

INTERFACE GRÁFICA APLICADA EM SISTEMA PARA TESTES OPERACIONAIS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Francisco Carlos Parquet Bizarria
fcpbiz@ gmail.com
UNITAU

José Walter Parquet Bizarria
jwpbiz@gmail.com
UNITAU

Leonardo Galvão de Carvalho
leonardogalvaoc@gmail.com
UNITAU

Resumo: As atuais vantagens associadas com os sistemas fotovoltaicos estimularam as suas aplicações nos diversos segmentos da sociedade moderna. A implantação de arranjo com módulos fotovoltaicos para gerar eletricidade é um segmento de aplicação que necessita do desenvolvimento de projeto dedicado e da execução de instalação em campo. Na fase da execução de instalação em campo, esses módulos podem ser acometidos por esforços mecânicos com potencial suficiente para causar discrepâncias no seu funcionamento, estabelecendo uma situação na qual é necessário realizar retrabalhos que impactam em custo, tempo, qualidade e satisfação. Para reduzir as consequências dessas discrepâncias é estratégico realizar testes operacionais nesses módulos, antes da fase instalação em campo, com a meta de verificar previamente a integridade dos mesmos. Nesse contexto, este trabalho apresenta uma proposta de interface gráfica para ser integrada em sistema dedicado que realiza automaticamente os testes operacionais em módulos fotovoltaicos antes da fase de instalação em campo. A validação dos recursos da interface gráfica foi obtida por meio de testes práticos executados em protótipo dedicado para esse fim. Os resultados positivos obtidos nesses testes sugerem que o conjunto de componentes virtuais estabelecidos para essa interface é adequado para a finalidade a qual se destina.

Palavras Chave: Interface Gráfica - Automação de Testes - Módulos Fotovoltaico - -

1. INTRODUÇÃO

O crescente interesse na utilização de energia fotovoltaica associado com o seu retorno financeiro e, também, com os benefícios inerentes do uso da energia renovável, impulsionam o uso de módulos fotovoltaicos em vários segmentos da sociedade moderna, principalmente, para a conversão de luz solar em energia elétrica.

A implantação de um sistema para geração de eletricidade por meio de módulos fotovoltaicos envolve, basicamente, as fases de desenvolvimento de projeto dedicado e a execução de instalação em campo.

Na fase do desenvolvimento de projeto dedicado a meta está concentrada, principalmente, em: i) estabelecer a melhor configuração que será utilizada para a geração de eletricidade, definir a tecnologia que será adotada pelas células dos módulos, determinar a quantidade e o melhor arranjo físico para os módulos fotovoltaicos no local de sua instalação, a fim de produzir uma estimada energia elétrica pelo sistema, de acordo com as condições meteorológicas do local de instalação e o consumo da carga a ser suprida (IMHOFF, 2007; SEGUEL, 2009), e ii) elaborar diagramas e realizar dimensionamentos mecânicos e elétricos que são necessários para atender a configuração estabelecida para a geração de eletricidade por meio de módulos fotovoltaicos, de acordo com norma pertinente.

Durante a execução da fase de instalação em campo, esses módulos podem ser submetidos aos diversos tipos de situações com potencial de causar discrepâncias em seus funcionamentos, sendo que as principais estão relacionadas com: i) vibração devido ao transporte, ii) solicitação estrutural durante a fixação mecânica em campo, iii) impactos de elementos estranhos durante a instalação em campo, e iv) conexão elétrica inadequada durante a instalação final. Para minimizar as consequências que são causadas por essas situações é necessário realizar retrabalhos que comprometem custos, tempo, qualidade e satisfação de clientes.

Com a meta de reduzir esses retrabalhos é estratégico realizar testes operacionais nesses módulos, antes da fase instalação em campo, para verificar previamente a integridade dos mesmos. Nesse contexto, este trabalho apresenta uma proposta de interface gráfica para ser integrada em sistema dedicado que realiza automaticamente os testes operacionais em módulos fotovoltaicos antes da fase de instalação em campo. A validação de cada recurso virtual, contido no conjunto de janelas dessa interface gráfica, foi obtida por meio de testes práticos executados em protótipo dedicado para esse fim.

2. OBJETIVOS DO TRABALHO

Este trabalho tem como meta propor as janelas necessárias para uma interface gráfica ser integrada em sistema dedicado que realiza automaticamente os testes operacionais em módulos fotovoltaicos, antes da fase de instalação em campo.

Apresentar os principais resultados obtidos nos testes práticos que foram realizados para validar os recursos virtuais contidos nas janelas da mencionada interface.

3. ARQUITETURA DE REFERÊNCIA

A escolha dos recursos e a definição do leiaute de componentes virtuais para cada janela da interface gráfica, proposta neste trabalho, foram direcionadas para permitir a sua correta integração no modelo de arquitetura física que foi estabelecido para um sistema realizar automaticamente os testes operacionais em módulos fotovoltaicos, antes da fase de instalação em campo. Nesse sentido, os blocos básicos estabelecidos para essa arquitetura são apresentados na Figura 1.

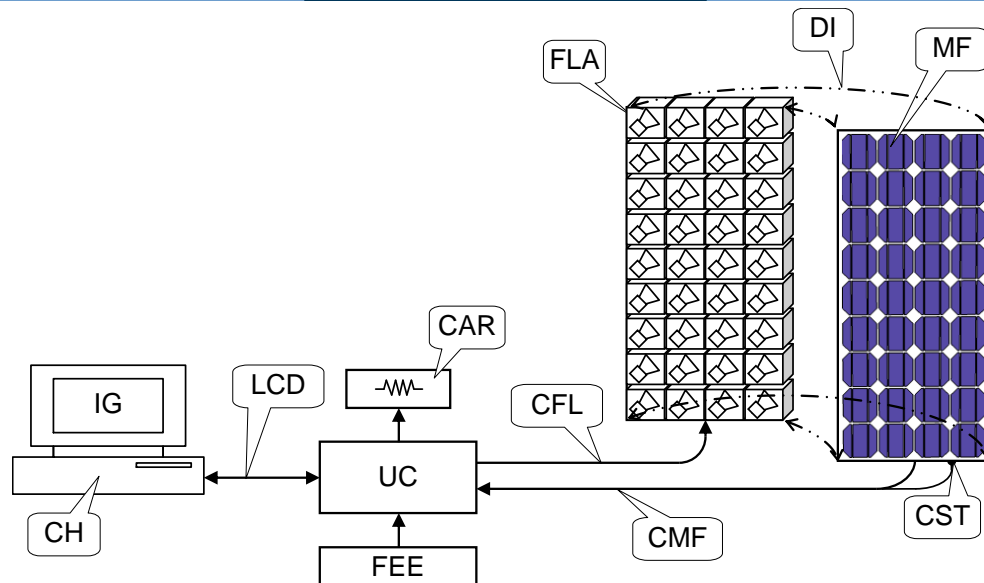


Figura 1: Blocos da arquitetura para testes de módulos fotovoltaicos.

