



NORMAS DE SEGURANÇA DO TRABALHO APLICADAS ÀS USINAS FOTOVOLTAICAS

Rakelane Aparecida Mendes*¹, Yan Santos Gonçalves¹

¹CEFET – Centro Federal Educação Tecnológica de Minas Gerais

Resumo - Nos últimos anos a geração de energia elétrica proveniente de usinas fotovoltaicas cresceu no Brasil, devido às inúmeras vantagens deste tipo de geração e também ao fato do Brasil possuir grande potencial de geração. Inúmeras empresas que realizam a instalação destas usinas surgiram, gerando milhares de empregos diretos ou indiretos. Este trabalho tem como objetivo apresentar os tipos de acidentes que podem ocorrer nas usinas fotovoltaicas, as principais causas e danos causados por estes acidentes. Para finalizar são apresentadas as normas nacionais e internacionais de segurança do trabalho que devem ser seguidas para evitar ou minimizar a ocorrência destes tipos de acidentes.

Palavras-Chave – Energia elétrica, normas de segurança, usina fotovoltaica.

WORKPLACE SAFETY STANDARDS FOR PHOTOVOLTAIC POWER PLANTS

Abstract - In recent years the generation of electricity from photovoltaic power plants has grown in Brazil, due to the numerous advantages of this type of power generation and due to the fact that Brazil has great potential for generation. Many companies that carry out the installation of these plants have emerged, generating thousands of direct or indirect jobs. This work aims to present the types of accidents that can occur in the photovoltaic power plants, the main causes and the damage caused by these accidents. Finally, the national and international standards of safety at work that must be followed to prevent or minimize the occurrence of these types of accidents are presented.

Keywords – electrical energy, occupational safety standards, photovoltaic power plants.

I. INTRODUÇÃO

Devido as modificações climáticas do planeta, nas últimas décadas muitas políticas relacionadas a sustentabilidade vêm sendo adotadas. Dentro destas políticas destaca-se a geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis.

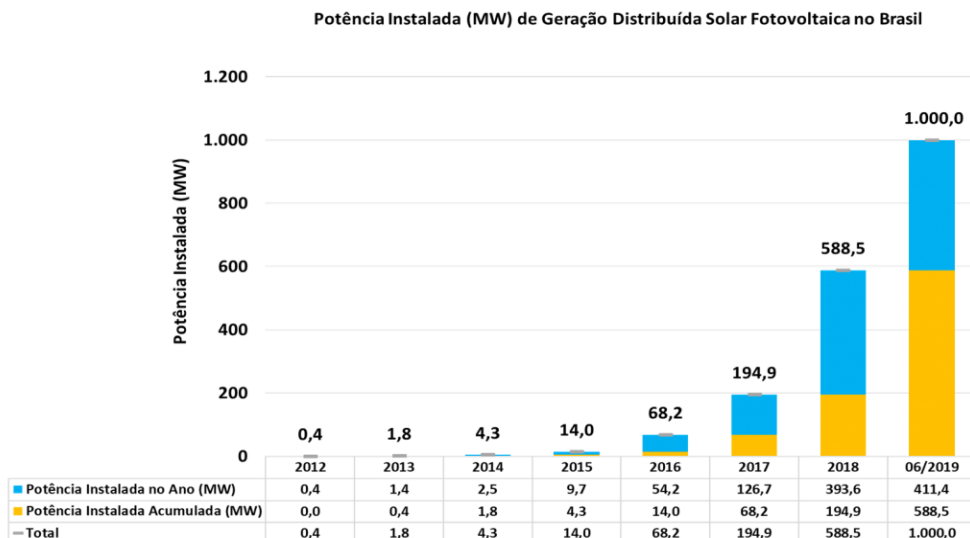
*rakel.aneam@gmail.com

O Brasil ao contrário do resto do mundo, apresenta uma matriz energética composta em 82% de fontes renováveis, dentre as quais cerca de 65% da geração ainda é proveniente de fontes hidráulicas [1]. No entanto, ainda que possuam relativa constância em geração, durante períodos de estiagem é necessário recorrer a outras formas de geração. Um grande exemplo disso é a crise hídrica, ocorrida em 2014, neste período as usinas termelétricas foram acionadas para suprir a demanda. Por outro lado, as usinas termelétricas são desvantajosas do ponto de vista ambiental e econômico, pois utilizam combustíveis fósseis que aumentam a emissão de gases de efeito estufa na atmosfera, ademais a sua operação é mais cara se comparado a operação de usinas hidrelétricas.

