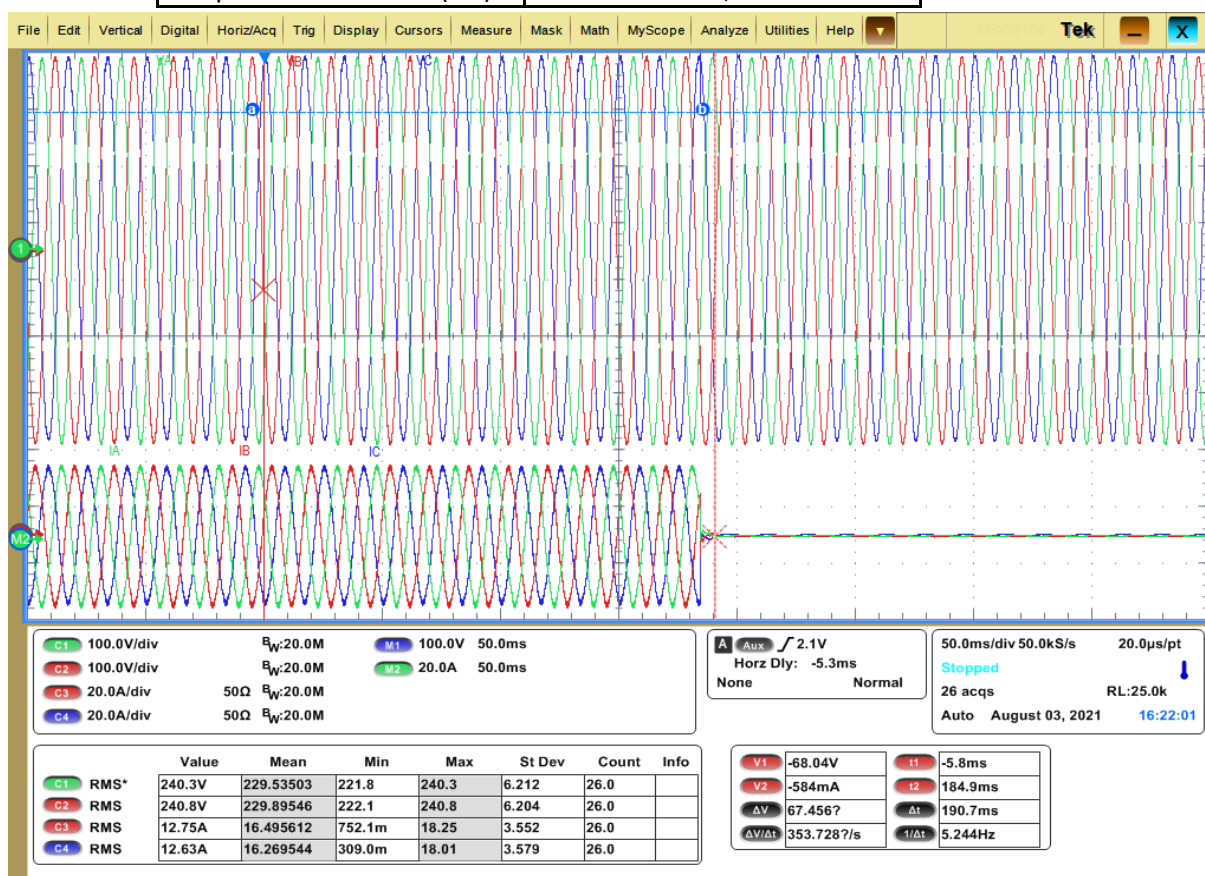
RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

15 de 45

Ensaio de desconexão por sobretensão

|                          |        |
|--------------------------|--------|
| Tensão Inicial F-N (V)   | 237,88 |
| Tensão Final F-N (V)     | 241,88 |
| Tempo de Desconexão (ms) | 174,03 |



\* Fase A (Vermelha), Fase B (Azul), Fase C (Verde), Trigger de transitório (Cursor a).



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

16 de 45

| Ensaio de subtenção |                            |        |        |
|---------------------|----------------------------|--------|--------|
| Medição             | Tensão no Ponto de Conexão |        |        |
|                     | Fase A                     | Fase B | Fase C |
| 1º                  | 220,30                     | 220,30 | 219,60 |
| 2º                  | 195,30                     | 195,30 | 194,70 |
| 3º                  | 194,40                     | 194,40 | 193,70 |
| 4º                  | 193,50                     | 193,50 | 192,80 |
| 5º                  | 192,60                     | 192,60 | 191,90 |
| 6º                  | 191,70                     | 191,80 | 191,10 |
| 7º                  | 190,80                     | 190,90 | 190,20 |
| 8º                  | 189,90                     | 189,90 | 189,30 |
| 9º                  | 189,00                     | 189,10 | 188,40 |
| 10º                 | 188,10                     | 188,20 | 187,50 |
| 11º                 | 187,30                     | 187,40 | 186,70 |
| 12º                 | 186,40                     | 186,50 | 185,80 |
| 13º                 | 185,50                     | 185,60 | 184,90 |
| 14º                 | 184,60                     | 184,60 | 184,00 |
| 15º                 | 183,80                     | 183,90 | 183,20 |
| 16º                 | 182,90                     | 182,90 | 182,30 |
| 17º                 | 181,90                     | 182,00 | 181,40 |
| 18º                 | 181,10                     | 181,10 | 180,50 |
| 19º                 | 180,20                     | 180,20 | 179,60 |
| 20º                 | 179,40                     | 179,40 | 178,80 |
| 21º                 | 178,50                     | 178,50 | 177,80 |
| 22º                 | 177,60                     | 177,60 | 176,90 |
| 23º                 | 176,70                     | 176,70 | 176,10 |
| 24º                 | 175,80                     | 175,90 | 175,30 |
| 25º                 | 174,90                     | 174,90 | 174,40 |
| 26º                 | 173,00                     | 173,10 | 172,50 |
| 27º                 | 0,00                       | 0,00   | 0,00   |
| 28º                 | 0,00                       | 0,00   | 0,00   |
| 29º                 | 0,00                       | 0,00   | 0,00   |
| 30º                 | 0,00                       | 0,00   | 0,00   |

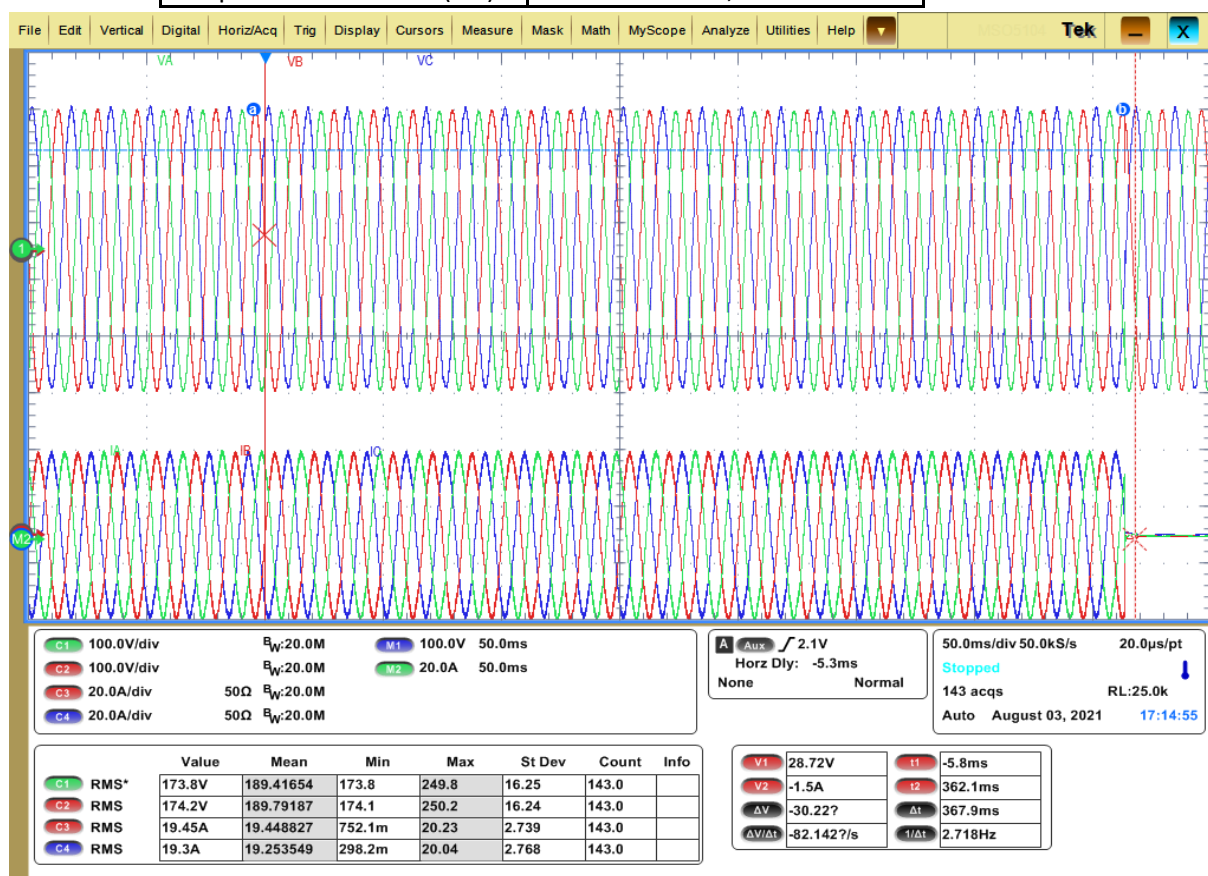


RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

17 de 45

| Ensaio de desconexão por subtensão |        |
|------------------------------------|--------|
| Tensão Inicial F-N (V)             | 189,19 |
| Tensão Final F-N (V)               | 171,99 |
| Tempo de Desconexão (ms)           | 351,23 |



\*Fase A (Vermelha), Fase B (Azul), Fase C (Verde), Trigger de transitório (Cursor a).

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

18 de 45

| Item | Prescrição                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Conf | Observação |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------|
| 7    | <b>Sobre/sub frequência</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | ---  | ---        |
|      | Quando a frequência da rede assumir valores abaixo de 57,5 Hz, o sistema fotovoltaico deve cessar de fornecer energia à rede elétrica em até 0,2 s. O sistema somente deve voltar a fornecer energia à rede quando a frequência retornar para 58,9 Hz, respeitando o período de 20 s a 300 s.                                     | C    | ---        |
|      | Quando a frequência da rede ultrapassar 60,5 Hz e permanecer abaixo de 62 Hz, o sistema fotovoltaico deve reduzir a potência ativa injetada na rede segundo a equação: $\Delta P = [f_{rede} - (f_{nominal} + 0,5)] * R$                                                                                                          | C    | ---        |
|      | Quando a frequência da rede assumir valores acima de 62,0 Hz, o sistema fotovoltaico deve cessar de fornecer energia à rede elétrica em até 0,2 s. O sistema somente deve voltar a fornecer energia à rede quando a frequência retornar para 60,1 Hz, respeitando o procedimento adotado no ensaio de controle de potência ativa. | C    | ---        |



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

19 de 45

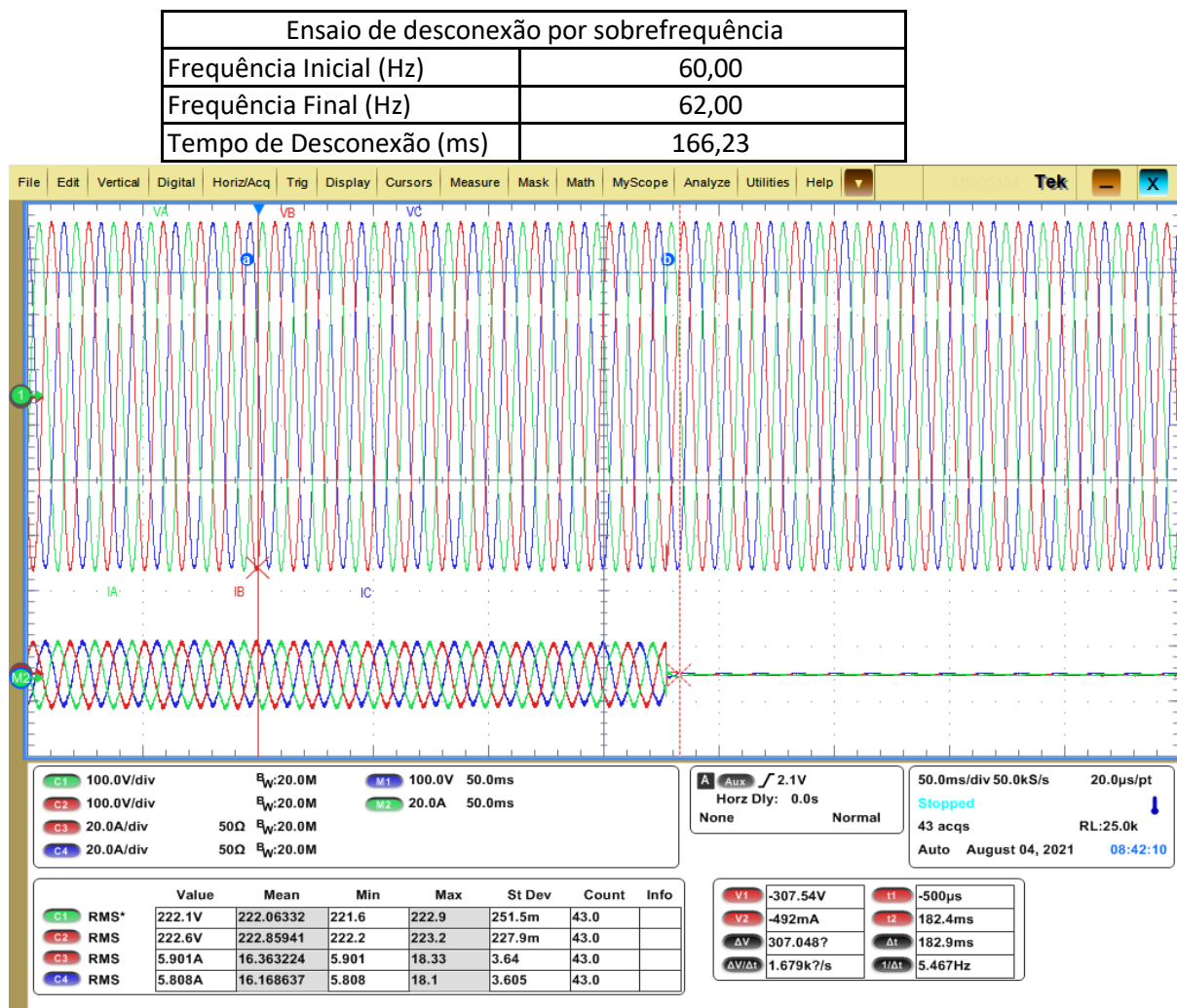
| Ensaio de sobrefrequência |                 |        |        |                       |        |        |                              |
|---------------------------|-----------------|--------|--------|-----------------------|--------|--------|------------------------------|
| Medição                   | Frequência (Hz) |        |        | Potência de saída (W) |        |        | Potência de saída total (kW) |
|                           | Fase A          | Fase B | Fase C | Fase A                | Fase B | Fase C |                              |
| 1º                        | 60,1            | 60,1   | 60,1   | 4014                  | 39901  | 3965   | 47,88                        |
| 2º                        | 60,2            | 60,2   | 60,2   | 4014                  | 3990   | 3966   | 11,97                        |
| 3º                        | 60,3            | 60,3   | 60,3   | 4016                  | 3989   | 3964   | 11,97                        |
| 4º                        | 60,4            | 60,4   | 60,4   | 4015                  | 3990   | 3966   | 11,97                        |
| 5º                        | 60,5            | 60,5   | 60,5   | 4014                  | 3990   | 3966   | 11,97                        |
| 6º                        | 60,6            | 60,6   | 60,6   | 4015                  | 3990   | 3966   | 11,97                        |
| 7º                        | 60,7            | 60,7   | 60,7   | 4014                  | 3990   | 3966   | 11,97                        |
| 8º                        | 60,8            | 60,8   | 60,8   | 4015                  | 3991   | 3965   | 11,97                        |
| 9º                        | 60,9            | 60,9   | 60,9   | 4015                  | 3990   | 3966   | 11,97                        |
| 10º                       | 61,0            | 61,0   | 61,0   | 4015                  | 3991   | 3967   | 11,97                        |
| 11º                       | 61,1            | 61,1   | 61,1   | 4015                  | 3990   | 3966   | 11,97                        |
| 12º                       | 61,2            | 61,2   | 61,2   | 4014                  | 3991   | 3966   | 11,97                        |
| 13º                       | 61,3            | 61,3   | 61,3   | 2722                  | 2766   | 2689   | 8,18                         |
| 14º                       | 61,4            | 61,4   | 61,4   | 2562                  | 2546   | 2531   | 7,64                         |
| 15º                       | 61,5            | 61,5   | 61,5   | 2403                  | 2389   | 2374   | 7,17                         |
| 16º                       | 61,6            | 61,6   | 61,6   | 2242                  | 2228   | 2214   | 6,68                         |
| 17º                       | 61,7            | 61,7   | 61,7   | 2080                  | 2067   | 2054   | 11,97                        |
| 18º                       | 61,8            | 61,8   | 61,8   | 1918                  | 1907   | 1895   | 5,72                         |
| 19º                       | 61,9            | 61,9   | 61,9   | 1758                  | 1747   | 1736   | 5,24                         |
| 20º                       | 62,0            | 62,0   | 62,0   | 0                     | 0      | 0      | 0,00                         |
| 21º                       | 62,1            | 62,1   | 62,1   | 0                     | 0      | 0      | 0,00                         |
| 22º                       | 62,2            | 62,2   | 62,2   | 0                     | 0      | 0      | 0,00                         |
| 23º                       | 62,3            | 62,3   | 62,3   | 0                     | 0      | 0      | 0,00                         |
| 24º                       | 62,4            | 62,4   | 62,4   | 0                     | 0      | 0      | 0,00                         |
| 25º                       | 62,5            | 62,5   | 62,5   | 0                     | 0      | 0      | 0,00                         |



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

20 de 45



\*Fase A (Vermelha), Fase B (Azul), Fase C (Verde), Trigger de transitório (Cursor a).



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

21 de 45

| Ensaio de sobrefrequência |                 |        |        |                       |        |        |                              |
|---------------------------|-----------------|--------|--------|-----------------------|--------|--------|------------------------------|
| Medição                   | Frequência (Hz) |        |        | Potência de saída (W) |        |        | Potência de saída total (kW) |
|                           | Fase A          | Fase B | Fase C | Fase A                | Fase B | Fase C |                              |
| 1º                        | 59,90           | 59,90  | 60     | 4026                  | 4013   | 3977   | 12,02                        |
| 2º                        | 59,80           | 59,80  | 60     | 4026                  | 4013   | 3977   | 12,02                        |
| 3º                        | 59,70           | 59,70  | 60     | 4026                  | 4013   | 3977   | 12,02                        |
| 4º                        | 59,60           | 59,60  | 60     | 4025                  | 4012   | 3974   | 12,01                        |
| 5º                        | 59,50           | 59,50  | 60     | 4014                  | 4002   | 3966   | 11,98                        |
| 6º                        | 59,40           | 59,40  | 59     | 4024                  | 4012   | 3975   | 12,01                        |
| 7º                        | 59,30           | 59,30  | 59     | 4026                  | 4013   | 3977   | 12,02                        |
| 8º                        | 59,20           | 59,20  | 59     | 4026                  | 4014   | 3977   | 12,02                        |
| 9º                        | 59,10           | 59,10  | 59     | 4025                  | 4013   | 3977   | 12,02                        |
| 10º                       | 59,00           | 59,00  | 59     | 4014                  | 4002   | 3966   | 11,98                        |
| 11º                       | 59,00           | 59,00  | 59     | 4014                  | 4002   | 3966   | 11,98                        |
| 12º                       | 58,80           | 58,80  | 59     | 4014                  | 4002   | 3966   | 11,98                        |
| 13º                       | 58,70           | 58,70  | 59     | 4025                  | 4013   | 3977   | 12,02                        |
| 14º                       | 58,60           | 58,60  | 59     | 4025                  | 4013   | 3977   | 12,02                        |
| 15º                       | 58,50           | 58,50  | 59     | 4026                  | 4013   | 3976   | 12,02                        |
| 16º                       | 58,40           | 58,40  | 58     | 4023                  | 4012   | 3975   | 12,01                        |
| 17º                       | 58,30           | 58,30  | 58     | 4014                  | 4002   | 3966   | 11,98                        |
| 18º                       | 58,20           | 58,20  | 58     | 4026                  | 4013   | 3976   | 12,01                        |
| 19º                       | 58,10           | 58,10  | 58     | 4025                  | 4013   | 3976   | 12,01                        |
| 20º                       | 58,80           | 58,80  | 59     | 4014                  | 4002   | 3966   | 11,98                        |
| 21º                       | 57,90           | 57,90  | 58     | 4025                  | 4013   | 3976   | 12,01                        |
| 22º                       | 57,80           | 57,80  | 58     | 4014                  | 4002   | 3965   | 11,98                        |
| 23º                       | 57,70           | 57,70  | 58     | 4023                  | 4012   | 3974   | 12,01                        |
| 24º                       | 57,60           | 57,60  | 58     | 4013                  | 4004   | 3964   | 11,98                        |
| 25º                       | 57,50           | 57,50  | 58     | 4025                  | 4013   | 3975   | 12,01                        |
| 26º                       | 57,40           | 57,40  | 57     | 0                     | 0      | 0      | 0,00                         |
| 27º                       | 57,30           | 57,30  | 57     | 0                     | 0      | 0      | 0,00                         |
| 28º                       | 57,20           | 57,20  | 57     | 0                     | 0      | 0      | 0,00                         |
| 29º                       | 57,10           | 57,10  | 57     | 0                     | 0      | 0      | 0,00                         |
| 30º                       | 57,00           | 57,00  | 57     | 0                     | 0      | 0      | 0,00                         |



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

22 de 45

Ensaio de desconexão por subfrequência

|                          |        |
|--------------------------|--------|
| Frequência Inicial (Hz)  | 60,00  |
| Frequência Final (Hz)    | 57,40  |
| Tempo de Desconexão (ms) | 160,13 |



\*Fase A (Vermelha), Fase B (Azul), Fase C (Verde), Trigger de transitório (Cursor a).



