

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
CAMPUS SANTA MÔNICA

WESLEY SANTIAGO DAVID

**Comissionamento classe 1 de usinas fotovoltaicas:
procedimento e estudo de caso em Divinópolis-MG e
Lagoa da Prata-MG**

Uberlândia - MG

2023

WESLEY SANTIAGO DAVID

**Comissionamento classe 1 de usinas fotovoltaicas:
procedimento e estudo de caso em Divinópolis-MG e
Lagoa da Prata-MG**

Trabalho de Conclusão de Curso da
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Thales Lima Oliveira

Uberlândia - MG

2023

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

D249 David, Wesley Santiago, 1995-
2023 Comissionamento classe 1 de usinas fotovoltaicas:
procedimento e estudo de caso em Divinópolis-MG e Lagoa
da Prata-MG. [recurso eletrônico] / Wesley Santiago
David. - 2023.

Orientador: Thales Lima Oliveira .
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Uberlândia, Graduação em
Engenharia Elétrica.
Modo de acesso: Internet.
Inclui bibliografia.

1. Engenharia elétrica. I. , Thales Lima Oliveira,
1991-, (Orient.). II. Universidade Federal de
Uberlândia. Graduação em Engenharia Elétrica. III.
Titulo.

CDU: 621.3

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

WESLEY SANTIAGO DAVID

**Comissionamento classe 1 de usinas fotovoltaicas:
procedimento e estudo de caso em Divinópolis-MG e
Lagoa da Prata-MG**

Trabalho de Conclusão de Curso da
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Elétrica.

Uberlândia - MG, 2023

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Thales Lima Oliveira – Professor - UFU

Prof. Dr. Jose Rubens Macedo Junior – Professor - UFU

Prof. Dr. Carlos Eduardo Tavares – Professor - UFU

Dedico este trabalho aos meus pais,
familiares e colegas pelo estímulo, carinho e
compreensão.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, quero agradecer a Deus por ter me dado a oportunidade de cursar em uma das melhores faculdades do Brasil. Sua graça e misericórdia foram fundamentais para me sustentar e me guiar ao longo desta jornada.

Também quero agradecer aos meus pais, Hélio Batista David e Rosa Maria David, por todo o apoio, incentivo e sacrifício que fizeram para que eu pudesse chegar onde estou hoje. Sem o amor, a dedicação e o exemplo de vocês, nada disso seria possível.

Aos meus amigos que estiveram ao meu lado na faculdade, meu muito obrigado por todo o companheirismo, colaboração e diversão que compartilhamos. Vocês foram uma parte essencial dessa experiência e espero que possamos continuar juntos por muitos anos.

Não poderia deixar de mencionar também o Professor Dr. Thales Lima Oliveira e os outros membros da banca examinadora professor Dr. José Rubens Macedo Júnior e o professor Dr. Carlos Eduardo Tavares que foram fundamentais para o sucesso do meu trabalho de conclusão de curso. Sua sabedoria, orientação e feedback foram inestimáveis e sou muito grato por tê-los como mentores.

Por fim, agradeço à Universidade Federal de Uberlândia por oferecer um ambiente acadêmico tão rico e desafiador, onde pude crescer intelectualmente e pessoalmente.

Estou imensamente grato por todas essas pessoas e instituições que fizeram parte desta jornada. Agradeço de coração a todos e que Deus continue a abençoá-los.

“Não importa o que aconteça, você sempre tem a escolha de levantar e recomeçar.”

(Eminem, Rapper Americano)

RESUMO

Geradores solares fotovoltaicos, também conhecidos como sistemas UFV, são um tipo de tecnologia que utiliza painéis solares para gerar energia elétrica renovável. O objetivo deste estudo é abordar os principais tópicos relacionados à fase de comissionamento de classe 1, conforme estabelecido pela ABNT NBR 16274:2014 - "Sistemas fotovoltaicos conectados à rede - Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho". Este trabalho apresentará as principais etapas pré-determinadas para a inspeção, testes e avaliação dos resultados encontrados no local, por meio de um estudo de caso de duas usinas solares fotovoltaicas de 6.540 kWp/5.000 kW, localizadas em Lagoa da Prata e Divinópolis, Minas Gerais, Brasil. Para realizar essa análise, equipamentos especializados foram utilizados para coletar dados e validar, mitigar e analisar possíveis falhas que possam ser encontradas na instalação.

Palavras-chave: Gerador fotovoltaico, comissionamento, usina solar, minigeração.

ABSTRACT

Photovoltaic solar generators, also known as UFV systems, are a type of technology that utilizes solar panels to generate renewable electrical energy. The purpose of this study is to address the main topics related to the class 1 commissioning phase, as established by ABNT NBR 16274:2014 - "Grid-connected photovoltaic systems - Minimum requirements for documentation, commissioning tests, inspection, and performance evaluation." This work will present the main pre-established stages for inspection, testing, and evaluation of on-site results, through a case study of two photovoltaic solar plants with capacities of 6,540 kWp/5,000 kW, located in Lagoa da Prata and Divinópolis, Minas Gerais, Brazil. Specialized equipment was used to collect data and validate, mitigate, and analyze any possible failures that may be found in the installation.

Keywords: Photovoltaic generator, commissioning, solar plant, mini-generation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Projeção da Capacidade Instalada da Micro e Minigeração Distribuída	13
Figura 2 - Usina de energia fotovoltaica minigeração.....	15
Figura 3 - Composição de um módulo fotovoltaico	16
Figura 4 - Arranjo de módulos fotovoltaicos.....	17
Figura 5 - Inversor solar de grande porte.....	18
Figura 6 - Setor de medição e proteção da cabine de seccionamento.....	19
Figura 7 - Cabine de seccionamento.....	20
Figura 8 - Transformador de acoplamento a óleo.....	21
Figura 9 – Cabine de medição	22
Figura 10 - Relação da irradiância solar sobre corrente e tensão	24
Figura 11 – UFV lagoa da Prata em construção	25
Figura 12 – Hipot digital.....	31
Figura 13 – Moliohmímetro digital	33
Figura 14 – Ensaio de polaridade	34
Figura 15 – Medida da tensão de circuito.....	35
Figura 16 - Megôhmetro digital Highmed.....	36
Figura 17 - Medida da corrente de curto-circuito.....	38
Figura 18 - Cabos amarrados de forma incorreta	40
Figura 19 - Conector MC4 do módulo crimpado	41
Figura 20 - Eletroduto sem vedação	41
Figura 21 - Módulo fotovoltaico com uma massa utilizada para tampar os eletrodutos.....	42
Figura 22 - Módulo fotovoltaico quebrado.....	43
Figura 23 - Sistema C.A montado corretamente	44
Figura 24 - Cabos de aterramento desconectados.....	45
Figura 25 - Mesa desalinhado dos demais.....	46
Figura 26 - Módulos desalinhados.....	46
Figura 27 - Teste com o hipot.....	48
Figura 28 - Dados obtidos na tabela de ensaio dos cabos MT.....	49
Figura 29 - Dados obtidos na tabela de resistência de isolamento dos cabos MT.....	49
Figura 30 - Dados obtidos da tabela do ensaio de continuidade das mesas	50
Figura 31 - Medição das mesas	51
Figura 32 - Dados obtidos das medições das mesas com o anel de aterramento.....	51

Figura 33 - Dados obtidos das medições dos pontos longitudinais.	52
Figura 34 - Medição de um ponto longitudinal	52
Figura 35 - Dados obtidos das medições dos pontos auxiliares	53
Figura 36 - Medição do inversor ao ponto de aterramento.....	53
Figura 37 - Medição da haste de aterramento.....	54
Figura 38 - Dados obtidos das medições do VOC.....	56
Figura 39 - Dados obtidos das medições de resistência de isolamento das strings	57
Figura 40 - Dados obtidos das medições de resistência de isolamento dos cabos C.A	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros de tensão VOC e critérios de aceite.....	56
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UFV	Usina Fotovoltaica
TCs	Transformador de corrente
TPs	Transformador de potência
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
C.C	Corrente contínua
C.A	Corrente alternada
BT	Baixa tensão
MT	Média tensão
VOC	Tensão de circuito aberto
ISC	Corrente de curto circuito
Pmax	Potência máxima
Vmp	Tensão máxima de pico
Imp	Corrente máxima de pico
kW	Kilowatt
Wp	Watt Pico
MW	Megawatt
kV	Kilovolt
QGBT	Quadro geral de baixa tensão
CFTV	Circuito fechado de televisão
EPI	Equipamento individual de proteção
STC	Condições de teste padrão
ANEEL	Agência nacional de energia elétrica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Marco da geração distribuída no país	12
1.2 Objetivos.....	13
1.3 Estrutura do trabalho	14
2 USINA FOTOVOLTAICA (UFV)	15
2.1 Módulos fotovoltaicos.....	15
2.2 Inversor solar	17
2.3 Cabine de seccionamento	18
2.4 Transformador de acoplamento.....	20
2.5 Cabine de medição MT	21
2.6 Parâmetros elétricos	22
2.6.1 Tensão de circuito aberto (VOC).....	22
2.6.2 Corrente de curto-circuito (Isc)	23
2.6.3 Potência máxima (Pmax).....	23
2.6.4 Irradiância solar	24
3 COMISSONAMENTO UFV'S	25
3.1 Inspeção Visual das UFV's	27
3.1.1 Pré-Requisitos Para Inspeção Visual.....	27
3.1.3 Inspeção mecânica.....	29
3.1.4 Inspeção visual civil	30
3.2 Testes e ensaios de comissionamento	30
3.2.1 Ensaio em circuitos C.A MT conforme a IEC 60364-6.....	31
3.2.2 Ensaio de continuidade dos condutores de aterramento	32
3.2.3 Ensaio de polaridade.....	33
3.2.4 Medição de tensão de circuito aberto – Séries fotovoltaicas.....	34
3.2.5 Ensaio de resistência de isolamento dos circuitos C.C e C.A BT	35
3.2.6 Ensaio de corrente das séries fotovoltaicas	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
4.1 Resultados da inspeção visual.....	39
4.1.1 Inspeção do sistema CC.....	39
4.1.2 Inspeção do sistema C.A	43
4.1.3 Inspeção civil e mecânica.....	44

4.2 Resultado dos ensaios de comissionamento.....	47
4.2.1 Resultado dos ensaios em circuitos C.A MT	47
4.2.2 Resultados do ensaio de continuidade do aterramento	50
4.2.3 Resultados do ensaio de polaridade e VOC.....	55
4.2.4 Resultados do ensaio de resistência de isolamento cabos C.C e das strings	56
4.2.5 Resultados do ensaio de resistência de isolamento cabos C.A.....	57
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
6 REFERÊNCIAS.....	61
7 ANEXO A – PREJETOS EXECUTIVOS UFV’S	62
8 ANEXO B – DATASHEET MÓDULO FOTOVOLTAICO DA UFV	63

1 INTRODUÇÃO

O crescente interesse em energia renovável está impulsionando o uso de usinas de energia solar como uma alternativa limpa e sustentável à geração de energia. No entanto, manter essas plantas funcionando com segurança e com desempenho máximo é um grande desafio. É aqui que entra o processo de comissionamento. É um conjunto de atividades destinadas a verificar e certificar que todos os sistemas e componentes da usina fotovoltaica estão funcionando corretamente e em conformidade com as especificações técnicas e regulamentares.

O comissionamento de uma usina fotovoltaica é uma tarefa complexa e crítica que envolve inspeção visual e testes de todos os componentes e sistemas da usina, desde módulos fotovoltaicos e inversores até transformadores. Essa verificação é realizada por uma equipe de profissionais que segue procedimentos rigorosos para garantir o bom funcionamento de todos os sistemas.

Neste trabalho, será estudado detalhadamente o processo de comissionamento de uma usina fotovoltaica, incluindo sua importância para garantir o desempenho ideal e a segurança da usina, as etapas envolvidas no processo e os principais testes e verificações elétricas realizadas. Além disso, serão apresentados exemplos práticos de comissionamento de usinas fotovoltaicas, destacando os principais desafios enfrentados e as soluções encontradas.