Nos últimos anos a geração de energia elétrica proveniente de usinas fotovoltaicas expandiu, principalmente devido ao grande volume de investimentos neste setor. Este tipo de geração apresenta muitas vantagens, devido ao fato da energia solar ser uma fonte inesgotável e limpa. O Brasil apresenta condições favoráveis ao desenvolvimento de energia solar fotovoltaica, os valores de irradiação solar global incidente em qualquer região do território brasileiro são 1500-2500 Wh/m², sendo estes valores superiores aos da maioria dos países europeus, como Alemanha (900-1250 Wh/m²), França (900-1650 Wh/m²) e Espanha (1200-1850 Wh/m²), locais onde projetos de aproveitamento de energia solar são amplamente disseminados. O Brasil também possui grandes reservas de quartzo de qualidade, que é a matéria-prima para a produção de silício, material utilizado na fabricação de células fotovoltaicas [2].

A geração proveniente de usinas fotovoltaicas pode ser de dois tipos: (1) Microgeração distribuída: é uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW; (2) Minigeração distribuída: é uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW. As condições gerais de acesso da microgeração e minigeração ao sistema de energia elétrica são definidas pela resolução normativa ANEEL nº 482 [3]. A Figura 1 mostra o aumento da potência instalada de geração distribuída solar fotovoltaica no Brasil nos últimos anos.

Figura 1: Potência instalada de geração distribuída solar [4].



Pode-se observar que o número de usinas fotovoltaicas apresentou elevadas taxas de crescimento, empresas foram criadas, gerando milhares de empregos diretos ou indiretos. Se por um lado econômico diversas vantagens são obtidas, por outro é comum que durante a execução de suas atividades as empresas negligenciem normas de segurança do trabalho. Neste trabalho é apresentado o princípio de funcionamento de uma usina fotovoltaica e quais os principais tipos de acidentes relacionados às estas. Também são apresentadas as normas de segurança que devem ser seguidas para atenuar ou eliminar o risco de acidentes.

II. USINAS FOTOVOLTAICAS

As usinas fotovoltaicas são responsáveis por transformar a energia solar em energia elétrica. Sendo normalmente constituídas por painéis fotovoltaicos, cabos, inversores, transformadores e medidores de energia, como é mostrado na Figura 2. A luz solar incide nos painéis fotovoltaicos (1), estes podem ser instalados em telhados ou no solo. Nos painéis ocorre a transformação de energia solar em energia elétrica de corrente contínua. No entanto, a natureza da energia presente na rede elétrica apresenta corrente alternada, desta forma é necessário utilizar um inversor (2), que é capaz de transformar a energia elétrica de corrente contínua em energia elétrica de corrente alternada. Em algumas usinas fotovoltaicas a tensão gerada possui níveis superiores aos níveis de tensão da rede (127 V, 220 V, 380 V).

Figura 2: Usina fotovoltaica.



Desta forma é necessário abaixar os níveis da tensão gerada para os níveis da rede. Portanto, utiliza-se um transformador abaixador, que pode ser um equipamento a parte ou incluso no inversor. A energia gerada pode ser utilizada na edificação (3), e o excedente é enviado a rede elétrica. Os medidores de energia utilizados em usinas fotovoltaicas são medidores bidirecionais (4), que são capazes de receber e enviar energia a rede (5). O excedente de energia é enviado a rede, gera saldos ao consumidor, que podem ser utilizados quando não há geração ou em outras edificações pertencentes ao consumidor. A usina fotovoltaica mostrada na Figura 2 é do tipo *on grid* e são as mais utilizadas. As usinas fotovoltaicas tipo *off grid* são instaladas em locais onde não há rede elétrica, de forma que a energia gerada é armazenada em baterias, para serem utilizadas posteriormente.

