

Fatores Técnicos para Execução de uma Malha de Aterramento: Estudo Aplicado em um Parque Solar de $356,4kW_p$ em Almino Afonso – RN

Pedro Lucas da Silva
Centro de Engenharias
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Mossoró, RN
pedro.silva29354@alunos.ufersa.edu.br

Humberto Dionísio de Andrade
Centro de Engenharias
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Mossoró, RN
humbertodionisio@ufersa.edu.br

Resumo — O aterramento é uma técnica indispensável em qualquer tipo de instalação elétrica. Sua finalidade é garantir mais segurança e integridade tanto para os profissionais, como também para os equipamentos, principalmente aqueles que detêm altos valores monetários, como por exemplo os inversores e o transformador de potência. O artigo tem como objetivo fazer um estudo de caso para a execução de um sistema de aterramento em uma usina fotovoltaica (UFV) de $356,4kW_p$ localizada na cidade de Almino Afonso – RN. Neste artigo serão explorados quais foram os tipos e medidas dos cabos, conectores, hastes, moldes para soldas exotérmicas e entre outros equipamentos. Além dos materiais, serão abordados quais foram os procedimentos realizados em cada etapa da construção no que se diz respeito ao sistema de aterramento.

Palavras-chave — aterramento, segurança, usina fotovoltaica.

I. INTRODUÇÃO

O mercado da energia solar tem sido um dos principais setores em desenvolvimento no Brasil e no mundo. Principalmente na busca por alternativas de fontes de energia limpa, esse tipo de tecnologia ganha bastante visibilidade. O progresso pelo avanço de equipamentos e a aquisição do sistema recebem bastante incentivo de diversos setores.

Os sistemas fotovoltaicos, apresentam tensões e correntes que podem ser danosas a saúde. Como todo sistema elétrico demanda de segurança, o aterramento traz consigo a proposta de reforçar ainda mais segurança aos envolvidos, sejam eles instaladores ou profissionais que posteriormente precisem fazer alguma manutenção. Somado a isso, também deve garantir proteção e funcionalidade dos equipamentos, que detêm valores elevados [5].

O sistema de aterramento tem o intuito de garantir o correto funcionamento da instalação através de interligação das estruturas e equipamentos com a malha geral de equipotencialização, possibilitando um caminho prioritário para às correntes de surto, falta ou fuga, com o intuito de preservar, principalmente, a vida e todos os componentes que compõe o sistema [9].

A UFV está implantada no Sítio São Gabriel, situado no município de Almino Afonso, estado do Rio Grande do Norte, possuindo ponto de conexão com a rede de distribuição em: $-6,146^\circ$ (latitude) e $-37,737^\circ$ (longitude). Um croqui do ponto de conexão é apresentado na Figura 1.



Figura 1. Localização do ponto de conexão da UFV. [6].

O empreendimento conta com 880 módulos do modelo RSM40-8-405M, gerando uma potência ativa de $356,4kW_p$. O sistema é distribuído em 18 mesas fixas com 40 módulos e 8 mesas fixas com 20 módulos. Foram utilizados 03 (três) inversores da Huawei, modelo SUN2000-100KTL-M1. Sendo assim, o sistema de geração fotovoltaico será limitado em $300kW$ de potência instalada. A usina conta com um transformador de potência de $300kVA$, do fabricante ITAM Transformadores, aéreo com 5 taps e com relação de transformação de tensão entre primário/secundário de $13,8kV/380V$. Ele irá alimentar o QDG (Quadro de Distribuição Geral), responsável pela alimentação dos inversores, banheiro e sistema de comunicação da usina. A Figura 2 é um fluxograma básico da usina.