1.1 Marco da geração distribuída no país

O Brasil possui uma das fontes de energia mais limpas do mundo graças ao uso de fontes renováveis como hidrelétricas, biomassa e eólica. No entanto, com o aumento da demanda por energia elétrica e a necessidade de diversificação da matriz energética, a geração distribuída de energia tornou-se uma alternativa viável para o país.

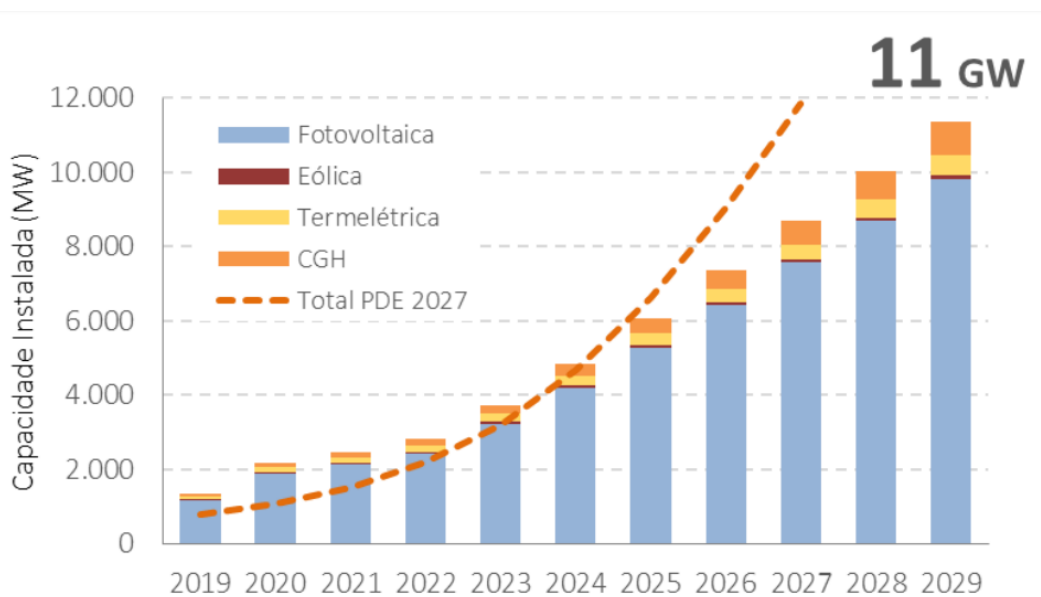
A geração distribuída é a geração de eletricidade em pequena escala próxima ao ponto de consumo a partir de fontes renováveis, como energia solar e eólica. Isso possibilita reduzir perdas na transmissão de energia elétrica, melhorar a eficiência do sistema elétrico veicular e aumentar a participação de fontes renováveis na matriz energética.

O Marco Legal da Geração Distribuída, aprovado em 2019, estimulou o desenvolvimento de projetos de geração distribuída no país. Com a nova regulamentação, a micro e minigeração de energia elétrica foi regulamentada pela ANEEL e tornada mais acessível aos consumidores brasileiros.

Além disso, o Marco Legal da Geração Distribuída estabelece regras claras para a compensação da eletricidade gerada pelos consumidores e fornecida à rede elétrica. Isso significa que os consumidores que geram sua própria eletricidade a partir de fontes renováveis podem receber créditos em suas contas de energia elétrica, reduzindo seus gastos com esse insumo.

Assim, o Marco Legal da Geração Distribuída promoveu o desenvolvimento de projetos de geração distribuída no país e aumentou a participação de fontes renováveis na matriz elétrica. É provável que essa tendência continue nos próximos anos com a popularização da energia solar e eólica e as crescentes preocupações com a sustentabilidade ambiental, como é evidenciado na Figura 1, em que é apresentada a projeção de crescimento da capacidade instalada para os sistemas de micro e minigeração distribuída.

Figura 1 - Projeção da Capacidade Instalada da Micro e Minigeração Distribuída



Fonte: EPE, 2020.

1.2 Objetivos

O comissionamento de uma usina fotovoltaica é um processo complexo e crítico que tem como principal objetivo verificar e certificar que todos os sistemas e componentes da usina estão a funcionar corretamente e cumprem as especificações técnicas e regulamentares.

Para isso, o processo de comissionamento inclui uma série de atividades como inspeções visuais e testes elétricos para verificar a instalação e o funcionamento do equipamento, além de verificar se os parâmetros elétricos como tensão e corrente estão dentro dos limites aceitáveis.

Além disso, o comissionamento visa garantir a segurança da usina fotovoltaica, evitar possíveis riscos elétricos e garantir a integridade das estruturas e equipamentos. Para tanto, além da análise de risco e segurança, também são verificados o aterramento, polaridade, resistência de isolamento e continuidade do circuito.

O comissionamento também é importante para validar o projeto e obter as licenças e certificados necessários para operar a usina. O processo de comissionamento é, portanto, essencial para garantir que a usina fotovoltaica esteja operacionalmente pronta, atenda a todos os requisitos técnicos e regulamentares e opere com segurança e eficiência.

1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho está estruturado em seis seções, sendo a primeira uma introdução. O segundo capítulo visa apresentar os componentes e parâmetros de uma usina fotovoltaica, para que o leitor esteja familiarizado com os principais aspectos que serão abordados na seção subsequente. No terceiro capítulo, será discutido o processo de comissionamento de uma usina fotovoltaica, abrangendo suas etapas e requisitos necessários para a realização. O quarto capítulo fornecerá uma descrição detalhada da usina que será objeto de estudo neste trabalho, bem como os resultados do comissionamento, incluindo as inspeções e testes realizados. Por fim, as conclusões finais serão apresentadas na seção cinco, destacando como este estudo de caso ofereceu uma abordagem prática para complementar os estudos teóricos realizados durante a graduação em Engenharia Elétrica.

2 USINA FOTOVOLTAICA (UFV)

Uma usina de energia fotovoltaica como mostrado na figura 2 é uma instalação de geração de energia que usa painéis solares fotovoltaicos para converter energia solar em energia elétrica. Essas usinas são uma fonte de energia limpa e renovável capaz de gerar eletricidade em grande escala.

Usinas fotovoltaicas de grande porte têm a capacidade de fornecer energia para grandes áreas geográficas, incluindo cidades inteiras e indústrias. Além disso, as usinas fotovoltaicas podem ser instaladas em áreas remotas com redes elétricas limitadas para fornecer energia limpa a essas áreas e contribuir para o desenvolvimento social e econômico.

A energia fotovoltaica é uma fonte de energia limpa e renovável que ajuda a reduzir a dependência da energia fóssil e o impacto ambiental associado. Além disso, as usinas fotovoltaicas podem trazer benefícios econômicos, como a geração de empregos na instalação, manutenção e operação das usinas.

Figura 2 - Usina de energia fotovoltaica minigeração



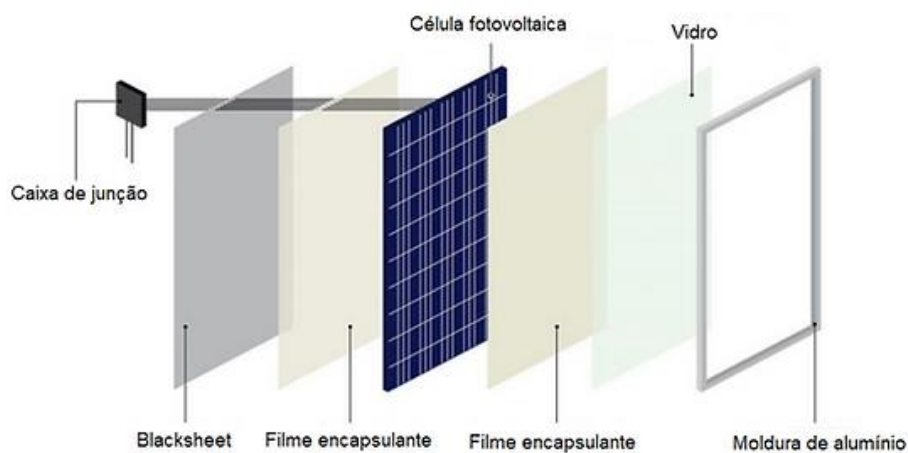
Fonte: do autor.

2.1 Módulos fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos são dispositivos constituídos por células solares interligadas que convertem a energia solar em eletricidade. Essas células solares são geralmente feitas de silício, um elemento semicondutor que converte luz solar em eletricidade.

Os módulos fotovoltaicos consistem em várias camadas. A camada superior é feita de vidro temperado resistente às intempéries, que protege as células solares contra danos causados pelo clima e pela exposição ambiental. Abaixo do vidro há uma camada antirreflexo que ajuda a aumentar a quantidade de luz solar que atinge as células solares como é mostrado na figura 3.

Figura 3 - Composição de um módulo fotovoltaico



Fonte: Energês adaptada, 2020.

As células solares em módulos fotovoltaicos são geralmente dispostas em matrizes, com cada célula conectada em série ou paralelo para aumentar a tensão ou a corrente, respectivamente. A corrente gerada pelas células solares é coletada por fios e conectores que levam a energia a um inversor, que é um dispositivo que converte a corrente contínua (CC) gerada pelas células solares em corrente alternada (CA) para alimentar a carga, na figura 4 é mostrado um arranjo de módulos.

Figura 4 - Arranjo de módulos fotovoltaicos



Fonte: Do autor.

2.2 Inversor solar

O inversor de uma usina fotovoltaica é um dispositivo de conversão de energia que desempenha um papel fundamental na geração de eletricidade a partir de fontes solares. Esses dispositivos convertem a corrente contínua (CC) gerada pelos painéis fotovoltaicos em corrente alternada (CA) que é utilizada pela rede elétrica.

Em um sistema fotovoltaico, o inversor gerencia a energia gerada pelos painéis solares, que pode variar muito ao longo do dia, dependendo da posição do sol e do clima. O inversor é projetado para regular a tensão e a frequência da energia produzida, garantindo que ela esteja em conformidade com as normas elétricas e possa ser distribuída pela rede elétrica.

Os inversores fotovoltaicos são projetados para grandes quantidades de energia. Eles geralmente consistem em vários módulos, chamados de "strings", que são conectados em série e alimentados ao inversor. Os inversores fotovoltaicos também podem se comunicar com outros componentes do sistema, como dispositivos de monitoramento e controle, para garantir geração e distribuição eficientes de energia.

Além disso, os inversores fotovoltaicos devem ser projetados para lidar com variações de temperatura e tensão que ocorrem em grandes sistemas solares. Eles geralmente têm sistemas de resfriamento embutidos para mantê-los em temperaturas seguras e eficientes.

Os inversores do sistema fotovoltaico são muito eficientes em termos energéticos e sua eficiência de conversão de energia excede 98% de acordo o datasheet. Eles também são projetados para serem confiáveis e duráveis, com vida útil de até 25 anos, como é mostrado na figura 5.

Figura 5 - Inversor solar de grande porte



Fonte: Do autor.

2.3 Cabine de seccionamento

A cabine de seccionamento de uma usina solar é uma parte crítica do sistema elétrico de um sistema fotovoltaico. Ele garante que a energia gerada pelos módulos solares seja distribuída de forma segura e eficiente através da rede elétrica.

A cabine de seccionamento é um gabinete de metal que contém dispositivos de comutação, como disjuntores, TPs, TCs, barramentos e chaves seccionadoras usadas para controlar o fluxo de eletricidade na usina. Esses dispositivos permitem que os operadores interrompam a energia em caso de emergência ou manutenção, ou para permitir o trabalho em uma seção específica do sistema sem interromper a energia de outras áreas.

Além disso, a cabine que é mostrada na figura 6 também é responsável por proteger o sistema fotovoltaico de sobrecargas e curtos-circuitos, minimizando assim os riscos de danos

ou interrupção do sistema. Os dispositivos de proteção de cabine são projetados para interromper o fluxo de corrente em caso de falha ou sobrecarga do sistema, protegendo os equipamentos e as pessoas envolvidas no processo.

Figura 6 - Setor de medição e proteção da cabine de seccionamento



Fonte: Canalsolar.com.br.