III. ACIDENTES ENVOLVENDO USINAS FOTOVOLTAICAS

Os painéis fotovoltaicos podem ser instalados em telhados, e caso as medidas de segurança relativas aos trabalhos em altura não sejam adotadas, pode ocorrer queda dos trabalhadores e muitas vezes este acidente é fatal. Um exemplo deste tipo de acidente é mostrado na Figura 3. Outro tipo de acidente envolvendo as usinas fotovoltaicas é a queda da estrutura do telhado após a instalação da estrutura. Vale ressaltar que um único módulo fotovoltaico pesa em torno de 18-25 kg, este peso depende do fabricante e das especificações técnicas do painel. Desta forma, caso não seja realizada uma análise estrutural do telhado, para verificar se este suportará o peso dos painéis, a estrutura pode desabar, como é mostrado nas Figura 4(a) e Figura 4(b).

Figura 3: Queda de um trabalhador do telhado.



Figura 4: Desabamento da estrutura do telhado (a) Situação 1 (b) Situação 2.



(a)



(b)

A Figura 4(a) mostra um acidente que ocorreu em 2019. A estrutura do telhado de um supermercado localizado em Caxias do Sul-RS, desabou enquanto os painéis ainda estavam sendo instalados. Felizmente, não houveram vítimas fatais. A Figura 4(b) mostra outro acidente, desta vez em Várzea Grande-MT. A estrutura do telhado de uma concessionária de carros desabou durante um temporal, provocando incontáveis prejuízos materiais. Ressalta-se que muitas vezes a análise estrutural é negligenciada com o objetivo de economizar recursos financeiros.

Outro tipo de acidente que pode ocorrer em usinas fotovoltaicas são acidentes envolvendo a eletricidade. As conexões de usinas fotovoltaicas estão sujeitas a tensões elevadas em corrente contínua e a exposição de elementos climáticos. Uma conexão frouxa em uma junta do condutor ou a degradação do isolamento podem causar um arco elétrico [5]. O arco elétrico é a passagem de corrente elétrica entre dois condutores através de gases e vapores ionizantes, tendo normalmente curta duração, mesmo assim produz níveis de

energia muito elevados [6]. Este fenômeno provoca um barulho intenso devido à grande expansão da matéria e emana um calor excessivo [7]. Os pontos de conexão mais sujeitos à formação de arco elétrico são as conexões entre os painéis fotovoltaicos ou conexões entre painéis fotovoltaicos e inversores ou *string box* (caixa onde concentram-se boa parte das conexões). Dentre os principais acidentes derivados da presença dos arcos elétricos destaca-se os incêndios, conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 5: Incêndios (a) Painéis fotovoltaicos (b) String box.



(a)



(b)

Na Figura 5(a) é mostrado um incêndio nos painéis fotovoltaicos, que pode ter sido provocado por arco elétrico ou por ausência ou mal dimensionamento do sistema de aterramento elétrico. A Figura 5(b) mostra um incêndio na string box.

IV. NORMAS DE SEGURANÇA DO TRABALHO APLICADAS

Para realizar os serviços de instalações fotovoltaicas é necessário adotar algumas normas de segurança. Primeiramente é necessário estabelecer quais equipamentos de proteção individual (EPI) devem ser utilizados. De acordo com a NR-6, o EPI é todo dispositivo destinado à proteção de riscos e ameaças à segurança e à saúde no trabalho [8]. Os EPIs básicos de trabalhadores do ramo de energia fotovoltaica são: (1) capacetes: estes reduzem os efeitos de impactos de objetos contra a cabeça do trabalhador, além de proteger contra radiação solar; (2) luvas: para evitar cortes e perfurações, também podem evitar choques elétricos (caso seja uma luva de alta tensão), (3) sapato com biqueira: protege os pés contra impactos, cortes e compressões.