Fonte: BIZARRIA & BIZARRIA (2019)

Os acrônimos definidos para os blocos contidos nessa arquitetura possuem os seguintes significados: i) CH: Computador Hospedeiro, ii) IG: Interface Gráfica, iii) LCD: Linha de Comunicação de Dados, iv) UC: Unidade de Controle, v) FEE: Fonte de Energia Elétrica, vi) CAR: Carga Resistiva, vii) CFL: Cabos da Fonte de Luz, viii) CMF: Cabos do Módulo Fotovoltaico, ix) FLA: Fonte de Luz Artificial, x) MF: Módulo Fotovoltaico, xi) CST: Conjunto Sensor de Temperatura, e xii) DI: Direção para Instalação do Módulo Fotovoltaico com a Fonte de Luz Artificial.

O Computador Hospedeiro (CH) tem como funções: i) alojar, na camada do aplicativo, as janelas da Interface Gráfica (IG) que são utilizadas pelo usuário para realizar os testes operacionais em módulo fotovoltaico, e ii) efetuar as transferências de informações que são necessárias ao funcionamento do sistema para a Unidade de Controle (UC), por meio Linha de Comunicação de Dados (LCD).

A Interface Gráfica (IG) é meio para que o usuário do sistema seja capaz de comandar e monitorar o processo de testes em questão.

A Linha de Comunicação de Dados (LCD) é o meio estabelecido para efetuar a comunicação de dados, de modo bidirecional, entre o Computador Hospedeiro (CH) e a Unidade de Controle (UC).

A Unidade de Controle (UC) realiza o gerenciamento da arquitetura, a partir dos comandos efetuados pelo usuário do sistema na Interface Gráfica (IG), a fim de executar os testes sem carga (em vazio) e em carga do Módulo Fotovoltaico (MF). Esse gerenciamento basicamente ativa o funcionamento da Fonte de Luz Artificial (FLA) e Carga Resistiva (CAR), em função do tipo de teste que é definido, do comando efetuado pelo usuário do sistema na Interface Gráfica (IG) e, também, das informações que são extraídas dos sinais elétricos transmitidos pelos Cabos do Módulo Fotovoltaico (CMF) e do Conjunto Sensor de Temperatura (CST).

A Fonte de Energia Elétrica (FEE) é o meio que fornece a tensão e corrente elétricas necessárias, em corrente alternada (CA), dentro de tolerâncias preestabelecidas, que são transmitidos pelos Cabos da Fonte de Luz (CFL) para atender o consumo nominal de energia que é exigido pela Fonte de Luz Artificial (FLA).

Durante a realização do teste em carga é utilizada uma Carga Resistiva (CAR) para absorver a corrente, em corrente contínua (CC), que é gerada pelo Módulo Fotovoltaico (MF).

A Fonte de Luz Artificial (FLA) é o meio pelo qual é fornecida a energia necessária, em forma de luz, para realizar os testes sem carga (em vazio) e em carga do Módulo Fotovoltaico (MF).

O Módulo Fotovoltaico (MF) é o espécime que será submetido aos testes sem carga (em vazio) e/ou em carga na arquitetura em questão, sendo que a sua instalação deve atender a Direção de Instalação (DI), na qual esse módulo pode ser acomodado sobre a Fonte de Luz Artificial (FLA) ou vice-versa. Em ambos os testes, a temperatura do módulo é monitorada pelo Conjunto Sensor de Temperatura (CST).

4. PROTÓTIPO

Os principais módulos do protótipo que foi montado para validar cada recurso virtual contido no conjunto de janelas da Interface Gráfica (IG), proposta neste trabalho, são apresentados na Figura 2.

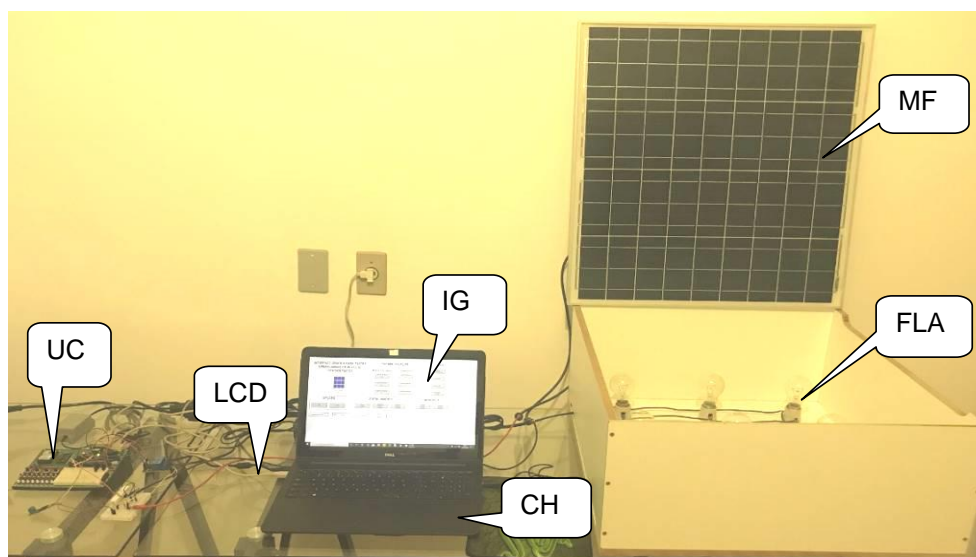


Figura 2: Módulos estabelecidos para o protótipo.

Fonte: CARVALHO (2021)

Os módulos previstos para o protótipo são: i) Interface Gráfica (IG), ii) Computador Hospedeiro (CH), iii) Unidade de Controle (UC), iv) Fonte de Luz Artificial (FLA), e v) Módulo Fotovoltaico (MF).

O Computador Hospedeiro (CH) possui arquitetura Intel® de 64 bits e sistema operacional Windows 10®.

A Interface Gráfica (IG) foi elaborada com recursos disponíveis no ambiente integrado de desenvolvimento de um sistema de Supervisão, Controle e Aquisição de Dados (SCADA).

A Linha de Comunicação de Dados (LCD) é o meio físico para efetuar a comunicação de dados, bidirecional, entre o Computador Hospedeiro (CH) e a Unidade de Controle (UC), sendo que essa adota como padrão o protocolo de comunicação Modbus na camada lógica e EIA 232 na camada física.

A Unidade de Controle (UC) é provida com uma unidade microcontrolada denominada Cubloc CB-280 (COMFILE TECHNOLOGY INC, 2016). Cabe mencionar que

Cada janela da Interface Gráfica (IG) foi elaborada com os recursos disponíveis do software SCADA (Supervisão, Controle e Aquisição de Dados), o qual é denominado por Elipse SCADA, desenvolvido pela empresa Elipse Software (ELIPSE SOFTWARE, 2010), conforme apresentado nos subitens seguintes.

6.1. JANELA DE IDENTIFICAÇÃO

A Janela de Identificação é o meio para realizar a verificação das credenciais do usuário do sistema, sendo utilizado o Nome de Usuário e a sua respectiva Senha, conforme apresentado na Figura 4.