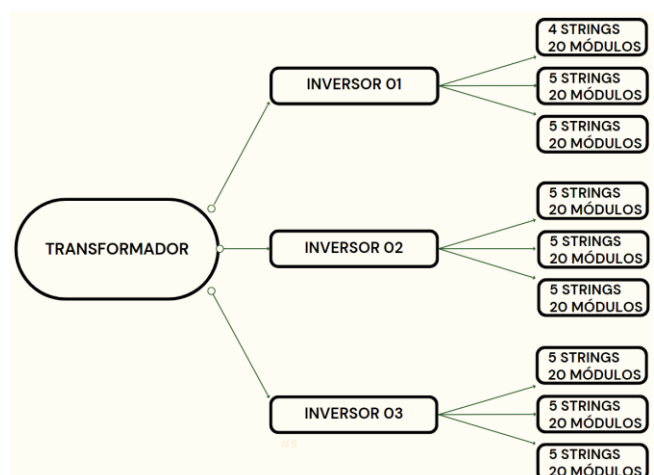


Fig. 2. Fluxograma do sistema da UFV.

II. SISTEMA DE ATERRAMENTO

O aterramento é um requisito fundamental em todas as instalações elétricas. Ele serve como um sistema de proteção para os equipamentos e previne choques elétricos. O propósito do aterramento é assegurar a segurança dos profissionais envolvidos e dos ocupantes do local, minimizando o risco de acidentes como choques elétricos, curto circuitos e incêndios [3].

A NBR 5410 (2014) estabelece que existem três tipos de esquemas de aterramento para instalações elétricas de baixa tensão: TN, TT e IT. Cada um desses esquemas possui características específicas e utiliza dispositivos diferentes para realizar o seccionamento automático da alimentação em caso de falhas. O esquema TN é subdividido em três variantes (TN-S, TN-C-S e TN-C), dependendo da disposição do condutor neutro e do condutor de proteção. É importante escolher o esquema de aterramento adequado para garantir a segurança das pessoas e dos equipamentos em uma instalação elétrica.

A NBR 16690 (2019) define os critérios para o projeto, instalação, operação e manutenção de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. O propósito do aterramento nesses sistemas é assegurar a qualidade da energia gerada e a segurança das pessoas e das construções onde o sistema está instalado. A norma determina quais os itens da NBR 5410 (2014) que devem ser aplicados, estabelecendo como as proteções contra choques elétricos devem ser realizadas.

Alguns limites de corrente são importantes de serem observados quando se trata de risco de contato humano com partes energizadas. O tempo de contato à corrente alternada é quem determina a gravidade da lesão [7]. A Tabela 1 determina estes níveis e os problemas que são causados.

TABELA 1. NÍVEIS DE CORRENTE E PROBLEMAS CAUSADOS.

Entre 15mA e 25mA	Dificulta o desprendimento
Entre 25mA e 80mA	Contrações e asfixia
Superior a 80mA	Lesões musculares severas, queimaduras, necrose do tecido, eletrólise sanguínea e asfixia imediata.

A NBR 16274 (2014) é uma norma técnica brasileira que estabelece os requisitos mínimos para a documentação, comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.

Os indivíduos, geralmente quem exerce atividades que lidam com processos industriais ou realizam manutenção e operação de sistema, estão sujeitos ao contato com partes metálicas energizadas e, consequentemente, ligando-se eletricamente sob tensão entre fase e terra.

A proteção supletiva é um recurso para fornecer segurança adicional contra choques elétricos quando partes condutivas expostas se tornam inadvertidamente energizadas. A segurança contra choques elétricos deve ser garantida pelo uso de proteção básica e supletiva, seja através de meios independentes ou por meio de uma medida que forneça ambas as proteções. Algumas medidas de proteção supletiva incluem aterramento e desligamento automático da fonte de alimentação, isolamento adicional e separação elétrica [3].

A nível de proteção e segurança é importante o entendimento sobre dois conceitos: tensão de passo e tensão de toque.

A. Tensão de passo

Conhecido também como tensão de contato, é a tensão em que o indivíduo está exposto quando entram em contato com partes metálicas indevidamente energizadas [7]. A Figura 3 expõe as condições de um corpo humano sujeito a uma tensão de toque.

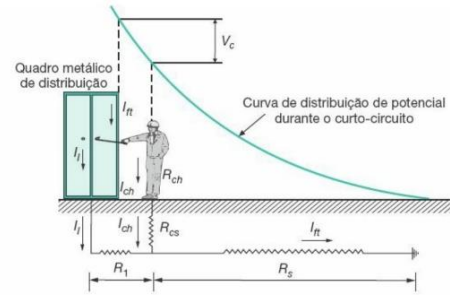


Fig. 3. Tensão de toque. [7].