A NR-35 estabelece os requisitos mínimos e as medidas de proteção para o trabalho em altura. Considera-se trabalho em altura toda atividade executada acima de 2,00 m do nível inferior, onde haja risco de queda [9]. Os cintos do tipo

paraquedista são utilizados para instalações de painéis fotovoltaicos, os quais distribuem as forças tanto de sustentação como de parada sobre partes específicas do corpo como as coxas, cintura, ombros e o peito [10]. É obrigatória a instalação de cabo-guia ou linha de vida, que é fixado à estrutura definitiva da edificação. O talabarte é o elemento de fixação entre o cinto do tipo paraquedista e o cabo-guia, sendo através do cabo-guia que o trabalhador irá se locomover pelo telhado [11].

Aliado aos EPIs, deve-se considerar também o uso de equipamentos de proteção coletiva (EPC), a escolha destes dependerá do risco no trabalho, tais como: ruído, radiação UVA e UVB e partículas volantes. Outro equipamento de segurança necessário é o trava-quedas, este possui a função de bloqueio em caso de queda do trabalhador. A NR-35 exige que sejam ofertados treinamentos para o trabalho em altura, com carga horária igual ou superior a 8 horas. Estes treinamentos devem ser promovidos pelo empregador. Segundo a NR-18, para trabalhos em telhados ou coberturas é obrigatória a existência de sinalização advertindo os riscos e isolando a área para evitar a ocorrência de acidentes por eventual queda de materiais, ferramentas ou equipamentos [11].

Na Figura 6 é mostrado alguns equipamentos de segurança citados. Quase todos os tipos de telhados e lajes estão preparados para receber uma carga adicional, mas antes de colocar a estrutura de painéis fotovoltaicos é necessário avaliar se o telhado irá suportar a nova carga. Às vezes é necessário fazer um reforço.

Figura 6: Exemplos de EPI.



Quando os painéis fotovoltaicos são montados sobre solo ou laje utiliza-se uma estrutura metálica de suporte, e esta recebe carga extra da ordem de 70 kg/m^2 . Devido a velocidade do vento, em regiões altas ou próximo ao litoral, o vento pode atingir velocidades de até 150 km/h , então é necessário certificar se a estrutura de fixação está de acordo com a NBR 6123 [12].

Para evitar problemas relacionados a parte elétrica, deve-se seguir as orientações da NR-10, a qual é aplicável para instalações elétricas de baixa, média ou alta tensão, seja em corrente alternada ou corrente contínua [13]. Deve-se seguir também as recomendações das concessionárias de energia elétrica locais.

Os sistemas elétricos estão expostos aos efeitos de descargas atmosféricas e sujeitos a curtos-circuitos, que originam altas correntes e, conseqüentemente, aumentam os riscos de incêndio e de danos aos aparelhos elétricos e a

humanos [14]. A NBR 5419:2015 contém as orientações necessárias contra os efeitos das descargas atmosféricas. Com a intenção de diminuir esses riscos, as carcaças dos painéis fotovoltaicos são conectadas entre si, deve-se conectar a estrutura da carcaça metálica ao sistema de proteção de descarga atmosférica da edificação (SPDA). O SPDA deve ser capaz de suportar o impacto direto de uma descarga atmosférica, conduzir sua corrente para o sistema de aterramento e dissipá-la no solo sem criar tensões de passo e toque perigosas [15].

Em 2019 entrou em vigor a ABNT NBR 16690, esta norma estabelece os requisitos de projetos das instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos, incluindo dispositivos de proteção elétrica, manobra, aterramento e equipotencialização do arranjo fotovoltaico). A NBR 5410 apresenta medidas de proteção contra sobretensões transitórias que devem ser consideradas no projeto e operação [16].