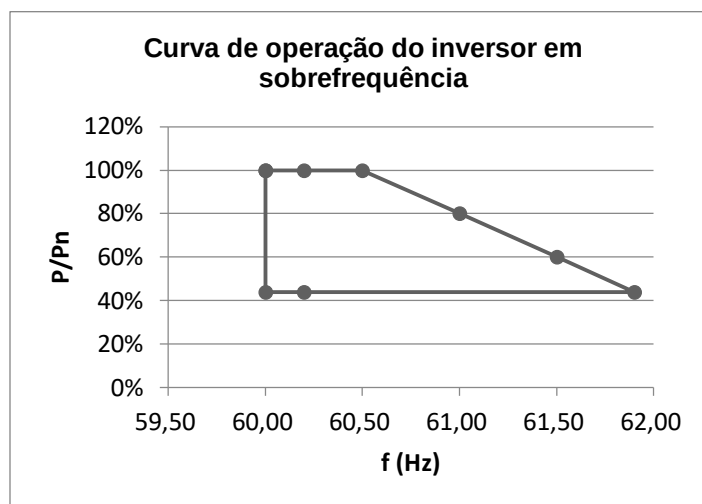
RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

23 de 45

| Item | Prescrição                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Conf | Observação |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------|
| 8    | Controle de potência ativa                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | ---  | ---        |
|      | Quando a frequência da rede ultrapassar 60,5 Hz e permanecer abaixo de 62 Hz, o sistema fotovoltaico deve reduzir a potência ativa injetada na rede segundo a equação: $\Delta P = [f_{rede} - (f_{nominal} + 0,5)] \cdot R$                                                                                                                                                                                                                                                                                        | C    | ---        |
|      | Se, após iniciado o processo de redução da potência ativa, a frequência da rede reduzir, o sistema fotovoltaico deve manter o menor valor de potência ativa atingido ( $PM - \Delta P_{Máximo}$ ) durante o aumento da frequência. O sistema fotovoltaico só deve aumentar a potência ativa injetada quando a frequência da rede retornar para a faixa $60 \text{ Hz} \pm 0,05 \text{ Hz}$ , por no mínimo 300 s. O gradiente de elevação da potência ativa injetada na rede deve ser de até 20 % de PM por minuto. | C    | 1          |

| Pontos de operação do inversor em sobrefrequência |        |          |
|---------------------------------------------------|--------|----------|
|                                                   | f (Hz) | P/Pn (%) |
| P1                                                | 60,00  | 100%     |
| P2                                                | 60,20  | 100%     |
| P3                                                | 60,50  | 100%     |
| P4                                                | 61,00  | 80%      |
| P5                                                | 61,50  | 60%      |
| P6                                                | 61,90  | 44%      |
| P7                                                | 60,20  | 44%      |
| P8                                                | 60,00  | 44%      |
| P1                                                | 60,00  | 100%     |



1 - 'Os maiores gradientes de elevação de potência atingiram: 22% (P Nominal) e 43% (0,5\*P Nominal)



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

24 de 45

| Ensaio a 100% da potência nominal do inversor |                 |        |        |                       |        |        |                              |
|-----------------------------------------------|-----------------|--------|--------|-----------------------|--------|--------|------------------------------|
| ---                                           | Frequência (Hz) |        |        | Potência de saída (W) |        |        | Potência de saída total (kW) |
|                                               | Fase A          | Fase B | Fase C | Fase A                | Fase B | Fase C |                              |
| P1                                            | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 4022                  | 4010   | 3973   | 12005                        |
| P2                                            | 60,20           | 60,20  | 60,20  | 4022                  | 4010   | 3972   | 12004                        |
| P3                                            | 60,50           | 60,50  | 60,50  | 4022                  | 3998   | 3972   | 11992                        |
| P4                                            | 61,00           | 61,00  | 61,00  | 3216                  | 3195   | 3174   | 9586                         |
| P5                                            | 61,00           | 61,00  | 61,00  | 3216                  | 3195   | 3174   | 9586                         |
| P6                                            | 61,90           | 61,90  | 61,90  | 1764                  | 1752   | 1742   | 5258                         |
| P7                                            | 60,20           | 60,20  | 60,20  | 1763                  | 1753   | 1741   | 5257                         |
| Tempo em P7 (s)                               | Frequência (Hz) |        |        | Potência de saída (W) |        |        | Potência de saída total (kW) |
|                                               | Fase A          | Fase B | Fase C | Fase A                | Fase B | Fase C |                              |
| 30                                            | 60,20           | 60,20  | 60     | 1763                  | 1753   | 1741   | 5257                         |
| 60                                            | 60,20           | 60,20  | 60     | 1764                  | 1753   | 1742   | 5258                         |
| 90                                            | 60,20           | 60,20  | 60     | 1764                  | 1752   | 1741   | 5257                         |
| 120                                           | 60,20           | 60,20  | 60     | 1764                  | 1753   | 1741   | 5258                         |
| 150                                           | 61,90           | 61,90  | 62     | 1764                  | 1752   | 1742   | 5258                         |
| 180                                           | 60,20           | 60,20  | 60     | 1764                  | 1752   | 1741   | 5257                         |
| 210                                           | 60,20           | 60,20  | 60     | 1763                  | 1753   | 1741   | 5257                         |
| 240                                           | 60,20           | 60,20  | 60     | 1764                  | 1753   | 1741   | 5258                         |
| 270                                           | 60,20           | 60,20  | 60     | 1763                  | 1752   | 1741   | 5257                         |
| 300                                           | 60,20           | 60,20  | 60     | 1763                  | 1753   | 1741   | 5257                         |
| 330                                           | 60,20           | 60,20  | 60     | 1763                  | 1752   | 1741   | 5257                         |



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

25 de 45

| Tempo em P8 (s) | Frequência (Hz) |        |        | Potência de saída (W) |        |        | Potência de saída total (kW) |
|-----------------|-----------------|--------|--------|-----------------------|--------|--------|------------------------------|
|                 | Fase A          | Fase B | Fase C | Fase A                | Fase B | Fase C |                              |
| 30              | 60,00           | 60,00  | 60     | 1763                  | 1752   | 1741   | 5257                         |
| 60              | 60,00           | 60,00  | 60     | 1763                  | 1752   | 1741   | 5256                         |
| 90              | 60,00           | 60,00  | 60     | 1763                  | 1752   | 1741   | 5257                         |
| 120             | 60,00           | 60,00  | 60     | 1763                  | 1753   | 1741   | 5257                         |
| 150             | 60,00           | 60,00  | 60     | 1763                  | 1753   | 1741   | 5257                         |
| 180             | 60,00           | 60,00  | 60     | 1763                  | 1752   | 1741   | 5257                         |
| 210             | 60,00           | 60,00  | 60     | 1763                  | 1753   | 1742   | 5258                         |
| 240             | 60,00           | 60,00  | 60     | 1763                  | 1753   | 1741   | 5257                         |
| 270             | 60,00           | 60,00  | 60     | 1763                  | 1753   | 1741   | 5257                         |
| 300             | 60,00           | 60,00  | 60     | 1763                  | 1753   | 1741   | 5257                         |
| 330             | 60,00           | 60,00  | 60     | 2131                  | 2119   | 2105   | 6355                         |
| 360             | 60,00           | 60,00  | 60     | 2534                  | 2518   | 2502   | 7555                         |
| 390             | 60,00           | 60,00  | 60     | 2936                  | 2919   | 2899   | 8754                         |
| 420             | 60,00           | 60,00  | 60     | 3274                  | 3253   | 3233   | 9760                         |
| 450             | 60,00           | 60,00  | 60     | 3741                  | 3721   | 3691   | 11153                        |
| 480             | 60,00           | 60,00  | 60     | 4023                  | 4011   | 3973   | 12007                        |
| 510             | 60,00           | 60,00  | 60     | 4023                  | 4010   | 3973   | 12006                        |
| 540             | 60,00           | 60,00  | 60     | 4022                  | 4011   | 3973   | 12006                        |
| 570             | 60,00           | 60,00  | 60     | 4023                  | 4010   | 3973   | 12006                        |
| 600             | 60,00           | 60,00  | 60     | 4022                  | 4010   | 3973   | 12005                        |
| 630             | 60,00           | 60,00  | 60     | 4022                  | 4010   | 3972   | 12005                        |
| 660             | 60,00           | 60,00  | 60     | 4022                  | 4010   | 3973   | 12005                        |
| 690             | 60,00           | 60,00  | 60     | 4022                  | 4010   | 3973   | 12004                        |
| 720             | 60,00           | 60,00  | 60     | 4022                  | 4009   | 3973   | 12004                        |



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

26 de 45

| Ensaio a 50% da Potência Nominal do Inversor |                 |        |        |                       |        |        |                              |
|----------------------------------------------|-----------------|--------|--------|-----------------------|--------|--------|------------------------------|
| ---                                          | Frequência (Hz) |        |        | Potência de saída (W) |        |        | Potência de saída total (kW) |
|                                              | Fase A          | Fase B | Fase C | Fase A                | Fase B | Fase C |                              |
| P1                                           | 60,00           | 60,00  | 60     | 2012                  | 2008   | 1988   | 6009                         |
| P2                                           | 60,20           | 60,20  | 60     | 2012                  | 2008   | 1989   | 6009                         |
| P3                                           | 60,50           | 60,50  | 61     | 2011                  | 1999   | 1986   | 5996                         |
| P4                                           | 61,00           | 61,00  | 61     | 1607                  | 1596   | 1586   | 4789                         |
| P5                                           | 61,50           | 61,50  | 62     | 1207                  | 1197   | 1192   | 3595                         |
| P6                                           | 61,90           | 61,90  | 62     | 883                   | 877    | 872    | 2632                         |
| P7                                           | 60,20           | 60,20  | 60     | 882                   | 877    | 871    | 2630                         |
| Tempo em P7 (s)                              | Frequência (Hz) |        |        | Potência de saída (W) |        |        | Potência de saída total (kW) |
|                                              | Fase A          | Fase B | Fase C | Fase A                | Fase B | Fase C |                              |
| 30                                           | 60,20           | 60,20  | 60     | 882                   | 877    | 871    | 2630                         |
| 60                                           | 60,20           | 60,20  | 60     | 882                   | 877    | 871    | 2630                         |
| 90                                           | 60,20           | 60,20  | 60     | 882                   | 876    | 871    | 2629                         |
| 120                                          | 60,20           | 60,20  | 60     | 881                   | 877    | 872    | 2629                         |
| 150                                          | 60,20           | 60,20  | 60     | 882                   | 877    | 871    | 2630                         |
| 180                                          | 60,20           | 60,20  | 60     | 882                   | 876    | 871    | 2629                         |
| 210                                          | 60,20           | 60,20  | 60     | 882                   | 877    | 871    | 2629                         |
| 240                                          | 60,20           | 60,20  | 60     | 882                   | 877    | 871    | 2630                         |
| 270                                          | 60,20           | 60,20  | 60     | 882                   | 877    | 871    | 2630                         |
| 300                                          | 60,20           | 60,20  | 60     | 882                   | 877    | 871    | 2630                         |
| 330                                          | 60,20           | 60,20  | 60     | 882                   | 876    | 871    | 2629                         |



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

27 de 45

| Tempo<br>em P8 (s) | Frequência (Hz) |        |        | Potência de saída (W) |        |        | Potência de saída<br>total (kW) |
|--------------------|-----------------|--------|--------|-----------------------|--------|--------|---------------------------------|
|                    | Fase A          | Fase B | Fase C | Fase A                | Fase B | Fase C |                                 |
| 30                 | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 882                   | 877    | 871    | 2629                            |
| 60                 | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 882                   | 877    | 871    | 2629                            |
| 90                 | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 881                   | 877    | 871    | 2629                            |
| 120                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 882                   | 877    | 871    | 2629                            |
| 150                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 882                   | 876    | 871    | 2629                            |
| 180                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 882                   | 877    | 871    | 2629                            |
| 210                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 882                   | 877    | 871    | 2629                            |
| 240                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 882                   | 877    | 871    | 2630                            |
| 270                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 882                   | 877    | 871    | 2630                            |
| 300                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 884                   | 879    | 874    | 2638                            |
| 330                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 1054                  | 1048   | 1941   | 4043                            |
| 360                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 1298                  | 1280   | 1272   | 3849                            |
| 390                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 1489                  | 1479   | 1470   | 4438                            |
| 420                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 1690                  | 1679   | 1669   | 5039                            |
| 450                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 1893                  | 1881   | 1869   | 5643                            |
| 480                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 2009                  | 2004   | 1984   | 5997                            |
| 510                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 2010                  | 2005   | 1986   | 6001                            |
| 540                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 2010                  | 2005   | 1986   | 6001                            |
| 570                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 2010                  | 2006   | 1986   | 6001                            |
| 600                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 1010                  | 2005   | 2986   | 6001                            |
| 630                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 2008                  | 2004   | 1984   | 5996                            |
| 660                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 2010                  | 2005   | 1986   | 6001                            |
| 690                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 2010                  | 2005   | 1986   | 6001                            |
| 720                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 2010                  | 2005   | 1986   | 6001                            |

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

28 de 45

| Item | Prescrição                                                                                                                                                                                                                                                           | Conf     | Observação |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------|
|      | <b>Reconexão</b>                                                                                                                                                                                                                                                     | ---      | ---        |
| 9    | Depois de uma “desconexão” devido a uma condição anormal da rede, o sistema fotovoltaico não pode retomar o fornecimento de energia à rede elétrica (reconexão) por um período de 20 s a 300 s após a retomada das condições normais de tensão e frequência da rede. | <b>C</b> | 1, 2       |

| Ensaio de reconexão por falha de sobretensão |        |
|----------------------------------------------|--------|
| Tensão Nominal da Rede F-F (V)               | 380,00 |
| Frequência Nominal da Rede (Hz)              | 60,00  |
| Sobretensão F-F (V)                          | 418,95 |
| Tempo de Reconexão (s)                       | 116,00 |
| Ensaio de reconexão por falha de subtensão   |        |
| Tensão Nominal da Rede F-F (V)               | 380,00 |
| Frequência Nominal da Rede (Hz)              | 60,00  |
| Subtensão F-F (V)                            | 296,16 |
| Tempo de Reconexão (s)                       | 118,00 |

1 - Considerado a partir do momento em que o inversor começa a injetar potência na rede CA.

2 - O distúrbio na tensão da rede CA é aplicado em todas as fases.

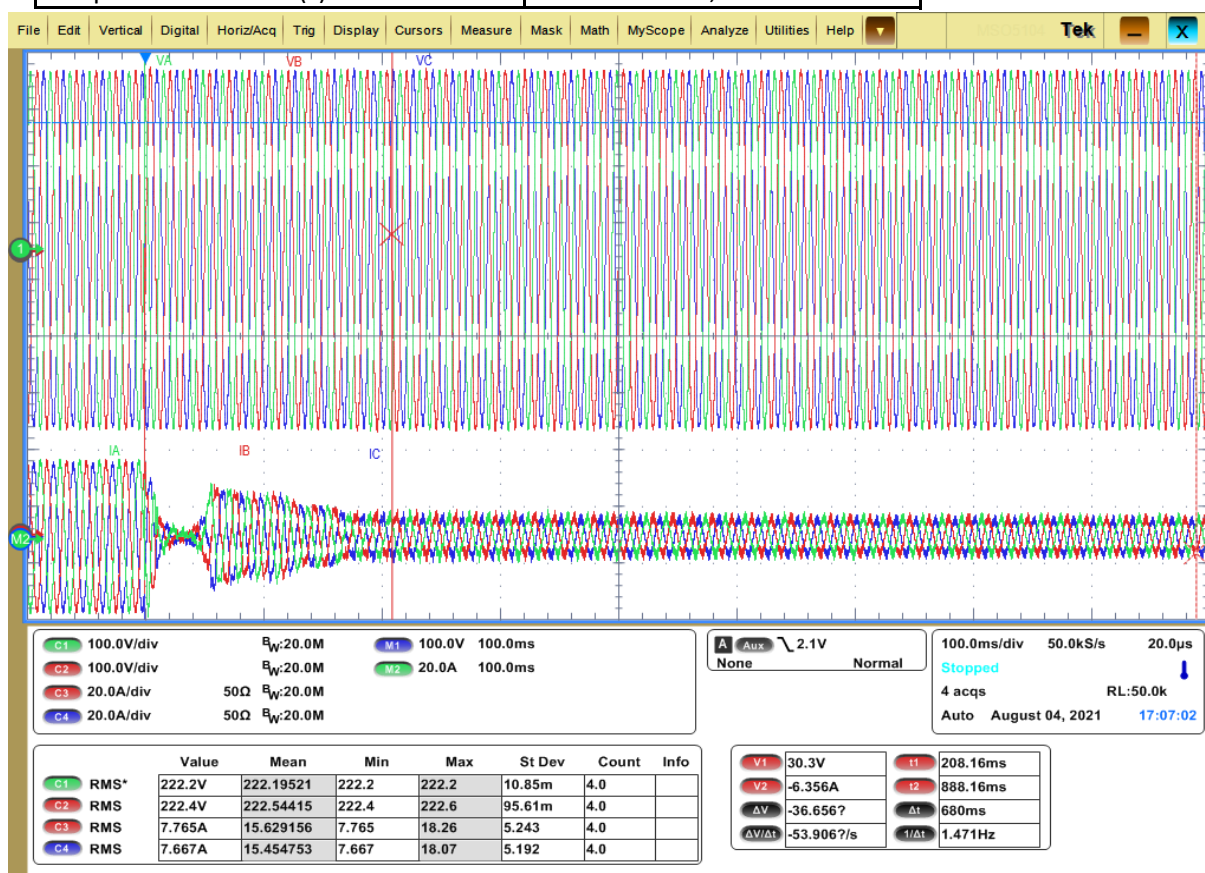
RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

29 de 45

| Item | Prescrição                                                                                                                             | Conf     | Observação |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------|
| 10   | <b>Religamento automático fora de fase</b>                                                                                             | ---      | ---        |
|      | O sistema fotovoltaico deve ser capaz de suportar religamento automático fora de fase na pior condição possível (em oposição de fase). | <b>C</b> | ---        |

| Ensaio de deslocamento de fase em 90° |        |        |        |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|
|                                       | Fase A | Fase B | Fase C |
| Corrente de Saída Antes do Passo (A)  | 18,11  | 18,05  | 17,94  |
| Corrente de Saída Após o Passo (A)    | 4,09   | 4,07   | 4,05   |
| Tempo de reconexão (s)                | 0,00   |        |        |



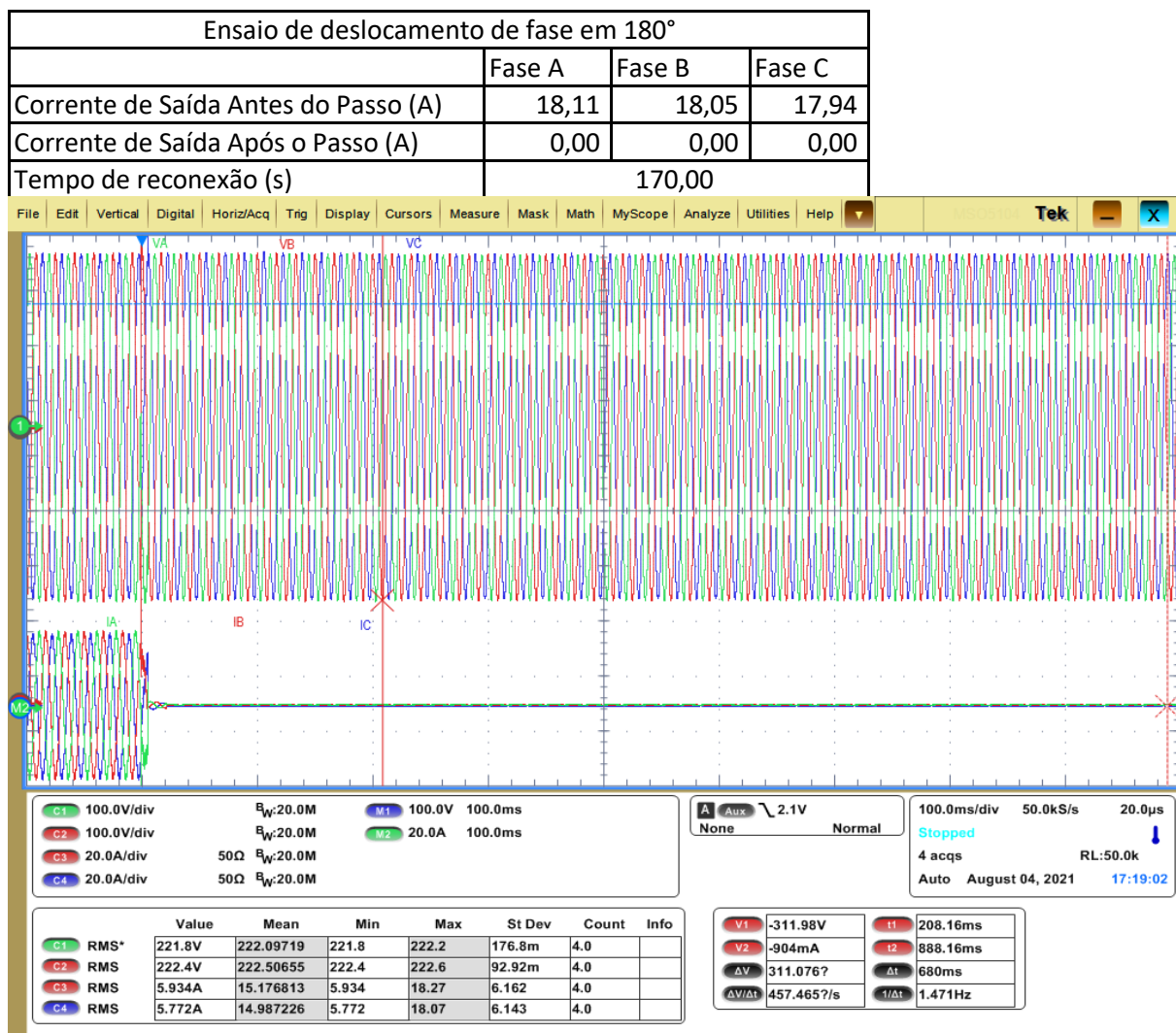
\*Fase A (Vermelha), Fase B (Azul), Fase C (Verde), Trigger de transitório (Cursor a).



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

30 de 45



\*Fase A (Vermelha), Fase B (Azul), Fase C (Verde), Trigger de transitório (Cursor a).



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

31 de 45

| Item | Prescrição                                                                                                                                                     | Conf | Observação |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------|
| 11   | <b>Modulação de potência ativa</b>                                                                                                                             | ---  | ---        |
|      | Os sistemas fotovoltaicos com potência nominal superior 6 kW deve ser capaz de limitar a potência ativa injetada na rede por meio de telecomandos (10 - 100%). | C    | ---        |

| Dados do Ensaio - Modulação de potência ativa |                 |              |        |        |       |
|-----------------------------------------------|-----------------|--------------|--------|--------|-------|
| Potência Nominal no PCC (W)                   |                 | 12000        |        |        |       |
| Tempo (min)                                   | Potência do ESE | Potência (W) |        |        |       |
|                                               |                 | Fase A       | Fase B | Fase C | Total |
| 1,00                                          | 100,00%         | 4073         | 4048   | 4022   | 12143 |
| 2,00                                          | 90,00%          | 3666         | 3643   | 3620   | 10929 |
| 3,00                                          | 80,00%          | 3258         | 3238   | 3218   | 9714  |
| 4,00                                          | 70,00%          | 2851         | 2833   | 2816   | 8500  |
| 5,00                                          | 60,00%          | 2443         | 2428   | 2413   | 7285  |
| 6,00                                          | 50,00%          | 2036         | 2033   | 2011   | 6080  |
| 7,00                                          | 40,00%          | 1628         | 1618   | 1608   | 4854  |
| 8,00                                          | 30,00%          | 1220         | 1213   | 1206   | 3640  |
| 9,00                                          | 20,00%          | 813          | 808    | 803    | 2424  |
| 10,00                                         | 10,00%          | 405          | 403    | 400    | 1208  |

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

32 de 45

| 12 | Modulação de potência reativa                                                                                                                            | --- | --- |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|
|    | Os sistemas fotovoltaicos com potência nominal superior a 6 kW deve ser capaz de regular a potência reativa injetada/demandada por meio de telecomandos. | N/C | 1   |

| Dados do Ensaio - Modulação de potência ativa |              |                          |                              |                   |
|-----------------------------------------------|--------------|--------------------------|------------------------------|-------------------|
| Potência Nominal no PCC (W)                   |              | 6000                     |                              |                   |
| Tempo (min)                                   | Preativo (%) | Potência Ativa Total (W) | Potência Reativa Total (VAr) | Fator de potência |
| 1,00                                          | 43,58%       | 5986                     | 5801                         | 0,7181            |
| 2,00                                          | 0,00%        | 6005                     | 333                          | 0,9985            |
| 3,00                                          | -43,58%      | 5973                     | 5905                         | 0,7111            |

1 - Ajuste realizado pelo software (FusionSolar) utilizando a função "Reactive power compensation (Q/S)"

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

33 de 45

|    |                                                                                                                  |     |     |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|
| 13 | <b>Desconexão/reconexão do sistema fotovoltaico da rede</b>                                                      | --- | --- |
|    | O sistema fotovoltaico deve ser capaz de desconectar-se/reconectar-se da rede elétrica por meio de telecomandos. | C   | --- |
|    | A desconexão/reconexão deve ser realizada em no máximo 1 min após o recebimento do telecomando.                  | N/C | --- |

Desconexão por telecomando - Operação normal

| Tempo (s) | Ucc1(V) | Icc1(A) | Pcc1(W) | Ucc2(V) | Icc2(A) | Pcc2(W) | PA(W) | PB(W) | PC(W) |
|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|
| 60,00     | 502,87  | 12,23   | 6133    | 502     | 12,26   | 6145    | 4019  | 4007  | 3970  |
| 120,00    | 496,94  | 12,37   | 6129    | 596     | 12,39   | 6139    | 4017  | 4005  | 3967  |

Desconexão por telecomando - Após comando de desconexão

| Tempo (min) | Ucc1(V) | Icc1(A) | Pcc1(W) | Ucc2(V) | Icc2(A) | Pcc2(W) | PA(W) | PB(W) | PC(W) |
|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|
| 30,00       | 582,80  | 0,00    | 2,27    | 582,85  | 0,04    | 4,18    | -0,60 | -0,66 | -0,12 |
| 60,00       | 582,73  | 0,04    | 21,21   | 582,85  | 0,03    | 4,19    | -0,61 | -0,66 | -0,12 |
| 90,00       | 582,71  | 0,04    | 21,79   | 582,84  | 0,03    | 4,03    | -0,61 | -0,66 | -0,13 |

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

34 de 45

| 14 | Requisitos de suportabilidade a subtensões decorrentes de faltas na rede                                               | --- | ---  |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|------|
|    | O inversor deve suportar uma falta trifásica simétrica de 95% da tensão nominal por 190ms sem se desconectar da rede.  | N/C | 1    |
|    | O inversor deve suportar uma falta trifásica simétrica de 45% da tensão nominal por 290ms sem se desconectar da rede.  | C   | ---  |
|    | O inversor deve suportar uma falta bifásica assimétrica de 95% por 190ms sem se desconectar da rede.                   | N/C | 1, 2 |
|    | O inversor deve suportar uma falta bifásica assimétrica de 45% da tensão nominal por 290ms sem se desconectar da rede. | C   | 2    |

1 - Acionando a função LVRT disponível no inversor suporta os distúrbios sem desconexão.