A meta desse procedimento de identificação é limitar a utilização do sistema apenas para usuários previamente cadastrados, sendo que na hipótese de registrar credenciais inválidas, o sistema automaticamente encerra a operação e retorna ao sistema operacional.

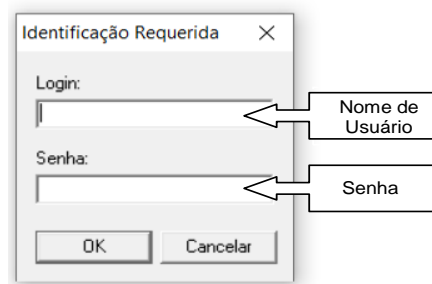


Figura 4: Janela de Identificação.

Fonte: CARVALHO (2021)

6.2. JANELA DE GERÊNCIA E PARAMETRIZAÇÃO

Como consequência de serem inseridas credenciais válidas de usuário nos campos da Janela de Identificação, o sistema direciona esse usuário para a Janela de Gerência e Parametrização, a qual é apresentada na Figura 5.

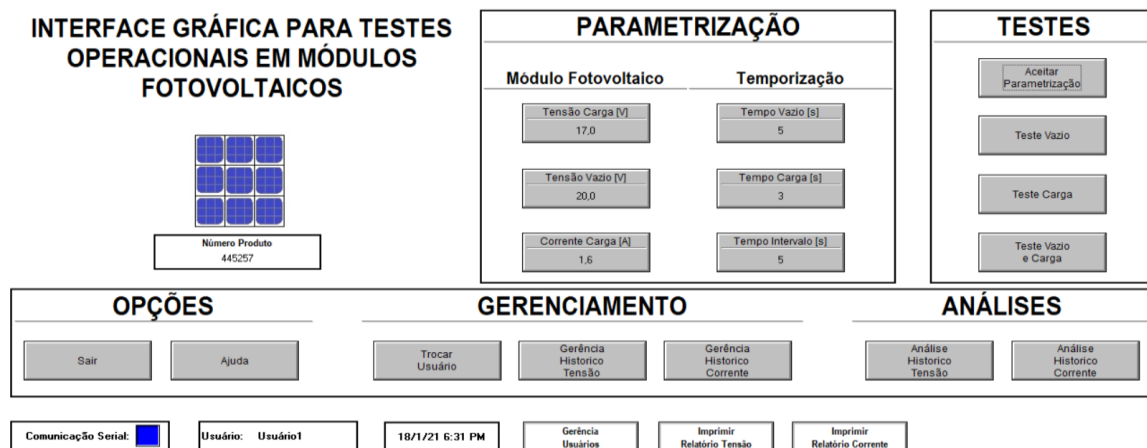


Figura 5: Janela de Gerência e Parametrização.

Fonte: CARVALHO (2021)

As principais funções dessa janela são divididas entre a gerência e parametrização, sendo que esses componentes virtuais possuem as seguintes funções:

Número Produto – campo que permite ao usuário cadastrar o número do produto para identificar o módulo fotovoltaico submetido aos testes, e dessa maneira vincular os resultados obtidos nos testes realizados com as informações armazenadas no arquivo eletrônico destinado ao histórico.

Tensão Carga [V] – campo que permite ao usuário definir o valor de tensão elétrica de máxima potência, em Volt (V), em corrente contínua (CC), a qual é gerada para uma carga

que consome a potência máxima do módulo fotovoltaico, quando esse é submetido a determinado valor de radiação e temperatura nominal. Valor, tipicamente, especificado pelo fabricante do módulo fotovoltaico.

Tensão Vazio [V] – campo que permite ao usuário definir o valor de tensão elétrica de circuito aberto, em Volt (V), em corrente contínua (CC), a qual é a máxima tensão elétrica gerada pelo módulo fotovoltaico sem a circulação de corrente elétrica em seus terminais, quando o módulo é submetido a determinado valor de radiação e temperatura nominal. Valor, tipicamente, especificado pelo fabricante do módulo fotovoltaico.

Corrente Carga [A] – campo que permite ao usuário definir o valor de corrente elétrica contínua de máxima potência, em Ampère (A), a qual é gerada para uma carga que consome a máxima potência do módulo fotovoltaico, quando esse é submetido a determinado valor de radiação e temperatura nominal. Valor, tipicamente, especificado pelo fabricante do módulo fotovoltaico.

Tempo Vazio [s] – campo que permite ao usuário definir o período de tempo, em segundos (s), que durará o teste em vazio. Esse período corresponde ao tempo no qual a Fonte de Luz Artificial (FLA) irá atuar sobre o módulo fotovoltaico.

Tempo Carga [s] – campo que permite ao usuário definir o período de tempo, em segundos (s), que durará o teste em carga. Esse período corresponde ao tempo no qual a Fonte de Luz Artificial (FLA) irá atuar sobre o módulo fotovoltaico.

Tempo Intervalo – campo que permite ao usuário definir o período de tempo, em segundos (s), em que ocorrerá a transição do teste em vazio para o teste em carga. Esse parâmetro é utilizado exclusivamente para atender a Janela de Teste em Vazio e em Carga.

Teste Vazio – botão de acesso para a Janela de Teste em Vazio.

Teste Carga – botão de acesso para a Janela de Teste em Carga.

Teste Vazio e Carga – botão de acesso para a Janela de Teste em Vazio e em Carga.

Sair – botão que finaliza a operação do sistema.

Ajuda – botão que direciona o usuário à Janela de Ajuda.

Trocar Usuário – botão que permite realizar a troca de usuário do sistema. Esse botão ao ser pressionado direciona o usuário à Janela de Identificação e suas funcionalidades.

Gerência Histórico Tensão – botão que ativa a janela instantânea para configuração do histórico de tensão elétrica. Esse histórico tem como finalidade armazenar valores de interesse referentes às tensões elétricas medidas em testes, para futuras análises.

Gerência Histórico Corrente – botão que ativa a janela instantânea para configuração do histórico de corrente elétrica. O arquivo desse histórico tem como finalidade armazenar valores de interesse referentes às correntes elétricas medidas em testes, para futuras análises.

Análise Histórico Tensão – botão que ativa janela instantânea de histórico de tensão elétrica. Possui informações relacionadas com os recursos gráficos que indicam o valor de tensão elétrica medida nos testes realizados com o módulo fotovoltaico.

Análise Histórico Corrente – botão que ativa janela instantânea de histórico de corrente elétrica. Possui informações relacionadas com os recursos gráficos que indicam o valor de corrente elétrica medida nos testes realizados com o módulo fotovoltaico.

Comunicação Serial – visor que atua como meio para informar o estado da comunicação serial entre a Interface Gráfica (IG) e a Unidade de Controle (UC). Opera como sinalização visual, e indica duas circunstâncias: i) sinalização alterna entre os estados ligado e

desligado – conexão serial habilitada, e ii) sinalização permanece constante no estado desligado – conexão serial desabilitada.