Os sistemas de seccionamento mostrados na figura 7 de um sistema solar devem ser projetados de acordo com as normas elétricas e garantir a segurança e confiabilidade do sistema. Eles são normalmente instalados em uma área central da planta onde os operadores têm fácil acesso a todos os painéis.

A manutenção regular é crucial para garantir a segurança e o bom funcionamento do sistema solar. Os operadores devem inspecionar regularmente os dispositivos de comutação e repará-los ou substituí-los conforme necessário para garantir que o sistema esteja em boas condições de operação o tempo todo.

Figura 7 - Cabine de seccionamento



Fonte: alphasistemaseletricos.com.br.

2.4 Transformador de acoplamento

O transformador de acoplamento desempenha um papel crucial na conexão da rede de distribuição do fornecedor de energia com a geração do sistema fotovoltaico. Sua principal função é permitir a conexão entre os dois sistemas e garantir que a energia elétrica gerada na usina seja entregue à rede elétrica da concessionária. O transformador capta a energia elétrica gerada pela instalação em uma tensão específica e a converte para a tensão nominal do sistema de distribuição da concessionária, garantindo compatibilidade e adequação entre os sistemas.

A especificação do transformador de acoplamento é uma etapa crucial no projeto do sistema fotovoltaico. Nesse processo, é necessário considerar cuidadosamente a tensão nominal do sistema de distribuição da concessionária, bem como a tensão nominal de operação dos inversores que serão conectados ao transformador. É importante ressaltar que o transformador deve ter dimensionamento adequado para suportar a potência gerada pelo sistema fotovoltaico e também deve atender às normas técnicas e de segurança estabelecidas pelos órgãos reguladores, na figura 8 mostra um transformador de acoplamento a óleo.

Figura 8 - Transformador de acoplamento a óleo



Fonte: Do autor.

2.5 Cabine de medição MT

A cabine de medição MT, é um equipamento essencial em plantas fotovoltaicas, pois é responsável por medir a energia elétrica produzida pelo sistema antes de ser conectado ao sistema de distribuição da concessionária.

O dimensionamento da cabine de medição primária deve levar em consideração a capacidade de geração da UFV para garantir que a cabine tenha capacidade de medir com precisão a energia gerada pela matriz. Além disso, é importante considerar as características da rede de distribuição à qual o sistema será conectado, a fim de garantir a compatibilidade e eficiência do sistema.

A cabine de medição primária consiste em vários dispositivos, como medidores de energia, disjuntores, TPs e TCs. Esses equipamentos são responsáveis por realizar a medição da energia elétrica produzida pela usina e por garantir a segurança e proteção do sistema, na figura 9 mostra uma cabine de medição.

Figura 9 – Cabine de medição



Fonte: vrpaineis.com.br.

2.6 Parâmetros elétricos

Os parâmetros elétricos de uma usina fotovoltaica (UFV) são fundamentais para garantir seu desempenho, eficiência e segurança. Esses parâmetros são obtidos a partir de medições realizadas em diferentes pontos do sistema, como nos painéis fotovoltaicos, inversores, cabos e demais equipamentos elétricos.

2.6.1 Tensão de circuito aberto (VOC)

A tensão de circuito aberto é determinada pela quantidade de luz solar incidente sobre o painel fotovoltaico e pela temperatura ambiente. Quanto maior a intensidade de luz solar, maior será a tensão de circuito aberto. Já a temperatura ambiente pode afetar negativamente a tensão de circuito aberto, reduzindo-a em alguns casos.

Esse parâmetro elétrico é importante para garantir que os painéis fotovoltaicos estejam operando dentro de seus limites de segurança, uma vez que uma tensão de circuito aberto muito elevada pode danificar os equipamentos elétricos e reduzir a vida útil do sistema. Além disso,

a tensão de circuito aberto é um dos dados utilizados para calcular outros parâmetros elétricos, como a corrente de curto-circuito, a tensão de pico e a potência máxima do painel fotovoltaico.

2.6.2 Corrente de curto-circuito (I_{sc})

Esse parâmetro elétrico é importante para avaliar a capacidade de fornecimento de corrente dos painéis fotovoltaicos e garantir que o sistema esteja protegido contra sobrecorrentes. Além disso, a corrente de curto-circuito é um dos dados utilizados para calcular outros parâmetros elétricos, como a tensão de circuito aberto, a tensão de pico e a potência máxima do painel fotovoltaico.

É importante observar que a corrente de curto-circuito é uma condição operacional extrema que não deve ser alcançada durante a operação normal do sistema. Quando ocorre um curto no sistema, os dispositivos de proteção devem entrar em ação para isolar o circuito e evitar danos ao equipamento e riscos à segurança.

2.6.3 Potência máxima (P_{max})

A potência máxima é determinada pela tensão de pico (V_{mp}) da equação 1 e pela corrente de pico (I_{mp}) da equação 2 do painel fotovoltaico, ou seja, é o produto desses dois parâmetros elétricos. É importante destacar que a potência máxima é uma característica do painel fotovoltaico e não do sistema como um todo, já que depende apenas das especificações do painel e das condições de operação, conforme a equação adaptada de (Goetzberger; Hoffmann, 2005).

$$V_{mp} \approx (0,75 - 0,90) \times V_{oc} \quad (1)$$

$$I_{mp} \approx (0,85 - 0,95) \times I_{sc} \quad (2)$$

Em que:

V_{mp} : Tensão de máxima potência;

V_{oc} : Tensão de circuito aberto;

I_{mp} : Corrente de máxima potência;

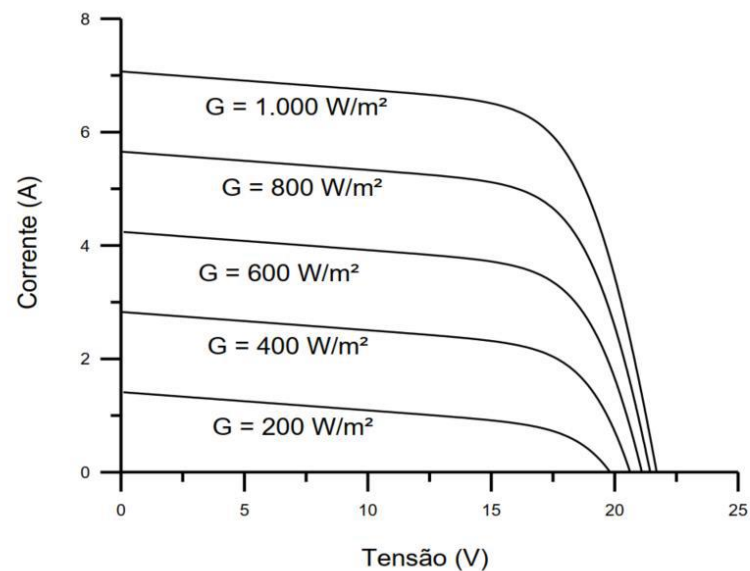
I_{sc} : Corrente de curto-circuito.

2.6.4 Irradiância solar

Irradiância solar é a quantidade de energia solar que atinge uma determinada superfície por unidade de área. É uma medida importante para o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos e para o estudo da radiação solar em geral.

A unidade de medida da irradiância solar é o Watt por metro quadrado (W/m^2). A quantidade de energia solar que atinge a superfície da Terra varia de acordo com fatores como a localização geográfica, a hora do dia, a época do ano, as condições meteorológicas e a presença de obstáculos que possam bloquear a radiação solar, como nuvens ou edifícios, na figura 10 mostra a relação da irradiância em um módulo solar sobre corrente e tensão.

Figura 10 - Relação da irradiância solar sobre corrente e tensão



Fonte: Adaptado de (Pinho, Galdino)

3 COMISSIONAMENTO UFV'S

As Usina Fotovoltaicas, são localizadas em Divinópolis e Lagoa da Prata mostrado na figura 11, Minas Gerais, possui uma instalação de geração de energia elétrica por meio da tecnologia fotovoltaica. A capacidade total de cada usina é de 6.540 kWp/5.000 kW, o que a torna uma importante fonte de energia renovável. Cada instalação é composta por 12.000 módulos fotovoltaicos, com modelo TRINA SOLAR – TSM-545-19C.20 545Wp. Esses módulos são responsáveis por converter a luz solar em energia elétrica. Além disso, cada usina possui 400 strings, cada uma composta por 30 módulos conectados em série. Foram incluídos 26 inversores em cada da marca HUAWEI, sendo 24 inversores do modelo SUN 2000-215KTL com capacidade de 200 kW e 2 inversores do modelo SUN 2000-100KTL com capacidade de 100 kW. Estes inversores são responsáveis por converterem a corrente contínua gerada pelos módulos fotovoltaicos em corrente alternada, adequada para ser utilizada na rede elétrica.

Cada usina também possui 2 transformadores de 2,5 MW cada, com tensões nominais de 13,8 kV/800-462 V.

Figura 11 – UFV lagoa da Prata em construção



Fonte: do autor.

O objetivo do processo de comissionamento é garantir que o sistema ou equipamento opere de acordo com as especificações e requisitos predefinidos. Com um sistema fotovoltaico,

o comissionamento deve garantir que o sistema funcione com segurança, eficiência e confiabilidade e produza eletricidade conforme pretendido.

Testes, inspeções e controles são realizados durante o comissionamento para avaliar o desempenho do sistema e garantir seu correto funcionamento. Estas atividades incluem, por exemplo, a verificação dos sistemas elétricos, a medição da irradiância solar e dos parâmetros elétricos dos painéis fotovoltaicos, a realização de testes de segurança e a avaliação do funcionamento do sistema nas diversas condições.

Entre os benefícios de um comissionamento bem executado, estão:

- Garantia do desempenho: o comissionamento ajuda a assegurar que a usina fotovoltaica esteja funcionando de acordo com as especificações e requisitos previamente definidos, garantindo o desempenho adequado do sistema.
- Identificação e correção de falhas: durante o processo de comissionamento, são realizados testes, inspeções e verificações para identificar e corrigir eventuais falhas ou problemas no sistema, antes que ele entre em operação comercial.
- Redução de custos: o comissionamento pode contribuir para a redução de custos ao identificar e corrigir falhas antes que elas se tornem problemas maiores e mais custosos.
- Aumento da vida útil do sistema: um comissionamento bem realizado pode aumentar a vida útil do sistema, garantindo que ele esteja operando de forma segura e eficiente.
- Melhoria da segurança: o comissionamento inclui testes de segurança que ajudam a garantir a segurança do sistema e dos usuários.
- Conformidade com as normas e regulamentações: o comissionamento ajuda a garantir que a usina fotovoltaica esteja em conformidade com as normas e regulamentações aplicáveis.
- Aumento da confiança do cliente: um processo de comissionamento bem executado pode aumentar a confiança do cliente no sistema instalado e na empresa responsável pela sua instalação.

A ABNT NBR 16274:2014 especifica os requisitos mínimos para documentação, testes de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho de sistemas fotovoltaicos conectados à rede. O padrão é dividido em três áreas principais, sendo elas:

- Requisitos de documentação – Informações mínimas de toda a instalação da UFV;

- Verificação – Indica a informação mínima que deve ser fornecida após a verificação inicial de um sistema, incluindo os requisitos mínimos para a inspeção e os ensaios de comissionamento;
- Avaliação de desempenho – Detalha os procedimentos mínimos para avaliar o desempenho de um SFCR após o início de sua operação e resultado dos testes de comissionamento.

3.1 Inspeção Visual das UFV's

A inspeção deve preceder os ensaios de comissionamento e é feita antes da energização da instalação, seguindo os requisitos da IEC 60364-6 e boas práticas de engenharia baseadas nas normas NBR 5410, NBR 5419, NBR 16274:2014 e NBR 16690:2019.

Grande parte das não-conformidades em uma UFV são encontradas nesta fase de inspeção visual, portanto é uma boa prática que a equipe de comissionamento seja acompanhada por integrantes da equipe operacional que poderão sanar não-conformidades pequenas já no momento da inspeção.