2 - Devido à limitação de canais nos osciloscópio, as curvas das tensões não são apresentadas corretamente nas falhas assimétricas .



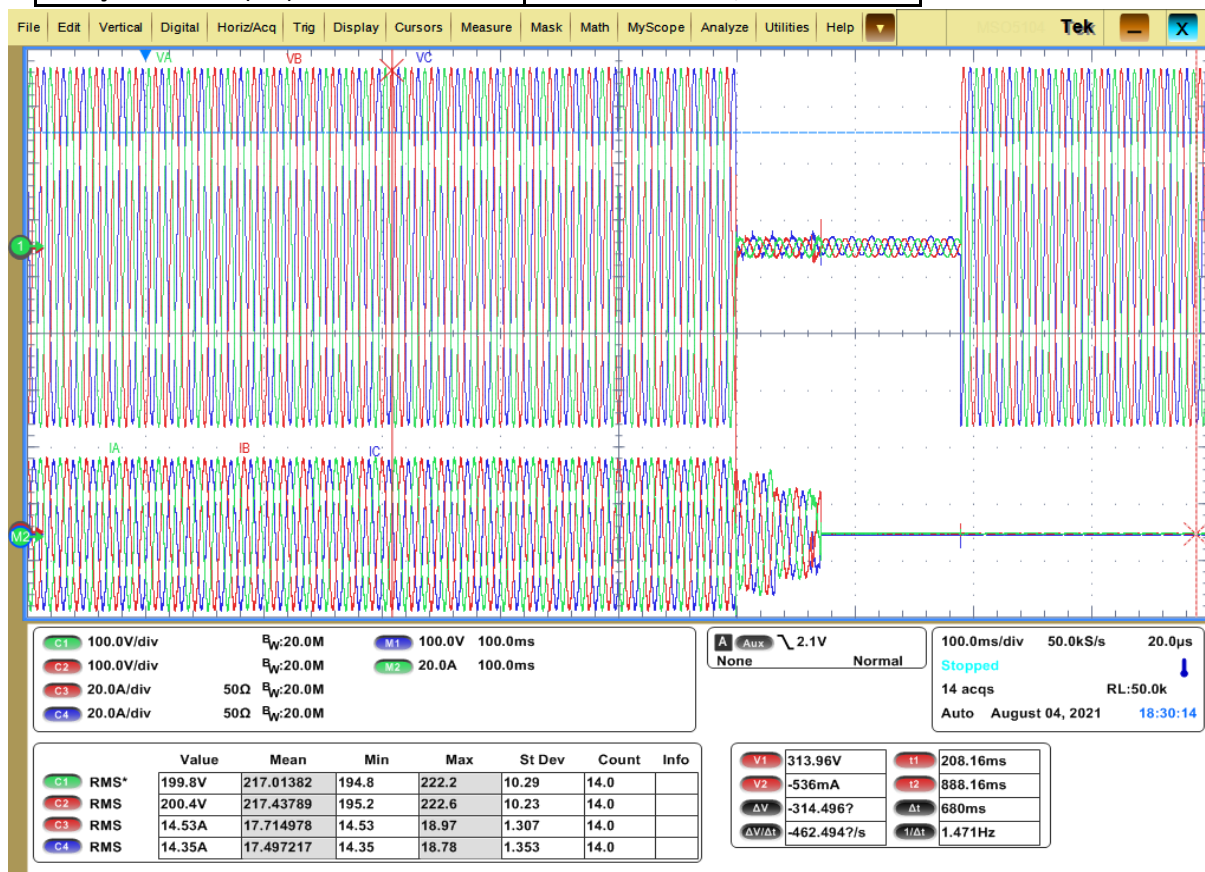
RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

35 de 45

Ensaio de FRT - Falta trifásica simétrica para 5% da tensão nominal

|                                        | Fase A | Fase B | Fase C |
|----------------------------------------|--------|--------|--------|
| Tensão durante a falta (F-N) (V)       | 11,95  | 11,93  | 11,97  |
| Corrente durante a falta (F-N) (A)     | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| Potência ativa durante a falta (W)     | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| Potência reativa durante a falta (VAr) | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| Duração da falta (ms)                  | 190,0  |        |        |



\* Fase A (Vermelha), Fase B (Azul), Fase C (Verde), Trigger de transitório (Cursor a).



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

36 de 45

Ensaio de FRT - Falta trifásica simétrica para 45% da tensão nominal

|                                        | Fase A | Fase B | Fase C |
|----------------------------------------|--------|--------|--------|
| Tensão durante a falta (F-N) (V)       | 57,73  | 57,94  | 57,80  |
| Corrente durante a falta (F-N) (A)     | 21,92  | 21,94  | 21,96  |
| Potência ativa durante a falta (W)     | 1215   | 1220   | 1219   |
| Potência reativa durante a falta (VAR) | 51     | 51     | 51     |
| Duração da falta (ms)                  | 290,00 |        |        |



\* Fase A (Vermelha), Fase B (Azul), Fase C (Verde), Trigger de transitório (Cursor a).



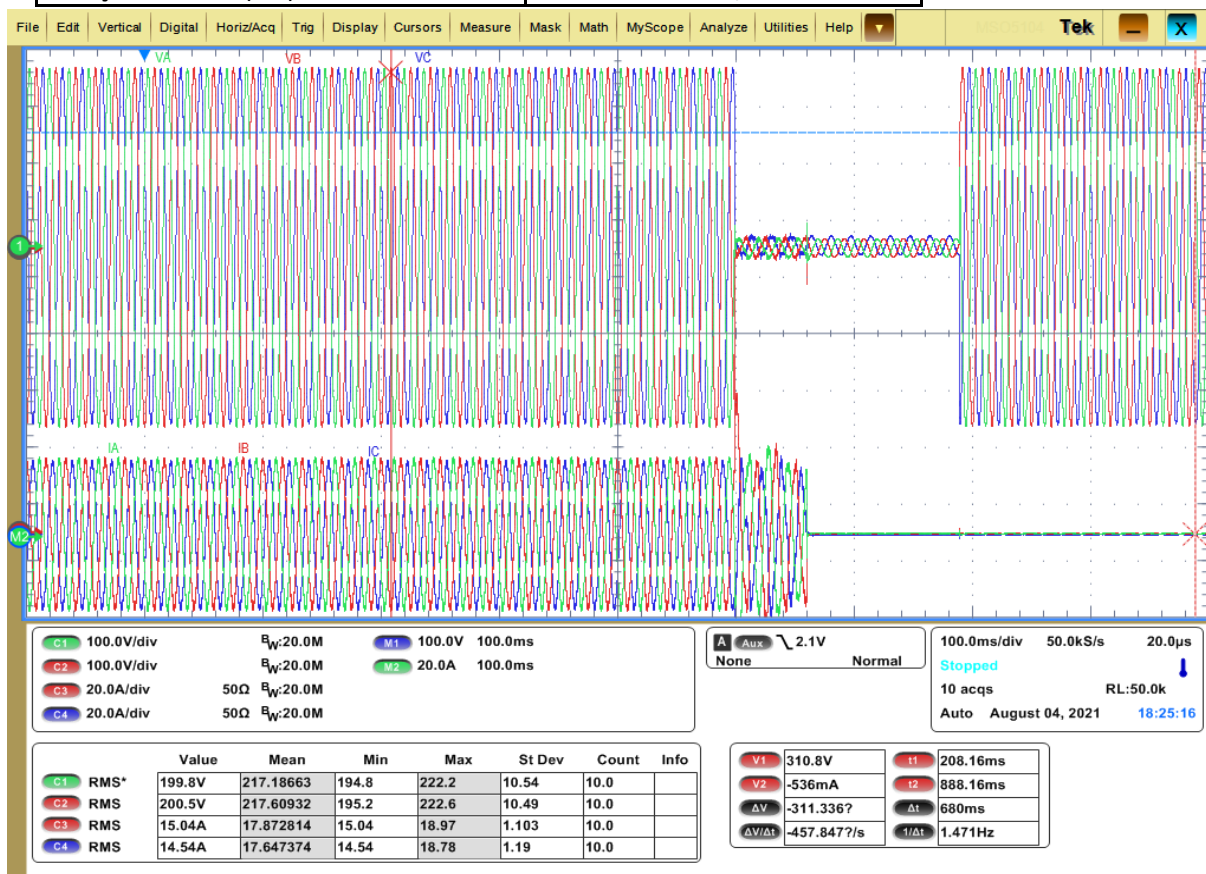
RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

37 de 45

Ensaio de FRT - Falta bifásica assimétrica para 5% da tensão nominal

|                                        | Fase A | Fase B | Fase C |
|----------------------------------------|--------|--------|--------|
| Tensão durante a falta (F-N) (V)       | 111,79 | 111,83 | 6,53   |
| Corrente durante a falta (F-N) (A)     | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| Potência ativa durante a falta (W)     | 0      | 0      | 0      |
| Potência reativa durante a falta (VAR) | 0      | 0      | 0      |
| Duração da falta (ms)                  | 190,0  |        |        |



\* Fase A (Vermelha), Fase B (Azul), Fase C (Verde), Trigger de transitório (Cursor a).



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

38 de 45

| Ensaio de FRT - Falta bifásica assimétrica para 45% da tensão nominal |        |        |        |
|-----------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|
|                                                                       | Fase A | Fase B | Fase C |
| Tensão durante a falta (F-N) (V)                                      | 115,73 | 115,76 | 57,83  |
| Corrente durante a falta (F-N) (A)                                    | 20,94  | 22,13  | 21,64  |
| Potência ativa durante a falta (W)                                    | 2326   | 2495   | 1201   |
| Potência reativa durante a falta (VAR)                                | 97     | 102    | 50     |
| Duração da falta (ms)                                                 | 290,0  |        |        |



\* Fase A (Vermelha), Fase B (Azul), Fase C (Verde), Trigger de transitório (Cursor a).

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

39 de 45

| Item | Prescrição                                                                                                                                                                                                                                       | Conf     | Observação |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------|
| 15   | <b>Proteção contra inversão de polaridade</b>                                                                                                                                                                                                    | ---      | ---        |
|      | O inversor deve permanecer 5 minutos conectado com a polaridade de entrada da rede CC invertida e conectado a rede elétrica, após esse intervalo de tempo deve ser reconectado com a polaridade correta e operar normalmente por mais 5 minutos. | <b>C</b> | ---        |

| Conexão c/ inversão de polaridade |            |         |         |         |         |         |                       |        |        |
|-----------------------------------|------------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------------------|--------|--------|
| Tempo (min)                       | Entrada CC |         |         |         |         |         | Potência de saída (W) |        |        |
|                                   | Ucc1(V)    | Icc1(A) | Pcc1(W) | Ucc2(V) | Icc2(A) | Pcc2(W) | Fase A                | Fase B | Fase C |
| 1,00                              | 1,83       | 12,62   | 23,15   | 1,72    | 12,62   | 21,70   | -3,32                 | -4,05  | -0,12  |
| 2,00                              | 1,83       | 12,62   | 23,10   | 1,72    | 12,62   | 21,71   | -3,23                 | -4,04  | -0,13  |
| 3,00                              | 1,83       | 12,62   | 23,15   | 1,72    | 12,36   | 21,25   | -3,00                 | -4,00  | 0,00   |
| 4,00                              | 1,83       | 12,62   | 23,09   | 1,72    | 12,36   | 21,26   | -3,00                 | -4,00  | 0,00   |
| 5,00                              | 1,84       | 12,62   | 23,17   | 1,72    | 12,36   | 21,25   | -3,00                 | -4,00  | 0,00   |
| Conexão s/ inversão de polaridade |            |         |         |         |         |         |                       |        |        |
| Tempo (min)                       | Entrada CC |         |         |         |         |         | Potência de saída (W) |        |        |
|                                   | Ucc1(V)    | Icc1(A) | Pcc1(W) | Ucc2(V) | Icc2(A) | Pcc2(W) | Fase A                | Fase B | Fase C |
| 1,00                              | 511,28     | 11,96   | 6101    | 511,31  | 12,01   | 6130    | 4015                  | 4002   | 3966   |
| 2,00                              | 510,39     | 11,98   | 6101    | 505,27  | 12,20   | 6154    | 4017                  | 4005   | 3968   |
| 3,00                              | 505,28     | 12,15   | 6122    | 511,31  | 12,01   | 6131    | 4017                  | 4005   | 3968   |
| 4,00                              | 511,28     | 11,94   | 6084    | 505,27  | 12,20   | 6155    | 4015                  | 4002   | 3966   |
| 5,00                              | 509,20     | 12,00   | 6094    | 505,29  | 12,21   | 6156    | 4015                  | 4003   | 3967   |

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

40 de 45

| Item | Prescrição                                                                                                                                                     | Conf | Observação |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------|
| 16   | <b>Sobrecarga</b>                                                                                                                                              | ---  | ---        |
|      | O inversor deve ser capaz de ser conectado a um sistema de corrente continua com capacidade para fornecer até 120% da sua potência nominal sem sofrer avarias. | C    | ---        |

| Conexão c/ sobrecarga |            |         |         |         |         |         |                       |        |        |
|-----------------------|------------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------------------|--------|--------|
| Tempo<br>(min)        | Entrada CC |         |         |         |         |         | Potência de saída (W) |        |        |
|                       | Ucc1(V)    | Icc1(A) | Pcc1(W) | Ucc2(V) | Icc2(A) | Pcc2(W) | Fase A                | Fase B | Fase C |
| 1,00                  | 537        | 12,76   | 6852    | 540     | 12,62   | 6805    | 4484                  | 4456   | 4428   |
| 2,00                  | 537        | 12,76   | 6854    | 540     | 12,62   | 6806    | 4484                  | 4456   | 4428   |
| 3,00                  | 537        | 12,77   | 6855    | 540     | 12,62   | 6806    | 4485                  | 4456   | 4429   |
| 4,00                  | 537        | 12,77   | 6855    | 540     | 12,62   | 6807    | 4485                  | 4457   | 4429   |
| 5,00                  | 537        | 12,77   | 6855    | 540     | 12,62   | 6807    | 4485                  | 4457   | 4429   |
| 6,00                  | 537        | 12,76   | 6854    | 540     | 12,62   | 6808    | 4485                  | 4457   | 4429   |
| 7,00                  | 537        | 12,77   | 6855    | 540     | 12,62   | 6809    | 4485                  | 4457   | 4430   |
| 8,00                  | 538        | 12,77   | 6856    | 540     | 12,62   | 6809    | 4486                  | 4458   | 4429   |
| 9,00                  | 537        | 12,76   | 6852    | 540     | 12,62   | 6805    | 4484                  | 4456   | 4428   |
| 10,00                 | 537        | 12,77   | 6858    | 540     | 12,63   | 6808    | 4486                  | 4458   | 4430   |
| 11,00                 | 537        | 12,77   | 6858    | 540     | 12,63   | 6809    | 4486                  | 4458   | 4430   |
| 12,00                 | 537        | 12,77   | 6859    | 540     | 12,63   | 6810    | 4486                  | 4459   | 4431   |
| 13,00                 | 537        | 12,77   | 6859    | 540     | 12,63   | 6810    | 4486                  | 4459   | 4431   |
| 14,00                 | 537        | 12,77   | 6859    | 540     | 12,63   | 6810    | 4487                  | 4458   | 4430   |
| 15,00                 | 537        | 12,77   | 6860    | 540     | 12,63   | 6811    | 4487                  | 4459   | 4431   |
| Conexão s/ sobrecarga |            |         |         |         |         |         |                       |        |        |
| Tempo<br>(min)        | Entrada CC |         |         |         |         |         | Potência de saída (W) |        |        |
|                       | Ucc1(V)    | Icc1(A) | Pcc1(W) | Ucc2(V) | Icc2(A) | Pcc2(W) | Fase A                | Fase B | Fase C |
| 1,00                  | 505        | 12,16   | 6125    | 505     | 12,22   | 6162    | 4025                  | 4013   | 3976   |
| 2,00                  | 505        | 12,16   | 6126    | 505     | 12,22   | 6162    | 4026                  | 4013   | 3976   |
| 3,00                  | 505        | 12,16   | 6126    | 505     | 12,23   | 6163    | 4026                  | 4013   | 3976   |
| 4,00                  | 505        | 12,16   | 6127    | 505     | 12,23   | 6163    | 4026                  | 4013   | 3986   |
| 5,00                  | 505        | 12,15   | 6126    | 511     | 12,04   | 6140    | 4019                  | 4006   | 3969   |

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

41 de 45

| Item | Prescrição                                                                                                 | Conf     | Observação |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------|
| 17   | <b>Anti-ilhamento</b>                                                                                      | ---      | ---        |
|      | O sistema fotovoltaico deve cessar de fornecer energia à rede em até 2 s após a perda da rede (ilhamento). | <b>C</b> | 1 e 2      |

| Dados do Inversor |          |        |
|-------------------|----------|--------|
|                   | Min      | Máx    |
| Umppt (V)         | 160,00   | 950,00 |
| Ucc max (V)       | 1000,00  |        |
| Pnom (W)          | 12000,00 |        |

| Condições de Ensaio |            |       |            |      |            |      |
|---------------------|------------|-------|------------|------|------------|------|
|                     | Condição A |       | Condição B |      | Condição C |      |
|                     | Min        | Máx   | Min        | Máx  | Min        | Máx  |
| Pese (W)            | 12000      | 12000 | 6000       | 7920 | 3000       | 3960 |
| Vcc (V)             | 871        | 950   | 500        | 611  | 160        | 239  |

1 - Máxima tensão Umppt(V) = 1000V, porém é maior do que  $0,8 \cdot U_{ccMax}$ , logo, pela norma ABNT NBR 62116, deve-se considerar Umppt Max(V) = 800V.

2 - Devido à recomendação de utilização de quantidade par de MPPT e limitação das fontes simuladoras de PV, foi utilizada tensão inferior à recomendada pela norma.



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

42 de 45

| Nº | Pese (%) | QI (%) | Pca (%) | Qca (%) | Vcc (V) | Pese (W) | Qf efetiva | Tempo de Desconexão (ms) |
|----|----------|--------|---------|---------|---------|----------|------------|--------------------------|
| 1  | 100%     | 100%   | 0%      | 0%      | 504,00  | 12051    | 1,00       | 282,40                   |
| 2  | 67%      | 67%    | 0%      | 0%      | 522,00  | 8026     | 1,00       | 303,40                   |
| 3  | 33%      | 33%    | 0%      | 0%      | 197,30  | 3999     | 1,00       | 344,00                   |
| 4  | 100%     | 100%   | -5%     | -5%     | 504,00  | 12043    | 1,00       | 206,30                   |
| 5  | 100%     | 100%   | -5%     | 0%      | 504,00  | 12029    | 1,00       | 239,80                   |
| 6  | 100%     | 100%   | -5%     | 5%      | 503,80  | 12030    | 1,00       | 380,30                   |
| 7  | 100%     | 100%   | 0%      | -5%     | 503,98  | 12045    | 1,00       | 217,40                   |
| 8  | 100%     | 100%   | 0%      | 5%      | 504,10  | 12029    | 1,00       | 319,50                   |
| 9  | 100%     | 100%   | 5%      | -5%     | 504,20  | 12046    | 1,00       | 290,90                   |
| 10 | 100%     | 100%   | 5%      | 0%      | 503,80  | 12045    | 1,00       | 299,10                   |
| 11 | 100%     | 100%   | 5%      | 5%      | 503,98  | 12043    | 1,00       | 341,50                   |
| 12 | 100%     | 100%   | 10%     | 0%      | 504,10  | 12045    | 1,00       | 351,70                   |
| 13 | 100%     | 100%   | 10%     | 10%     | 504,20  | 12031    | 1,00       | 287,50                   |
| 14 | 100%     | 100%   | 0%      | 10%     | 504,00  | 12045    | 1,00       | 279,30                   |
| 15 | 67%      | 67%    | 0%      | -5%     | 521,90  | 8049     | 1,01       | 213,40                   |
| 16 | 67%      | 67%    | 0%      | -4%     | 521,80  | 8054     | 1,01       | 272,50                   |
| 17 | 67%      | 67%    | 0%      | -3%     | 522,80  | 8049     | 1,01       | 264,90                   |
| 18 | 67%      | 67%    | 0%      | -2%     | 521,50  | 8037     | 1,00       | 264,90                   |
| 19 | 67%      | 67%    | 0%      | -1%     | 523,40  | 8054     | 1,01       | 269,20                   |
| 20 | 67%      | 67%    | 0%      | 1%      | 521,90  | 8015     | 1,00       | 295,70                   |
| 21 | 67%      | 67%    | 0%      | 2%      | 521,90  | 8047     | 1,01       | 380,10                   |
| 22 | 67%      | 67%    | 0%      | 3%      | 521,50  | 8048     | 1,01       | 416,60                   |
| 23 | 67%      | 67%    | 0%      | 4%      | 221,70  | 8011     | 1,00       | 503,40                   |
| 24 | 67%      | 67%    | 0%      | 5%      | 221,50  | 8049     | 1,01       | 427,50                   |
| 25 | 33%      | 33%    | 0%      | -5%     | 199,50  | 4006     | 1,00       | 275,60                   |
| 26 | 33%      | 33%    | 0%      | -4%     | 199,60  | 4007     | 1,00       | 278,00                   |
| 27 | 33%      | 33%    | 0%      | -3%     | 199,50  | 4007     | 1,00       | 277,10                   |
| 28 | 33%      | 33%    | 0%      | -2%     | 199,60  | 4008     | 1,00       | 260,20                   |
| 29 | 33%      | 33%    | 0%      | -1%     | 199,60  | 4007     | 1,00       | 293,50                   |
| 30 | 33%      | 33%    | 0%      | 1%      | 199,70  | 4008     | 1,00       | 341,80                   |
| 31 | 33%      | 33%    | 0%      | 2%      | 199,60  | 4008     | 1,00       | 338,30                   |
| 32 | 33%      | 33%    | 0%      | 3%      | 199,60  | 4008     | 1,00       | 520,20                   |
| 33 | 33%      | 33%    | 0%      | 4%      | 198,90  | 4008     | 1,00       | 577,40                   |
| 34 | 33%      | 33%    | 0%      | 5%      | 199,10  | 4008     | 1,00       | 420,90                   |
| 35 | ---      | ---    | ---     | ---     | ---     | ---      | ---        | ---                      |