Usuário – visor que indica o usuário atual em operação do sistema.

Data e Hora – visor que indica informações de data e hora disponíveis no Computador Hospedeiro (CH).

Gerência Usuários – botão que ativa janela instantânea para alteração de dados de usuários cadastrados no sistema ou para realização do cadastro de um novo usuário.

6.3. JANELA DE TESTE EM VAZIO

Os recursos virtuais que foram estabelecidos para a Janela de Teste em Vazio são apresentados na Figura 6.

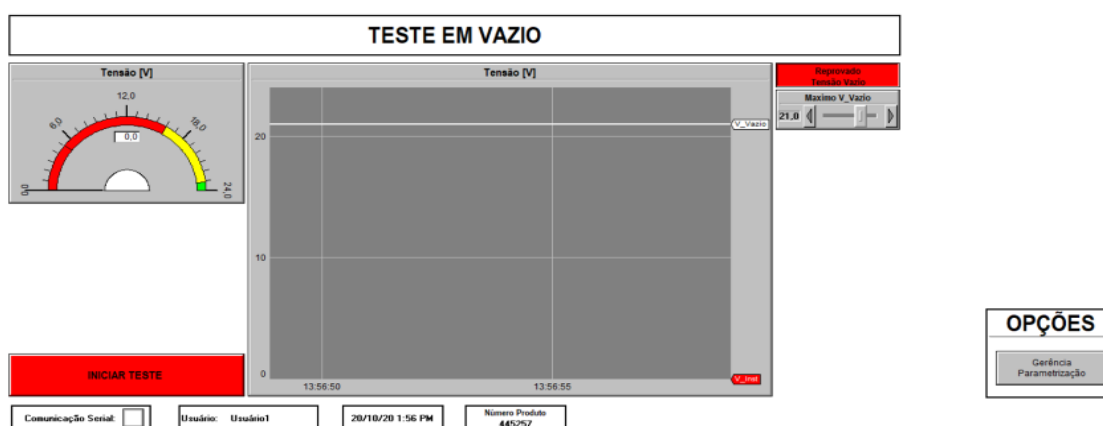


Figura 6: Janela de Teste em Vazio.

Fonte: CARVALHO (2021)

A função dessa janela é dispor os meios para o usuário comandar especificamente a execução do teste em vazio do módulo fotovoltaico. Nessa janela estão presentes os domínios virtuais denominados “TESTE EM VAZIO” e “OPÇÕES”, além de componentes virtuais individuais, sendo que esses recursos possuem as seguintes funções:

INICIAR TESTE – botão para comandar o início do teste em vazio, ao ser acionado ativa-se a sequência de passos relacionada com a execução do teste em vazio, considerando o valor de tempo de duração previamente parametrizado no componente virtual denominado por Tempo Vazio na Janela de Gerência e Parametrização.

Galvanômetro de Tensão [V] – recurso visual que indica o valor analógico de tensão elétrica medido, em Volt (V). Esse valor é apresentado simultaneamente em valor numérico por campo dedicado e, também, por ponteiro com o uso da escala de zero a 24 V (Volt).

Gráfico de Tendência de Tensão [V] – recurso que apresenta o registro em forma de gráfico dos valores de tensão elétrica medidos, em Volt (V), ao longo do tempo. Esse possui duas referências: i) indicador denominado por V_Vazio, o qual contém o valor de tensão elétrica em vazio previamente parametrizado no componente virtual denominado “Tensão Vazio” da Janela de Gerência e Parametrização, e ii) indicador denominado por V_Inst, o qual contém o valor atual de tensão elétrica medido durante a realização do teste.

Reprovado Tensão Vazio/Aprovado Tensão Vazio – visor colorido que indica a reprovação ou a aprovação do módulo fotovoltaico durante a execução do teste em vazio, no âmbito dessa tensão elétrica.

Máximo V_Vazio – recurso que permite o ajuste analógico do valor de tensão elétrica em vazio, sendo que inicialmente é carregado o valor previamente parametrizado no componente virtual denominado “Tensão Vazio” da Janela de Gerência e Parametrização. O valor definido nesse componente é transferido para o indicador V_Vazio contido no Gráfico de Tendência de Tensão [V].

O botão Gerência Parametrização contido no domínio virtual denominado por “OPÇÕES” possui a função de direcionar o usuário à Janela de Gerência e Parametrização.

Os componentes visuais individuais presentes no fim dessa janela possuem as mesmas funções descritas na Janela de Gerência e Parametrização.

6.4. JANELA DE TESTE EM CARGA

Os recursos virtuais que foram estabelecidos para a Janela de Teste em Carga são apresentados na Figura 7.

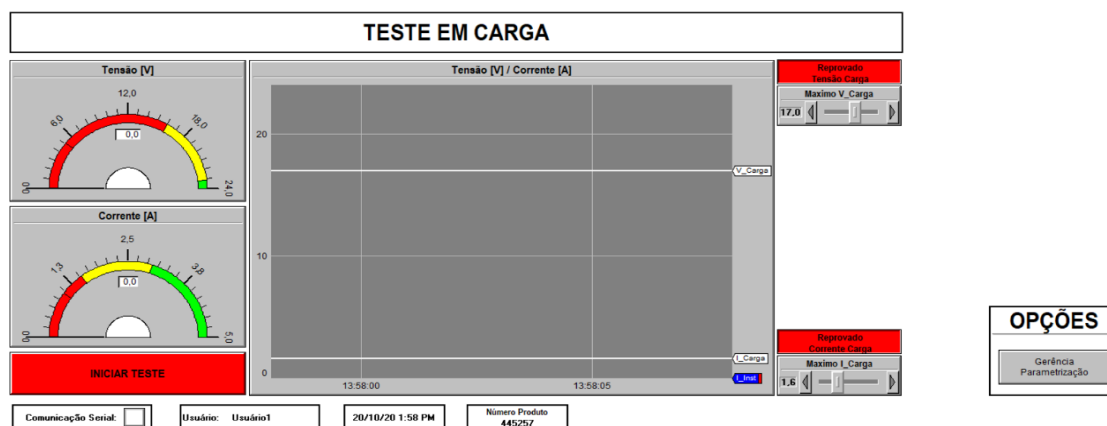


Figura 7: Janela de Teste em Carga.

Fonte: CARVALHO (2021)

A principal função dessa janela é realizar o teste em carga do módulo fotovoltaico instalado no sistema. Nessa janela estão presentes os domínios virtuais denominados por “TESTE EM CARGA” e “OPÇÕES”, além de componentes virtuais individuais, sendo que esses recursos possuem as seguintes funções:

INICIAR TESTE – botão para comandar o início do teste em carga, ao ser acionado ativa-se a sequência de passos relacionada com a execução do teste em carga, considerando o valor de tempo de duração previamente parametrizado no componente virtual denominado por “Tempo Carga” na Janela de Gerência e Parametrização.

Galvanômetro de Tensão [V] – recurso visual que indica o valor analógico de tensão elétrica medido, em Volt (V). Esse valor é apresentado simultaneamente em valor numérico por campo dedicado e, também, por ponteiro com o uso da escala de zero a 24 V (Volt).