A NBR 16274 recomenda que a inspeção seja dividida em:

- Inspeção do sistema CC;
- Inspeção do sistema CA;
- Inspeção da proteção contra sobre tensão e choque elétrico;
- Etiquetagem e identificação;
- Instalação mecânica e civil.

3.1.1 Pré-Requisitos Para Inspeção Visual

Antes de iniciar a inspeção visual pela UFV é necessário alinhar uma série de pré-requisitos, como:

- Disponibilidade e conhecimento dos manuais de instalação de módulos e inversores;
- Boas condições meteorológicas, adequadas para trabalho em campo aberto ou telhados (quando aplicável);
- Liberação do gerente de site;
- Uso de equipamentos de proteção individual (EPIs) e coletivos (EPCs),
- Conforme estabelece as normas NR 6 e NR 10;

- Disponibilidade de materiais para registro escrito e fotográfico das atividades.

3.1.2 Inspeção elétrica

Os principais pontos a serem verificados durante a inspeção elétrica são:

- Os cabos dos módulos FV, os cabos dos arranjos FV e o cabo CC principal são apropriados para esta aplicação sob a máxima tensão do sistema e a máxima corrente de falta CC;
- Os cabos dos módulos FV, os cabos dos arranjos FV e o cabo CC principal estão montados de forma a minimizar o risco de faltas à terra e curtos-circuitos;
- Todos os cabos montados para resistir às influências externas esperadas tais como: temperatura, força do vento, chuva e principalmente a radiação solar;
- Os conectores MC4 acondicionados de maneira a estarem protegidos de influências externas esperadas tais como: temperatura, força do vento, chuva e radiação solar;
- O raio mínimo de curvatura dos condutores fotovoltaicos deve ser de 38,4mm, principalmente próximos das caixas de junção dos módulos e conectores MC4 conforme manual de instalação do módulo FV;
- Identificação, conforme o projeto, das séries fotovoltaicas nas extremidades dos condutores de conexão dos módulos ao inversor;
- Avaliação do posicionamento e especificação dos dispositivos de proteção contra sobrecorrente, quando presentes;
- Para minimizar tensões induzidas por raios, a área de todos os laços na fiação foi mantida tão pequena quanto possível;
- Existência de meios de desconexão e seccionamento adequados;
- Identificação, conforme o projeto, dos inversores;
- Identificação dos condutores de C.A. dos inversores ao QGBT;
- Conexão, conforme especificado em projeto, dos cabos de interligação das mesas fotovoltaicas à malha de aterramento;
- Caixas de inspeção de aterramento desobstruídas e fácil acesso para visualização das conexões da malha;
- Separação física entre os condutores de circuitos C.C. e C.A.;
- Integridade e funcionalidade do sistema de iluminação da usina;

- Integridade e funcionalidade do sistema de CFTV;
- Integridade e funcionalidade do sistema de monitoramento. Cabos equipamentos devidamente instalados e configurados. O cabeamento deve estar totalmente separado dos circuitos de potência da UFV;
- Integridade e funcionalidade do sistema de combate a incêndio da usina.

3.1.3 Inspeção mecânica

Os principais pontos a serem verificados durante a inspeção mecânica são:

- Integridade dos módulos fotovoltaicos;
- Integridade dos inversores;
- Integridade das conexões mecânicas das conexões da malha de aterramento;
- Posicionamento dos módulos fotovoltaicos está em conformidade com o especificado no projeto executivo;
- Número de módulos instalados por mesa;
- Identificação das mesas e setores da UFV conforme o projeto;
- Marca, modelo e potência dos módulos instalados estão em conformidade com especificado em projeto;
- Os grampos de fixação dos módulos deverão estar posicionados dentro da faixa específica no manual de instalação em relação à aresta dos módulos;
- O alinhamento entre módulos e entre mesas;
- O distanciamento entre as mesas da cerca, das vias de circulação interna, centro de monitoramento, transformação estão em conformidade com o projeto;
- O nivelamento e alinhamento das terças, tesoures e pilares estão em conformidade com o projeto;
- Há ventilação possível por trás do arranjo fotovoltaico para evitar risco de superaquecimento/incêndio;
- A armação e os materiais do arranjo fotovoltaico são à prova de corrosão;
- Altura do pilar em relação ao nível do solo como forma de garantir o espaçamento entre os módulos e o solo está em conformidade com o projeto;
- Inversores instalados nas posições especificadas em projeto e em conformidade com o manual de instalação do fabricante;

- Posicionamento e torque dos grampos de fixação dos módulos FV nas estruturas.
- As entradas dos cabos são à prova de intempéries.

3.1.4 Inspeção visual civil

Os principais pontos a serem verificados durante a inspeção civil são:

- A integridade da base de concreto dos pilares das mesas fotovoltaicas;
- Integridade das bases da subestação e cubículos de transformação;
- A integridade das caixas de passagem;
- Integridade das valas de drenagem;
- A tubulação dos condutores fotovoltaicos sob os módulos devidamente vedadas;
- Vegetação totalmente suprimida, principalmente sob os módulos e próximos aos inversores;
- Integridade da infraestrutura de cerca do perímetro e portão de acesso à usina;
- Integridade das vias de acesso interno da usina;
- Integridade e funcionalidade da infraestrutura do centro de monitoramento.

3.2 Testes e ensaios de comissionamento

O regime dos testes e ensaios de comissionamento, segundo a ABNT NBR 16274:2014 podem ser segmentados em categoria 1 e categoria 2. Mas nesse trabalho iremos abordar apenas os ensaios de categoria 1.

A Categoria 1 abrange testes compulsórios, ou seja, obrigatórios, nos requisitos mínimos da norma NBR 16274:2014, como segue:

- Ensaios de circuitos C.A MT conforme IEC 60364-6;
- Continuidade de ligação à terra e/ou dos condutores de ligação equipotencial
- Ensaio de polaridade;
- Ensaio de tensão de circuito aberto (Voc);
- Ensaio de resistência de isolamento dos circuitos C.C e CA BT;
- Ensaio de corrente das séries fotovoltaicas (Curto-Circuito ou operacional);

3.2.1 Ensaios em circuitos C.A MT conforme a IEC 60364-6

Um dos testes mais importantes que podem ser realizados em cabos de média tensão é o teste de alta tensão. O hipot é um dispositivo usado para testar a resistência de isolamento de cabos elétricos aplicando uma tensão elétrica significativamente maior que a tensão nominal do cabo.

O comissionamento em circuitos de corrente alternada, baseados nesta norma também seguem as diretrizes da NBR 5410:2004, NBR 14039:2005 assim como NBR 16274:2014.

- Tais testes incluem:
- Torque;
- Vedações;
- Teste Isolação Cabos MT (HIPOT);

Durante o ensaio com o hipot, o cabo é conectado ao equipamento e submetido a uma tensão elétrica muito acima da sua tensão nominal por um período de tempo pré-determinado. Esse teste é realizado para garantir que o cabo está em condições de operar de forma segura e confiável, na figura 12 mostra o hipot utilizado nos testes.

Figura 12 – Hipot digital



Fonte: instrumbrasil.com.br

Se o cabo apresentar defeitos de isolação como trincas ou furos, a tensão elétrica aplicada durante o teste de hipot pode causar um curto-circuito, podendo resultar em falha na

transmissão ou distribuição de energia elétrica. Por esse motivo, é de extrema importância que os cabos de média tensão sejam regularmente testados com o teste Hipot, a fim de identificar e corrigir possíveis problemas de isolamento antes que se tornem prejudiciais à operação.

3.2.2 Ensaio de continuidade dos condutores de aterramento

A continuidade dos condutores de aterramento é um aspecto crítico da segurança elétrica em instalações industriais, comerciais e residenciais. Os condutores de aterramento são responsáveis por dissipar falhas elétricas ou descargas atmosféricas, protegendo pessoas e equipamentos contra choques e danos elétricos.

Para que os condutores de aterramento desempenhem corretamente sua função, deve-se garantir sua continuidade em toda a instalação elétrica. Isso significa que os condutores devem ser conectados entre si de forma eficaz e sem interrupções em toda a estrutura da instalação para garantir um fluxo de corrente seguro.

A continuidade dos condutores de terra pode ser verificada por testes de resistência elétrica, nos quais a resistência é medida entre vários pontos da instalação elétrica e o ponto de terra. Esses testes devem ser realizados periodicamente para garantir que a resistência elétrica esteja dentro dos limites seguros e que a continuidade do condutor seja mantida.

A verificação de continuidade dos condutores de proteção e aterramento de massas deve ser utilizada com um equipamento normatizado e calibrado para tal atividade.

O Equipamento também deve ser em conformidade com a NBR 5419:2015.

- Durante os testes em campo foi utilizado o miliohmímetro digital conforme figura 13, da marca/modelo Instrum – MILIOHM1 para obter os resultados de continuidade da malha de aterramento.

Figura 13 – Moliohmímetro digital



Fonte: instrumbrasil.com.br

Os pré-requisitos para realizar este ensaio são:

- Condições climáticas adequadas para o trabalho em campo aberto;
- Liberação do gerente de site;
- Uso de equipamentos de proteção individual e coletivo;
- Materiais para registros escritos;
- Equipamentos adequados para o ensaio

3.2.3 Ensaio de polaridade

Todos os circuitos devem ser verificados se estão instalados conforme os projetos. Além disto, devem ser verificados se todos os cabos estão identificados conforme projetos.

Isto é de suma importância para evitar problemas de inversão de polaridade e também futuros problemas quando a usina estiver em operação.

Os testes de polaridade estão inclusos em conjunto com o teste de tensão de circuito aberto da instaladora.

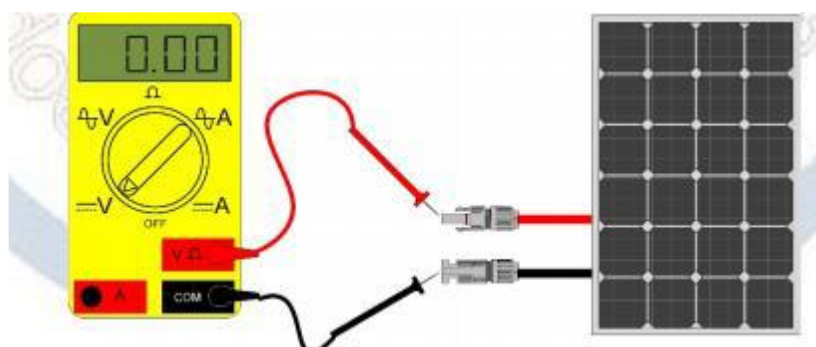
Este ensaio deve ser um dos primeiros a serem realizados pelo fato de prevenir danos aos operadores da usina e seus equipamentos.

O teste segue as seguintes premissas:

- Equipar adequadamente os responsáveis pelos testes com EPI's;
- Isolar e sinalizar local onde teste será realizado;
- Fazer desligamento da chave do inversor e utilizar uma chave de bloqueio para prezar pela segurança de quem realiza o teste;

- Verificar a passagem de corrente nas strings;
- Realizar a desconexão dos circuitos;
- Com equipamento adequado testar se as polaridades dos circuitos estão corretas conforme projeto e entradas nos equipamentos (+ e -) conforme figura 14;
- Caso o equipamento informe uma tensão muito abaixo do esperado alguma ligação está invertida;
- Caso a tensão seja nula, o circuito está desconectado;
- Coletar resultados;

Figura 14 – Ensaio de polaridade



Fonte: canalsolar.com.br.

3.2.4 Medição de tensão de circuito aberto – Séries fotovoltaicas

A medição de tensão de circuito aberto visa analisar se os dados estão conforme projetos, como por exemplo, número de módulos conectados em série. Também busca compreender prováveis detrimientos em instalações, como a sujeira em módulos, más conexões, possíveis avarias nos módulos, efeitos da temperatura sobre a eficiência.

Como a temperatura e as condições tipicamente estão fora do padrão STC, uma Voc Corrigida é calculada de maneira a verificar se a tensão está dentro dos 5% de tolerância esperados.