Onde:

I_{ft} : Corrente de curto-circuito fase e terra

I_{ch} : Corrente de choque

R_{ch} : Resistência do corpo humano

R_s : Resistência do solo

R_{cs} : Resistência de contato resultante de cada pé com o solo

V_c : Tensão de toque

B. Tensão de toque

Quando a pessoa está no interior de uma malha de terra fica exposta a uma tensão entre os dois pés, caso no dado momento esteja sendo transmitida uma corrente de defeito sobre o solo [7]. A Figura 4 demonstra como que essa circunstância pode ocorrer.

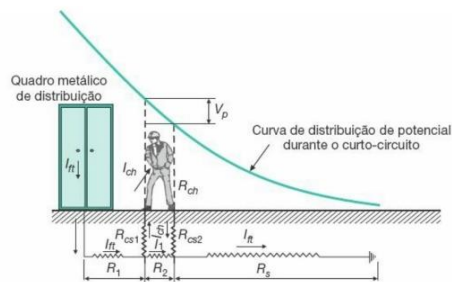


Fig. 4. Tensão de passo. [7].

Onde:

I_{ft} : Corrente de curto-circuito fase e terra

I_{ch} : Corrente de choque

R_{ch} : Resistência do corpo humano

R_s : Resistência do solo

R_{cs1} : Resistência de contato do pé direito

R_{cs2} : Resistência de contato do pé esquerdo

V_p : Tensão de passo

III. MATERIAIS E MÉTODOS

De acordo com NBR 5410 (2004), a seção mínima para condutores de aterramentos diretamente enterrados no solo, sem proteção contra corrosão, deve ser 50mm² para cabos de cobre nú e 80mm² para cabos de aço.

A malha da cabine de medição e proteção, postes de circuito fechado de televisão (CFTV), sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) e estação meteorológica (ETM) estão interligados à malha geral de equipotencialização. O aterramento do banheiro foi derivado de um ponto da malha da cabine de medição e proteção, o mesmo processo foi realizado para o poste do transformador.

O condutor de aterramento que interliga as estacas de fixação das mesas de suporte para os módulos, inversores com sua estrutura de suporte, cercas, estrutura da ETM e SPDA da ETM, QDG e demais partes metálicas possui uma seção transversal de 25mm².

A Figura 5 abaixo mostra um fluxograma esquemático de como foi distribuído o sistema de aterramento da UFV.

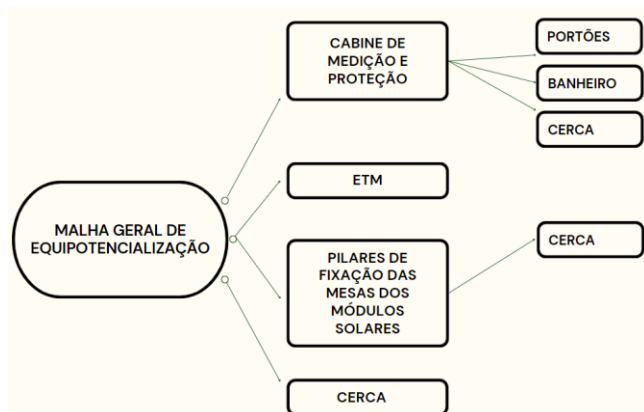


Fig. 5. Fluxograma do sistema de aterramento.

A. Cabos de Aterramento

A malha geral de equipotencialização interna da usina conta com cabos de cobre nú de 50mm² a 7 fios, alocados em uma profundidade de 70cm a partir do nível do solo e com 50cm de largura. A Figura 6 mostra o lançamento do condutor citado acima.



Fig. 6. Lançamento dos cabos de cobre nú 50mm² na malha geral.