Galvanômetro de Corrente [A] – recurso visual que indica o valor analógico de corrente elétrica medido, em Ampère (A). Esse valor é apresentado simultaneamente em valor numérico por campo dedicado e, também, por ponteiro com o uso da escala de zero a 5 A (Ampère).

Gráfico de Tendência de Tensão [V]/Corrente [A] – recurso que apresenta os registros em forma de gráficos dos valores de tensão e corrente elétricas medidos, em Volt (V) e Ampère (A) respectivamente, ao longo do tempo. Esse possui quatro referências: i) indicador denominado por V_Carga, o qual apresenta o valor de tensão elétrica em carga previamente

parametrizado no componente virtual denominado “Tensão Carga” da Janela de Gerência e Parametrização, ii) indicador denominado por I_Carga, o qual apresenta o valor de corrente elétrica em carga previamente parametrizado no componente virtual denominado “Corrente Carga” da Janela de Gerência e Parametrização, iii) indicador denominado por V_Inst, o qual contém o valor atual de tensão elétrica medido durante a realização do teste, e iv) indicador denominado I_Inst, o qual contém o valor atual de corrente elétrica medido durante a realização do teste.

Reprovado Tensão Carga/Aprovado Tensão Carga – visor colorido que indica a reprovação ou a aprovação do módulo fotovoltaico durante a execução do teste em carga, no âmbito dessa tensão elétrica.

Reprovado Corrente Carga/Aprovado Corrente Carga – visor colorido que indica a reprovação ou a aprovação do módulo fotovoltaico durante a execução do teste em carga, no âmbito dessa corrente elétrica.

Máximo V_Carga – recurso que permite o ajuste analógico do valor de tensão elétrica em carga, sendo que inicialmente é carregado o valor previamente parametrizado no componente virtual denominado “Tensão Carga” da Janela de Gerência e Parametrização. O valor definido nesse componente é transferido para o indicador V_Carga contido no Gráfico de Tendência de Tensão [V]/Corrente [A].

Máximo I_Carga – recurso que permite o ajuste analógico do valor de corrente elétrica em carga, sendo que inicialmente é carregado o valor previamente parametrizado no componente virtual denominado “Corrente Carga” da Janela de Gerência e Parametrização. O valor definido nesse componente é transferido para o indicador I_Carga contido no Gráfico de Tendência de Tensão [V]/Corrente [A].

O botão Gerência Parametrização contido no domínio virtual denominado por “OPÇÕES” possui a função de direcionar o usuário à Janela de Gerência e Parametrização.

Os componentes visuais individuais presentes no fim dessa janela possuem as mesmas funções descritas na Janela de Gerência e Parametrização.

6.5. JANELA DE TESTE EM VAZIO E EM CARGA

Os recursos virtuais que foram estabelecidos para a Janela de Teste em Vazio e em Carga são apresentados na Figura 8.

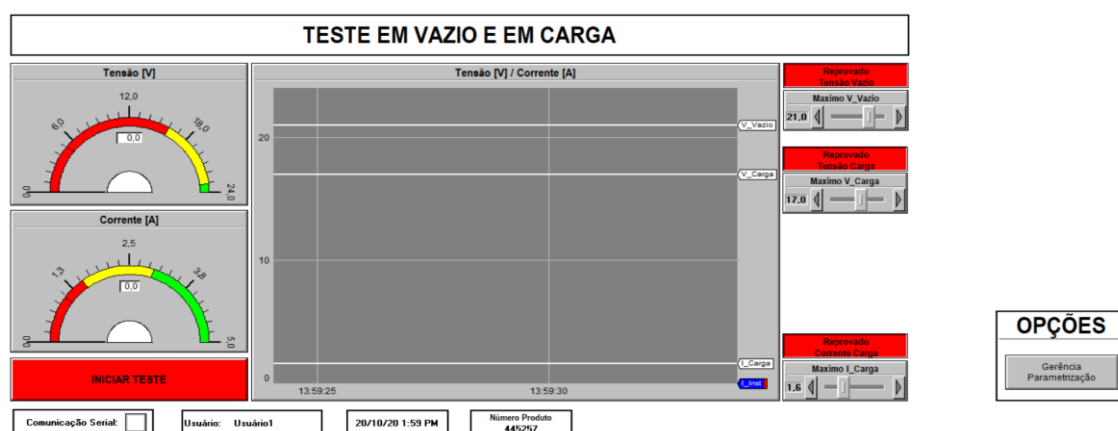


Figura 8: Janela de Teste em Vazio e em Carga.

Fonte: CARVALHO (2021)

A principal função dessa janela é realizar sequencialmente os testes em vazio e em carga do módulo fotovoltaico instalado no sistema. Nessa janela estão presentes os domínios virtuais denominados por “TESTE EM VAZIO E EM CARGA” e “OPÇÕES”, além de componentes virtuais individuais, sendo que esses recursos possuem as seguintes funções:

INICIAR TESTE – botão para comandar o início de dois testes sucessivos. Ao ser acionado, inicialmente, é ativada a sequência de passos relacionada com a execução do teste em vazio, considerando o valor de tempo de duração previamente parametrizado no componente virtual denominado por “Tempo Vazio” na Janela de Gerência e Parametrização. Ao fim desse teste em vazio, e respeitado o tempo parametrizado no componente virtual denominado por “Tempo Intervalo” para o início do teste em carga, é iniciada a sequência de passos para a execução do teste em carga, considerando, também, o valor de tempo de duração previamente parametrizado no componente virtual denominado por “Tempo Carga” na Janela de Gerência e Parametrização.

Galvanômetro de Tensão [V] – recurso visual que indica o valor analógico de tensão elétrica medido, em Volt (V). Esse valor é apresentado simultaneamente em valor numérico por campo dedicado e, também, por ponteiro com o uso da escala de zero a 24 V (Volt).

Galvanômetro de Corrente [A] – recurso visual que indica o valor analógico de corrente elétrica medido, em Ampère (A). Esse valor é apresentado simultaneamente em valor numérico por campo dedicado e, também, por ponteiro com o uso da escala de zero a 5 A (Ampère).

Gráfico de Tendência de Tensão [V]/Corrente [A] – recurso que apresenta os registros em forma de gráficos dos valores de tensão e corrente elétricas medidos, em Volt (V) e Ampère (A) respectivamente, ao longo do tempo. Esse possui cinco referências: i) indicador denominado por V_Vazio, o qual apresenta o valor de tensão elétrica em vazio previamente parametrizado no componente virtual denominado “Tensão Vazio” da Janela de Gerência e Parametrização, ii) indicador denominado por V_Carga, o qual apresenta o valor de tensão elétrica em carga previamente parametrizado no componente virtual denominado “Tensão Carga” da Janela de Gerência e Parametrização, iii) indicador denominado por I_Carga, o qual apresenta o valor de corrente elétrica em carga previamente parametrizado no componente virtual denominado “Corrente Carga” da Janela de Gerência e Parametrização, iv) indicador denominado por V_Inst, o qual apresenta o valor de tensão elétrica medido, e v) indicador denominado I_Inst, o qual apresenta o valor de corrente elétrica medido.