O teste segue as seguintes premissas:

- Equipar adequadamente os responsáveis pelos testes com EPI's;
- Isolar e sinalizar local onde teste será realizado;
- Fazer desligamento da chave do inversor e utilizar uma chave de bloqueio para prezar pela segurança de quem realiza o teste;
- Verificar a passagem de corrente nas strings;

- Realizar desconexão dos circuitos;
- Com equipamento adequado medir a tensão das strings;
- Realizar Comparação de tensão para condições STC;
- Verificar se a geração está atendendo a faixa mínima de tolerância exigida por norma conforme figura 15;
- Coletar resultados;

Figura 15 – Medida da tensão de circuito



Fonte: canalsolar.com.br.

3.2.5 Ensaio de resistência de isolamento dos circuitos C.C e C.A BT

O ensaio de resistência de isolamento é um teste importante para avaliar a integridade do isolamento em circuitos elétricos, tanto em corrente contínua (CC) quanto em corrente alternada (CA). O teste consiste em aplicar uma tensão elétrica entre o circuito em teste e o aterramento, e medir a corrente de fuga que flui através do isolamento.

Os resultados do teste de resistência de isolamento indicam a qualidade do isolamento do circuito e podem ser usados para detectar possíveis falhas, como trincas, perfurações, umidade ou outros defeitos no isolamento. Além disso, o teste pode ajudar a identificar problemas de isolamento que possam afetar a segurança elétrica ou a qualidade do desempenho do circuito.

Para realizar o teste de resistência de isolamento com segurança, é importante seguir um procedimento adequado para minimizar o risco de choque elétrico. Para isso, antes de desconectar a string do inversor, é recomendável verificar a passagem de corrente pelo condutor com um multímetro e verificar se o nível de tensão corresponde ao número de módulos do projeto. Além disso, é obrigatório o uso de EPIs obrigatórios como luvas isolantes, óculos de segurança, capacete de eletricista, uniforme ATPV (antichamas) e botas isolantes.

Para garantir uma maior precisão dos resultados das medições, é aconselhável realizá-las em horários de baixa radiação solar, como em dias nublados ou em alta umidade. Isso ocorre porque a resistência de isolamento do dispositivo é afetada pela umidade relativa. Quanto maior a umidade relativa, menor o valor da resistência de isolamento dos condutores, na figura 15 mostra o equipamento utilizado para tal medição.

Figura 16 - Megôhmetro digital Highmed



Fonte: highmed.com.br.

A aplicação para sistemas maiores como UFV's se dão por meio dos testes feitos diretamente nas strings conectadas nos inversores. Os pré requisitos para o ensaio de isolamento dos condutores C.C e C.A são:

- Equipar adequadamente os responsáveis pelos testes com EPI's;
- Isolar e sinalizar local onde teste será realizado;
- Fazer seccionamento do interruptor seccionador;
- Verificar a passagem de corrente nas strings;
- Realizar a desconexão dos circuitos;
- Conectar cabo sob circuito com a terra instantaneamente para zelar pela segurança;
- Configurar aparelho utilizado no teste;

- Realizar a conexão do condutor ao equipamento, que por sua vez deve ter cabos com conexões MC4 em suas extremidades;
- Conectar outra extremidade a terra;
- Realizar testes nos condutores negativos e positivos, respectivamente;
- Coletar resultados;

3.2.6 Ensaio de corrente das séries fotovoltaicas

Este teste tem por função garantir que todas as strings conectadas a caixa de junção estejam conectadas de forma correta.

Podemos dividir os testes dessa classe de ensaio em dois, teste de corrente de curto circuito e de corrente operacional, eles têm como objetivo verificar se não existe nenhuma falha grave na fiação fotovoltaica e ambos fornecem informações sobre o funcionamento da série fotovoltaica, embora não possam ser tomados como base para tirar medidas de desempenho do módulo.

Uma vez que o teste de curva IV é considerado para a usina, os testes de corrente nas séries se tornam opcionais, pois o teste de curva IV já fornece os dados desse teste.

A NBR 16274:2014 permite a análise de corrente das séries fotovoltaicas também pelo traçador de curva IV, embora este equipamento esteja na categoria 2 de testes que não será abordado nesse trabalho, a instaladora adota suas análises de corrente neste teste.

A NBR 16274:2014 solicita que a irradiância esteja estável nos momentos de testes e que a irradiância mínima seja de 700W/m². Tolerância de Variação dos Testes é de 5%.

O teste segue as seguintes premissas:

- Equipar adequadamente os responsáveis pelos testes com EPI's;
- Isolar e sinalizar local onde teste será realizado;
- Fazer desligamento da chave do inversor e utilizar uma chave de bloqueio para prezar pela segurança de quem realiza o teste;
- Atestar que todas as séries estão isoladas umas das outras;
- Verificar a passagem de corrente nas strings;
- Realizar desconexão dos circuitos;
- Utilizando equipamento específico introduzir o mesmo no circuito para criar um curto-circuito em ambiente controlado conforme figura 17;
- Coletar dados dos testes;

- Após teste e averiguação do Sistema, reconectar cabos e fazer desbloqueio da chave.

Figura 17 - Medida da corrente de curto-circuito



Fonte: canalsolar.com.br.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para garantir a qualidade e confiabilidade dos sistemas fotovoltaicos, é muito importante realizar testes regulares de comissionamento. O objetivo deste capítulo é apresentar os resultados dos testes dos ensaios realizados nas usinas fotovoltaicas, bem como os resultados observados durante a fase de testes e as boas práticas de engenharia adotadas na área da energia fotovoltaica para garantir os resultados satisfatórios.

Os testes de comissionamento são uma etapa crucial na implementação de sistemas fotovoltaicos, pois permitem verificar se o sistema está em conformidade com os padrões técnicos. Além disso, são importantes para avaliar a eficiência e eficácia do sistema e identificar possíveis correções e áreas de melhoria. É importante observar que os testes regulares de comissionamento são essenciais para garantir a qualidade e a confiabilidade dos sistemas fotovoltaicos.

4.1 Resultados da inspeção visual

A utilização da inspeção visual é um processo primordial no procedimento de comissionamento de usinas fotovoltaicas, o qual tem como escopo avaliar a conformidade do sistema em relação ao projeto original e às práticas de engenharia adequadas para a instalação de sistemas fotovoltaicos.

Conforme a NBR 16274:2014, a inspeção visual se configura como uma etapa crucial, a qual deve ser efetivada antes da energização da usina fotovoltaica e preceder os ensaios de comissionamento.

No processo de inspeção visual, é de fundamental importância verificar se todos os equipamentos da usina fotovoltaica estão em consonância com o projeto original em relação à quantidade e às características, a fim de garantir que o sistema fotovoltaico tenha sido instalado de forma adequada e esteja apto a atender às expectativas de desempenho.

4.1.1 Inspeção do sistema CC

Durante a inspeção do sistema de corrente contínua das usinas fotovoltaicas, foram encontradas algumas irregularidades, as quais foram avaliadas conforme as normas técnicas NBR 16274:2014, NBR 5419, NBR 5410, NBR 16690:2019 e NR10. Para garantir segurança, confiabilidade e os requisitos mínimos para uma correta instalação, atenção especial foi dada aos itens 5.2 da NBR 16274:2014 e 7.2 da NBR 5410.

A inspeção encontrou vários cabos instalados incorretamente que não ofereciam proteção adequada contra falhas de aterramento, curtos-circuitos e intempéries. Também foram

encontrados módulos de sujos de uma cinza, módulos quebrados isso pode gerar riscos para o sistema e afetar o desempenho da UFV. É importante ressaltar que essas inconformidades são relevantes e devem ser corrigidos para garantir a eficiência e eficácia do sistema de corrente contínua da UFV.

No momento da inspeção, foram encontradas algumas irregularidades na amarração dos cabos fotovoltaicos, sendo identificado que estes estavam em contato direto com a estrutura metálica, o que poderia resultar em seu rompimento durante a movimentação do tracker.

Figura 18 - Cabos amarrados de forma incorreta



Fonte: Do autor.

Com a movimentação dos trackers, há a possibilidade de ocorrer o rompimento dos cabos fotovoltaicos mostrado na figura 18. Tal fato pode representar uma ameaça à integridade dos cabos, bem como ao bom funcionamento do sistema como um todo, comprometendo a eficiência e a segurança da usina fotovoltaica. Dessa forma, é imperativo que medidas preventivas sejam adotadas, a fim de evitar a ocorrência de danos aos cabos e garantir que a usina opere de forma segura e eficiente. É fundamental destacar que a manutenção regular e a inspeção preventiva são cruciais para identificar e corrigir problemas potenciais, reduzindo os riscos e assegurando a confiabilidade e o desempenho do sistema.

Figura 19 - Conector MC4 do módulo crimpado



Fonte: Do autor.

Foi identificado que o conector MC4 do módulo fotovoltaico apresentava um mal crimpamento mostrado na figura 19. Essa condição pode levar a falhas de conexão e possíveis danos ao sistema como um todo, o que comprometeria a segurança. É imprescindível, portanto, que medidas corretivas sejam imediatamente adotadas, a fim de garantir que o conector esteja adequadamente crimpado e que a conexão esteja firme e segura.

Figura 20 - Eletroduto sem vedação



Fonte: Do autor.

Eletrodutos sem vedação adequada ou com vedação insuficiente mostrado na figura 20, o que pode resultar no acúmulo de água, sujeira e pequenos animais, afetando negativamente a vida útil do sistema.

Figura 21 - Módulo fotovoltaico com uma massa utilizada para tampar os eletrodutos



Fonte: Do autor.

Os resíduos mostrados na figura 21 que se acumulam nos módulos fotovoltaicos podem afetar significativamente o seu desempenho, comprometendo a eficiência e a segurança da usina. Portanto, a limpeza regular dos módulos é essencial para assegurar que o sistema opere de forma confiável e eficiente. A remoção de detritos e sujeira pode melhorar a produção de energia, prolongar a vida útil dos módulos e garantir que o investimento em energia solar seja maximizado.

Figura 22 - Módulo fotovoltaico quebrado.



Fonte: Do autor.

Foi encontrado um módulo fotovoltaico mostrado na Figura 22 totalmente destruído durante a inspeção da usina.

A falta de instalação elétrica adequada pode representar um risco significativo para a segurança de pessoas e bens e causar mau funcionamento e desempenho do sistema. Por isso, é importante garantir que todas as instalações elétricas sejam realizadas de acordo com as normas técnicas aplicáveis e que as irregularidades sejam corrigidas imediatamente.

A manutenção regular do sistema elétrico também é essencial para garantir seu desempenho e segurança a longo prazo. A realização de inspeções regulares e a implementação de medidas preventivas podem ajudar a evitar problemas futuros e garantir a operação adequada do sistema.

Portanto, é importante que medidas sejam tomadas para garantir a segurança e eficiência do sistema elétrico de uma UFV e que as normas técnicas sejam sempre seguidas em todas as etapas do processo de instalação e manutenção.

4.1.2 Inspeção do sistema C.A

Durante a avaliação do sistema elétrico da Usina Fotovoltaica, verificou-se que o sistema de corrente alternada estava em conformidade com as normas técnicas relevantes, como a NBR 16274:1014, NR10 e NBR 5410. Essas normas estabelecem diretrizes importantes para o correto planejamento, instalação e manutenção de sistemas elétricos, visando garantir a segurança e eficiência das instalações elétricas.

Um aspecto crítico para a segurança do sistema elétrico é a separação adequada das fases do circuito. Isso significa que as fases do circuito elétrico devem ser isoladas umas das outras e marcadas de forma clara e legível para evitar erros na conexão dos equipamentos elétricos e possíveis curtos-circuitos. A falta de separação adequada das fases do circuito pode levar a graves problemas, como incêndios, explosões e falhas no sistema elétrico.

Figura 23 - Sistema C.A montado corretamente



Fonte: Do autor.

Portanto, como mostrado na figura 23 a conformidade com as normas técnicas relevantes e a adoção de boas práticas de instalação e manutenção do sistema elétrico são fundamentais para garantir a segurança e o desempenho adequado da Usina Fotovoltaica da UFV. Além disso, é importante realizar inspeções periódicas e manter um plano de manutenção regular para garantir a operação eficiente e segura do sistema elétrico ao longo do tempo.