A Figura 7 detalha o esboço da malha de aterramento da cabine de medição e proteção. Nessa etapa foi utilizado cal para fazer a marcação. As dimensões das valas são idênticas à malha geral. O formato geométrico é semelhante a um retângulo com 7,5m de largura e 12m de comprimento, totalizando uma área total de 90m². A largura foi subdividida

em 4 percursos, com 2 condutores principais e 2 de junção e, o comprimento, em 5 percursos com 3 condutores principais e 2 de junção.



Fig. 7. Esboço da malha de aterramento da cabine de medição e proteção.

Para a execução da escavação foi utilizado uma retroescavadeira, como ilustrado na Figura 8. Logo após a realização da atividade, os condutores de cobre nú 50mm² foram lançados, aguardando a execução das conexões através de soldas exotérmicas.



Fig. 8. Escavação da malha da cabine de medição e proteção.

A NBR 5419 (2015) determina as necessidades para a proteção da integridade de estruturas em combate à danos causados pelos raios, assim como a preservação a tensões de toque ou de passo que possam afetar pessoas que estejam próximas à instalação, através de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas.

Esse sistema de proteção conta com captor metálico que é alocado, preferencialmente, no ponto mais elevado e interligado à terra através de um eletrodo de aterramento. Sua função é gerar um caminho mais fácil para as descargas elétricas e fazer com que elas escoem através de condutores [8].

Figura 9 mostra instalação do SPDA no poste do CFTV, responsável pela proteção da câmera e da cabine de medição e proteção da UFV. O captor está a 17m de distância do nível do solo e conta com um condutor de descida de cobre nú com seção transversal de 50mm².



Fig. 9. Instalação do captor tipo Franklin.

O detalhamento do lançamento do condutor de aterramento para o banheiro está exposto na Figura 10.



Fig. 10. Malha de aterramento do banheiro.

No poste do transformador foi aterrado a carcaça do transformador, assim como o neutro do secundário do transformador, como exposto na Figura 11.



Fig. 11. Aterramento da carcaça do transformador e do neutro.

O aterramento das estacas das estruturas onde os módulos foram instalados através de terminar de compressão tipo olhal. A conexão foi realizada na extremidade de cada mesa, assim como mostra na Figura 12.



Fig. 12. Aterramento das estacas de fixação das mesas dos módulos.

Os mesmos conectores foram aplicados na ligação dos inversores e suas estruturas, conforme a Figura 13 abaixo.



Fig. 13. Aterramento do inversor e a sua estrutura de suporte à malha geral.

A usina conta com 11 pontos de aterramento ligados à cerca perimetral e da cabine de medição e proteção, sendo que a maioria deles estão alocados na região da cabine. A Figura 14 evidencia como foi feita a conexão.



Fig. 14. Aterramento da cerca da UFV.

A estrutura da ETM é conectada de modo separado do captor tipo Franklin. Essa medida foi tomada com a finalidade de separar os componentes de medição instalados na ETM de uma possível descarga elétrica. A instalação pode ser conferida através da Figura 15.

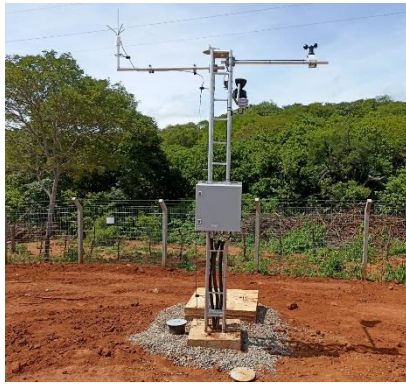


Fig. 15. Aterramento da estrutura da ETM e do captor tipo Franklin.

O fechamento das mesas dispostas em sequência, como mostra a Figura 16, foi realizada através da utilização de condutores de aterramento é composto com cobre, isolados e seção de 25mm².



Fig. 16. Aterramento entre mesas sequenciais

A Figura 17 mostra o aterramento entre as estacas de fixação das mesas de suporte dos módulos e os trilhos que compõe às mesas, visto que há uma isolação entre os módulos e a estrutura metálica.



Fig. 17. Aterramento entre pilar de fixação e os trilhos.

B. Haste de Aterramento

A quantidade de eletrodos de terra necessários para a integração depende diretamente da condutibilidade elétrica do solo [9].