As sobretensões transitórias se dão por descargas atmosféricas, as quais são oriundas do acúmulo de eletricidade estática entre pontos diferentes da instalação. Para promover a proteção contra sobretensões transitórias nas instalações de edificações é recomendado a instalação de dispositivos de proteção contra surtos (DPS). Porém, a NBR 5410 não prevê a instalação de DPS em usinas fotovoltaicas, pois sua última revisão foi em 2008, e somente anos depois que a instalação de usinas fotovoltaicas cresceu no Brasil. Desta forma, é necessário recorrer a normas internacionais. Maiores informações são dadas a seguir.

A. Recomendações para o DPS em corrente alternada e contínua

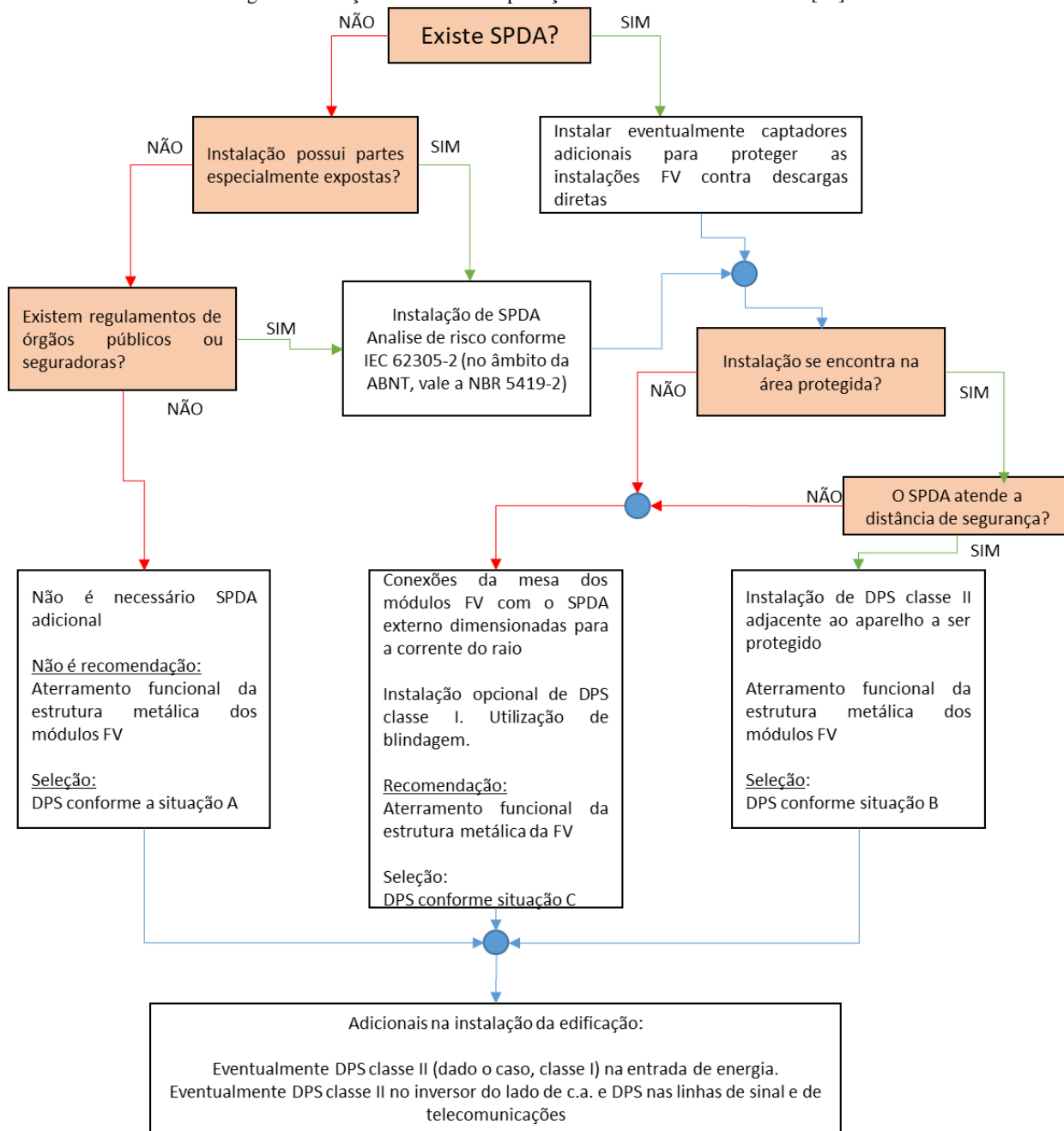
As especificações dos DPS para o lado CA devem obedecer as recomendações da NBR IEC 61643-1:2007. Esta norma determina que os DPS devem ser montados para serem conectados a circuitos 50/60 Hz em CA ou CC e equipamentos de tensão nominal eficaz de até 1000 V ou 1500 V [17].