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

43 de 45

| Instrumentos utilizados         |                                  |             |
|---------------------------------|----------------------------------|-------------|
| Descrição                       | Código do Instrumento            | Nº de Série |
| Analizador de Qualidade de Ener | Yokogawa WT3000                  | 91K100905   |
| Emulador de rede CA             | California Instruments MX45-3-pi | 1150A04474  |
| Emulador de PV                  | TerraSAS ETS 600/25              | 1214A00654  |
| Analizador de Qualidade de Ener | Yokogawa WT3000                  | 91L328543   |
| Sensor de Corrente              | Yokogawa 751523                  | 91K100903   |
| Cronometro                      | Tektronix MSO 5104               | C012576     |
| Osciloscópio                    | Tektronix MSO 5104               | C012576     |
| Emulador de carga RLC           | Hilkar 3x220V 60Hz 42,5kVA       | 150101      |
| Analizador de Qualidade de Ener | Yokogawa WT230                   | 27DC31192   |
| Analizador de Qualidade de Ener | Fluke 435-II                     | 22473119    |

Ilha Solteira(SP), 06 de Agosto de 2021



Prof. Dr. Carlos Alberto Canesin

LEP-UNESP



Prof. Dr. Guilherme de Azevedo e Melo

LEP-UNESP



|                          |          |
|--------------------------|----------|
| RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1 | Folha    |
|                          | 44 de 45 |

Anexo 1:

|  |
|--|
|  |
|--|



|                          |          |
|--------------------------|----------|
| RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1 | Folha    |
|                          | 45 de 45 |

Anexo 2:





UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP (FEIS)  
LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA DE POTÊNCIA (LEP)

Av. Prof. José Carlos Rossi, 1370  
CEP 15385-000 Ilha Solteira SP BRASIL [www.lep.dee.feis.unesp.br](http://www.lep.dee.feis.unesp.br)  
Fone: 0xx18 3743-1086  
e-mail: [canesin@dee.feis.unesp.br](mailto:canesin@dee.feis.unesp.br)



Folha

1 de 1

Total de páginas 45

- A reprodução deste documento não pode ser parcial e depende da aprovação por escrito do coordenador do LEP-FEIS/UNESP;
- Os resultados apresentados neste documento referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido ao(s) ensaio(s) nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer outros lotes;
- O LEP-FEIS/UNESP manterá o original deste documento arquivado por um período de cinco anos, no mínimo.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP (FEIS)  
LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA DE POTÊNCIA (LEP)

Av. Prof. José Carlos Rossi, 1370  
CEP 15385-000 Ilha Solteira SP BRASIL www.lep.dee.feis.unesp.br  
Fone: 0xx18 3743-1086  
e-mail: canesin@dee.feis.unesp.br



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

1 de 45

- 1- Laboratório Responsável:** Laboratório de Eletrônica de Potência - LEP/UNESP
- 2- Ordem de Serviço nº:** 0
- 3- Descrição do Corpo de Prova:** Nº: 1 - Inversor para sistemas conectados a rede. Marca: Huawei Modelo: SUN2000-17KTL-M0, Nº de série: 10940031795
- 4- Cliente:** UFSC  
**Endereço:** CAMPUS REITOR JOAO DAVID FERREIRA LIMA, 233229, TRINDADE  
**Cep:** 88040-970  
**Cidade/Estado:** FLORIANOPOLIS, SC
- 5- Interessado:** UFSC  
**Endereço:** CAMPUS REITOR JOAO DAVID FERREIRA LIMA, 233229, TRINDADE  
**Cep:** 88040-970  
**Cidade/Estado:** FLORIANOPOLIS, SC
- 6. Objetivo:** Serviço nº: 1/1 - Teste de Etiquetagem INMETRO - Inversores conectados a rede
- 7. Norma e/ou Procedimento:** Portarias INMETRO 004/2011 e 357/2014
- 8. Observações:**

**ENSAIOS REALIZADOS PARA 380V(F-F)/220V(F-N), PARA A SAÍDA EM CA DO INVERSOR /AMOSTRA**

- O Corpo de Prova foi recebido em: 01/06/2021
- Ensaio realizado no período de: 07/07/2021 a 00/01/1900
- Relatório de Ensaio em arquivo eletrônico:
  - É cópia integral e fiel do original impresso e assinado que estará à disposição no LEP-FEIS/UNESP.
  - Forma de apresentação: Arquivo Eletrônico (formato ADOBE® \*.pdf) assinado pelo coordenador do LEP-FEIS/UNESP.
  - Forma de envio: Forma eletrônica enviada para o endereço de email do contrato, ou, acesso ao documento através de download em link do LEP-FEIS/UNESP (com senha de acesso).
- O LEP-FEIS/UNESP mantém uma cópia impressa assinada fisicamente em seu sistema de arquivamento em papel.
- Legenda  
C: Conforme    N/C: Não Conforme    N/A: Não Aplicável

- A reprodução deste documento não pode ser parcial e depende da aprovação por escrito do coordenador do LEP-FEIS/UNESP;
- Os resultados apresentados neste documento referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido ao(s) ensaio(s) nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer outros lotes;
- O LEP-FEIS/UNESP manterá o original deste documento arquivado por um período de cinco anos, no mínimo.

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

2 de 45

| Item | Prescrição                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Conf     | Observação |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------|
|      | <b>Cintilação</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | ---      | ---        |
| 1    | A operação do sistemas fotovoltaico não pode causar cintilação acima dos limites mencionados nas seções pertinentes das 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/TS 61 61000-3-5 (para sistemas com corrente superior a 75 A). | <b>C</b> | ---        |

| Fase A |        |          |           |      |      |
|--------|--------|----------|-----------|------|------|
|        | dc (%) | dmax (%) | d(t) [ms] | Pst  | Plt  |
| 1      | 0,22   | 0,29     | 0,00      | 0,09 |      |
| 2      | 0,22   | 0,30     | 0,00      | 0,09 |      |
| 3      | 0,28   | 0,35     | 0,00      | 0,10 |      |
| 4      | 0,29   | 0,43     | 0,00      | 0,10 |      |
| 5      | 0,00   | 0,00     | 0,00      | 0,07 |      |
| 6      | 0,20   | 0,29     | 0,00      | 0,09 |      |
| 7      | 0,32   | 0,39     | 0,00      | 0,09 |      |
| 8      | 0,27   | 0,30     | 0,00      | 0,10 |      |
| 9      | 0,34   | 0,52     | 0,00      | 0,14 |      |
| 10     | 0,25   | 0,47     | 0,00      | 0,11 |      |
| 11     | 0,18   | 0,65     | 0,00      | 0,11 |      |
| 12     | 0,23   | 0,40     | 0,00      | 0,10 |      |
| Total  |        |          |           |      | 0,10 |

| Fase B |        |          |           |      |      |
|--------|--------|----------|-----------|------|------|
|        | dc (%) | dmax (%) | d(t) [ms] | Pst  | Plt  |
| 1      | 0,20   | 0,21     | 0,00      | 0,08 |      |
| 2      | 0,00   | 0,00     | 0,00      | 0,08 |      |
| 3      | 0,18   | 0,20     | 0,00      | 0,08 |      |
| 4      | 0,19   | 0,41     | 0,00      | 0,09 |      |
| 5      | 0,00   | 0,00     | 0,00      | 0,07 |      |
| 6      | 0,00   | 0,00     | 0,00      | 0,08 |      |
| 7      | 0,20   | 0,23     | 0,00      | 0,08 |      |
| 8      | 0,00   | 0,00     | 0,00      | 0,09 |      |
| 9      | 0,18   | 0,64     | 0,00      | 0,17 |      |
| 10     | 0,24   | 0,43     | 0,00      | 0,11 |      |
| 11     | 0,20   | 0,51     | 0,00      | 0,09 |      |
| 12     | 0,03   | 0,35     | 0,00      | 0,09 |      |
| Total  |        |          |           |      | 0,10 |



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

3 de 45

| Fase C |        |          |           |      |      |
|--------|--------|----------|-----------|------|------|
|        | dc (%) | dmax (%) | d(t) [ms] | Pst  | Plt  |
| 1      | 0,20   | 0,29     | 0,00      | 0,08 |      |
| 2      | 0,00   | 0,00     | 0,00      | 0,07 |      |
| 3      | 0,17   | 0,24     | 0,00      | 0,08 |      |
| 4      | 0,18   | 0,44     | 0,00      | 0,09 |      |
| 5      | 0,16   | 0,20     | 0,00      | 0,07 |      |
| 6      | 0,00   | 0,00     | 0,00      | 0,08 |      |
| 7      | 0,18   | 0,22     | 0,00      | 0,08 |      |
| 8      | 0,00   | 0,00     | 0,00      | 0,08 |      |
| 9      | 0,03   | 0,32     | 0,00      | 0,08 |      |
| 10     | 0,27   | 0,46     | 0,00      | 0,11 |      |
| 11     | 0,10   | 0,39     | 0,00      | 0,09 |      |
| 12     | 0,01   | 0,41     | 0,00      | 0,09 |      |
| Total  |        |          |           |      | 0,08 |

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

4 de 45

| Item | Prescrição                                                                                                                                                                | Conf | Observação |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------|
| 2    | <b>Proteção de injeção de componente c.c. na rede elétrica</b>                                                                                                            | ---  | ---        |
|      | O sistema fotovoltaico deve parar de fornecer energia à rede em 1 s se a injeção de componente c.c. na rede elétrica for superior a 0,5% da corrente nominal do inversor. | C    | ---        |
|      | O sistema fotovoltaico com transformador com separação galvânica em 60Hz não precisa ter proteções adicionais para atender a este requisito.                              | N/A  | ---        |

| Injeção de componente C.C. |        |        |        |
|----------------------------|--------|--------|--------|
| Ensaio a 33% da Potência   | Fase A | Fase B | Fase C |
| Pac (W)                    | 1892   | 1888   | 1883   |
| Iac[cc] (mA)               | -14,90 | 8,00   | 7,20   |
|                            |        |        |        |
| Ensaio a 66% da Potência   | Fase A | Fase B | Fase C |
| Pac (W)                    | 3786   | 3782   | 3769   |
| Iac[cc] (mA)               | -15,60 | 15,40  | -0,60  |
|                            |        |        |        |
| Ensaio a 100% da Potência  | Fase A | Fase B | Fase C |
| Pac (W)                    | 5672   | 5667   | 5646   |
| Iac[cc] (mA)               | -10,00 | 3,60   | 5,70   |

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

5 de 45

| Item | Prescrição                                                                                                                                                                                                             | Conf     | Observação |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------|
| 3    | <b>Harmônicos e distorção de forma de onda</b>                                                                                                                                                                         | ---      | ---        |
|      | A distorção harmônica total de corrente deve ser inferior a 5 % em relação à corrente fundamental na potência nominal do inversor. Cada harmônica individual deve estar limitada aos valores apresentados na Tabela 1. | <b>C</b> | ---        |

| Tabela 1 - Limite de distorção harmônica de corrente |                     |
|------------------------------------------------------|---------------------|
| Harmônicas ímpares                                   | Limite de distorção |
| 3º a 9º                                              | < 4,0%              |
| 11º a 15º                                            | < 2,0%              |
| 17º a 21º                                            | < 1,5%              |
| 23º a 33º                                            | < 0,6%              |
| Harmônicas pares                                     | Limite de distorção |
| 2º a 8º                                              | < 1,0%              |
| 10º a 32º                                            | < 0,5%              |

| Ensaio a 100% da Potência Nominal |          |        |        |        |                      |          |        |        |
|-----------------------------------|----------|--------|--------|--------|----------------------|----------|--------|--------|
|                                   |          | Fase A | Fase B | Fase C |                      | Fase A   | Fase B | Fase C |
| P(W):                             |          | 5672   | 5667   | 5646   | I <sub>thd</sub> (%) | 1,70%    | 1,67%  | 1,74%  |
| Ímpares                           |          |        |        |        | Pares                |          |        |        |
| Nº                                | Critério | Valor  |        |        | Nº                   | Critério | Valor  |        |
| 3                                 | < 4,0%   | 0,139% | 0,075% | 0,150% | 2                    | < 1,0%   | 0,661% | 0,454% |
| 5                                 |          | 0,338% | 0,339% | 0,330% | 4                    |          | 0,019% | 0,128% |
| 7                                 |          | 0,564% | 0,554% | 0,587% | 6                    |          | 0,049% | 0,064% |
| 9                                 |          | 0,064% | 0,036% | 0,067% | 8                    |          | 0,080% | 0,073% |
| 11                                | < 2,0%   | 0,662% | 0,698% | 0,729% | 10                   | < 0,5%   | 0,036% | 0,048% |
| 13                                |          | 0,660% | 0,748% | 0,680% | 12                   |          | 0,035% | 0,064% |
| 15                                |          | 0,000% | 0,000% | 0,000% | 14                   |          | 0,000% | 0,000% |
| 17                                | < 1,5%   | 0,610% | 0,595% | 0,672% | 16                   |          | 0,080% | 0,050% |
| 19                                |          | 0,462% | 0,514% | 0,449% | 18                   |          | 0,012% | 0,049% |
| 21                                |          | 0,067% | 0,029% | 0,037% | 20                   |          | 0,036% | 0,031% |
| 23                                | < 0,6%   | 0,353% | 0,338% | 0,381% | 22                   |          | 0,065% | 0,035% |
| 25                                |          | 0,279% | 0,296% | 0,256% | 24                   |          | 0,016% | 0,025% |
| 27                                |          | 0,050% | 0,025% | 0,027% | 26                   |          | 0,030% | 0,020% |
| 29                                |          | 0,228% | 0,209% | 0,248% | 28                   |          | 0,015% | 0,011% |
| 31                                |          | 0,238% | 0,234% | 0,205% | 30                   |          | 0,018% | 0,019% |
| 33                                |          | 0,039% | 0,017% | 0,029% | 32                   |          | 0,029% | 0,034% |
|                                   |          |        |        |        |                      |          | 0,044% | 0,022% |

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

6 de 45

| Ensaio a 75% da Potência Nominal |          |        |         |        |          |          |        |        |        |
|----------------------------------|----------|--------|---------|--------|----------|----------|--------|--------|--------|
|                                  |          | Fase A | Fase B  | Fase C |          |          | Fase A | Fase B | Fase C |
| P(W):                            |          | 4259   | 4254,55 | 4240   | lthd (%) |          | 1,91%  | 1,89%  | 1,95%  |
| Impares                          |          |        |         |        | Pares    |          |        |        |        |
| Nº                               | Critério | Valor  |         |        | Nº       | Critério | Valor  |        |        |
| 3                                | < 4,0%   | 0,206% | 0,035%  | 0,184% | 2        | < 1,0%   | 0,616% | 0,407% | 0,566% |
| 5                                |          | 0,341% | 0,352%  | 0,354% | 4        |          | 0,069% | 0,152% | 0,128% |
| 7                                |          | 0,694% | 0,712%  | 0,724% | 6        |          | 0,061% | 0,048% | 0,025% |
| 9                                |          | 0,067% | 3,700%  | 0,051% | 8        |          | 0,061% | 0,076% | 0,034% |
| 11                               | < 2,0%   | 0,797% | 0,848%  | 0,887% | 10       | < 0,5%   | 0,044% | 0,026% | 0,050% |
| 13                               |          | 0,864% | 0,907%  | 0,816% | 12       |          | 0,026% | 0,045% | 0,048% |
| 15                               |          | 0,056% | 0,042%  | 0,022% | 14       |          | 0,045% | 0,022% | 0,023% |
| 17                               | < 1,5%   | 0,726% | 0,640%  | 0,793% | 16       |          | 0,071% | 0,053% | 0,028% |
| 19                               |          | 0,492% | 0,582%  | 0,513% | 18       |          | 0,064% | 0,076% | 0,050% |
| 21                               |          | 0,056% | 0,034%  | 0,025% | 20       |          | 0,104% | 0,077% | 0,039% |
| 23                               | < 0,6%   | 0,381% | 0,357%  | 0,391% | 22       |          | 0,043% | 0,016% | 0,027% |
| 25                               |          | 0,289% | 0,266%  | 0,245% | 24       |          | 0,028% | 0,012% | 0,039% |
| 27                               |          | 0,039% | 0,023%  | 0,027% | 26       |          | 0,016% | 0,022% | 0,027% |
| 29                               |          | 0,206% | 0,152%  | 0,210% | 28       |          | 0,037% | 0,026% | 0,012% |
| 31                               |          | 0,183% | 0,206%  | 0,176% | 30       |          | 0,031% | 0,031% | 0,017% |
| 33                               |          | 0,043% | 0,025%  | 0,041% | 32       |          | 0,025% | 0,030% | 0,013% |

| Ensaio a 50% da Potência Nominal |          |        |        |        |          |          |        |        |        |
|----------------------------------|----------|--------|--------|--------|----------|----------|--------|--------|--------|
|                                  |          | Fase A | Fase B | Fase C |          |          | Fase A | Fase B | Fase C |
| P(W):                            |          | 2841   | 2838   | 2828   | lthd (%) |          | 2,21%  | 2,19%  | 2,23%  |
| Impares                          |          |        |        |        | Pares    |          |        |        |        |
| Nº                               | Critério | Valor  |        |        | Nº       | Critério | Valor  |        |        |
| 3                                | < 4,0%   | 0,255% | 0,086% | 0,233% | 2        | < 1,0%   | 0,750% | 0,419% | 0,671% |
| 5                                |          | 0,255% | 0,086% | 0,233% | 4        |          | 0,750% | 0,419% | 0,671% |
| 7                                |          | 1,032% | 1,069% | 1,065% | 6        |          | 0,020% | 0,063% | 0,079% |
| 9                                |          | 0,071% | 0,103% | 0,032% | 8        |          | 0,077% | 0,034% | 0,062% |
| 11                               | < 2,0%   | 1,006% | 1,017% | 1,059% | 10       | < 0,5%   | 0,070% | 0,041% | 0,094% |
| 13                               |          | 0,967% | 1,032% | 0,908% | 12       |          | 0,028% | 0,080% | 0,109% |
| 15                               |          | 0,042% | 0,072% | 0,045% | 14       |          | 0,103% | 0,083% | 0,065% |
| 17                               | < 1,5%   | 0,676% | 0,676% | 0,717% | 16       |          | 0,067% | 0,069% | 0,079% |
| 19                               |          | 0,461% | 0,472% | 0,410% | 18       |          | 0,052% | 0,013% | 0,064% |
| 21                               |          | 0,024% | 0,055% | 0,030% | 20       |          | 0,054% | 0,059% | 0,008% |
| 23                               | < 0,6%   | 1,032% | 1,069% | 1,065% | 22       |          | 0,020% | 0,063% | 0,079% |
| 25                               |          | 0,158% | 0,173% | 0,170% | 24       |          | 0,019% | 0,020% | 0,007% |
| 27                               |          | 0,038% | 0,030% | 0,059% | 26       |          | 0,013% | 0,009% | 0,021% |
| 29                               |          | 0,094% | 0,088% | 0,121% | 28       |          | 0,010% | 0,014% | 0,016% |
| 31                               |          | 0,106% | 0,136% | 0,120% | 30       |          | 0,016% | 0,013% | 0,026% |
| 33                               |          | 0,047% | 0,009% | 0,067% | 32       |          | 0,014% | 0,039% | 0,030% |



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

7 de 45

| Ensaio a 30% da Potência Nominal |          |        |        |        |          |          |        |        |        |
|----------------------------------|----------|--------|--------|--------|----------|----------|--------|--------|--------|
|                                  |          | Fase A | Fase B | Fase C |          |          | Fase A | Fase B | Fase C |
| P(W):                            |          | 1705   | 1702   | 1697   | lthd (%) |          | 2,71%  | 2,64%  | 2,76%  |
| Impares                          |          |        |        |        | Pares    |          |        |        |        |
| Nº                               | Critério | Valor  |        |        | Nº       | Critério | Valor  |        |        |
| 3                                | < 4,0%   | 0,452% | 0,063% | 0,346% | 2        | < 1,0%   | 0,966% | 0,491% | 0,751% |
| 5                                |          | 0,865% | 0,910% | 0,900% | 4        |          | 0,144% | 0,103% | 0,221% |
| 7                                |          | 1,602% | 1,561% | 1,672% | 6        |          | 0,072% | 0,121% | 0,124% |
| 9                                |          | 0,128% | 0,101% | 0,082% | 8        |          | 0,080% | 0,045% | 0,056% |
| 11                               | < 2,0%   | 0,912% | 0,956% | 1,005% | 10       | < 0,5%   | 0,117% | 0,091% | 0,072% |
| 13                               |          | 0,802% | 0,835% | 0,703% | 12       |          | 0,110% | 0,084% | 0,108% |
| 15                               |          | 0,171% | 0,093% | 0,079% | 14       |          | 0,148% | 0,088% | 0,064% |
| 17                               | < 1,5%   | 0,602% | 0,695% | 0,835% | 16       |          | 0,202% | 0,004% | 0,200% |
| 19                               |          | 0,705% | 0,788% | 0,772% | 18       |          | 0,077% | 0,143% | 0,099% |
| 21                               |          | 0,024% | 0,027% | 0,003% | 20       |          | 0,144% | 0,079% | 0,072% |
| 23                               |          | 0,315% | 0,257% | 0,295% | 22       |          | 0,097% | 0,134% | 0,081% |
| 25                               | < 0,6%   | 0,124% | 0,103% | 0,025% | 24       |          | 0,156% | 0,039% | 0,125% |
| 27                               |          | 0,108% | 0,056% | 0,096% | 26       |          | 0,083% | 0,102% | 0,024% |
| 29                               |          | 0,151% | 0,174% | 0,129% | 28       |          | 0,085% | 0,023% | 0,072% |
| 31                               |          | 0,072% | 0,042% | 0,058% | 30       |          | 0,041% | 0,064% | 0,025% |
| 33                               |          | 0,029% | 0,034% | 0,142% | 32       |          | 0,087% | 0,040% | 0,075% |

| Ensaio a 20% da Potência Nominal |          |        |        |        |          |          |        |        |        |
|----------------------------------|----------|--------|--------|--------|----------|----------|--------|--------|--------|
|                                  |          | Fase A | Fase B | Fase C |          |          | Fase A | Fase B | Fase C |
| P(W):                            |          | 1137   | 1137   | 1137   | lthd (%) |          | 3,4%   | 3,4%   | 3,4%   |
| Impares                          |          |        |        |        | Pares    |          |        |        |        |
| Nº                               | Critério | Valor  |        |        | Nº       | Critério | Valor  |        |        |
| 3                                | < 4,0%   | 0,567% | 0,242% | 0,471% | 2        | < 1,0%   | 1,272% | 0,659% | 1,106% |
| 5                                |          | 1,274% | 1,379% | 1,309% | 4        |          | 0,227% | 0,262% | 0,288% |
| 7                                |          | 1,698% | 1,796% | 1,730% | 6        |          | 0,118% | 0,130% | 0,168% |
| 9                                |          | 1,698% | 1,796% | 1,730% | 8        |          | 0,118% | 0,130% | 0,168% |
| 11                               | < 2,0%   | 1,026% | 1,039% | 1,101% | 10       | < 0,5%   | 0,118% | 0,183% | 0,290% |
| 13                               |          | 1,522% | 1,631% | 1,545% | 12       |          | 0,120% | 0,117% | 0,083% |
| 15                               |          | 0,102% | 0,047% | 0,136% | 14       |          | 0,129% | 0,069% | 0,087% |
| 17                               | < 1,5%   | 0,945% | 0,805% | 0,911% | 16       |          | 0,156% | 0,200% | 0,313% |
| 17                               |          | 0,229% | 0,143% | 0,108% | 16       |          | 0,171% | 0,091% | 0,260% |
| 19                               |          | 0,138% | 0,155% | 0,080% | 18       |          | 0,147% | 0,162% | 0,063% |
| 21                               |          | 0,424% | 0,603% | 0,455% | 20       |          | 0,039% | 0,125% | 0,129% |
| 23                               | < 0,6%   | 0,378% | 0,469% | 0,504% | 22       |          | 0,102% | 0,074% | 0,176% |
| 25                               |          | 1,026% | 1,039% | 1,101% | 24       |          | 0,118% | 0,183% | 0,290% |
| 27                               |          | 0,375% | 0,401% | 0,391% | 26       |          | 0,088% | 0,016% | 0,102% |
| 29                               |          | 0,259% | 0,314% | 0,345% | 28       |          | 0,064% | 0,030% | 0,045% |
| 31                               |          | 0,089% | 0,019% | 0,200% | 30       |          | 0,093% | 0,069% | 0,123% |