Reprovado Tensão Vazio/Aprovado Tensão Vazio – visor colorido que indica a reprovação ou a aprovação do módulo fotovoltaico durante a execução do teste em vazio, no âmbito da tensão elétrica.

Reprovado Tensão Carga/Aprovado Tensão Carga – visor colorido que indica a reprovação ou a aprovação do módulo fotovoltaico durante a execução do teste em carga, no âmbito da tensão elétrica.

Reprovado Corrente Carga/Aprovado Corrente Carga – visor colorido que indica a reprovação ou a aprovação do módulo fotovoltaico durante a execução do teste em carga, no âmbito da corrente elétrica.

Máximo V_Vazio – recurso que permite o ajuste analógico do valor de tensão elétrica em vazio, sendo que inicialmente é carregado o valor previamente parametrizado no componente virtual denominado “Tensão Vazio” da Janela de Gerência e Parametrização. O valor definido nesse componente é transferido para o indicador V_Vazio contido no Gráfico de Tendência de Tensão [V]/Corrente [A].

Máximo V_Carga – recurso que permite o ajuste analógico do valor de tensão elétrica em carga, sendo que inicialmente é carregado o valor previamente parametrizado no componente virtual denominado “Tensão Carga” da Janela de Gerência e Parametrização. O valor definido nesse componente é transferido para o indicador V_Carga contido no Gráfico de Tendência de Tensão [V]/Corrente [A].

Máximo I_Carga – recurso que permite o ajuste analógico do valor de corrente elétrica em carga, sendo que inicialmente é carregado o valor previamente parametrizado no componente virtual denominado “Corrente Carga” da Janela de Gerência e Parametrização. O valor definido nesse componente é transferido para o indicador I_Carga contido no Gráfico de Tendência de Tensão [V]/Corrente [A].

O botão Gerência Parametrização contido no domínio virtual denominado por “OPÇÕES” possui a função de direcionar o usuário à Janela de Gerência e Parametrização.

Os componentes visuais individuais presentes no fim dessa janela possuem as mesmas funções descritas na Janela de Gerência e Parametrização.

6.6. JANELA DE AJUDA

Na Janela de Ajuda está presente o texto para auxiliar o usuário na utilização do sistema e o domínio virtual denominado por “OPÇÕES”, conforme apresentado na Figura 9.

Instruções básicas para utilizar o Sistema de Testes Operacionais em Módulos Fotovoltaicos:

1. Certificar que todas as partes do Sistema de Testes Operacionais em Módulos Fotovoltaicos estão íntegros, corretamente conectados e ativados.
2. Conectar corretamente o módulo fotovoltaico no Sistema de Testes Operacionais em Módulos Fotovoltaicos.
3. Realizar o Login na Interface Gráfica do sistema.
4. Verificar o estado da comunicação serial do sistema, sendo ativa para sinalização pulsante e inativa para qualquer outra condição dessa sinalização.
5. Cadastrar o número do produto referente ao módulo fotovoltaico instalado no sistema por meio dos recursos contidos na Janela de Gerência e Parametrização.
6. Parametrizar as características elétricas e funcionais do sistema de teste. As características elétricas correspondem à tensão elétrica de circuito aberto, tensão elétrica de máxima potência e corrente elétrica de máxima potência. As características funcionais correspondem ao tempo de duração do teste sem carga (em vazio), tempo de duração do teste em carga e tempo de intervalo para transição de um teste para o outro.
7. Acionar o botão Aceitar Parametrização na Janela de Gerência e Parametrização, após realizar a parametrização das características elétricas e funcionais do sistema, para habilitar o acesso do usuário ao Teste em Vazio, Teste em Carga ou Testes em Vazio e em Carga.
8. Acionar o botão Teste Vazio para o usuário ser direcionado à Janela de Teste em Vazio. Nessa janela estão previstos recursos virtuais para executar automaticamente o teste em questão (INICIAR TESTE) e indicar se o módulo fotovoltaico foi aprovado ou reprovado.
9. Acionar o botão Teste Carga para o usuário ser direcionado à Janela de Teste em Carga. Nessa janela estão previstos recursos virtuais para executar automaticamente o teste em questão (INICIAR TESTE) e indicar se o módulo fotovoltaico foi aprovado ou reprovado.
10. Acionar o botão Teste Vazio e Carga para o usuário ser direcionado à Janela de Testes em Vazio e em Carga. Nessa janela estão previstos recursos virtuais para executar automaticamente os testes em questão (INICIAR TESTE) e indicar se o módulo fotovoltaico foi aprovado ou reprovado no Teste em Vazio e aprovado ou reprovado no Teste em Carga.
11. Ativar o botão Gerência Histórico Tensão para configurar as características do histórico de teste.
12. Ativar o botão Análise Histórico Tensão para realizar análises do histórico de resultados obtidos nos testes.
13. Ativar o botão Gerência Histórico Corrente para configurar as características do histórico de teste.
14. Ativar o botão Análise Histórico Corrente para realizar análises do histórico de resultados obtidos no teste.
15. Ativar o botão Trocar Usuário para substituir o atual por um novo usuário do sistema.
16. Ativar o botão Gerência de Usuário para definir novo usuário ou gerenciar as características de usuários cadastrados.
17. Ativar o botão Sair para finalizar a aplicação.

Usuário: 1/1/70 12:00 AM

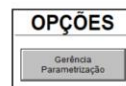


Figura 9: Janela de Janela de Ajuda.

Fonte: CARVALHO (2021)

O botão Gerência Parametrização contido no domínio virtual denominado por “OPÇÕES” possui a função de direcionar o usuário à Janela de Gerência e Parametrização.

Os componentes visuais individuais presentes no fim dessa janela possuem as mesmas funções descritas na Janela de Gerência e Parametrização.

7. TESTES PRÁTICOS

Para validar a eficácia do conjunto de componentes virtuais previstos nas janelas da Interface Gráfica (IG), atuando de modo integrado com os módulos da arquitetura apresentada, foram realizados os testes práticos. Nesse sentido, decorrente da importância e complexidade, neste trabalho é apresentada a sequência e os resultados obtidos no teste em vazio seguido do teste em carga, por meio da Janela de Teste em Vazio e em Carga.

Esse teste foi realizado para a condição nominal do módulo fotovoltaico e, também, com a simulação de sombreamentos de células desse módulo. Nesse sentido, antes de iniciar o

teste, foi realizada a parametrização das características elétricas do módulo fotovoltaico e funcionais do sistema de testes, na Janela de Gerência e Parametrização, sendo efetuados os registros para: i) Número do Produto: 445257, ii) Tensão elétrica em carga: 17 V (Volt), iii) Tensão elétrica em vazio: 20 V (Volt), iv) Corrente elétrica em carga: 1,6 A (Ampère), v) Tempo de duração do teste em vazio: 5 s (segundos), vi) Tempo de duração do teste em carga: 3 s (segundos), e vii) Tempo de intervalo para transição entre os testes: 5 s (segundos).