A energia de corrente contínua nas usinas fotovoltaicas possui uma particularidade. Em um módulo fotovoltaico a corrente de curto-circuito é muito baixa e segundo [18], esta corrente pode não ser suficiente para causar a atuação da proteção regido pela NBR IEC 61643-1:2007, provocando incêndios. Como não há uma norma brasileira, sobre esta particularidade, é necessário recorrer a normas internacionais.

Após uma série de estudos sobre o assunto, foi publicada a norma europeia EN 50539-11. Uma das exigências da EN 50539-11 é a realização de desconexão do DPS através de um fusível interno, dentro do mesmo dispositivo. Outra exigência é a conexão do DPS na topologia Y. Isso aumenta a impedância do sistema e a resistência contra eventual falha de isolação [19].

Vale ressaltar que a EN 50539-11, deve ser aplicada apenas no lado CC, pois a frequência da rede elétrica no Brasil é 60 Hz , e na Europa a frequência da rede é 50 Hz . A Figura 7 faz um resumo da seleção das medidas de proteção de um sistema de usina fotovoltaicas.

Figura 7: Seleção de medidas de proteção de um sistema fotovoltaico [18].



Nas instalações fotovoltaicas, deve-se utilizar conectores tal como o tipo MC4, pois estes oferecem isolamento elétrico e durabilidade [20]. Uma parte bastante delicada de um sistema fotovoltaico e que pode ocasionar muitos acidentes é a *string box*, maiores detalhes são dados a seguir.

B. Recomendações para uma String box

A *string box* é uma caixa onde são realizadas a maioria das conexões em uma usina fotovoltaica. As conexões entre os condutores e os terminais dos dispositivos internos (portafusível, disjuntor, chave seccionadora, DPS, etc) deve seguir as especificações técnicas dos respectivos fabricantes. É necessário utilizar plugue ou terminação adequados para conectar os conectores aos dispositivos internos. A conexão

direta de condutores nos dispositivos podem ocasionar muitos problemas, tais como: excesso de solicitação mecânica, que não garantem uma boa conexão elétrica, o que geraria problemas de aquecimento além do risco do conector se soltar e causar um arco elétrico. Não deve-se fazer emendas com fita isolante.

Algumas empresas fabricam *string box* CA+CC com o objetivo de reduzir custos. No entanto, isso não é aconselhado, pois estas duas instalações devem ser divididas, conforme a subseção 4.2.5.7 da NBR 5410: *Quando a instalação comportar mais de uma alimentação (rede pública, geração local, etc.), a distribuição associada especificamente a cada uma delas deve ser disposta separadamente e de forma claramente diferenciada das demais. Em particular, não se admite que componentes vinculados especificamente a uma*

determinada alimentação compartilhem, com elementos de outra alimentação, quadros de distribuição e linhas, incluindo as caixas dessas linhas, salvo exceções. Um exemplo de acidente que pode ocorrer caso esta norma não seja respeitada: ao utilizar uma *string box* CA+CC, e for necessário realizar reparos na instalação, somente o disjuntor CA será desativado, e conseqüentemente o lado CC não estará desenergizado, causando sérios danos.

V. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram abordadas questões sobre os benefícios, o funcionamento, os acidentes e as normas que devem ser seguidas para evitar ou minimizar o risco dos acidentes em usinas fotovoltaicas. Vale ressaltar que durante a instalação deve-se utilizar materiais que são aprovados por normas técnicas e possuem selos de qualidade. Adicionalmente, a instalação desta usina deve ser realizada por profissionais habilitados. Por fim, devem ser realizadas inspeções na instalação para verificar as condições dos cabos e conexões.

REFERÊNCIAS

- [1] EPE. *Matriz energética e elétrica*. Acedido em 20 de Agosto de 2020, em: <http://epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>.
- [2] R. L. Nascimento. “Energia Solar no Brasil: Situação e Perspectivas”, Consultoria legislativa – Estudo técnico, 2017.
- [3] Aneel. *Resolução normativa nº 482*. Acedido em 30 de Agosto de 2020, em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>.
- [4] Portal Solar. *Energia solar fotovoltaica atinge 1 GW em geração distribuída no Brasil*. Acedido em 30 de Agosto de 2020, em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/energia-solar-fotovoltaica-atinge-1-gigawatt-em-geracao-distribuida-no-brasil.html>.
- [5] Q. Xiong, X. Feng, A. L. Gattozzi, X. Liu, H. Yang, S. Ji, L. Zhu, R. E. Hebner, “Arc Fault Detection and Localization in Photovoltaic Systems Using Parallel Capacitors”, 2018 IEEE 7th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC) (A Joint Conference of 45th IEEE PVSC, 28th PVSEC & 34th EU PVSEC), Nov. 2018.
- [6] T.E. Neal, A.H. Bingham, R.L. Doughty, “Protective clothing guidelines for electric arc exposure”, Proceedings of 1996 IAS Petroleum and Chemical Industry Technical Conference, Ago. 2002.
- [7] A. L. P. Sampaio. “Consolidação de material didático para a disciplina de Equipamentos elétricos disjuntores”, Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.
- [8] NR – 6 – Equipamento de proteção individual. Acedido em 10 de Setembro de 2020, em: https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-06.pdf.
- [9] NR – 35 – Trabalho em altura. Acedido em 20 de Agosto de 2020, em: https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-35.pdf.
- [10] J. C. Tiecher. “Aplicação da NR-35 no processo de instalação de painéis fotovoltaicos em residências unifamiliares”, Trabalho de conclusão de curso, Universidade do Vale do Taquari, 2017.
- [11] NR – 18 – Condições de segurança e saúde no trabalho na indústria da construção. Acedido em 20 de Agosto de 2020, em: https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-18-atualizada-2020.pdf.
- [12] NBR 6123. Acedida em 21 de Agosto de 2020, em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4955168/mod_resource/content/1/10%20NBR%206123.pdf.
- [13] NR – 10 – Segurança em instalações e serviços em eletricidade. Acedido em 21 de Agosto de 2020, em: https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-10.pdf.
- [14] B. M. Assaife. “Aterramento e proteção de sistemas fotovoltaicos”, Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.
- [15] NBR 5419. Acedido em 21 de Agosto de 2020, em: <https://pt.slideshare.net/PauloBueno/nbr-541912015protecaoconradescargasatmosfericasparte1principiosgeraispdf>.
- [16] NBR 5410. Acedido em 21 de Agosto de 2020, em: <https://docente.ifrn.edu.br/jeangaldino/disciplinas/2015.1/instalacoes-eletricas/nbr-5410>.
- [17] NBR IEC 61643-1. Acedido em 21 de Agosto de 2020, em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=1604>.
- [18] Lumière Electric. n. 230, Ed. Lumière, 2017.
- [19] A. J. S. Gomes. “Proteção contra raios e surtos em sistemas fotovoltaicos”, Trabalho de conclusão de curso, Universidade do Sul de Santa Catarina, 2018.
- [20] Canal solar. *Incêndios em sistemas FV: os perigos do arco elétrico*. Acedido em 29 de Setembro de 2020, em: <https://canalsolar.com.br/index.php/artigos/artigos-tecnicos/item/247-arco-eletrico-em-sistemas-fv>.