4.1.3 Inspeção civil e mecânica

Durante a referida inspeção, foi detectado que alguns cabos de aterramento foram encontrados desconectados mostrado na figura 24. Os cabos de aterramento são elementos fundamentais para garantir a segurança das instalações elétricas, uma vez que possibilitam a proteção contra descargas elétricas e reduzem os riscos de incêndios e explosões.

Figura 24 - Cabos de aterramento desconectados



Fonte: Do autor.

A falta de conexão adequada desses cabos pode levar a danos graves nas instalações e, em casos extremos, colocar em risco a integridade física dos colaboradores e demais pessoas que frequentam a UFV.

Também foi encontrado que os módulos de uma fileira estavam totalmente fora do alinhamento dos demais trackers como mostrado na figura 25.

Figura 25 - Mesa desalinhado dos demais.



Fonte: Do autor.

Na figura 26 a seguir podemos ver com mais clareza o desalinhamento dos módulos fotovoltaicos.

Figura 26 - Módulos desalinhados.



Fonte: Do autor.

É importante ressaltar que a manutenção adequada dos painéis solares é fundamental para garantir o seu desempenho e eficiência energética. O desalinhamento dos módulos pode

afetar a captação da radiação solar, comprometendo a geração de energia e, conseqüentemente, acarretando em prejuízos para a UFV.

4.2 Resultado dos ensaios de comissionamento

O comissionamento é um processo fundamental para garantir a eficiência e a segurança do sistema de geração de energia. Durante esse processo, todos os componentes do sistema são verificados para garantir que estejam funcionando corretamente e que o desempenho entregue esteja dentro dos parâmetros esperados.

Uma das etapas mais importantes durante o comissionamento é a solução de problemas. Durante a inspeção completa do sistema, todos os erros que podem afetar o desempenho e a segurança do sistema são identificados. Estas avarias devem ser imediatamente comunicadas aos responsáveis pela instalação, para que sejam corrigidas o mais rapidamente possível.

Detectar e corrigir erros durante o comissionamento pode garantir que o sistema de geração de energia opere com eficiência e segurança. Isso é importante para evitar problemas futuros que possam afetar a qualidade e a confiabilidade da energia produzida.

4.2.1 Resultado dos ensaios em circuitos C.A MT

O teste com o hipot (também conhecido como teste de rigidez dielétrica) é um teste elétrico realizado em cabos de média tensão para verificar a integridade do isolamento elétrico do cabo. O objetivo do teste hipot é aplicar uma tensão elétrica elevada ao cabo para garantir que ele possa suportar a tensão nominal de operação sem falhas.

Mas antes e depois da medição com o hipot foi utilizado o megôhmetro para medição de resistência de isolamento do cabo.

Foi usado o seguinte procedimento para passar o hipot nos cabos de média tensão:

- Desligar todos os equipamentos elétricos e a desconexão dos cabos que serão testados do sistema de energia;
- Verificação visualmente da isolação dos cabos para garantir que não haja danos visíveis, como cortes, rachaduras ou outros defeitos que possam comprometer a integridade do isolamento elétrico;
- Utilizar o megôhmetro para medição de resistência de isolamento aplicando a tensão de 1 kV durante 1 minuto em cada cabo;
- Conexão dos cabos do hipot, seguindo as instruções do fabricante;

- Configuração do hipot de acordo com as especificações do cabo, que seria 1,5x mais que sua tensão nominal de acordo com a IEC 60364-6 garantindo que a tensão de teste seja aplicada de forma controlada e segura;
- Aplicação da tensão elétrica de 20kV ao cabo, sendo a tensão nominal de 13,8kV e foi mantido por um período de tempo de 15 minutos de duração.

Figura 27 - Teste com o hipot.



Fonte: Do autor.

Durante o teste mostrado na figura 27, foi monitorado cuidadosamente a corrente elétrica e a tensão aplicada para detectar quaisquer anomalias.

Ao final do teste, foi desconectado os cabos do hipot e em seguida foi medido a sua resistência de isolamento novamente com o megôhmetro para garantir que os cabos não sofreram nenhum desgaste em sua resistência de isolamento.

Figura 28 - Dados obtidos na tabela de ensaio dos cabos MT.

Fase	Tempo	Corrente de Fuga (μA)
R	1 min	8
	2 min	12
	3 min	16
	4 min	15
	5 min	20
	6 min	2
	7 min	13
	8 min	14
	9 min	10
	10 min	9
	11 min	5
	12 min	12
	13 min	8
	14 min	7
	15 min	11
S	1 min	12
	2 min	11
	3 min	9
	4 min	13
	5 min	12
	6 min	9
	7 min	15
	8 min	13
	9 min	11
	10 min	11
	11 min	6
	12 min	9
	13 min	3
	14 min	9
	15 min	14
T	1 min	23
	2 min	25
	3 min	29
	4 min	29
	5 min	40
	6 min	28
	7 min	30
	8 min	32
	9 min	34
	10 min	32
	11 min	36
	12 min	35
	13 min	29
	14 min	32
	15 min	34

Fonte: Do autor.

Figura 29 - Dados obtidos na tabela de resistência de isolamento dos cabos MT

R/Terra	Medido Antes Hipot	22,66
	Medido Pós Hipot	19,3
	Corrigido à 20°C	1,53
	Resultado ($\text{G}\Omega/\text{kV}$)	7,67754
S/Terra	Medido Antes Hipot	18,4
	Medido Pós Hipot	11,6
	Corrigido à 20°C	1,53
	Resultado ($\text{G}\Omega/\text{kV}$)	4,61448
T/Terra	Medido Antes Hipot	23,2
	Medido Pós Hipot	6,12
	Corrigido à 20°C	1,53
	Resultado ($\text{G}\Omega/\text{kV}$)	2,434536

Fonte: Do autor.

Concluindo, os resultados das medições mostrados nas figuras 28 e 29 foram satisfatórios e atenderam às normas técnicas estabelecidas pela IEC 60364-6. Foi verificado que a resistência de isolamento do cabo não apresentou degradação e, durante o teste com o hipot, foi observado que não houve um valor elevado de corrente de fuga. Esses resultados indicam que todos os testes foram bem-sucedidos e satisfatórios.

4.2.2 Resultados do ensaio de continuidade do aterramento

O processo de verificação da continuidade da malha de aterramento foi dividido em etapas, nas quais foram definidos os pontos conforme projeto no anexo A para verificar se a instalação está adequadamente aterrada, utilizando um miliohmímetro digital da marca Instrum. Esse equipamento é capaz de injetar uma pequena quantidade de corrente nos cabos, permitindo que a resistência do ponto seja medida e apresentada em seu visor. Dessa forma, é possível verificar se há alguma resistência anormal em qualquer ponto da malha de aterramento.

Etapas que foram determinadas:

- Módulos e suas mesas de fixação
- Mesas de fixação e o anel de aterramento (hastes)
- Pontos longitudinais
- Pontos auxiliares para medição

Figura 30 - Dados obtidos da tabela do ensaio de continuidade das mesas

N° Fileira	5.1.2.1 Módulos e suas mesas de fixação				Observações
	Ponto A-B (mΩ)	Parecer	Ponto C-D (mΩ)	Parecer	
1	15,7	APROVADO	12,3	APROVADO	
2	33,3	APROVADO	37,9	APROVADO	
3	29,7	APROVADO	36,4	APROVADO	
4	30,9	APROVADO	32,1	APROVADO	
5	29,5	APROVADO	32,2	APROVADO	
6	26,3	APROVADO	31,6	APROVADO	
7	24,3	APROVADO	24,2	APROVADO	
8	24,6	APROVADO	24,6	APROVADO	
9	24,8	APROVADO	25,7	APROVADO	
10	17,5	APROVADO	15,8	APROVADO	
11	17,9	APROVADO	16,9	APROVADO	
12	19	APROVADO	19,4	APROVADO	
13	22	APROVADO	21,8	APROVADO	
14	21,6	APROVADO	21,2	APROVADO	
15	21	APROVADO	20,5	APROVADO	
16	22,2	APROVADO	19,9	APROVADO	

Fonte: Do autor.

As plantas consistem em várias fileiras, cada uma das quais é submetida a quatro medições. As posições A-B representam a localização do eletrodo do miliohmímetro onde a camada do ânodo é fraturada devido ao uso do grampo para prender os módulos à estrutura. Já

a posição B indica a posição do segundo eletrodo do miliohmímetro no pilar da estrutura de montagem. A análise dos resultados mostrou a ausência de erros, sendo todos os valores obtidos considerados satisfatórios. Essa avaliação é importante para garantir que o sistema de proteção elétrica do sistema fotovoltaico esteja funcionando corretamente e com segurança.

Figura 31 - Medição das mesas



Fonte: Do autor.

Figura 32 - Dados obtidos das medições das mesas com o anel de aterramento

5.1.2.2 Mesas de fixação e o anel de aterramento (hastes)						
N° MESA	Ponto A-B (mΩ)	Parecer	N° MESA	Ponto A-B (mΩ)	Parecer	Observações
1	8,6	APROVADO				
2	13	APROVADO				
3	18,7	APROVADO				
4	23,5	APROVADO				
5	27,3	APROVADO				
6	13,9	APROVADO				
7	14,4	APROVADO				
8	10,3	APROVADO				
9	6,4	APROVADO				
10	5	APROVADO				
11	6,4	APROVADO				
12	9,1	APROVADO				
13	11,8	APROVADO				
14	15	APROVADO				
15	19,8	APROVADO				
16	15,7	APROVADO				
17	14,3	APROVADO				
18	10,9	APROVADO				
19	8,4	APROVADO				
20	7,1	APROVADO				
21	4,4	APROVADO				

Fonte: Do autor.

Continuando as verificações, foi medida a continuidade elétrica entre as mesas de cada uma das fileiras do arranjo fotovoltaico (UFV), totalizando várias medições. Felizmente, os resultados obtidos foram satisfatórios e nenhuma falha no circuito de aterramento foi detectada. Essas ações são essenciais para garantir a integridade e eficiência do sistema de proteção elétrica da UFV e, portanto, uma etapa essencial no processo de manutenção preventiva.

Figura 33 - Dados obtidos das medições dos pontos longitudinais.

5.1.2.6 Pontos longitudinais						
Nº Fileira	Ponto A-B (mΩ)	Parecer	Nº Fileira	Ponto A-B (mΩ)	Parecer	Observações
1	15,8	APROVADO				
2	15,3	APROVADO				
3	14,5	APROVADO				
4	15,7	APROVADO				
5	16,1	APROVADO				
6	9,1	APROVADO				
7	8,3	APROVADO				
8	7,4	APROVADO				
9	5,7	APROVADO				
10	9,8	APROVADO				
11	6,7	APROVADO				
12	6,1	APROVADO				

Fonte: Do autor.

Figura 34 - Medição de um ponto longitudinal



Fonte: Do autor.

Para verificar a continuidade elétrica da instalação, foi realizada uma avaliação dos condutores da planta. Para isso, foram selecionados 12 pontos que representam o início, meio e fim da UFV. Felizmente, os resultados obtidos foram satisfatórios, sugerindo que a

continuidade elétrica dos condutores longitudinais atende aos requisitos técnicos especificados no projeto. Essa avaliação é essencial para garantir que a planta esteja funcionando corretamente e com segurança.

Figura 35 - Dados obtidos das medições dos pontos auxiliares

5.1.2.7 Pontos auxiliares para medição					
Ponto	Medição	Parecer	Ponto	Medição	Parecer
Inversor 1	10,4	APROVADO	Inversor 21	10,8	APROVADO
Inversor 2	7,4	APROVADO	Inversor 22	4,1	APROVADO
Inversor 3	17,2	APROVADO	Inversor 23	8,2	APROVADO
Inversor 4	7,2	APROVADO	Inversor 24	9,8	APROVADO
Inversor 5	8,8	APROVADO	Inversor 25	14,6	APROVADO
Inversor 6	6,8	APROVADO	Inversor 26	17,4	APROVADO
Inversor 7	7,5	APROVADO	Trafo 1	15,8	APROVADO
Inversor 8	7	APROVADO	Trafo 2	22,7	APROVADO
Inversor 9	14,2	APROVADO	Trafo de aterramento 1	4,2	APROVADO
Inversor 10	5,4	APROVADO	Trafo de aterramento 2	2,8	APROVADO
Inversor 11	10,1	APROVADO	QGBT 1	3,4	APROVADO
Inversor 12	6	APROVADO	QGBT 2	6,1	APROVADO
Inversor 13	15	APROVADO	Cabine de Medição 1	6,2	APROVADO
Inversor 14	5,4	APROVADO	Cabine de Medição 2	6,4	APROVADO
Inversor 15	7,4	APROVADO			
Inversor 16	5,9	APROVADO			
Inversor 17	36,2	APROVADO			
Inversor 18	9,9	APROVADO			
Inversor 19	10,9	APROVADO			
Inversor 20	6,8	APROVADO			

Fonte: Do autor.