A haste utilizada possui dimensões de 3/4" de diâmetro com 3m de extensão. As hastes foram alocadas dentro de caixas de inspeção de PVC 30x30cm com tampa de ferro fundido. A Figura 18 traz uma demonstração de como elas foram instaladas.



Fig. 18. Haste com condutores de aterramento dentro da caixa de inspeção.

C. Conectores

Para a conexão entre as hastes e condutores, foram aplicados grampos GTDU. A partir da Figura 19 pode-se observar como foi realizada a ligação entre cabos de cobre nú de 50mm² da malha da cabine e os cabos de cobre nú 25mm² responsáveis pelo aterramento das cercas.



Fig. 19. Instalação dos grampos GTDU.

A Figura 20 demonstra como foi realizada a conexão entre os cabos de cobre nú de 50mm² aos cabos de 25mm² que aterram as estacas das mesas de fixação dos módulos através de conectores do tipo cunha.

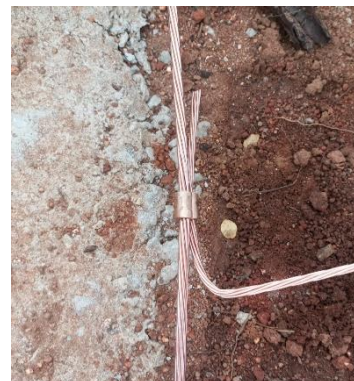


Fig. 20. Aplicação de conectores tipo cunha.

Já os condutores de cobre nú de 25mm² foram fixados à cerca e aos arames farpados através de conectores do tipo *splitbolt*, como apresentado na Figura 21.



Fig. 21. Aterramento na cerca e arames farpados utilizando splitbolt.

D. Soldas Exotérmicas

Outro processo utilizado para a conexão dos cabos foi através de soldas exotérmicas. Esse procedimento é realizado com a fusão de um elemento metálico e o cabo de aterramento. O processo ocorre dentro de um equipamento chamado cadinho. Porém, cada tipo de situação vai demandar um cadinho diferente [7]. Adiante será mostrado como foram feitas as soldas exotérmicas entre os cabos que se cruzam dentro da malha da cabine de medição e proteção.

Primeiramente os cabos foram organizados na parte inferior do cadinho. Como dito anteriormente, cada situação vai precisar de um molde diferente. Em seguida, é adicionado o disco metálico dentro do cadinho junto com a pólvora e o ignitor. Logo após o cadinho é fechado e o ignitor é acionado com fogo. É preciso aguardar alguns segundo para que a solda seja executada.

A Figura 22 mostra o passo-a-passo da realização do procedimento para uma solda do tipo X.

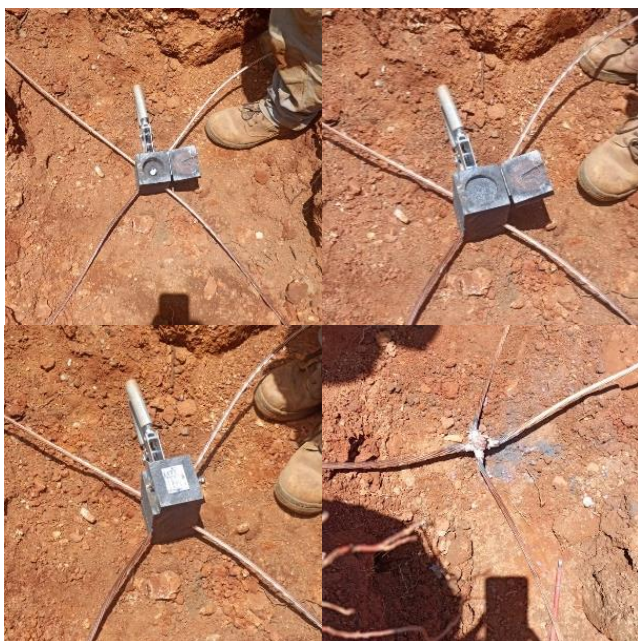


Fig. 22. Solda exotérmica tipo X.