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

8 de 45

| Ensaio a 10% da Potência Nominal |          |        |        |        |                      |          |        |        |        |
|----------------------------------|----------|--------|--------|--------|----------------------|----------|--------|--------|--------|
|                                  |          | Fase A | Fase B | Fase C |                      |          | Fase A | Fase B | Fase C |
| P(W):                            |          | 569    | 567    | 566    | I <sub>thd</sub> (%) |          | 6,6%   | 6,2%   | 6,6%   |
| Impares                          |          |        |        |        | Pares                |          |        |        |        |
| Nº                               | Critério | Valor  |        |        | Nº                   | Critério | Valor  |        |        |
| 3                                | < 4,0%   | 1,063% | 0,438% | 0,913% | 2                    | < 1,0%   | 2,052% | 0,843% | 1,691% |
| 5                                |          | 1,358% | 1,365% | 1,513% | 4                    |          | 0,473% | 0,205% | 0,501% |
| 7                                |          | 2,279% | 2,566% | 2,295% | 6                    |          | 0,284% | 0,247% | 0,510% |
| 9                                |          | 0,461% | 0,329% | 0,199% | 8                    |          | 0,172% | 0,236% | 0,344% |
| 11                               | < 2,0%   | 3,793% | 3,496% | 3,646% | 10                   | < 0,5%   | 0,334% | 0,417% | 0,599% |
| 13                               |          | 3,038% | 2,544% | 2,835% | 12                   |          | 0,435% | 0,194% | 0,426% |
| 15                               |          | 0,244% | 0,279% | 0,467% | 14                   |          | 0,223% | 0,380% | 0,260% |
| 17                               | < 1,5%   | 1,943% | 2,448% | 2,259% | 16                   |          | 0,216% | 0,341% | 0,486% |
| 19                               |          | 1,298% | 1,187% | 1,271% | 18                   |          | 0,024% | 0,235% | 0,259% |
| 21                               |          | 0,182% | 0,250% | 0,150% | 20                   |          | 0,246% | 0,186% | 0,378% |
| 23                               | < 0,6%   | 0,744% | 0,931% | 0,959% | 22                   |          | 0,302% | 0,234% | 0,151% |
| 25                               |          | 0,379% | 0,467% | 0,475% | 24                   |          | 0,154% | 0,041% | 0,122% |
| 27                               |          | 0,045% | 0,033% | 0,084% | 26                   |          | 0,172% | 0,147% | 0,031% |
| 29                               |          | 0,285% | 0,363% | 0,333% | 28                   |          | 0,051% | 0,130% | 0,153% |
| 31                               |          | 0,278% | 0,268% | 0,356% | 30                   |          | 0,076% | 0,127% | 0,197% |
| 33                               |          | 0,066% | 0,048% | 0,106% | 32                   |          | 0,044% | 0,053% | 0,112% |

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

9 de 45

| Item | Prescrição                                                                                                                                                                                                                                                                  | Conf | Observação |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------|
| 4    | <b>Fator de potência</b>                                                                                                                                                                                                                                                    | ---  | ---        |
|      | Quando a potência ativa injetada na rede for superior a 20 % da potência nominal do inversor, o sistema fotovoltaico deve ser capaz de operar com fator de potência unitário ajustado em fábrica, com tolerância de trabalho na faixa de 0,98 indutivo até 0,98 capacitivo. | C    | ---        |
|      | Após uma mudança na potência ativa, o sistema fotovoltaico deve ser capaz de ajustar a potência reativa de saída automaticamente, para corresponder ao FP predefinido.                                                                                                      | C    | ---        |
|      | Qualquer ponto operacional resultante destas definições/curvas deve ser atingido em, no máximo, 10 s.                                                                                                                                                                       | C    | ---        |
|      | O inversor deve sair de fábrica com o FP igual a 1.                                                                                                                                                                                                                         | C    | ---        |

| Dados do Ensaio - Fator de Potência unitário |                    |        |        |                   |         |         |
|----------------------------------------------|--------------------|--------|--------|-------------------|---------|---------|
| Potência Nominal (W)                         |                    | 17000  |        |                   |         |         |
| Fator de Potência Fixo                       |                    |        |        |                   |         |         |
| UAN(V)                                       | 220                |        |        |                   |         |         |
| Potência Teórica (W)                         | Potência de ensaio |        |        | Fator de Potência |         |         |
|                                              | Fase A             | Fase B | Fase C | Fase A            | Fase B  | Fase C  |
| 17000                                        | 5672               | 5667   | 5646   | 0,99992           | 0,99991 | 0,99990 |
| 12750                                        | 4259               | 4255   | 4240   | 0,99986           | 0,99986 | 0,99984 |
| 8500                                         | 2841               | 2838   | 2828   | 0,99973           | 0,99973 | 0,99971 |
| 5100                                         | 1705               | 1702   | 1697   | 0,99931           | 0,99931 | 0,99931 |
| 3400                                         | 1137               | 1134   | 1132   | 0,99868           | 0,99872 | 0,99872 |
| 1700                                         | 569                | 567    | 566    | 0,99539           | 0,99551 | 0,99569 |

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

10 de 45

| Item | Prescrição                                                                                                                                                                                                                              | Conf | Observação |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------|
| 5    | <b>Injeção/demanda de potência reativa</b>                                                                                                                                                                                              | ---  | ---        |
|      | O inversor deve apresentar, como opcional, a possibilidade de operar de acordo com a curva apresentada na norma e com fator de potência ajustável de 0,90 indutivo até 0,90 capacitivo.                                                 | N/C  | ---        |
|      | A curva solicitada só deve ser habilitada quando a tensão da rede ultrapassar a tensão de ativação, valor ajustável entre 100% e 110% da tensão nominal da rede, com valor padrão em 104%                                               | N/C  | ---        |
|      | A curva solicitada só deve ser desabilitada quando a tensão da rede retroceder para um valor abaixo da tensão de desativação, valor ajustável entre 90% e 100% da tensão nominal da rede, com valor padrão em 100% ajustado em fábrica. | N/C  | ---        |
|      | O inversor deve apresentar, como opcional, a possibilidade de operar com potência reativa (Var) fixa de 48,43% da potência nominal do inversor (capacitivo e indutivo).                                                                 | C    | ---        |

| Dados do Ensaio - Fator de Potência curva de FP - Ativação |                    |        |        |                   |         |         |
|------------------------------------------------------------|--------------------|--------|--------|-------------------|---------|---------|
| Potência Nominal (W)                                       |                    | 17000  |        |                   |         |         |
| Fator de Potência com curva de FP                          |                    |        |        |                   |         |         |
| UAN(V)                                                     | 230                |        |        |                   |         |         |
| Potência Teórica (W)                                       | Potência de ensaio |        |        | Fator de Potência |         |         |
|                                                            | Fase A             | Fase B | Fase C | Fase A            | Fase B  | Fase C  |
| 17000                                                      | 5674               | 5666   | 5652   | 0,99948           | 0,99904 | 0,99931 |
| 12750                                                      | 4261               | 4253   | 4241   | 0,99915           | 0,99855 | 0,99891 |
| 8500                                                       | 2840               | 2834   | 2831   | 0,99807           | 0,99694 | 0,99800 |
| 5100                                                       | 1704               | 1697   | 1699   | 0,99618           | 0,99218 | 0,99451 |
| 3400                                                       | 1134               | 1135   | 1130   | 0,99121           | 0,98364 | 0,98802 |
| 1700                                                       | 574                | 568    | 566    | 0,97072           | 0,94129 | 0,95590 |



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

11 de 45

| Dados do Ensaio - Fator de Potência curva de FP - Desativação |                    |        |        |                   |         |         |
|---------------------------------------------------------------|--------------------|--------|--------|-------------------|---------|---------|
| Potência Nominal (W)                                          |                    |        | 17000  |                   |         |         |
| Fator de Potência com curva de FP                             |                    |        |        |                   |         |         |
| UAN(V)                                                        | 210                |        |        |                   |         |         |
| Potência Teórica (W)                                          | Potência de ensaio |        |        | Fator de Potência |         |         |
|                                                               | Fase A             | Fase B | Fase C | Fase A            | Fase B  | Fase C  |
| 17000                                                         | 5674               | 5671   | 5651   | 0,99937           | 0,99907 | 0,99938 |
| 12750                                                         | 4257               | 4254   | 4240   | 0,99926           | 0,99863 | 0,99912 |
| 8500                                                          | 2842               | 2835   | 2831   | 0,99870           | 0,99728 | 0,99837 |
| 5100                                                          | 1701               | 1698   | 1696   | 0,99724           | 0,99421 | 0,99642 |
| 3400                                                          | 1134               | 1135   | 1131   | 0,99441           | 0,98504 | 0,99150 |
| 1700                                                          | 571                | 566    | 568    | 0,98268           | 0,94210 | 0,97156 |

| Dados do Ensaio - Demanda Reativa - Operação Capacitiva |                    |        |        |                        |        |        |
|---------------------------------------------------------|--------------------|--------|--------|------------------------|--------|--------|
| Potência Nominal (W)                                    |                    |        | 17000  |                        |        |        |
| Fator de Potência Fixo                                  |                    |        |        |                        |        |        |
| UAN(V)                                                  | 220                |        |        |                        |        |        |
| Potência Teórica (W)                                    | Potência ativa (W) |        |        | Potência reativa (VAr) |        |        |
|                                                         | Fase A             | Fase B | Fase C | Fase A                 | Fase B | Fase C |
| 17000                                                   | 5637               | 5624   | 5614   | 2671                   | 2678   | 2655   |
| 12750                                                   | 4254               | 4249   | 4240   | 1999                   | 2013   | 1992   |
| 8500                                                    | 2841               | 2834   | 2829   | 1314                   | 1331   | 1313   |
| 5100                                                    | 1701               | 1698   | 1700   | 772                    | 803    | 778    |
| 3400                                                    | 1135               | 1132   | 1134   | 502                    | 540    | 509    |
| 1700                                                    | 569                | 568    | 566    | 231                    | 309    | 256    |

| Dados do Ensaio - Demanda Reativa - Operação Indutiva |                    |        |        |                        |        |        |
|-------------------------------------------------------|--------------------|--------|--------|------------------------|--------|--------|
| Potência Nominal (W)                                  |                    |        | 17000  |                        |        |        |
| Fator de Potência Fixo                                |                    |        |        |                        |        |        |
| UAN(V)                                                | 220                |        |        |                        |        |        |
| Potência Teórica (W)                                  | Potência ativa (W) |        |        | Potência reativa (VAr) |        |        |
|                                                       | Fase A             | Fase B | Fase C | Fase A                 | Fase B | Fase C |
| 17000                                                 | 5645               | 5629   | 5609   | 2808                   | 2818   | 2809   |
| 12750                                                 | 4257               | 4253   | 4240   | 2142                   | 2148   | 2137   |
| 8500                                                  | 2842               | 2838   | 2828   | 1446                   | 1464   | 1449   |
| 5100                                                  | 1703               | 1701   | 1703   | 892                    | 910    | 898    |
| 3400                                                  | 1136               | 1130   | 1129   | 611                    | 645    | 620    |
| 1700                                                  | 570                | 566    | 567    | 346                    | 392    | 355    |



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

12 de 45

| Dados do Ensaio - Demanda Reativa - Operação Resistiva |                    |        |        |                        |        |        |
|--------------------------------------------------------|--------------------|--------|--------|------------------------|--------|--------|
| Potência Nominal (W)                                   |                    |        | 17000  |                        |        |        |
| Fator de Potência Fixo                                 |                    |        |        |                        |        |        |
| UAN(V)                                                 | 220                |        |        |                        |        |        |
| Potência Teórica (W)                                   | Potência ativa (W) |        |        | Potência reativa (VAr) |        |        |
|                                                        | Fase A             | Fase B | Fase C | Fase A                 | Fase B | Fase C |
| 17000                                                  | 5678               | 5669   | 5653   | 165                    | 243    | 184    |
| 12750                                                  | 4261               | 4252   | 4242   | 131                    | 158    | 181    |
| 8500                                                   | 2841               | 2837   | 2833   | 123                    | 219    | 150    |
| 5100                                                   | 1699               | 1703   | 1699   | 110                    | 203    | 137    |
| 3400                                                   | 1140               | 1134   | 1133   | 94                     | 208    | 136    |
| 1700                                                   | 570                | 566    | 568    | 87                     | 211    | 135    |



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

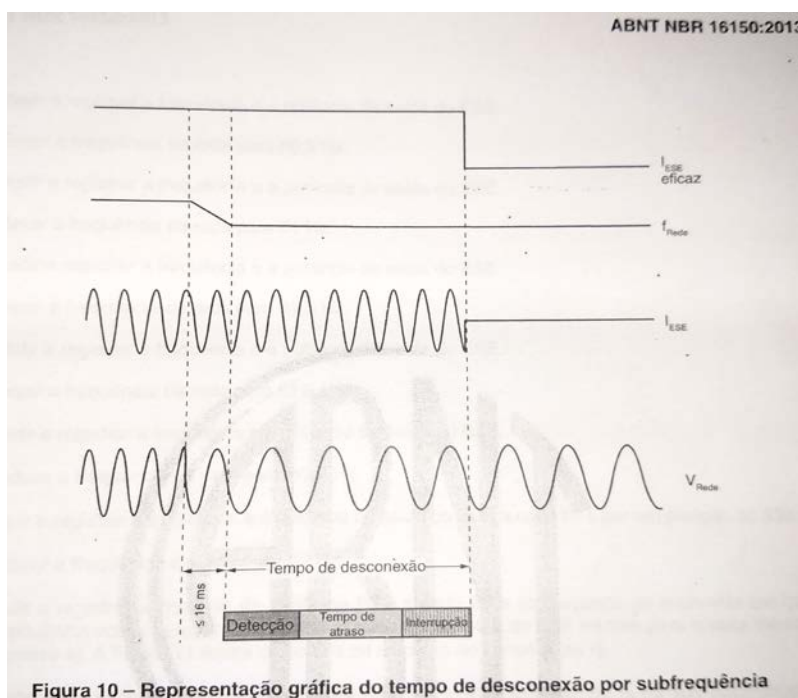
Folha

13 de 45

| Item | Prescrição                                                                                                                                                                                             | Conf | Observação |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------|
|      | <b>Sobre/sub tensão</b>                                                                                                                                                                                | ---  | ---        |
| 6    | Quando a tensão da rede sai da faixa de operação especificada na tabela, o sistema fotovoltaico deve parar de fornecer energia à rede. Isto se aplica a qualquer sistema, seja ele mono ou polifásico. | C    | ---        |

| Tabela 2 - Resposta às condições anormais de tensão |                              |
|-----------------------------------------------------|------------------------------|
| Tensão no ponto comum de conexão (% em relação à    | Tempo máximo de desligamento |
| $V < 80\%$                                          | 0,4 s                        |
| $80\% \leq V \leq 110\%$                            | Regime de operação normal    |
| $110\% < V$                                         | 0,2 s                        |

1 - As medições desconsideram o primeiro ciclo da perturbação de acordo com a norma ABNT NBR 16150:2013.





RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

14 de 45

| Ensaio de sobretensão |                            |        |        |
|-----------------------|----------------------------|--------|--------|
| Medição               | Tensão no Ponto de Conexão |        |        |
|                       | Fase A                     | Fase B | Fase C |
| 1º                    | 0,00                       | 0,00   | 0,00   |
| 2º                    | 0,00                       | 0,00   | 0,00   |
| 3º                    | 0,00                       | 0,00   | 0,00   |
| 4º                    | 222,17                     | 222,23 | 221,45 |
| 5º                    | 223,06                     | 223,15 | 222,35 |
| 6º                    | 223,97                     | 224,04 | 223,25 |
| 7º                    | 224,88                     | 224,95 | 224,15 |
| 8º                    | 225,78                     | 225,86 | 225,05 |
| 9º                    | 226,67                     | 226,77 | 225,96 |
| 10º                   | 227,59                     | 227,67 | 226,86 |
| 11º                   | 228,49                     | 228,57 | 227,76 |
| 12º                   | 229,39                     | 229,48 | 228,66 |
| 13º                   | 230,31                     | 230,36 | 229,57 |
| 14º                   | 231,20                     | 231,28 | 230,46 |
| 15º                   | 232,10                     | 232,20 | 231,36 |
| 16º                   | 233,01                     | 233,10 | 232,26 |
| 17º                   | 233,91                     | 234,00 | 233,17 |
| 18º                   | 234,83                     | 234,90 | 234,05 |
| 19º                   | 235,72                     | 235,82 | 234,97 |
| 20º                   | 236,64                     | 236,70 | 235,88 |
| 21º                   | 237,54                     | 237,61 | 236,77 |
| 22º                   | 238,43                     | 238,54 | 237,67 |
| 23º                   | 239,36                     | 239,42 | 238,57 |
| 24º                   | 240,24                     | 240,34 | 239,47 |
| 25º                   | 241,14                     | 241,23 | 240,39 |
| 26º                   | 242,04                     | 242,13 | 241,29 |
| 27º                   | 0,00                       | 0,00   | 0,00   |
| 28º                   | 0,00                       | 0,00   | 0,00   |
| 29º                   | 0,00                       | 0,00   | 0,00   |
| 30º                   | 0,00                       | 0,00   | 0,00   |



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

15 de 45



\* Fase A (Vermelha), Fase B (Azul), Fase C (Verde), Trigger de transitório (Cursor a).

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

16 de 45

| Ensaio de subtenção |                            |        |        |
|---------------------|----------------------------|--------|--------|
| Medição             | Tensão no Ponto de Conexão |        |        |
|                     | Fase A                     | Fase B | Fase C |
| 1º                  | 222,16                     | 222,24 | 221,46 |
| 2º                  | 195,69                     | 195,70 | 195,02 |
| 3º                  | 194,78                     | 194,81 | 194,10 |
| 4º                  | 193,44                     | 193,51 | 192,78 |
| 5º                  | 192,93                     | 193,03 | 192,31 |
| 6º                  | 192,03                     | 192,11 | 191,43 |
| 7º                  | 191,18                     | 191,18 | 190,51 |
| 8º                  | 190,26                     | 190,27 | 189,62 |
| 9º                  | 189,33                     | 189,42 | 188,70 |
| 10º                 | 188,46                     | 188,49 | 187,79 |
| 11º                 | 187,53                     | 187,61 | 186,89 |
| 12º                 | 186,62                     | 186,71 | 186,00 |
| 13º                 | 185,74                     | 185,80 | 185,09 |
| 14º                 | 184,85                     | 184,86 | 184,21 |
| 15º                 | 183,94                     | 183,95 | 183,33 |
| 16º                 | 183,04                     | 183,05 | 182,41 |
| 17º                 | 182,14                     | 182,16 | 181,50 |
| 18º                 | 181,22                     | 181,28 | 180,59 |
| 19º                 | 180,31                     | 180,38 | 179,70 |
| 20º                 | 179,78                     | 179,87 | 179,19 |
| 21º                 | 178,89                     | 178,97 | 178,32 |
| 22º                 | 0,00                       | 0,00   | 0,00   |
| 23º                 | 0,00                       | 0,00   | 0,00   |
| 24º                 | 0,00                       | 0,00   | 0,00   |
| 25º                 | 0,00                       | 0,00   | 0,00   |
| 26º                 | 0,00                       | 0,00   | 0,00   |
| 27º                 | 0,00                       | 0,00   | 0,00   |
| 28º                 | 0,00                       | 0,00   | 0,00   |
| 29º                 | 0,00                       | 0,00   | 0,00   |
| 30º                 | 0,00                       | 0,00   | 0,00   |

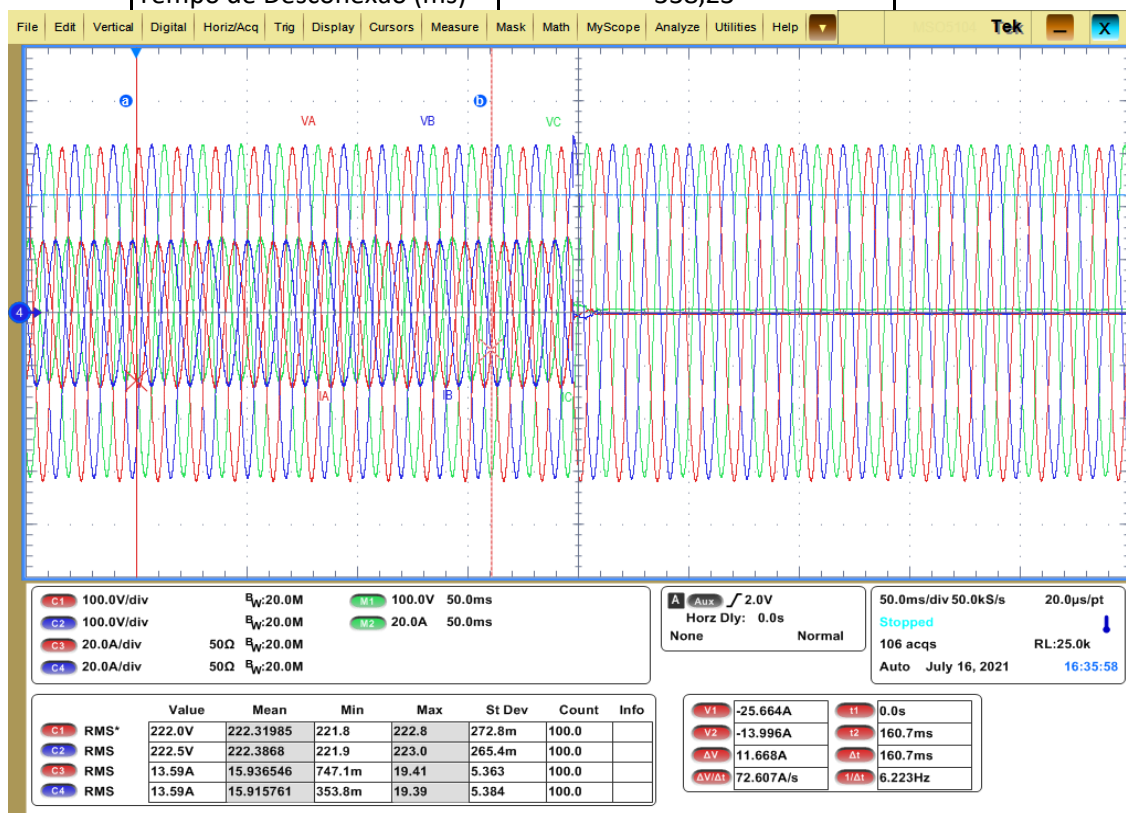


RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

17 de 45

| Ensaio de desconexão por subtenção |        |
|------------------------------------|--------|
| Tensão Inicial F-N (V)             | 195,63 |
| Tensão Final F-N (V)               | 177,84 |
| Tempo de Desconexão (ms)           | 338,23 |



Fase A (Vermelha), Fase B (Azul), Fase C (Verde), Trigger de transitório (Cursor a).