Figura 36 - Medição do inversor ao ponto de aterramento



Fonte: Do autor.

Figura 37 - Medição da haste de aterramento



Fonte: Do autor.

Com o objetivo de verificar o sistema de aterramento dos transformadores, inversores, QGBT's e cabine de medição da planta, foram realizadas as medições utilizando o miliohmímetro na caixa de inspeção do aterramento. Felizmente, todos os resultados obtidos nas figuras 30, 32, 33 e 35 foram considerados satisfatórios, e não foram identificadas quaisquer inconformidades. Essas medições que foram mostradas nas figuras 31, 34, 36 e 37 são essenciais para garantir a segurança e integridade do sistema elétrico da instalação, e, portanto, são uma etapa importante no processo de manutenção preventiva.

Com base nos testes realizados, é possível concluir que os resultados obtidos foram satisfatórios e estão em conformidade com as normas técnicas estabelecidas na NBR 5410. É importante destacar que os valores medidos durante os testes não ultrapassaram 1 ohm, o que é considerado um resultado excelente para a avaliação da integridade e segurança do sistema elétrico da instalação.

Esses resultados são extremamente relevantes para garantir a eficiência e confiabilidade da planta, e comprovam a importância de se realizar testes regulares de manutenção preventiva para assegurar que todas as medidas de segurança estejam sendo tomadas.

Diante disso, a empresa responsável pela instalação pode ter a certeza de que o sistema elétrico está funcionando de forma adequada e segura, oferecendo aos usuários e trabalhadores um ambiente de trabalho e uso da energia elétrica seguro e confiável.

4.2.3 Resultados do ensaio de polaridade e VOC

A norma NBR 16274:2014 especifica a importância da verificação da polaridade dos cabos de corrente contínua (CC) com equipamentos de teste adequados. Depois de confirmar a polaridade, os cabos devem ser verificados para garantir que estejam corretamente identificados e conectados aos dispositivos do sistema, como chaves ou inversores.

Uma verificação de polaridade deve ser realizada antes de outros testes e antes de fechar as chaves e inserir os dispositivos de proteção contra sobrecorrente da série fotovoltaica. Se um teste de polaridade for realizado em um sistema previamente conectado e a polaridade invertida for detectada em um arranjo fotovoltaico, é importante verificar os módulos e os diodos de bypass para identificar danos causados por esta falha.

O dispositivo adequado para o teste de polaridade é um multímetro, desde que tenha uma tensão máxima compatível com a série que está sendo testada. O teste deve ser realizado em circuito aberto para identificar os terminais positivos e negativos do painel fotovoltaico.

A temperatura dos módulos afeta diretamente a tensão de uma série fotovoltaica. Portanto, o valor medido com um multímetro deve ser corrigido pelo coeficiente térmico de queda de tensão (α) dos módulos, utilizando na equação 3:

$$Voc_corrigida = Voc_medida - [\alpha \cdot (T_medida - 45^{\circ}C) \cdot Voc_nominal] \quad (3)$$

Em que:

$Voc_corrigida$ Tensão de circuito aberto corrigida para os parâmetros de NOCT (Normal Operating Cell Temperature);

Voc_medida Valor de tensão medida através do multímetro;

α : Coeficiente térmico de queda de tensão do módulo. Este valor está presente na folha de dados do módulo fotovoltaico utilizado;

T_medida Temperatura medida nas células dos módulos;

$Voc_nominal$ Valor da tensão de circuito aberto nominal dos módulos multiplicado pelo número total de módulos na série fotovoltaica.

A tabela 1 indica os valores e critérios de aceitação:

Tabela 1 - Parâmetros de tensão VOC e critérios de aceite

Valores de tensão	Critério
$V_{oc_corrigida} \geq 95\% V_{oc_nominal}$	Inaceitável
$95\% V_{oc_nominal} \leq V_{oc_corrigida} \leq 105\% V_{oc_nominal}$	Valores esperados
$V_{oc_corrigida} > 105\% V_{oc_nominal}$	Inaceitável

Fonte: NBR 16274:2014.

Na Figura 38, pode-se observar os dados do primeiro inversor. Analisando os resultados, pode-se notar que a tensão medida de Voc está satisfatória conforme o datasheet do módulo do anexo C. Além disso, os testes foram realizados seguindo os pré-requisitos, com irradiância acima de 500 W/m², boas condições meteorológicas, temperatura e umidade do ar adequadas.

Todas as medições dos 26 inversores da UFV apresentaram polaridade em conforme, o que indica que não houve inversão de fases na usina.

Figura 38 - Dados obtidos das medições do VOC

STRING	Irr (W/m ²)	Temp. Módulo (°C)	N° Módulos STRING	Polaridade (+ -)	Voc medida (V)	Voc corrigida (V)	Voc corrigida (%Voc NOCT)	Avaliação	Observação
TE01_INV01_STR01	785	55	28	OK	1265	1300,94	99,5	APROVADO	
TE01_INV01_STR02	769	54	28	OK	1259	1291,35	98,8	APROVADO	
TE01_INV01_STR03	786	55	28	OK	1270	1305,94	99,9	APROVADO	
TE01_INV01_STR04	772	55	28	OK	1258	1293,94	99,0	APROVADO	
TE01_INV01_STR05	786	54	28	OK	1272	1304,35	99,8	APROVADO	
TE01_INV01_STR06	800	54	28	OK	1278	1310,35	100,3	APROVADO	
TE01_INV01_STR07	816	54	28	OK	1268	1300,35	99,5	APROVADO	
TE01_INV01_STR08	792	54	28	OK	1264	1296,35	99,2	APROVADO	
TE01_INV01_STR09	817	54	28	OK	1256	1288,35	98,6	APROVADO	
TE01_INV01_STR10	830	54	28	OK	1231	1263,35	96,7	APROVADO	
TE01_INV01_STR11	770	55	28	OK	1255	1290,94	98,8	APROVADO	
TE01_INV01_STR12	795	55	28	OK	1269	1304,94	99,8	APROVADO	
TE01_INV01_STR13	782	54	28	OK	1256	1288,35	98,6	APROVADO	
TE01_INV01_STR14	784	54	28	OK	1254	1286,35	98,4	APROVADO	
TE01_INV01_STR15	784	55	28	OK	1253	1288,94	98,6	APROVADO	
TE01_INV01_STR16	776	54	28	OK	1254	1286,35	98,4	APROVADO	
TE01_INV01_STR17	774	54	28	OK	1250	1282,35	98,1	APROVADO	

Fonte: Do autor.

4.2.4 Resultados do ensaio de resistência de isolamento cabos C.C e das strings

O teste de resistência de isolamento elétrico é uma das várias formas de detectar ou prever falhas em condutores em um sistema fotovoltaico. É uma medida de segurança elétrica que tem como objetivo verificar se o sistema fotovoltaico oferece isolamento adequado entre seus subsistemas e o ambiente externo, bem como a integridade dos condutores e equipamentos.

Os circuitos C.C de um arranjo fotovoltaico permanecem energizados durante o dia e não podem ser isolados antes de realizar este ensaio. Esse teste apresenta um risco de choque elétrico, portanto, é crucial seguir o procedimento correto e tomar as devidas medidas de segurança no ambiente.

O teste foi conduzido utilizando um megômetro digital da marca Instrum, aplicando 1 kV de tensão C.C por 60 segundos. A norma determina que valores acima de 1 M Ω são considerados aprovados. No entanto, é recomendável fazer comparações com outros resultados obtidos, pois, mesmo que os cabos apresentem valores acima do especificado na norma, é importante levar em conta como eles se comparam com os demais.

Figura 39 - Dados obtidos das medições de resistência de isolamento das strings

STRING	RSIO polo (+) (M Ω)	Avaliação do polo (+)	RSIO polo (-) (M Ω)	Avaliação do polo (-)	Temp. Amb. (°C)	UMID. REL (%)	Observação
TE01_INV01_STR01	234	APROVADO	227	APROVADO	25,4	84	
TE01_INV01_STR02	165	APROVADO	212	APROVADO	25,1	83	
TE01_INV01_STR03	152	APROVADO	203	APROVADO	24,6	85	
TE01_INV01_STR04	231	APROVADO	177	APROVADO	24,7	84	
TE01_INV01_STR05	268	APROVADO	224	APROVADO	29,3	52	
TE01_INV01_STR06	175	APROVADO	230	APROVADO	29,6	53	
TE01_INV01_STR07	189	APROVADO	239	APROVADO	29,6	55	
TE01_INV01_STR08	214	APROVADO	254	APROVADO	29,5	52	
TE01_INV01_STR09	229	APROVADO	234	APROVADO	29,3	53	
TE01_INV01_STR10	228	APROVADO	198	APROVADO	29,6	53	
TE01_INV01_STR11	227	APROVADO	196	APROVADO	29,6	53	
TE01_INV01_STR12	210	APROVADO	178	APROVADO	29,6	57	
TE01_INV01_STR13	179	APROVADO	223	APROVADO	29,8	52	
TE01_INV01_STR14	196	APROVADO	236	APROVADO	30,1	50	
TE01_INV01_STR15	191	APROVADO	228	APROVADO	29,8	51	
TE01_INV01_STR16	233	APROVADO	103	APROVADO	29,5	52	
TE01_INV01_STR17	214	APROVADO	177	APROVADO	30,3	51	

Fonte: Do autor.

Os testes realizados em todas as strings de todos os 26 inversores foram conclusivos e indicaram que os resultados foram satisfatórios como mostrado na figura 39. A partir disso, é possível inferir que os cabos que compõem as strings estão todos íntegros e em bom estado de conservação.

4.2.5 Resultados do ensaio de resistência de isolamento cabos C.A

Este teste tem como objetivo avaliar a condutividade elétrica dos cabos C.A que conectam o inversor ao QGBT da UFV. Para avaliação, uma tensão direta C.C de 1 kV foi aplicada com um megômetro digital por 60 segundos. Além disso, os valores da temperatura ambiente e da umidade relativa foram registrados com um termohigrômetro.

A norma NBR 5410 estabelece que valores maiores que 1 M Ω são considerados adequados para a avaliação dos cabos de corrente alternada. A avaliação desses cabos é fundamental para garantir a segurança e eficiência da instalação elétrica e o correto funcionamento dos equipamentos conectados. Portanto, a realização desse tipo de teste é essencial para garantir o sucesso e a qualidade do projeto.

Para realizar o teste de avaliação da condutividade elétrica dos cabos de corrente alternada, é importante seguir vários procedimentos apropriados. Aplicando uma tensão contínua de 1 kV por 60 segundos e medindo os valores de temperatura e umidade, os resultados podem ser avaliados de acordo com a norma NBR 5410. Esses resultados serão essenciais para garantir a segurança e eficiência da instalação elétrica da UFV.

O ensaio deve ser realizado com a seguinte sequência:

- FASE R / TERRA;
- FASE S / TERRA;
- FASE T / TERRA;
- FASE R / FASE S;
- FASE R / FASE T;
- FASE S / FASE T.

Conforme a Figura 40 podemos ver os resultados que foram obtidos durante o teste.