O mesmo processo é realizado para a solda tipo T. O resultado do processo é apresentado na Figura 23.



Fig. 23. Solda exotérmica tipo T.

IV. ANÁLISE E RESULTADOS

Esse tópico é destinado para explicar as etapas da execução das atividades que foram executadas na instalação do sistema de aterramento da UFV.

O primeiro procedimento de execução foi realizar a demarcação de todas as áreas por onde os condutores de cobre nú 50mm² foram passados, começando pela malha principal que circunda todos os módulos.

Em seguida foi realizada a escavação das valas com a utilização de retroescavadeira e, em algumas regiões, o processo foi feito de modo manual.

Após todas as valas estarem abertas, os cabos foram lançados e todas as hastes foram implantadas.

Com todos os cabos e hastes já espalhados pela usina, o próximo passo foi a realização das conexões, através de soldas exotérmicas, grampos e conectores.

O último passo foi o reaterro das valas. Nessa etapa foi bastante importante a realização da compactação do solo, afim de evitar que ocorressem erosões que pudessem comprometer a fundação das estruturas da instalação.

A Figura 23 abaixo representa o fluxograma das atividades que foram executadas.

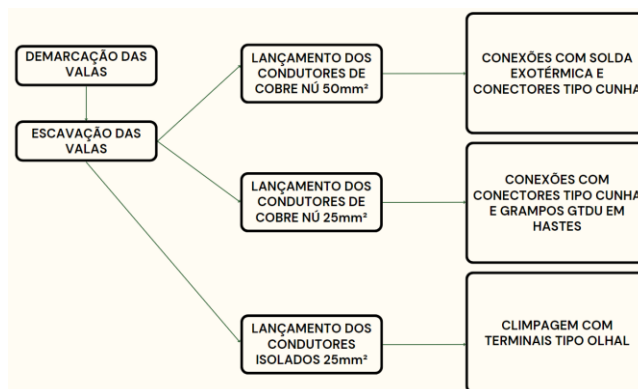


Fig. 23. Fluxograma das atividades realizadas.

O resultado da execução apresentou uma análise visual satisfatória. Todas as conexões que foram utilizadas não apresentaram nenhum tipo de falha. Entretanto, ainda não foram realizados os testes de comissionamento afim de obter-se maior precisão da qualidade do serviço. Isso se dá por conta da necessidade da conclusão de tarefas que ainda se encontram pendentes.

V. CONCLUSÃO

Após a finalização desse artigo ficou mais evidenciado que a execução de um sistema de aterramento em uma usina solar é fundamental para garantir a segurança das pessoas e

dos equipamentos. É importante seguir as normas técnicas e os procedimentos recomendados para garantir que o sistema de aterramento seja eficaz e confiável.

Um sistema de aterramento bem projetado e executado deve ajudar a prevenir choques elétricos, incêndios e danos ao equipamento. Além disso, pode melhorar o desempenho do sistema elétrico e reduzir interferências eletromagnéticas.

Portanto, é essencial que sejam tomadas todas as medidas necessárias para garantir que o sistema de aterramento seja instalado corretamente e mantido em boas condições. Isso inclui a escolha dos materiais normatizados, a realização de testes regulares e a manutenção preventiva do sistema.

REFERÊNCIAS

- [1] ABNT. **NBR 16274**: Sistemas fotovoltaicos conectados à rede - Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- [2] ABNT. **NBR 16690**: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- [3] ABNT. **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro. 2004.
- [4] ABNT. **NBR 5419**: Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas. Rio de Janeiro. 2015.
- [5] ASSAIFE, B M. **Aterramento e Proteção de Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: UFRJ. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Elétrica, 2013.
- [6] Google. 2023. **Localização do ponto de conexão da UFV** [s.l.]: Google Maps.
- [7] MAMEDE FILHO, João. **Instalações Elétricas Industriais**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.
- [8] MARCARINI, Fabiano. **Proteção contra descargas atmosféricas utilizando para-raios de óxido de zinco**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2012.
- [9] PINHO; GALDINO. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPTEL - CRESESB, 2014.