7.1. TESTE EM VAZIO E EM CARGA

A primeira etapa para realizar o teste em vazio seguido do teste em carga, adotou a configuração física denominada operação nominal, ou seja, sem simular o sombreamento de células do módulo fotovoltaico. Nessa etapa é executado sequencialmente e automaticamente o teste em vazio seguido do teste em carga, por meio dos recursos disponíveis na Janela de Teste em Vazio e em Carga. O tempo de transição entre os testes é definido por meio de parametrização do campo intitulado “Tempo Intervalo”, o qual está contido na Janela de Gerência e Parametrização.

O resultado parcial obtido nessa etapa na Janela de Teste em Vazio e em Carga é apresentado na Figura 10.

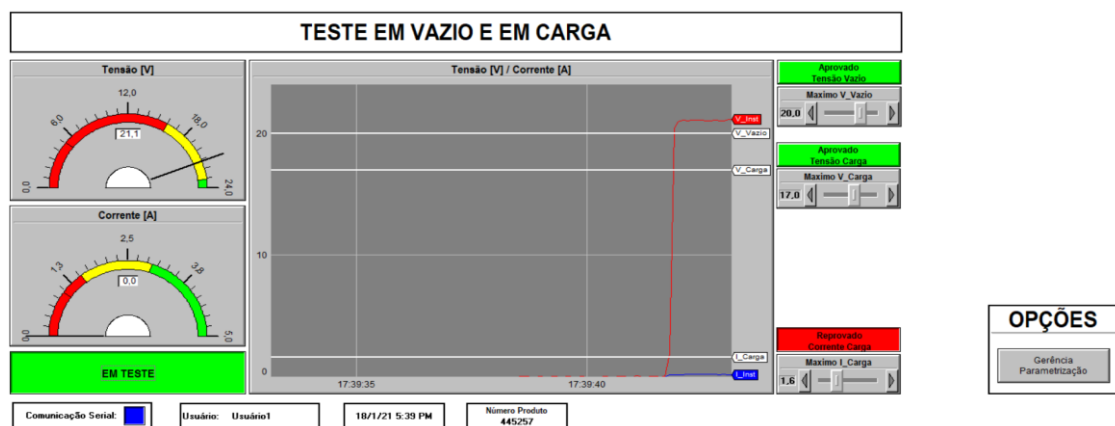


Figura 10: Resultado Parcial do Teste em Vazio e em Carga, operação nominal.

Fonte: CARVALHO (2021)

Conforme pode ser observado nessa figura, o módulo fotovoltaico foi aprovado, pois o valor numérico da tensão em vazio medido pelo sistema de testes foi de 21,1 V (Volt), ou seja, valor acima do previamente parametrizado: 20 V (Volt).

Transcorrido o intervalo para transição entre os testes, o qual foi parametrizado com 5 s (segundos), e de modo sequencial é executado automaticamente o teste em carga, sendo que o resultado final obtido dessa etapa de testes na Janela de Teste em Vazio e em Carga é apresentado na Figura 11.

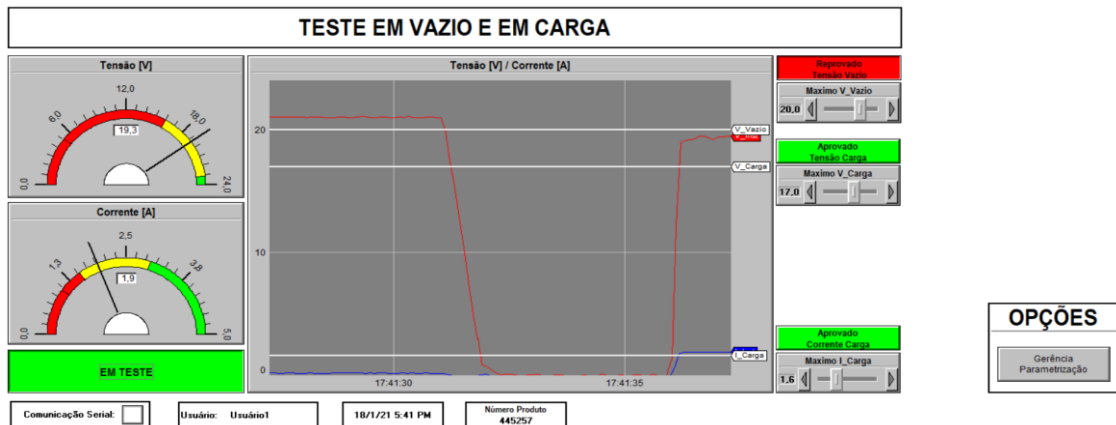


Figura 11: Resultado Final do Teste em Vazio e em Carga, operação nominal.
Fonte: CARVALHO (2021)

Conforme pode ser observado nessa figura, o módulo fotovoltaico foi aprovado no teste em carga, pois o valor numérico da tensão em carga medido pelo sistema de testes foi de 19,3 V (Volt) e da corrente em carga foi de 1,9 A (Ampère), ou seja, valores acima dos previamente parametrizados: 17 V (Volt) e 1,6 A (Ampère).

A segunda etapa para realizar o teste em vazio seguido do teste em carga foi executado a partir da configuração física denominada sombreamento de seis células na parte inferior do módulo fotovoltaico.

O resultado parcial obtido dessa etapa na Janela de Teste em Vazio e em Carga é apresentado na Figura 12.

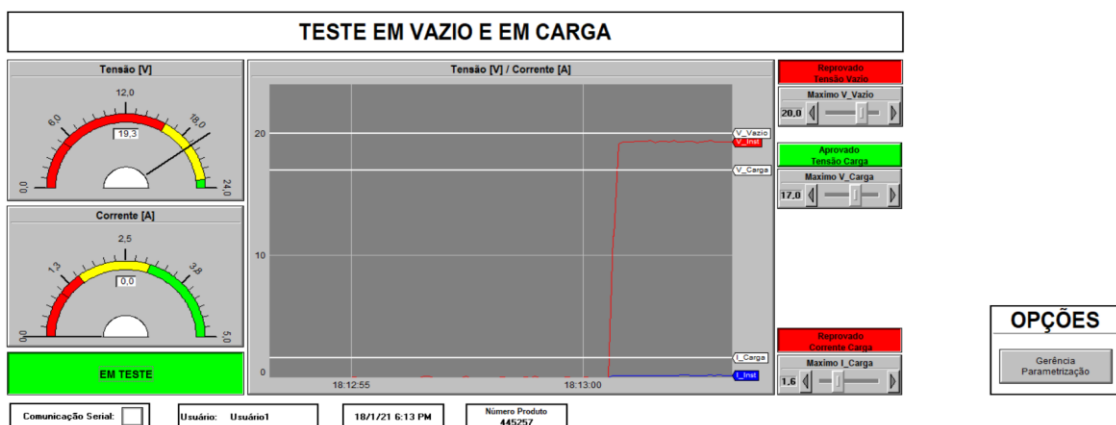


Figura 12: Resultado Parcial do Teste em Vazio e em Carga, com sombreamento.
Fonte: CARVALHO (2021)

Conforme pode ser observado nessa figura, o módulo fotovoltaico foi reprovado, pois o valor numérico da tensão em vazio medido pelo sistema de testes foi de 19,3 V (Volt), ou seja, valor inferior ao previamente parametrizado: 20 V (Volt). É possível observar que ocorreu atenuação de 1,8 V (Volt) na tensão em vazio, em relação àquela obtida na condição de operação nominal.