Figura 40 - Dados obtidos das medições de resistência de isolamento dos cabos C.A

CABOS	RSIO polo (+) (GΩ)	Avaliação (Aprov./Reprov.)	Temp. Amb. (°C)	UMID. REL (%)	Conexão Torqueada	Observação
TE01_INV01 Fase R/Terra	0,211	APROVADO	24,6	86	sim	
TE01_INV01 Fase S/Terra	0,206	APROVADO	24,6	86	sim	
TE01_INV01 Fase T/Terra	0,184	APROVADO	24,6	86	sim	
TE01_INV01 Fase R/Fase S	0,148	APROVADO	24,6	86	sim	
TE01_INV01 Fase R/Fase T	0,157	APROVADO	24,6	87	sim	
TE01_INV01 Fase S/Fase T	0,1	APROVADO	24,6	87	sim	
TE01_INV02 Fase R/Terra	0,1	APROVADO	25,3	80	sim	
TE01_INV02 Fase S/Terra	0,026	APROVADO	25,5	80	sim	
TE01_INV02 Fase T/Terra	0,054	APROVADO	25,5	80	sim	
TE01_INV02 Fase R/Fase S	0,103	APROVADO	25,7	79	sim	
TE01_INV02 Fase R/Fase T	0,141	APROVADO	25,6	78	sim	
TE01_INV02 Fase S/Fase T	0,064	APROVADO	25,6	79	sim	
TE01_INV03 Fase R/Terra	2,51	APROVADO	27,7	71	sim	
TE01_INV03 Fase S/Terra	0,521	APROVADO	27,6	73	sim	
TE01_INV03 Fase T/Terra	0,734	APROVADO	28,0	72	sim	
TE01_INV03 Fase R/Fase S	2,82	APROVADO	27,9	72	sim	
TE01_INV03 Fase R/Fase T	2,53	APROVADO	28,1	72	sim	
TE01_INV03 Fase S/Fase T	1,03	APROVADO	28,0	72	sim	
TE01_INV04 Fase R/Terra	1,28	APROVADO	30,5	61	sim	
TE01_INV04 Fase S/Terra	1,35	APROVADO	30,6	61	sim	
TE01_INV04 Fase T/Terra	2,88	APROVADO	30,7	62	sim	
TE01_INV04 Fase R/Fase S	3,3	APROVADO	30,4	62	sim	
TE01_INV04 Fase R/Fase T	1,75	APROVADO	30,4	62	sim	
TE01_INV04 Fase S/Fase T	3,05	APROVADO	30,4	63	sim	

Fonte: Do autor.

Os testes realizados em todos os cabos C.A de todos os 26 inversores foram conclusivos e indicaram que os resultados foram satisfatórios. Podemos notar que os alguns resultados deram valores bem inferiores a alguns outros, mas vide a norma os valores estão acima do aceitável. A partir disso, é possível inferir que os cabos estão todos íntegros e em bom estado de conservação.

Com base nos resultados dos testes elétricos realizados, pode-se concluir que os mesmos são uma atividade crucial para garantir a qualidade e integridade dos sistemas elétricos, bem como para garantir o seu correto funcionamento. Com esses testes permitem identificar e corrigir possíveis problemas antes que causem mais danos e afetem o desempenho dos equipamentos

Além disso, a realização de avaliações regulares de cabos elétricos é essencial para manter a segurança e a eficiência do sistema elétrico. A avaliação desses cabos é um processo importante que deve ser realizado de acordo com as normas técnicas e com equipamentos de alta qualidade.

Portanto, é importante que os testes elétricos sejam realizados regularmente para garantir a segurança e a confiabilidade dos sistemas elétricos. A manutenção preventiva também deve ser uma prioridade para evitar problemas e garantir o bom funcionamento dos equipamentos. Desta forma é possível manter a integridade do sistema elétrico e prevenir danos mais graves no futuro.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se, portanto, que o comissionamento de classe 1 das UFV's foi bem-sucedido, alcançando resultados satisfatórios. Todos os testes realizados foram aprovados e as UFV's apresentaram pleno funcionamento, operando de forma segura e eficiente.

Durante o processo de comissionamento, foram identificadas algumas inconformidades nas UFV's, entretanto, elas foram prontamente solucionadas pelos responsáveis. Essa abordagem permitiu que a instalação fosse entregue com a qualidade e eficiência esperadas.

É importante ressaltar que o comissionamento de classe 1 é uma etapa crucial para garantir o bom funcionamento das instalações solares fotovoltaicas. Para sua realização, é necessário contar com profissionais capacitados e especializados, que possuam conhecimentos em eletricidade e fotovoltaica.

Por fim, o sucesso do comissionamento das UFV's demonstra o comprometimento e a excelência técnica dos envolvidos no projeto. A entrega bem-sucedida dessas instalações solares fotovoltaicas é um marco importante para o desenvolvimento da energia solar no país, promovendo a sustentabilidade e a preservação do meio ambiente.

Em suma, a realização do comissionamento de classe 1 das UFV's foi essencial para garantir a segurança e a eficiência da instalação elétrica e assegurar o correto funcionamento dos equipamentos conectados, contribuindo para a expansão da energia solar fotovoltaica no país.

Como sugestões de trabalho futuro, propõe-se a realização de um trabalho para analisar o impacto da crescente instalação de sistemas fotovoltaicos na rede elétrica. O estudo deve abranger vários aspectos, como a intermitência da geração de energia solar, a influência do clima e das condições meteorológicas na produção de energia, a capacidade de armazenamento de energia, entre outros fatores relevantes.

A pesquisa também pode avaliar as estratégias de outros países para a integração de sistemas fotovoltaicos na rede elétrica. Dessa forma é possível identificar as melhores práticas e adequá-las à realidade brasileira.

Com base nos resultados obtidos, o trabalho de pesquisa pode propor soluções técnicas para minimizar o impacto da geração distribuída de energia solar na rede elétrica e garantir a estabilidade e qualidade do fornecimento de energia elétrica aos consumidores.

Esse tipo de pesquisa é essencial para garantir a sustentabilidade e viabilidade do sistema elétrico brasileiro e contribuir para o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes e eficazes para o uso da energia solar.

6 REFERÊNCIAS

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro, 2014.

ALMEIDA, M. Qualificação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo-USP, São Paulo, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. Números do Setor Solar Fotovoltaico. 2021. Disponível em < [ABSOLAR - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica](#)>

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. *Energia Solar Fotovoltaica. Conceitos e Aplicações*. São Paulo: Érica, 2012.

ABNT, Norma Brasileira – Instalações Elétricas de Baixa Tensão NBR 5410:2004 versão corrigida, 2008.

Ministério do Trabalho e Emprego. NR 10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2004

ABNT NBR 16690:2019, Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos — Requisitos de projeto.

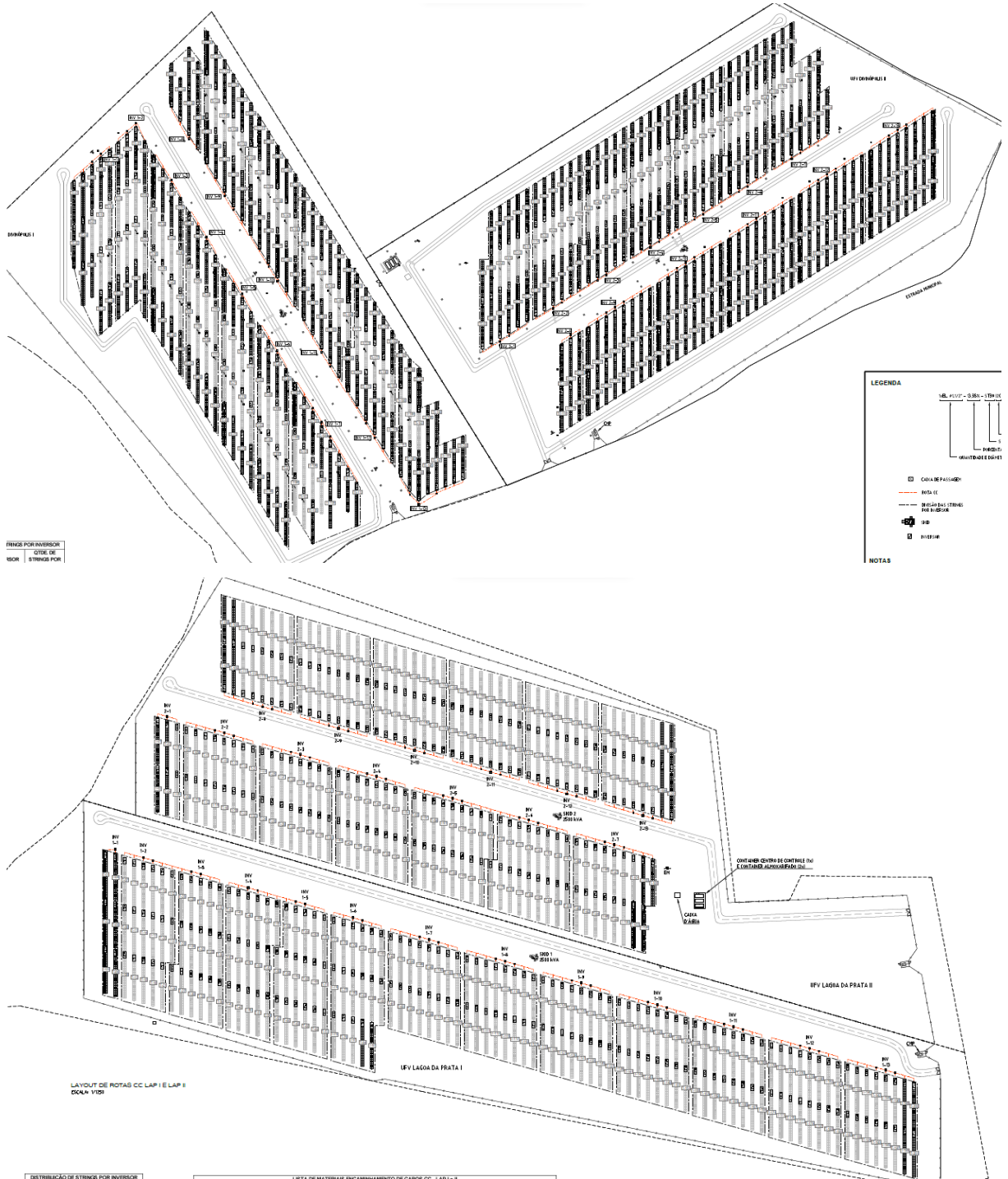
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16274 - *Sistemas fotovoltaicos conectados à rede - Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho*. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5419:2018 – Proteção contra descargas atmosféricas.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Norma Brasileira Regulamentadora ABNT NBR 14039:2005: Instalações elétricas de média tensão de 1,0 KV a 36,2 KV: ABNT, 2005

IEC. IEC 60364: Low-voltage electrical installations

7 ANEXO A – PREJETOS EXECUTIVOS UFV'S



8 ANEXO B – DATASHEET MÓDULO FOTOVOLTAICO DA UFV

ELECTRICAL DATA (STC)

Peak Power Watts- P_{MAX} (Wp)*	535	540	545	550	555
Power Tolerance- P_{MAX} (W)	0 ~ +5				
Maximum Power Voltage- V_{MPV} (V)	31.0	31.2	31.4	31.6	31.8
Maximum Power Current- I_{MPV} (A)	17.28	17.33	17.37	17.40	17.45
Open Circuit Voltage- V_{OC} (V)	37.3	37.5	37.7	37.9	38.1
Short Circuit Current- I_{SC} (A)	18.36	18.41	18.47	18.52	18.56
Module Efficiency η_{m} (%)	20.5	20.7	20.9	21.0	21.2

STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5.
*Measuring tolerance: ±3%.

ELECTRICAL DATA (NOCT)

Maximum Power- P_{MAX} (Wp)	405	409	413	417	420
Maximum Power Voltage- V_{MPV} (V)	28.8	29.0	29.2	29.3	29.5
Maximum Power Current- I_{MPV} (A)	14.06	14.10	14.15	14.19	14.23
Open Circuit Voltage- V_{OC} (V)	35.1	35.3	35.5	35.7	35.9
Short Circuit Current- I_{SC} (A)	14.80	14.84	14.88	14.92	14.96

NOCT: Irradiance at 800W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1m/s.