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

18 de 45

| Item | Prescrição                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Conf | Observação |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------|
| 7    | <b>Sobre/sub frequência</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | ---  | ---        |
|      | Quando a frequência da rede assumir valores abaixo de 57,5 Hz, o sistema fotovoltaico deve cessar de fornecer energia à rede elétrica em até 0,2 s. O sistema somente deve voltar a fornecer energia à rede quando a frequência retornar para 58,9 Hz, respeitando o período de 20 s a 300 s.                                     | N/C  | ---        |
|      | Quando a frequência da rede ultrapassar 60,5 Hz e permanecer abaixo de 62 Hz, o sistema fotovoltaico deve reduzir a potência ativa injetada na rede segundo a equação: $\Delta P = [f_{rede} - (f_{nominal} + 0,5)] * R$                                                                                                          | C    | ---        |
|      | Quando a frequência da rede assumir valores acima de 62,0 Hz, o sistema fotovoltaico deve cessar de fornecer energia à rede elétrica em até 0,2 s. O sistema somente deve voltar a fornecer energia à rede quando a frequência retornar para 60,1 Hz, respeitando o procedimento adotado no ensaio de controle de potência ativa. | N/C  | ---        |



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

19 de 45

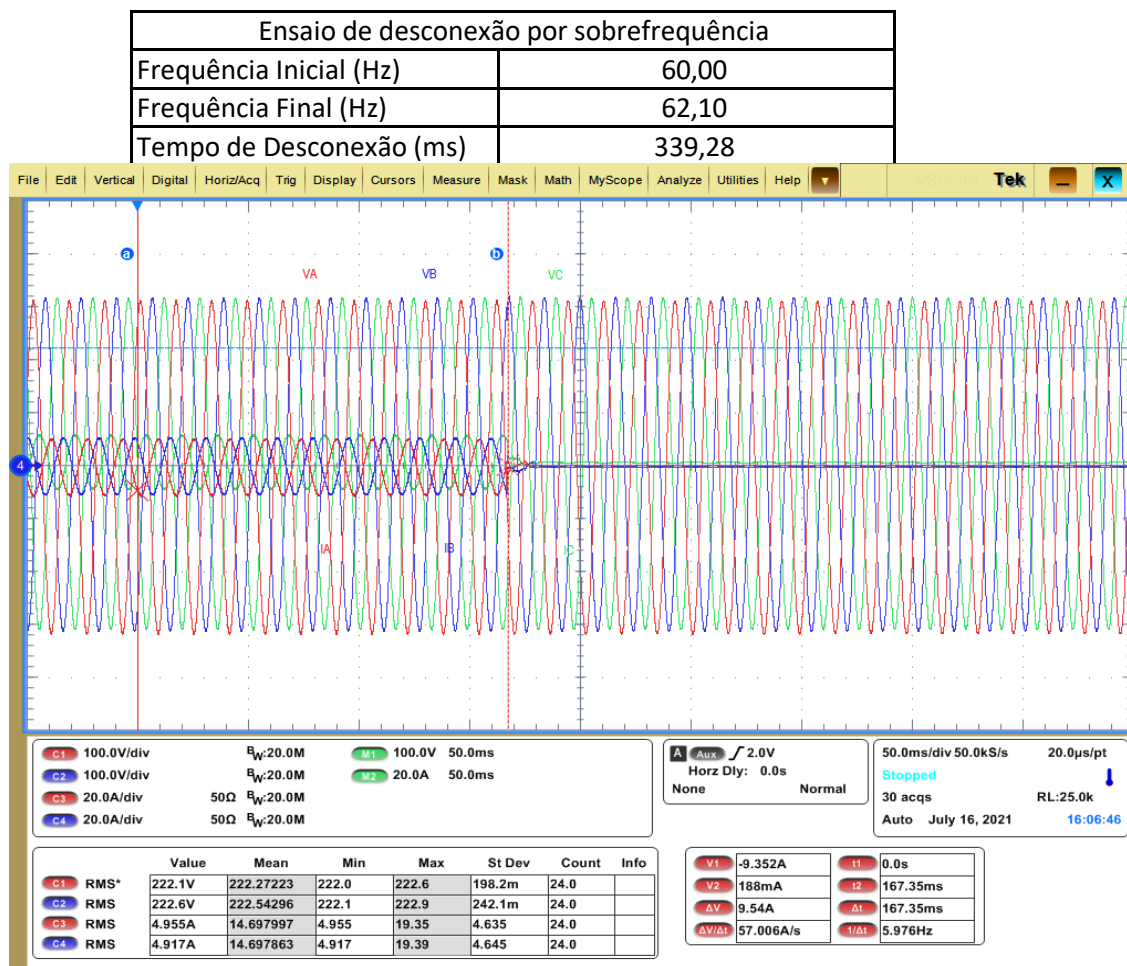
| Ensaio de sobrefrequência |                 |        |        |                       |        |        |                              |
|---------------------------|-----------------|--------|--------|-----------------------|--------|--------|------------------------------|
| Medição                   | Frequência (Hz) |        |        | Potência de saída (W) |        |        | Potência de saída total (kW) |
|                           | Fase A          | Fase B | Fase C | Fase A                | Fase B | Fase C |                              |
| 1º                        | 60,1            | 60,1   | 60,1   | 4289                  | 4282   | 4268   | 12,84                        |
| 2º                        | 60,2            | 60,2   | 60,2   | 4298                  | 4292   | 4278   | 12,87                        |
| 3º                        | 60,3            | 60,3   | 60,3   | 4298                  | 4292   | 4278   | 12,87                        |
| 4º                        | 60,4            | 60,4   | 60,4   | 4298                  | 4292   | 4278   | 12,87                        |
| 5º                        | 60,5            | 60,5   | 60,5   | 4288                  | 4282   | 4268   | 12,84                        |
| 6º                        | 60,6            | 60,6   | 60,6   | 4113                  | 4108   | 4096   | 12,32                        |
| 7º                        | 60,7            | 60,7   | 60,7   | 3939                  | 3934   | 3922   | 11,80                        |
| 8º                        | 60,8            | 60,8   | 60,8   | 3772                  | 3766   | 3755   | 11,80                        |
| 9º                        | 60,9            | 60,9   | 60,9   | 3598                  | 3593   | 3581   | 10,77                        |
| 10º                       | 61,0            | 61,0   | 61,0   | 3423                  | 3418   | 3408   | 10,25                        |
| 11º                       | 61,1            | 61,1   | 61,1   | 3250                  | 3246   | 3235   | 9,73                         |
| 12º                       | 61,2            | 61,2   | 61,2   | 3072                  | 3068   | 3059   | 9,20                         |
| 13º                       | 61,3            | 61,3   | 61,3   | 2903                  | 2899   | 2891   | 8,69                         |
| 14º                       | 61,4            | 61,4   | 61,4   | 2733                  | 2730   | 2721   | 8,18                         |
| 15º                       | 61,5            | 61,5   | 61,5   | 2561                  | 2558   | 2551   | 7,67                         |
| 16º                       | 61,6            | 61,6   | 61,6   | 2389                  | 2386   | 2379   | 7,15                         |
| 17º                       | 61,7            | 61,7   | 61,7   | 2218                  | 2214   | 2208   | 10,77                        |
| 18º                       | 61,8            | 61,8   | 61,8   | 2043                  | 2039   | 2033   | 6,12                         |
| 19º                       | 61,9            | 61,9   | 61,9   | 1872                  | 1868   | 1863   | 5,60                         |
| 20º                       | 62,0            | 62,0   | 62,0   | 1697                  | 1694   | 1689   | 5,08                         |
| 21º                       | 62,1            | 62,1   | 62,1   | 0                     | 0      | 0      | 0,00                         |
| 22º                       | 62,2            | 62,2   | 62,2   | 0                     | 0      | 0      | 0,00                         |
| 23º                       | 62,3            | 62,3   | 62,3   | 0                     | 0      | 0      | 0,00                         |
| 24º                       | 62,4            | 62,4   | 62,4   | 0                     | 0      | 0      | 0,00                         |
| 25º                       | 62,5            | 62,5   | 62,5   | 0                     | 0      | 0      | 0,00                         |



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

20 de 45



Fase A (Vermelha), Fase B (Azul), Fase C (Verde), Trigger de transitório (Cursor a).



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

21 de 45

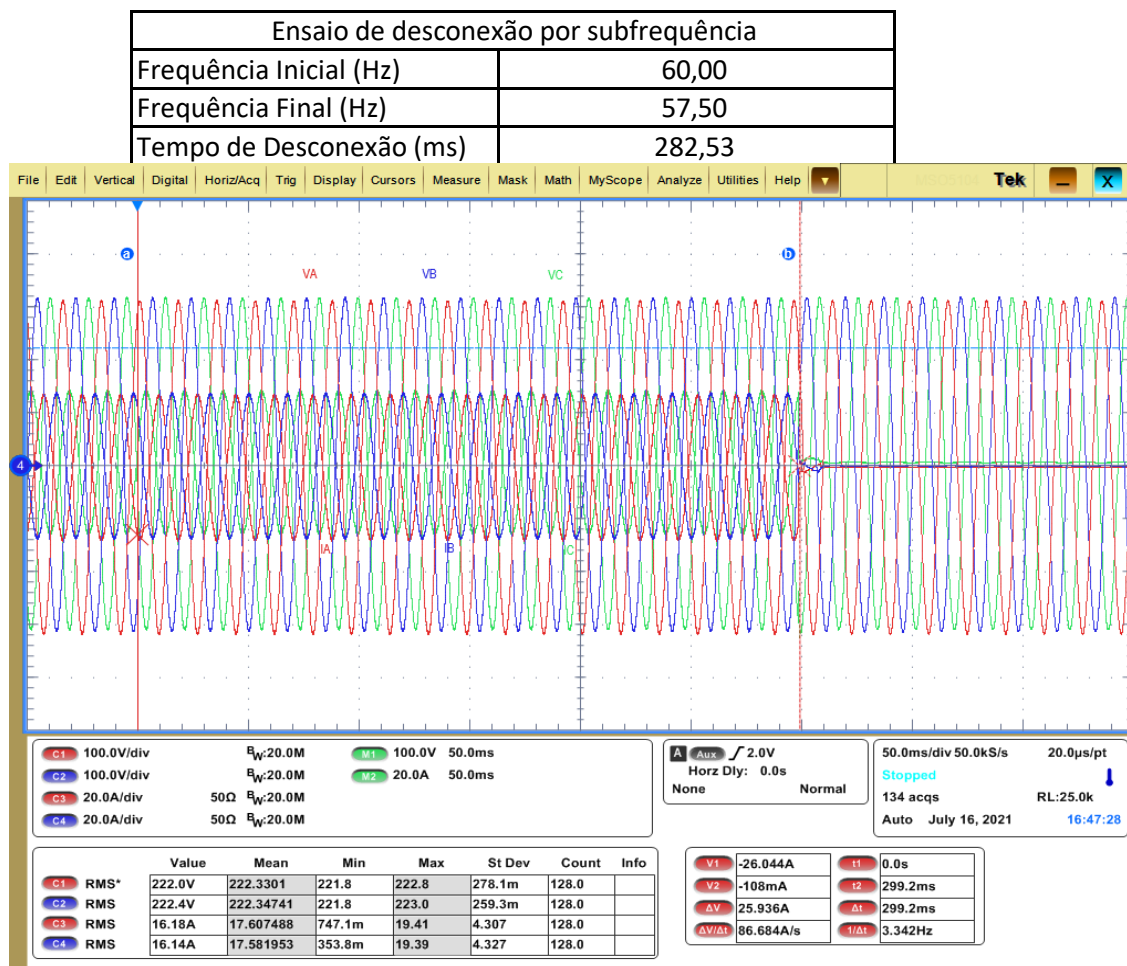
| Ensaio de sobrefrequência |                 |        |        |                       |        |        |                              |
|---------------------------|-----------------|--------|--------|-----------------------|--------|--------|------------------------------|
| Medição                   | Frequência (Hz) |        |        | Potência de saída (W) |        |        | Potência de saída total (kW) |
|                           | Fase A          | Fase B | Fase C | Fase A                | Fase B | Fase C |                              |
| 1º                        | 59,90           | 59,90  | 60     | 4290                  | 4286   | 4272   | 12,85                        |
| 2º                        | 59,80           | 59,80  | 60     | 4291                  | 4285   | 4272   | 12,85                        |
| 3º                        | 59,70           | 59,70  | 60     | 4284                  | 4278   | 4265   | 12,83                        |
| 4º                        | 59,60           | 59,60  | 60     | 4291                  | 4285   | 4271   | 12,85                        |
| 5º                        | 59,50           | 59,50  | 60     | 4289                  | 4284   | 4271   | 12,84                        |
| 6º                        | 59,40           | 59,40  | 59     | 4290                  | 4285   | 4271   | 12,85                        |
| 7º                        | 59,30           | 59,30  | 59     | 4290                  | 4285   | 4271   | 12,85                        |
| 8º                        | 59,20           | 59,20  | 59     | 4290                  | 4286   | 4271   | 12,85                        |
| 9º                        | 59,10           | 59,10  | 59     | 4293                  | 4288   | 4274   | 12,86                        |
| 10º                       | 59,00           | 59,00  | 59     | 4297                  | 4292   | 4278   | 12,87                        |
| 11º                       | 59,00           | 59,00  | 59     | 4297                  | 4292   | 4278   | 12,87                        |
| 12º                       | 58,80           | 58,80  | 59     | 4299                  | 4292   | 4279   | 12,87                        |
| 13º                       | 58,70           | 58,70  | 59     | 4299                  | 4292   | 4278   | 12,87                        |
| 14º                       | 58,60           | 58,60  | 59     | 4299                  | 4292   | 4279   | 12,87                        |
| 15º                       | 58,50           | 58,50  | 59     | 4299                  | 4292   | 4278   | 12,87                        |
| 16º                       | 58,40           | 58,40  | 58     | 4299                  | 4291   | 4278   | 12,87                        |
| 17º                       | 58,30           | 58,30  | 58     | 4299                  | 4292   | 4278   | 12,87                        |
| 18º                       | 58,20           | 58,20  | 58     | 4298                  | 4292   | 4279   | 12,87                        |
| 19º                       | 58,10           | 58,10  | 58     | 4299                  | 4292   | 4278   | 12,87                        |
| 20º                       | 58,80           | 58,80  | 59     | 4299                  | 4292   | 4279   | 12,87                        |
| 21º                       | 57,90           | 57,90  | 58     | 4299                  | 4292   | 4278   | 12,87                        |
| 22º                       | 57,80           | 57,80  | 58     | 4298                  | 4292   | 4278   | 12,87                        |
| 23º                       | 57,70           | 57,70  | 58     | 4298                  | 4292   | 4278   | 12,87                        |
| 24º                       | 57,60           | 57,60  | 58     | 4298                  | 4291   | 4278   | 12,87                        |
| 25º                       | 57,50           | 57,50  | 58     | 0                     | 0      | 0      | 0,00                         |
| 26º                       | 57,40           | 57,40  | 57     | 0                     | 0      | 0      | 0,00                         |
| 27º                       | 57,30           | 57,30  | 57     | 0                     | 0      | 0      | 0,00                         |
| 28º                       | 57,20           | 57,20  | 57     | 0                     | 0      | 0      | 0,00                         |
| 29º                       | 57,10           | 57,10  | 57     | 0                     | 0      | 0      | 0,00                         |
| 30º                       | 57,00           | 57,00  | 57     | 0                     | 0      | 0      | 0,00                         |



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

22 de 45



Fase A (Vermelha), Fase B (Azul), Fase C (Verde), Trigger de transitório (Cursor a).



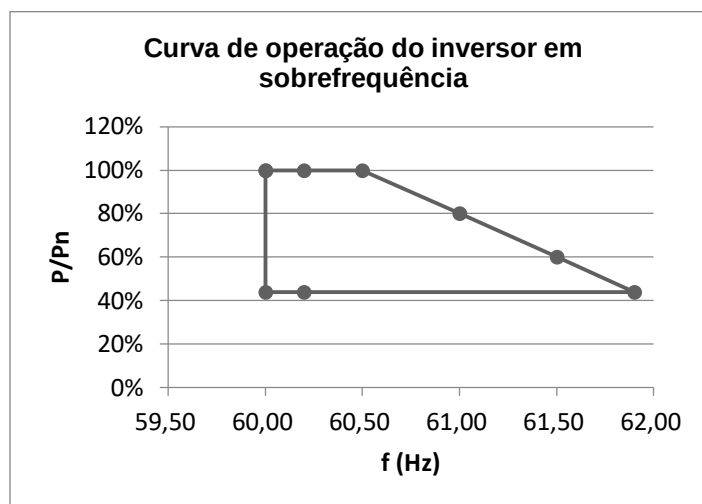
RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

23 de 45

| Item | Prescrição                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Conf | Observação |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------|
| 8    | Controle de potência ativa                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | ---  | ---        |
|      | Quando a frequência da rede ultrapassar 60,5 Hz e permanecer abaixo de 62 Hz, o sistema fotovoltaico deve reduzir a potência ativa injetada na rede segundo a equação: $\Delta P = [f_{rede} - (f_{nominal} + 0,5)] * R$                                                                                                                                                                                                                                                                                                | C    | ---        |
|      | Se, após iniciado o processo de redução da potência ativa, a frequência da rede reduzir, o sistema fotovoltaico deve manter o menor valor de potência ativa atingido ( $P_M - \Delta P_{Máximo}$ ) durante o aumento da frequência. O sistema fotovoltaico só deve aumentar a potência ativa injetada quando a frequência da rede retornar para a faixa $60 \text{ Hz} \pm 0,05 \text{ Hz}$ , por no mínimo 300 s. O gradiente de elevação da potência ativa injetada na rede deve ser de até 20 % de $P_M$ por minuto. | N/C  | 1          |

| Pontos de operação do inversor em sobrefrequência |        |                      |
|---------------------------------------------------|--------|----------------------|
|                                                   | f (Hz) | P/P <sub>n</sub> (%) |
| P1                                                | 60,00  | 100%                 |
| P2                                                | 60,20  | 100%                 |
| P3                                                | 60,50  | 100%                 |
| P4                                                | 61,00  | 80%                  |
| P5                                                | 61,50  | 60%                  |
| P6                                                | 61,90  | 44%                  |
| P7                                                | 60,20  | 44%                  |
| P8                                                | 60,00  | 44%                  |
| P1                                                | 60,00  | 100%                 |



1 - 'Os maiores gradientes de elevação de potência atingiram: 22% (P Nominal) e 43% (0,5\*P Nominal)



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

24 de 45

| Ensaio a 100% da potência nominal do inversor |                 |        |        |                       |        |        |                              |
|-----------------------------------------------|-----------------|--------|--------|-----------------------|--------|--------|------------------------------|
| ---                                           | Frequência (Hz) |        |        | Potência de saída (W) |        |        | Potência de saída total (kW) |
|                                               | Fase A          | Fase B | Fase C | Fase A                | Fase B | Fase C |                              |
| P1                                            | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 5702                  | 5693   | 5675   | 17070                        |
| P2                                            | 60,20           | 60,20  | 60,20  | 5702                  | 5693   | 5675   | 17070                        |
| P3                                            | 60,50           | 60,50  | 60,50  | 5675                  | 5666   | 5650   | 16991                        |
| P4                                            | 61,00           | 61,00  | 61,00  | 4542                  | 4536   | 4522   | 13600                        |
| P5                                            | 61,00           | 61,00  | 61,00  | 4542                  | 4536   | 4522   | 13600                        |
| P6                                            | 61,90           | 61,90  | 61,90  | 2488                  | 2484   | 2477   | 7449                         |
| P7                                            | 60,20           | 60,20  | 60,20  | 2493                  | 2489   | 2481   | 7463                         |
| Tempo em P7 (s)                               | Frequência (Hz) |        |        | Potência de saída (W) |        |        | Potência de saída total (kW) |
|                                               | Fase A          | Fase B | Fase C | Fase A                | Fase B | Fase C |                              |
| 30                                            | 60,20           | 60,20  | 60     | 2492                  | 2488   | 2480   | 7460                         |
| 60                                            | 60,20           | 60,20  | 60     | 2493                  | 2489   | 2481   | 7462                         |
| 90                                            | 60,20           | 60,20  | 60     | 2493                  | 2489   | 2481   | 7463                         |
| 120                                           | 60,20           | 60,20  | 60     | 2492                  | 2488   | 2481   | 7461                         |
| 150                                           | 61,90           | 61,90  | 62     | 2488                  | 2484   | 2477   | 7449                         |
| 180                                           | 60,20           | 60,20  | 60     | 2492                  | 2489   | 2481   | 7461                         |
| 210                                           | 60,20           | 60,20  | 60     | 2492                  | 2488   | 2480   | 7460                         |
| 240                                           | 60,20           | 60,20  | 60     | 2491                  | 2488   | 2480   | 7459                         |
| 270                                           | 60,20           | 60,20  | 60     | 2492                  | 2488   | 2481   | 7461                         |
| 300                                           | 60,20           | 60,20  | 60     | 2491                  | 2487   | 2480   | 7458                         |
| 330                                           | 60,20           | 60,20  | 60     | 2492                  | 2488   | 2480   | 7460                         |



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

25 de 45

| Tempo em P8 (s) | Frequência (Hz) |        |        | Potência de saída (W) |        |        | Potência de saída total (kW) |
|-----------------|-----------------|--------|--------|-----------------------|--------|--------|------------------------------|
|                 | Fase A          | Fase B | Fase C | Fase A                | Fase B | Fase C |                              |
| 30              | 60,00           | 60,00  | 60     | 2492                  | 2488   | 2480   | 7460                         |
| 60              | 60,00           | 60,00  | 60     | 2492                  | 2488   | 2480   | 7460                         |
| 90              | 60,00           | 60,00  | 60     | 2492                  | 2488   | 2480   | 7460                         |
| 120             | 60,00           | 60,00  | 60     | 2492                  | 2487   | 2480   | 7459                         |
| 150             | 60,00           | 60,00  | 60     | 2492                  | 2487   | 2480   | 7460                         |
| 180             | 60,00           | 60,00  | 60     | 2491                  | 2487   | 2480   | 7458                         |
| 210             | 60,00           | 60,00  | 60     | 2493                  | 2488   | 2481   | 7462                         |
| 240             | 60,00           | 60,00  | 60     | 2492                  | 2488   | 2480   | 7460                         |
| 270             | 60,00           | 60,00  | 60     | 2492                  | 2488   | 2481   | 7460                         |
| 300             | 60,00           | 60,00  | 60     | 2492                  | 2489   | 2481   | 7462                         |
| 330             | 60,00           | 60,00  | 60     | 2492                  | 2488   | 2480   | 7460                         |
| 360             | 60,00           | 60,00  | 60     | 2580                  | 2576   | 2569   | 7726                         |
| 390             | 60,00           | 60,00  | 60     | 3171                  | 3166   | 3156   | 9494                         |
| 420             | 60,00           | 60,00  | 60     | 3848                  | 3842   | 3829   | 11519                        |
| 450             | 60,00           | 60,00  | 60     | 4438                  | 4431   | 4417   | 13286                        |
| 480             | 60,00           | 60,00  | 60     | 5113                  | 5106   | 5089   | 15307                        |
| 510             | 60,00           | 60,00  | 60     | 5686                  | 5677   | 5659   | 17023                        |
| 540             | 60,00           | 60,00  | 60     | 5703                  | 5603   | 5675   | 16981                        |
| 570             | 60,00           | 60,00  | 60     | 2492                  | 2488   | 2480   | 17011                        |
| 600             | 60,00           | 60,00  | 60     | 2492                  | 2488   | 2480   | 17012                        |
| 630             | 60,00           | 60,00  | 60     | 2492                  | 2487   | 2480   | 17012                        |
| 660             | 60,00           | 60,00  | 60     | 2492                  | 2487   | 2480   | 17012                        |
| 690             | 60,00           | 60,00  | 60     | 2491                  | 2487   | 2480   | 17012                        |
| 720             | 60,00           | 60,00  | 60     | 2493                  | 2488   | 2481   | 17012                        |