Transcorrido o intervalo para transição entre os testes, o qual foi parametrizado com 5 s (segundos), e de modo sequencial é executado automaticamente o teste em carga, sendo que

o resultado final obtido dessa etapa teste na Janela de Teste em Vazio e em Carga é apresentado na Figura 13.

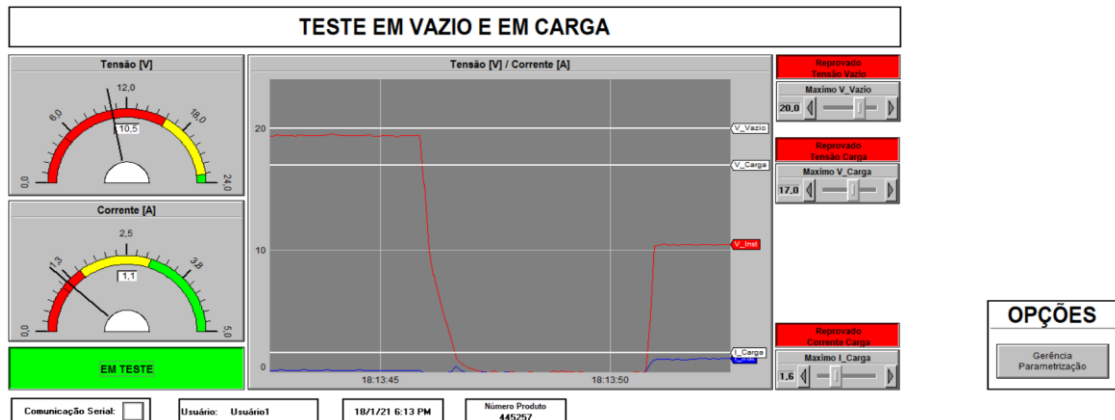


Figura 13: Resultado Final do Teste em Vazio e em Carga, com sombreamento.

Fonte: CARVALHO (2021)

Conforme pode ser observado nessa figura, o módulo fotovoltaico foi reprovado no teste em carga, pois o valor numérico da tensão em carga medido pelo sistema de testes foi de 10,5 V (Volt) e da corrente em carga foi de 1,1 A (Ampère), ou seja, valores abaixo dos previamente parametrizados: 17 V (Volt) e 1,6 A (Ampère). Cabe mencionar que houve atenuação na tensão em carga de 8,8 V (Volt) em relação à condição de operação nominal e, também, atenuação na corrente em carga de 0,8 A (Ampère) em relação à condição de operação nominal.

7.2. RESULTADOS DE TESTES

Os resultados observados nos testes práticos foram positivos, pois, com os recursos e/ou campos estabelecidos para as janelas da Interface Gráfica (IG) foi possível comandar a execução dos testes em vazio e em carga e, também, medir os valores de tensões e corrente gerados pelo módulo fotovoltaico submetido a esses testes.

Os resultados principais obtidos nos testes práticos em vazio e carga são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Resultados testes em vazio e em carga sequenciais.

Configuração do Módulo Fotovoltaico	Tensão em Vazio [V]	Tensão em Carga [V]	Corrente em Carga [A]	Resultado Módulo em Vazio	Resultado Módulo em Carga
Operação nominal	21,1	19,3	1,9	Aprovado	Aprovado
Sombreamento de seis células na parte inferior do módulo	19,3	10,5	1,1	Reprovado	Reprovado

Fonte: Baseado em CARVALHO (2021)

8. CONCLUSÕES

Os resultados positivos obtidos nos testes práticos, realizados com o protótipo, mostraram que por meio das janelas da Interface Gráfica (IG) foi possível comandar a

execução de testes operacionais de módulo fotovoltaico e, também, medir valores de tensões elétricas e corrente elétrica gerados pelo espécime submetido aos testes.

Os testes realizados com o uso do protótipo são eficazes em avaliar a condição de operacionalidade de módulo fotovoltaico, visando fase anterior à instalação em campo e com a finalidade de minimizar a instalação e operação degradada desses módulos.

Os recursos contidos na Interface Gráfica (IG) possibilitam o armazenamento dos valores de tensões elétricas e corrente elétrica, medidas nos testes, em arquivos históricos, o que permite estabelecer uma base de dados que pode ser acessada para análises posteriores na Janela de Gerência e Parametrização.

Os recursos e/ou campos elaborados para as janelas da Interface Gráfica (IG) proporcionam um ambiente intuitivo e expressivo para o usuário que utiliza o sistema para realizar os testes operacionais em módulos fotovoltaicos, condição que facilita sua operação e minimiza equívocos durante a utilização do sistema.

9. REFERÊNCIAS

BIZARRIA, F. C. P. & BIZARRIA, J. W. P. Arquitetura física e lógica para sistema realizar testes operacionais em módulos fotovoltaicos, 2019. Arquivo do padrão Microsoft Word Compatível com as versões 97-2003. Acesso em: 23 set. 2019.

CARVALHO, L. G. Proposta de arquitetura para realizar testes operacionais em módulos fotovoltaicos. 2021. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté, Taubaté, 2021.

COMFILE TECHNOLOGY INC. Cubloc User Manual – PLC / Embedded Computer. 2016. Disponível em: <<http://comfiletech.com/content/cubloc/cublocmanual.pdf>>. Acesso em: 09 Ago. 2020.

ELIPSE SOFTWARE. ElipseScada, HMI/SCADA Software – Manual do usuário. 2010. Disponível em: <<https://www.elipse.com.br/downloads/?cat=69&key=&language=ptbr>>. Acesso em: 16 Set. 2020.

IMHOFF, J. Desenvolvimento de conversores estáticos para sistemas fotovoltaicos anônimos. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007. Disponível em: <<http://repositorio.ufsm.br/handle/1/8608>>. Acesso em: 11 jul. 2020.

SEGUEL, J. I. L. Projeto de um sistema fotovoltaico autônomo de suprimento de energia usando técnica MPPT e controle digital. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1843/BUOS-8CYMEY>>. Acesso em: 11 jul. 2020.

YNGLI SOLAR. Catálogo Módulo Fotovoltaico – JS 60 Series. s.d. Disponível em: <<http://www.globalautomacao.ind.br/novo/web/arquivos/yl055p-17b-36-celulas-policristalino-55w.pdf>>. Acesso em: 08 Ago. 2020.