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

26 de 45

| Ensaio a 50% da Potência Nominal do Inversor |                 |        |        |                       |        |        |                              |
|----------------------------------------------|-----------------|--------|--------|-----------------------|--------|--------|------------------------------|
| ---                                          | Frequência (Hz) |        |        | Potência de saída (W) |        |        | Potência de saída total (kW) |
|                                              | Fase A          | Fase B | Fase C | Fase A                | Fase B | Fase C |                              |
| P1                                           | 60,00           | 60,00  | 60     | 2840                  | 2834   | 2826   | 8501                         |
| P2                                           | 60,20           | 60,20  | 60     | 2840                  | 2834   | 2827   | 8501                         |
| P3                                           | 60,50           | 60,50  | 61     | 2836                  | 2831   | 2823   | 8490                         |
| P4                                           | 61,00           | 61,00  | 61     | 2255                  | 2255   | 2248   | 6758                         |
| P5                                           | 61,50           | 61,50  | 62     | 1692                  | 1688   | 1685   | 5065                         |
| P6                                           | 61,90           | 61,90  | 62     | 1230                  | 1227   | 1224   | 3681                         |
| P7                                           | 60,20           | 60,20  | 60     | 1232                  | 1228   | 1226   | 3686                         |
| Tempo em P7 (s)                              | Frequência (Hz) |        |        | Potência de saída (W) |        |        | Potência de saída total (kW) |
|                                              | Fase A          | Fase B | Fase C | Fase A                | Fase B | Fase C |                              |
| 30                                           | 60,20           | 60,20  | 60     | 1232                  | 1229   | 1226   | 3686                         |
| 60                                           | 60,20           | 60,20  | 60     | 1231                  | 1228   | 1226   | 3685                         |
| 90                                           | 60,20           | 60,20  | 60     | 1232                  | 1228   | 1226   | 3686                         |
| 120                                          | 60,20           | 60,20  | 60     | 1231                  | 1228   | 1225   | 3684                         |
| 150                                          | 60,20           | 60,20  | 60     | 1231                  | 1228   | 1226   | 3685                         |
| 180                                          | 60,20           | 60,20  | 60     | 1232                  | 1229   | 1226   | 3686                         |
| 210                                          | 60,20           | 60,20  | 60     | 1232                  | 1229   | 1227   | 3688                         |
| 240                                          | 60,20           | 60,20  | 60     | 1231                  | 1228   | 1226   | 3685                         |
| 270                                          | 60,20           | 60,20  | 60     | 1231                  | 1228   | 1226   | 3685                         |
| 300                                          | 60,20           | 60,20  | 60     | 1231                  | 1228   | 1226   | 3686                         |
| 330                                          | 60,20           | 60,20  | 60     | 1231                  | 1228   | 1226   | 3685                         |



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

27 de 45

| Tempo<br>em P8 (s) | Frequência (Hz) |        |        | Potência de saída (W) |        |        | Potência de saída<br>total (kW) |
|--------------------|-----------------|--------|--------|-----------------------|--------|--------|---------------------------------|
|                    | Fase A          | Fase B | Fase C | Fase A                | Fase B | Fase C |                                 |
| 30                 | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 1232                  | 1229   | 1226   | 3687                            |
| 60                 | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 1231                  | 1228   | 1226   | 3686                            |
| 90                 | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 1231                  | 1228   | 1225   | 3685                            |
| 120                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 1231                  | 1228   | 1226   | 3686                            |
| 150                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 1231                  | 1228   | 1226   | 3686                            |
| 180                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 1231                  | 1228   | 1226   | 3685                            |
| 210                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 1232                  | 1228   | 1226   | 3686                            |
| 240                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 1232                  | 1228   | 1226   | 3686                            |
| 270                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 1231                  | 1228   | 1226   | 3685                            |
| 300                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 1231                  | 1228   | 1226   | 3685                            |
| 330                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 1231                  | 1229   | 1227   | 3686                            |
| 360                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 1320                  | 1317   | 1314   | 3951                            |
| 390                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 1950                  | 1947   | 1941   | 5838                            |
| 420                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 2538                  | 2533   | 2526   | 7597                            |
| 450                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 2840                  | 2835   | 2827   | 8501                            |
| 480                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 2840                  | 2835   | 2826   | 8501                            |
| 510                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 2839                  | 2834   | 2826   | 8500                            |
| 540                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 2840                  | 2834   | 2826   | 8500                            |
| 570                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 2840                  | 2835   | 2826   | 8500                            |
| 600                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 2840                  | 2834   | 2826   | 8500                            |
| 630                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 2840                  | 2834   | 2826   | 8499                            |
| 660                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 2839                  | 2834   | 2826   | 8499                            |
| 690                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 2839                  | 2834   | 2826   | 8499                            |
| 720                | 60,00           | 60,00  | 60,00  | 2839                  | 2834   | 2826   | 8499                            |

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

28 de 45

| Item | Prescrição                                                                                                                                                                                                                                                           | Conf     | Observação |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------|
|      | <b>Reconexão</b>                                                                                                                                                                                                                                                     | ---      | ---        |
| 9    | Depois de uma “desconexão” devido a uma condição anormal da rede, o sistema fotovoltaico não pode retomar o fornecimento de energia à rede elétrica (reconexão) por um período de 20 s a 300 s após a retomada das condições normais de tensão e frequência da rede. | <b>C</b> | 1, 2       |

| Ensaio de reconexão por falha de sobretensão |        |
|----------------------------------------------|--------|
| Tensão Nominal da Rede F-F (V)               | 380,00 |
| Frequência Nominal da Rede (Hz)              | 60,00  |
| Sobretensão F-F (V)                          | 422,28 |
| Tempo de Reconexão (s)                       | 119,00 |
| Ensaio de reconexão por falha de subtensão   |        |
| Tensão Nominal da Rede F-F (V)               | 380,00 |
| Frequência Nominal da Rede (Hz)              | 60,00  |
| Subtensão F-F (V)                            | 306,30 |
| Tempo de Reconexão (s)                       | 118,00 |

1 - Considerado a partir do momento em que o inversor começa a injetar potência na rede CA.

2 - O distúrbio na tensão da rede CA é aplicado em todas as fases.

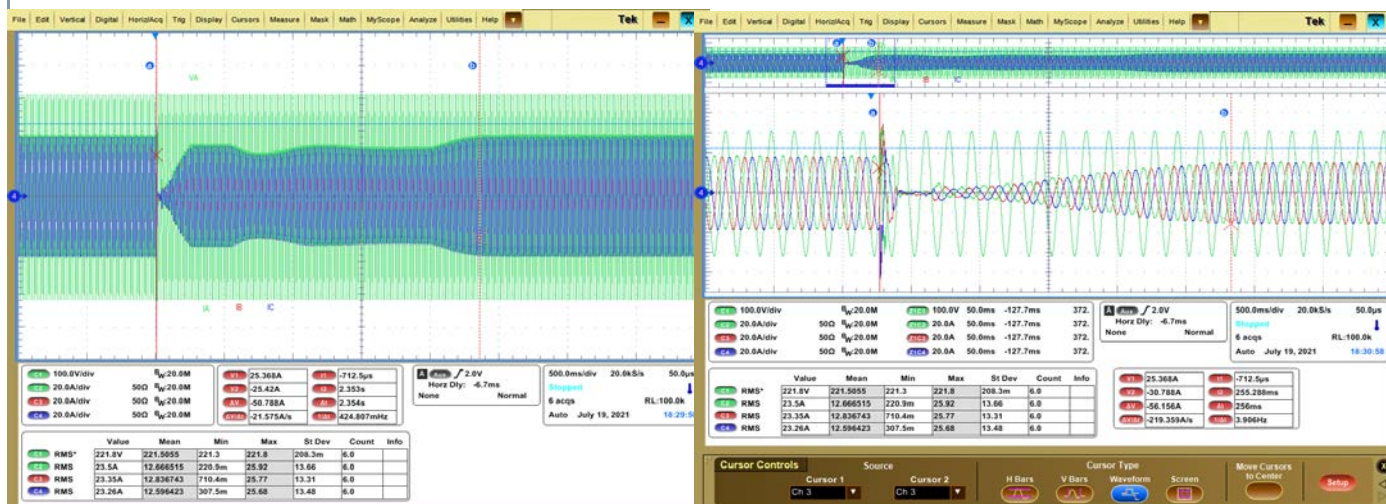
RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

29 de 45

| Item | Prescrição                                                                                                                             | Conf     | Observação |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------|
| 10   | <b>Religamento automático fora de fase</b>                                                                                             | ---      | ---        |
|      | O sistema fotovoltaico deve ser capaz de suportar religamento automático fora de fase na pior condição possível (em oposição de fase). | <b>C</b> | ---        |

| Ensaio de deslocamento de fase em 90° |        |        |        |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|
|                                       | Fase A | Fase B | Fase C |
| Corrente de Saída Antes do Passo (A)  | 25,57  | 25,55  | 25,54  |
| Corrente de Saída Após o Passo (A)    | 25,57  | 25,55  | 25,54  |
| Tempo de reconexão (s)                | 0,00   |        |        |



Fase A (Vermelha), Fase B (Azul), Fase C (Verde), Trigger de transitório (Cursor a).

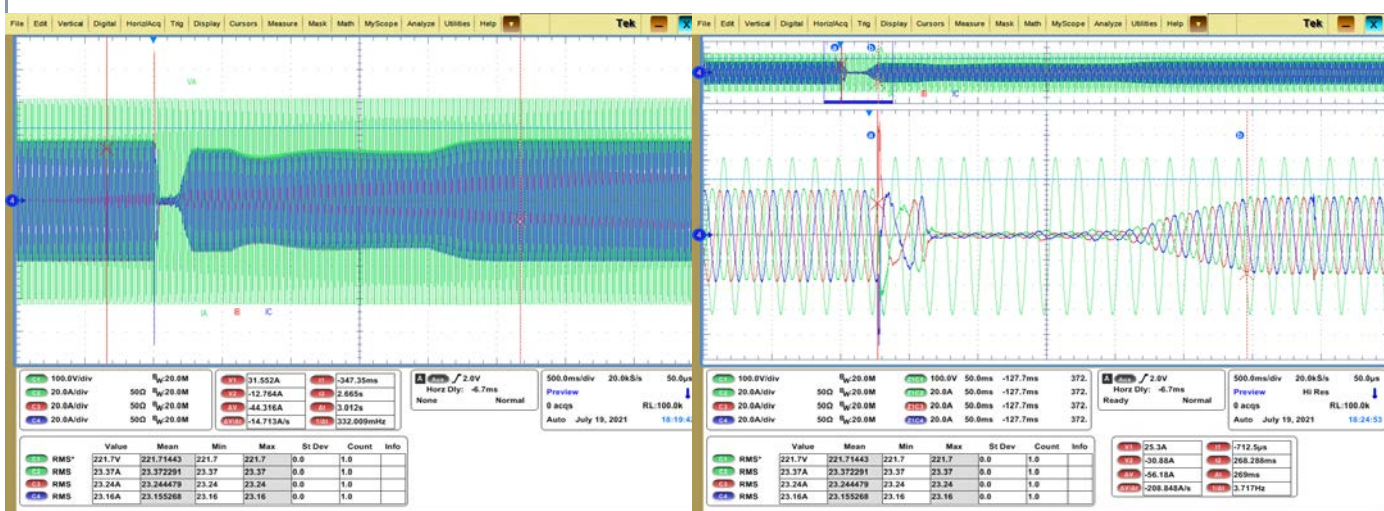
RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

30 de 45

Ensaio de deslocamento de fase em  $180^\circ$

|                                      | Fase A | Fase B | Fase C |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|
| Corrente de Saída Antes do Passo (A) | 25,72  | 25,69  | 25,68  |
| Corrente de Saída Após o Passo (A)   | 25,56  | 25,48  | 25,48  |
| Tempo de reconexão (s)               | 0,00   |        |        |



\* Fase A (Vermelha), Fase B (Azul), Fase C (Verde), Trigger de transitório (Cursor a).



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

31 de 45

| Item | Prescrição                                                                                                                                                     | Conf | Observação |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------|
| 11   | <b>Modulação de potência ativa</b>                                                                                                                             | ---  | ---        |
|      | Os sistemas fotovoltaicos com potência nominal superior 6 kW deve ser capaz de limitar a potência ativa injetada na rede por meio de telecomandos (10 - 100%). | N/C  | 1          |

| Dados do Ensaio - Modulação de potência ativa |                 |              |        |        |       |
|-----------------------------------------------|-----------------|--------------|--------|--------|-------|
| Potência Nominal no PCC (W)                   |                 | 17000        |        |        |       |
| Tempo (min)                                   | Potência do ESE | Potência (W) |        |        |       |
|                                               |                 | Fase A       | Fase B | Fase C | Total |
| 1,00                                          | 100,00%         | 5697         | 5683   | 5664   | 17044 |
| 2,00                                          | 90,00%          | 5698         | 5684   | 5665   | 17047 |
| 3,00                                          | 80,00%          | 5095         | 5083   | 5067   | 15245 |
| 4,00                                          | 70,00%          | 4457         | 4447   | 4433   | 13337 |
| 5,00                                          | 60,00%          | 3821         | 3813   | 3801   | 11435 |
| 6,00                                          | 50,00%          | 3180         | 3174   | 3165   | 9519  |
| 7,00                                          | 40,00%          | 2542         | 2538   | 2530   | 7610  |
| 8,00                                          | 30,00%          | 1904         | 1901   | 1895   | 5700  |
| 9,00                                          | 20,00%          | 1266         | 1263   | 1260   | 3789  |
| 10,00                                         | 10,00%          | 530          | 626    | 626    | 1782  |

1 - Não foi fornecido equipamento para comunicação externa ao inversor. Ensaio realizado localmente



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

32 de 45

|    |                                                                                                                                                          |          |     |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----|
| 12 | <b>Modulação de potência reativa</b>                                                                                                                     | ---      | --- |
|    | Os sistemas fotovoltaicos com potência nominal superior a 6 kW deve ser capaz de regular a potência reativa injetada/demandada por meio de telecomandos. | <b>C</b> | --- |

| Dados do Ensaio - Modulação de potência ativa |              |                          |                              |                   |
|-----------------------------------------------|--------------|--------------------------|------------------------------|-------------------|
| Potência Nominal no PCC (W)                   |              | 8500                     |                              |                   |
| Tempo (min)                                   | Preativo (%) | Potência Ativa Total (W) | Potência Reativa Total (VAr) | Fator de potência |
| 1,00                                          | 43,58%       | 8558                     | 3943                         | 0,9082            |
| 2,00                                          | 0,00%        | 8568                     | 196                          | 0,9997            |
| 3,00                                          | -43,58%      | 8545                     | -3520                        | 0,9246            |

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

33 de 45

|    |                                                                                                                  |     |     |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|
| 13 | <b>Desconexão/reconexão do sistema fotovoltaico da rede</b>                                                      | --- | --- |
|    | O sistema fotovoltaico deve ser capaz de desconectar-se/reconectar-se da rede elétrica por meio de telecomandos. | C   | 1   |
|    | A desconexão/reconexão deve ser realizada em no máximo 1 min após o recebimento do telecomando.                  | N/C | 2   |

Desconexão por telecomando - Operação normal

| Tempo (s) | Ucc1(V) | Icc1(A) | Pcc1(W) | Ucc2(V) | Icc2(A) | Pcc2(W) | PA(W) | PB(W) | PC(W) |
|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|
| 60,00     | 505,53  | 17,38   | 8787    | 512     | 17,15   | 8787    | 5690  | 5676  | 5657  |
| 120,00    | 507,22  | 17,33   | 8790    | 513     | 17,12   | 8784    | 5698  | 5684  | 5666  |

Desconexão por telecomando - Após comando de desconexão

| Tempo (min) | Ucc1(V) | Icc1(A) | Pcc1(W) | Ucc2(V) | Icc2(A) | Pcc2(W) | PA(W) | PB(W) | PC(W) |
|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|
| 30,00       | 573,87  | 0,04    | 24,73   | 574,05  | 0,05    | 26,24   | -0,32 | -0,29 | -0,04 |
| 60,00       | 573,88  | 0,05    | 27,17   | 574,06  | 0,04    | 22,20   | -0,33 | -0,29 | -0,04 |
| 90,00       | 573,86  | 0,05    | 26,94   | 574,06  | 0,05    | 28,43   | -0,32 | -0,03 | -0,05 |

1 - Ajustado localmente pelo parâmetro "Power-On/Off"

2 - A conexão ocorreu após 70s



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

34 de 45

|    |                                                                                                                         |     |     |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|
| 14 | <b>Requisitos de suportabilidade a subtensões decorrentes de faltas na rede</b>                                         | --- | --- |
|    | O inversor deve suportar uma falta trifásica assimétrica de 95% da tensão nominal por 190ms sem se desconectar da rede. | N/C | 1   |
|    | O inversor deve suportar uma falta trifásica assimétrica de 45% da tensão nominal por 290ms sem se desconectar da rede. | C   | --- |
|    | O inversor deve suportar uma falta bifásica assimétrica de 95% por 190ms sem se desconectar da rede.                    | N/C | 1   |
|    | O inversor deve suportar uma falta bifásica assimétrica de 45% da tensão nominal por 290ms sem se desconectar da rede.  | C   | --- |

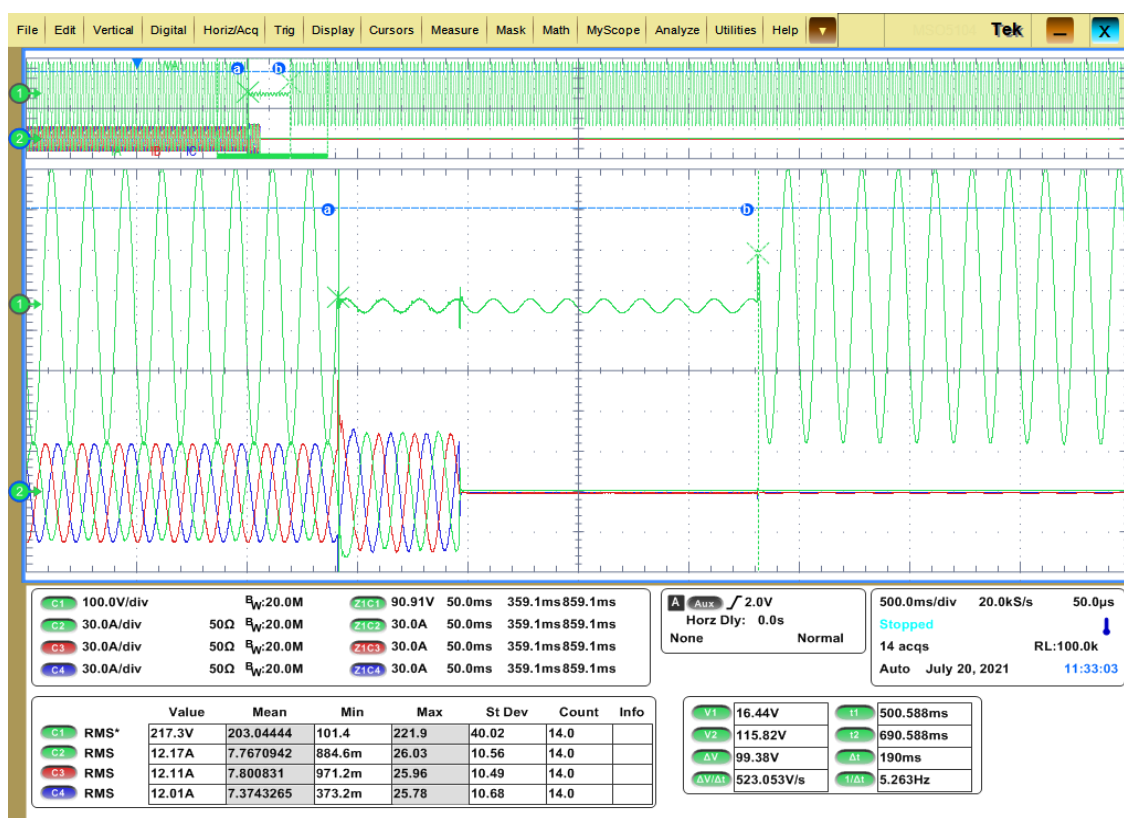
1 - Acionando a função LVRT disponível no inversor suporta os distúrbios sem desconexão.

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

35 de 45

| Ensaio de FRT - Falta trifásica simétrica para 5% da tensão nominal |        |        |        |
|---------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|
|                                                                     | Fase A | Fase B | Fase C |
| Tensão durante a falta (F-N) (V)                                    | 11,95  | 11,93  | 11,97  |
| Corrente durante a falta (F-N) (A)                                  | 0,13   | 0,13   | 0,13   |
| Potência ativa durante a falta (W)                                  | 0,32   | 0,28   | 0,05   |
| Potência reativa durante a falta (VAr)                              | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| Duração da falta (ms)                                               | 190,0  |        |        |



\* Fase A (Vermelha), Fase B (Azul), Fase C (Verde), Trigger de transitório (Cursor a).

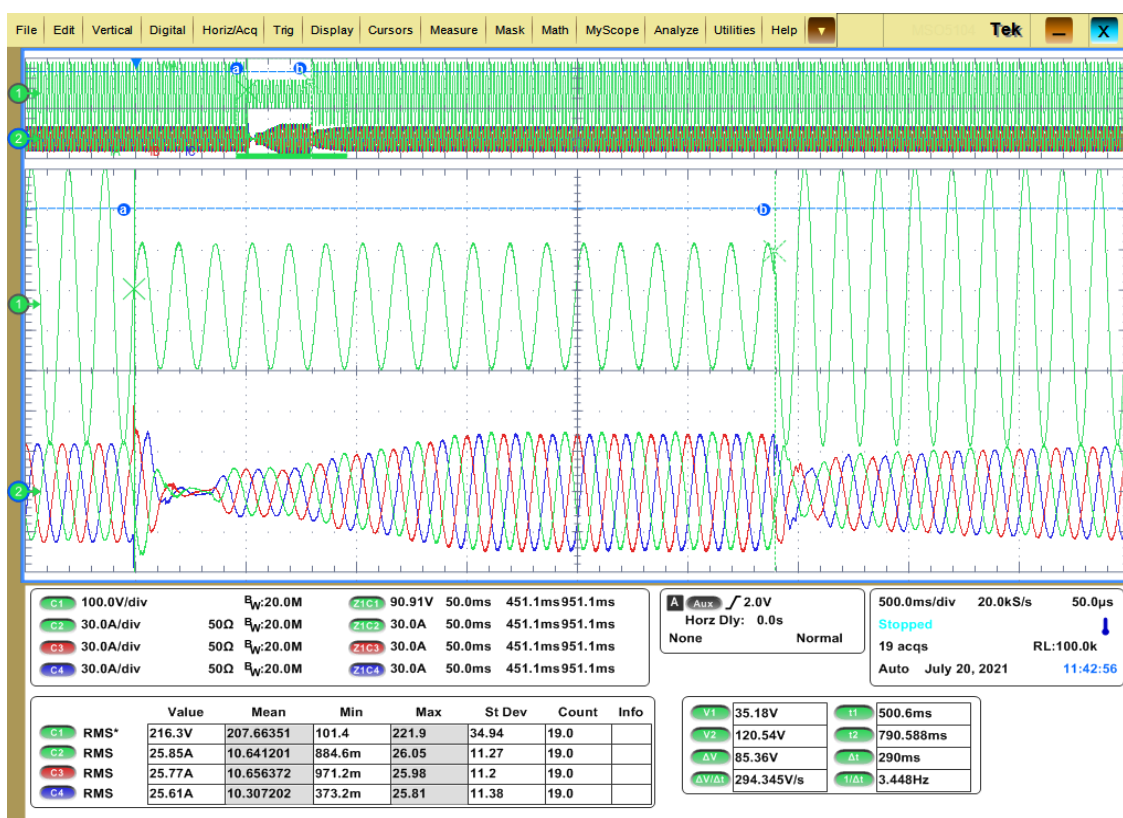
RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

36 de 45

Ensaio de FRT - Falta trifásica simétrica para 45% da tensão nominal

|                                        | Fase A | Fase B | Fase C |
|----------------------------------------|--------|--------|--------|
| Tensão durante a falta (F-N) (V)       | 57,73  | 57,94  | 57,80  |
| Corrente durante a falta (F-N) (A)     | 5,92   | 5,94   | 5,96   |
| Potência ativa durante a falta (W)     | 13     | 14     | 10     |
| Potência reativa durante a falta (VAR) | 342    | 344    | 344    |
| Duração da falta (ms)                  | 290,00 |        |        |



\* Fase A (Vermelha), Fase B (Azul), Fase C (Verde), Trigger de transitório (Cursor a).

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

37 de 45

Ensaio de FRT - Falta bifásica assimétrica para 5% da tensão nominal

|                                        | Fase A | Fase B | Fase C |
|----------------------------------------|--------|--------|--------|
| Tensão durante a falta (F-N) (V)       | 111,79 | 111,83 | 6,53   |
| Corrente durante a falta (F-N) (A)     | 6,07   | 6,52   | 5,36   |
| Potência ativa durante a falta (W)     | -210   | 319    | 4      |
| Potência reativa durante a falta (VAR) | 645    | 655    | 35     |
| Duração da falta (ms)                  | 190,0  |        |        |



\* Fase A (Vermelha), Fase B (Azul), Fase C (Verde), Trigger de transitório (Cursor a).

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

38 de 45

| Ensaio de FRT - Falta bifásica assimétrica para 45% da tensão nominal |        |        |        |
|-----------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|
|                                                                       | Fase A | Fase B | Fase C |
| Tensão durante a falta (F-N) (V)                                      | 115,73 | 115,76 | 57,83  |
| Corrente durante a falta (F-N) (A)                                    | 6,05   | 6,47   | 5,63   |
| Potência ativa durante a falta (W)                                    | -246   | 324    | 29     |
| Potência reativa durante a falta (VAR)                                | 656    | 676    | 324    |
| Duração da falta (ms)                                                 | 290,0  |        |        |



\* Fase A (Vermelha), Fase B (Azul), Fase C (Verde), Trigger de transitório (Cursor a).

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

39 de 45

| Item | Prescrição                                                                                                                                                                                                                                       | Conf     | Observação |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------|
| 15   | <b>Proteção contra inversão de polaridade</b>                                                                                                                                                                                                    | ---      | ---        |
|      | O inversor deve permanecer 5 minutos conectado com a polaridade de entrada da rede CC invertida e conectado a rede elétrica, após esse intervalo de tempo deve ser reconectado com a polaridade correta e operar normalmente por mais 5 minutos. | <b>C</b> | ---        |

| Conexão c/ inversão de polaridade |            |         |         |         |         |         |                       |        |        |
|-----------------------------------|------------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------------------|--------|--------|
| Tempo (min)                       | Entrada CC |         |         |         |         |         | Potência de saída (W) |        |        |
|                                   | Ucc1(V)    | Icc1(A) | Pcc1(W) | Ucc2(V) | Icc2(A) | Pcc2(W) | Fase A                | Fase B | Fase C |
| 1,00                              | 2,86       | 18,16   | 51,91   | 2,83    | 18,14   | 51,29   | -0,77                 | -0,80  | -0,04  |
| 2,00                              | 2,88       | 18,16   | 52,22   | 2,83    | 18,14   | 51,36   | -0,78                 | -0,81  | -0,02  |
| 3,00                              | 2,90       | 18,16   | 52,69   | 2,84    | 18,14   | 51,42   | -0,79                 | -0,79  | -0,05  |
| 4,00                              | 2,91       | 18,16   | 52,81   | 2,84    | 18,14   | 51,47   | -0,76                 | -0,79  | -0,04  |
| 5,00                              | 2,90       | 18,16   | 52,71   | 2,84    | 18,14   | 51,50   | -0,77                 | -0,80  | -0,04  |
| Conexão s/ inversão de polaridade |            |         |         |         |         |         |                       |        |        |
| Tempo (min)                       | Entrada CC |         |         |         |         |         | Potência de saída (W) |        |        |
|                                   | Ucc1(V)    | Icc1(A) | Pcc1(W) | Ucc2(V) | Icc2(A) | Pcc2(W) | Fase A                | Fase B | Fase C |
| 1,00                              | 507,78     | 17,36   | 8815    | 512,44  | 17,19   | 8810    | 5707                  | 5702   | 5681   |
| 2,00                              | 506,64     | 17,40   | 8813    | 511,21  | 17,24   | 8813    | 5705                  | 5701   | 5679   |
| 3,00                              | 508,95     | 17,32   | 8815    | 513,32  | 17,16   | 8809    | 5705                  | 5700   | 5679   |
| 4,00                              | 508,00     | 17,35   | 8815    | 512,79  | 17,18   | 8810    | 5703                  | 5700   | 5679   |
| 5,00                              | 507,40     | 17,37   | 8814    | 512,25  | 17,20   | 8811    | 5704                  | 5700   | 5679   |

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

40 de 45

| Item | Prescrição                                                                                                                                                     | Conf | Observação |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------|
| 16   | <b>Sobrecarga</b>                                                                                                                                              | ---  | ---        |
|      | O inversor deve ser capaz de ser conectado a um sistema de corrente continua com capacidade para fornecer até 120% da sua potência nominal sem sofrer avarias. | C    | ---        |

| Conexão c/ sobrecarga |            |         |         |         |         |         |                       |        |        |
|-----------------------|------------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------------------|--------|--------|
| Tempo<br>(min)        | Entrada CC |         |         |         |         |         | Potência de saída (W) |        |        |
|                       | Ucc1(V)    | Icc1(A) | Pcc1(W) | Ucc2(V) | Icc2(A) | Pcc2(W) | Fase A                | Fase B | Fase C |
| 1,00                  | 506        | 18,20   | 9203    | 512     | 17,98   | 9203    | 5968                  | 5949   | 5953   |
| 2,00                  | 506        | 18,21   | 9204    | 512     | 17,98   | 9204    | 5969                  | 5950   | 5952   |
| 3,00                  | 506        | 18,21   | 9204    | 512     | 17,98   | 9204    | 5969                  | 5950   | 5952   |
| 4,00                  | 506        | 18,21   | 9204    | 512     | 17,98   | 9204    | 5969                  | 5950   | 5953   |
| 5,00                  | 506        | 18,21   | 9205    | 512     | 17,98   | 9205    | 5970                  | 5952   | 5953   |
| 6,00                  | 506        | 18,21   | 9205    | 512     | 17,98   | 9205    | 5970                  | 5952   | 5953   |
| 7,00                  | 507        | 18,16   | 9205    | 512     | 17,98   | 9205    | 5970                  | 5952   | 5953   |
| 8,00                  | 507        | 18,16   | 9206    | 512     | 17,98   | 9206    | 5971                  | 5952   | 5953   |
| 9,00                  | 506        | 18,20   | 9203    | 512     | 17,98   | 9203    | 5968                  | 5949   | 5953   |
| 10,00                 | 507        | 18,16   | 9206    | 512     | 17,98   | 9206    | 5971                  | 5952   | 5953   |
| 11,00                 | 507        | 18,16   | 9206    | 512     | 17,98   | 9206    | 5971                  | 5953   | 5953   |
| 12,00                 | 507        | 18,16   | 9206    | 512     | 17,98   | 9206    | 5971                  | 5953   | 5953   |
| 13,00                 | 507        | 18,16   | 9206    | 512     | 17,98   | 9206    | 5971                  | 5953   | 5953   |
| 14,00                 | 507        | 18,16   | 9206    | 512     | 17,98   | 9206    | 5971                  | 5953   | 5953   |
| 15,00                 | 507        | 18,17   | 9206    | 512     | 17,98   | 9206    | 5971                  | 5953   | 5953   |
| Conexão s/ sobrecarga |            |         |         |         |         |         |                       |        |        |
| Tempo<br>(min)        | Entrada CC |         |         |         |         |         | Potência de saída (W) |        |        |
|                       | Ucc1(V)    | Icc1(A) | Pcc1(W) | Ucc2(V) | Icc2(A) | Pcc2(W) | Fase A                | Fase B | Fase C |
| 1,00                  | 508        | 17,29   | 8778    | 513     | 17,13   | 8778    | 5694                  | 5674   | 5677   |
| 2,00                  | 508        | 17,29   | 8777    | 513     | 17,13   | 8777    | 5694                  | 5673   | 5677   |
| 3,00                  | 508        | 17,29   | 8777    | 513     | 17,13   | 8777    | 5693                  | 5674   | 5676   |
| 4,00                  | 508        | 17,29   | 8777    | 513     | 17,13   | 8777    | 5694                  | 5674   | 5676   |
| 5,00                  | 508        | 17,29   | 8777    | 513     | 17,12   | 8777    | 5693                  | 5673   | 5676   |

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

41 de 45

| Item | Prescrição                                                                                                 | Conf     | Observação |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------|
| 17   | <b>Anti-ilhamento</b>                                                                                      | ---      | ---        |
|      | O sistema fotovoltaico deve cessar de fornecer energia à rede em até 2 s após a perda da rede (ilhamento). | <b>C</b> | 1 e 2      |

| Dados do Inversor |          |        |
|-------------------|----------|--------|
|                   | Min      | Máx    |
| Umppt (V)         | 400,00   | 800,00 |
| Ucc max (V)       | 1000,00  |        |
| Pnom (W)          | 17000,00 |        |

| Condições de Ensaio |            |       |            |       |            |      |
|---------------------|------------|-------|------------|-------|------------|------|
|                     | Condição A |       | Condição B |       | Condição C |      |
|                     | Min        | Máx   | Min        | Máx   | Min        | Máx  |
| Pese (W)            | 17000      | 17000 | 8500       | 11220 | 4250       | 5610 |
| Vcc (V)             | 760        | 800   | 540        | 660   | 400        | 440  |

1 - Máxima tensão Umppt(V) = 1000V, porém é maior do que  $0,8 \cdot U_{ccMax}$ , logo, pela norma ABNT NBR 62116, deve-se considerar Umppt Max(V) = 800V.

2 - Devido à recomendação de utilização de quantidade par de MPPT e limitação das fontes simuladoras de PV, foi utilizada tensão inferior à recomendada pela norma.



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

42 de 45

| Nº | Pese (%) | QI (%) | Pca (%) | Qca (%) | Vcc (V) | Pese (W) | Qf efetiva | Tempo de Desconexão (ms) |
|----|----------|--------|---------|---------|---------|----------|------------|--------------------------|
| 1  | 100%     | 100%   | 0%      | 0%      | 510,00  | 17051    | 1,00       | 270,65                   |
| 2  | 53%      | 53%    | 0%      | 0%      | 548,00  | 8998     | 1,00       | 332,15                   |
| 3  | 29%      | 29%    | 0%      | 0%      | 421,50  | 5017     | 1,00       | 291,80                   |
| 4  | 100%     | 100%   | -5%     | -5%     | 510,00  | 17018    | 1,00       | 199,55                   |
| 5  | 100%     | 100%   | -5%     | 0%      | 510,00  | 17041    | 1,00       | 294,45                   |
| 6  | 100%     | 100%   | -5%     | 5%      | 510,00  | 17040    | 1,00       | 222,30                   |
| 7  | 100%     | 100%   | 0%      | -5%     | 510,00  | 17018    | 1,00       | 203,10                   |
| 8  | 100%     | 100%   | 0%      | 5%      | 510,00  | 17021    | 1,00       | 207,05                   |
| 9  | 100%     | 100%   | 5%      | -5%     | 510,00  | 17009    | 1,00       | 206,10                   |
| 10 | 100%     | 100%   | 5%      | 0%      | 510,00  | 17028    | 1,00       | 219,05                   |
| 11 | 100%     | 100%   | 5%      | 5%      | 510,00  | 17044    | 1,00       | 251,00                   |
| 12 | 100%     | 100%   | 10%     | 0%      | 510,00  | 17031    | 1,00       | 265,50                   |
| 13 | 100%     | 100%   | 10%     | 10%     | 510,00  | 17041    | 1,00       | 212,20                   |
| 14 | 100%     | 100%   | 0%      | 10%     | 510,00  | 17042    | 1,00       | 207,30                   |
| 15 | 53%      | 53%    | 0%      | -5%     | 549,00  | 8989     | 1,00       | 217,55                   |
| 16 | 53%      | 53%    | 0%      | -4%     | 547,00  | 8996     | 1,00       | 212,00                   |
| 17 | 53%      | 53%    | 0%      | -3%     | 547,00  | 8993     | 1,00       | 471,20                   |
| 18 | 53%      | 53%    | 0%      | -2%     | 549,00  | 8996     | 1,00       | 272,30                   |
| 19 | 53%      | 53%    | 0%      | -1%     | 547,00  | 9003     | 1,00       | 281,35                   |
| 20 | 53%      | 53%    | 0%      | 1%      | 548,00  | 9013     | 1,00       | 219,00                   |
| 21 | 53%      | 53%    | 0%      | 2%      | 547,00  | 8998     | 1,00       | 250,55                   |
| 22 | 53%      | 53%    | 0%      | 3%      | 547,00  | 9000     | 1,00       | 330,45                   |
| 23 | 53%      | 53%    | 0%      | 4%      | 546,00  | 9014     | 1,00       | 304,25                   |
| 24 | 53%      | 53%    | 0%      | 5%      | 547,00  | 8999     | 1,00       | 236,30                   |
| 25 | 29%      | 29%    | 0%      | -5%     | 421,50  | 5004     | 1,00       | 201,80                   |
| 26 | 29%      | 29%    | 0%      | -4%     | 423,50  | 5006     | 1,00       | 633,00                   |
| 27 | 29%      | 29%    | 0%      | -3%     | 422,00  | 5001     | 1,00       | 399,20                   |
| 28 | 29%      | 29%    | 0%      | -2%     | 421,50  | 5005     | 1,00       | 352,40                   |
| 29 | 29%      | 29%    | 0%      | -1%     | 421,50  | 5005     | 1,00       | 599,40                   |
| 30 | 29%      | 29%    | 0%      | 1%      | 421,50  | 5018     | 1,00       | 231,60                   |
| 31 | 29%      | 29%    | 0%      | 2%      | 420,00  | 5003     | 1,00       | 667,60                   |
| 32 | 29%      | 29%    | 0%      | 3%      | 421,50  | 5006     | 1,00       | 729,20                   |
| 33 | 29%      | 29%    | 0%      | 4%      | 421,50  | 5006     | 1,00       | 209,20                   |
| 34 | 29%      | 29%    | 0%      | 5%      | 424,00  | 5006     | 1,00       | 208,20                   |
| 35 | ---      | ---    | ---     | ---     | ---     | ---      | ---        | ---                      |



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1

Folha

43 de 45

| Instrumentos utilizados         |                                  |             |
|---------------------------------|----------------------------------|-------------|
| Descrição                       | Código do Instrumento            | Nº de Série |
| Analizador de Qualidade de Ener | Yokogawa WT3000                  | 91K100905   |
| Emulador de rede CA             | California Instruments MX45-3-pi | 1150A04474  |
| Emulador de PV                  | TerraSAS ETS 600/25              | 1214A00654  |
| Analizador de Qualidade de Ener | Yokogawa WT3000                  | 91L328543   |
| Sensor de Corrente              | Yokogawa 751523                  | 91K100903   |
| Cronometro                      | Tektronix MSO 5104               | C012576     |
| Osciloscópio                    | Tektronix MSO 5104               | C012576     |
| Emulador de carga RLC           | Hilkar 3x220V 60Hz 42,5kVA       | 150101      |
| Analizador de Qualidade de Ener | Yokogawa WT230                   | 27DC31192   |
| Analizador de Qualidade de Ener | Fluke 435-II                     | 22473119    |

Ilha Solteira(SP), 28 de Julho de 2021



Prof. Dr. Carlos Alberto Canesin

LEP-UNESP



Prof. Dr. Guilherme de Azevedo e Melo

LEP-UNESP



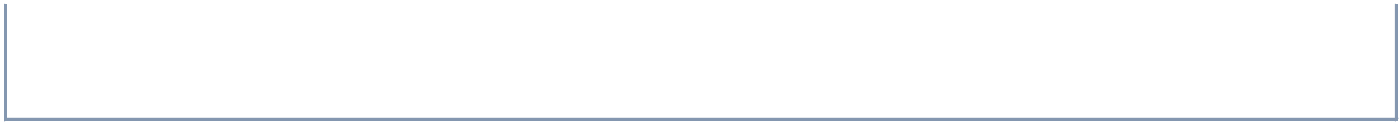


UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP (FEIS)  
LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA DE POTÊNCIA (LEP)



|                          |          |
|--------------------------|----------|
| RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1 | Folha    |
|                          | 45 de 45 |

Anexo 2:





UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP (FEIS)  
LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA DE POTÊNCIA (LEP)

Av. Prof. José Carlos Rossi, 1370  
CEP 15385-000 Ilha Solteira SP BRASIL [www.lep.dee.feis.unesp.br](http://www.lep.dee.feis.unesp.br)  
Fone: 0xx18 3743-1086  
e-mail: [canesin@dee.feis.unesp.br](mailto:canesin@dee.feis.unesp.br)



Folha

1 de 1

Total de páginas 45

- A reprodução deste documento não pode ser parcial e depende da aprovação por escrito do coordenador do LEP-FEIS/UNESP;
- Os resultados apresentados neste documento referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido ao(s) ensaio(s) nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer outros lotes;
- O LEP-FEIS/UNESP manterá o original deste documento arquivado por um período de cinco anos, no mínimo.

# PROPOSTA DE TOPOLOGIA HÍBRIDA PARA COMPENSAÇÃO DE DESEQUILÍBRIOS EM REDES TRIFÁSICAS A QUATRO FIOS NA PRESENÇA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

R. A. N. de Oliveira<sup>1</sup>, L. C. O. de Oliveira<sup>1</sup>, G. A. Melo<sup>1</sup>, C. A. Canesin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>UNESP-Campus de Ilha Solteira, Ilha Solteira(SP)

e-mail: nunes.oliveira@unesp.br

**Resumo** – Nos sistemas trifásicos de potência, as tensões geradas pela fonte são senoidais, iguais em magnitude e possuem defasamento de 120°. Contudo, as tensões resultantes nos pontos de utilização podem ser desbalanceadas por diversas razões, dentre elas, a presença de geração distribuída. Nos sistemas de distribuição de energia elétrica em redes que integram fontes de energia fotovoltaica, os desequilíbrios de tensão podem ser exacerbados devido à natureza intermitente da geração solar e à distribuição irregular de cargas por fase, que variam constantemente pela inserção e/ou retirada de cargas, bem como variação na irradiação solar. Ainda, a integração de sistemas fotovoltaicos na rede, principalmente sistemas monofásicos, podem aumentar a ocorrência de distúrbios, como flutuações de tensão e desequilíbrios de fase, comprometendo a qualidade da energia. Visando a implementação de dispositivos de compensação de desequilíbrios que utilizem um menor número de componentes eletrônicos, apresentem mecanismos de controle simplificados e que sejam menos sensíveis a distúrbios na rede elétrica, este trabalho propõe um arranjo topológico híbrido, composto por um compensador estático de reativos (SVC) e um arranjo de dispositivos eletromagnéticos. O arranjo proposto, além de atender às prerrogativas preconizadas anteriormente, oferece uma solução eficaz para mitigar os impactos negativos associados à geração fotovoltaica intermitente, garantindo um desempenho operacional robusto e a um custo reduzido, quando comparado às demais estruturas de compensação existentes.

**Palavras-Chave** – Circuito Trifásico a Quatro Fios, Filtro Eletromagnético, Compensador Estático de Reativos, Geração Distribuída, Energia Fotovoltaica.

## HYBRID TOPOLOGY FOR IMBALANCE COMPENSATION IN THREE-PHASE FOUR-WIRE NETWORKS IN PRESENCE OF DISTRIBUTED GENERATION

**Abstract** – In three-phase power systems, the voltages generated by the source are sinusoidal, equal in magnitude, and have a phase shift of 120°. However, the resulting voltages at the points of use may be unbalanced for several reasons, including the presence of distributed generation. In electricity distribution systems in networks that integrate photovoltaic energy sources, voltage imbalances may be exacerbated due to the intermittent nature of solar generation and the irregular distribution of loads per phase, which constantly vary due to the insertion and removal of loads, and variations

in solar radiation. Furthermore, integrating photovoltaic systems into the grid, especially single-phase systems, may increase the occurrence of disturbances, such as voltage fluctuations and phase imbalances, compromising energy quality. Aiming at the implementation of imbalance compensation devices that use fewer electronic components, present simplified control mechanisms, and are less sensitive to disturbances in the electrical grid, this work proposes a hybrid topological arrangement, composed of a static reactive compensator (SVC) and an arrangement of electromagnetic devices. The proposed arrangement, in addition to meeting the prerogatives previously advocated, offers an effective solution to mitigate the negative impacts associated with intermittent photovoltaic generation, ensuring robust operational performance and at a reduced cost, when compared to other existing compensation structures.

**Keywords** – Three-Phase Four-Wire Network, Electromagnetic Filter, Static Var Compensator, Distributed Generation, Photovoltaic Energy.

## I. INTRODUÇÃO

As redes elétricas atuais são, em sua maioria, originalmente concebidas como de natureza trifásica. Nestas condições, junto às fontes o sistema elétrico normalmente apresenta condições operacionais muito próximas às ideais, isto é, tensões trifásicas senoidais com amplitudes equilibradas e frequência constante, bem como defasagens angulares de 120 graus entre as diferentes fases.

Ocorre, entretanto, que ao longo das redes existe uma diversidade de cargas elétricas que apresentam particularidades quanto sua forma de conexão as redes de suprimento elétrico, tais como fator de potência nem sempre dentro de valores considerados adequados pelas empresas de distribuição, formas de onda das correntes de alimentação distorcidas, grau de intermitência (conexões e desconexões não programadas), entre outros. Particularmente, no tocante à forma de conexão, estas cargas podem ser de natureza monofásica, bifásicas ou trifásicas e podem absorver diferentes intensidades de corrente nas diferentes fases. Mesmo aquelas de natureza trifásica, em determinadas condições operacionais, podem também drenar correntes desequilibradas durante seu ciclo operacional. Diante de tais fatos, é razoável admitir que, de

---

Nota de rodapé na página inicial será utilizada apenas pelo editor para indicar o andamento do processo de revisão. Não suprima esta nota de rodapé quando editar seu artigo.



**LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA DE POTÊNCIA**  
**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP**

O Relatório Final apresentado pelo estagiário de Pós-doutoramento Rodrigo Alessandro Nunes de Oliveira apresenta de maneira adequada o conteúdo produzido durante o trabalho, conforme planejamento proposto.

Portanto, apresento minha declaração de APROVAÇÃO para o relatório e para a conclusão da proposta de Pós-Doutorado.

Agosto de 2024

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, overlapping loops and strokes, representing the name Carlos Alberto Canesin.

Prof. Dr. Carlos Alberto Canesin