



ISSN: 2447-5580

<https://doi.org/10.47456/bjpe.v6i7.32582>



Brazilian Journal of
Production Engineering

BJPE - Revista Brasileira de Engenharia de Produção



Campus São Mateus

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

ARTIGO ORIGINAL

OPEN ACCESS

ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHAS NA INSTALAÇÃO DE ENERGIA SOLAR EM TELHADOS RESIDENCIAIS DE IMPERATRIZ/MA: UMA ABORDAGEM DA FERRAMENTA FMEA

ANALYSIS OF THE FAILURE MODES AND EFFECTS IN THE SOLAR ENERGY INSTALLATION ON RESIDENTIAL ROOFS OF IMPERATRIZ/MA: AN APPROCH ABOUT FMEA TOOL

Cayllon Victor Nascimento Silva¹, André Luís de Oliveira Cavaignac^{2*}, & Jhelison Gabriel Lima Uchoa³

^{1 2 3} Universidade CEUMA - Campus Imperatriz. ² Universidade Federal do Maranhão, Campus Imperatriz.
¹ cayllonvitor@hotmail.com ² andreluiscavaignac@gmail.com ³ jhelisong@hotmail.com

ARTIGO INFO.

Recebido em: 11.09.2020

Aprovado em: 26.10.2020

Disponibilizado em: 12.11.2020

PALAVRAS-CHAVE:

Segurança do Trabalho; FMEA; Energia Solar.

KEYWORDS:

Occupational Safety; FMEA; Solar Energy.

*Autor Correspondente: Cavaignac, A. L. de O.

RESUMO

Este trabalho objetiva realizar a aplicação da ferramenta FMEA na instalação de energia solar em telhados residenciais de Imperatriz/MA, através de um estudo de caso. Considerando os registros fotográficos realizados, foram identificadas inconformidades com as Normas Regulamentadoras 35, 6, 10 e 18 e também falhas no processo de instalação. Foram definidos três processos para a aplicação da ferramenta FMEA. Os resultados obtidos demonstram que o maior índice de risco envolve um EPI essencial, o capacete, não utilizado por nenhum dos trabalhadores do estudo, que caindo de uma altura significativa pode resultar em óbito. Além dos impactos, o capacete protege inclusive contra choques elétricos. Ficou também constatada a possibilidade de queda de escada e queda do telhado, bem como a ausência total de dispositivos de segurança contra queda. Deste modo, como considerações finais, é proposto um plano de ações corretivas para as falhas dos processos de instalação de energia solar analisados, com a finalidade de

assegurar e certificar a segurança dos trabalhadores diretamente envolvidos nesta área.

ABSTRACT

This work applies the FMEA tool in the installation of solar energy on residential roofs of Imperatriz/MA, through a case study. Considering the photographic records made, it was identified nonconformities in relation to Regulatory Standards 35, 6, 10 and 18 and also failures in the installation process. Three processes were defined for the application of FMEA tool. The results obtained demonstrate that the highest risk index involves an essential PPE, the helmet, not used by any of the workers in the study, that falling from a significant height can result in death. In addition to impacts, the helmet also protects against electric shock. It was also noted the possibility of falling down stairs and falling from the roof, as well as the total absence of fall safety devices. In this way, as final considerations, a corrective action plan is proposed for the failures of the analyzed solar energy installation processes, in order to ensure and certify the safety of workers directly involved in this area.



INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil representa um setor que possui grande importância, pois impacta positivamente a economia do país, gerando emprego, renda e tributos (Souza, et al., 2015). Também possibilita uma abrangente atuação, visto que engloba atividades que vão desde a análise e planejamento do solo de determinado projeto até as estruturas finais, a exemplo de coberturas/telhados. E é nas estruturas de telhados que predominantemente é instalada a energia solar, através dos chamados painéis solares fotovoltaicos. Os painéis solares fotovoltaicos são feitos para ambientes externos, capazes de resistir condições de sol, chuva e outros agentes climáticos, com duração de 30 anos ou mais (Ruther, 2004)

Por ser proveniente do sol, que é uma fonte de energia limpa e praticamente inesgotável (Hickel, 2017), a energia solar vem cada vez mais ganhando espaço no cenário brasileiro, em razão de múltiplos fatores. Entre eles, pode-se destacar que “elevados níveis de irradiação solar, na maioria dos casos, são superiores aos dos países da Europa e da Ásia. Esse caráter deve ser merecedor de atenção, principalmente quando se trata do aproveitamento do sol para a geração de energia elétrica” (Takenaka, 2010).

Nesta perspectiva, importante considerar o que permeia a instalação de energia solar, que pode envolver acidentes de trabalho, bem como erros e falhas. Em relação aos acidentes de trabalho, estes possuem um conceito específico, ou seja, nos termos do artigo 19 da Lei 8.213, de 24 de julho de 1991, ocorrem no decorrer do trabalho a serviço da empresa. Ainda de acordo com a referida lei, geram lesão corporal ou perturbação funcional, causando a morte ou a perda ou redução, permanente ou temporária, da capacidade para o trabalho.

Os números de acidentes de trabalho na construção civil são significantes. Para tanto, os dados do Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho apontam que 2017 registrou um total de 549.405 acidentes. O grande número de acidentes é um problema social (Almeida; Jackson Filho, 2007), pois gera impactos consideráveis, afetando não somente o próprio trabalhador, mas também as empresas. Costa et al., (2009) afirmam quais são os impactos oriundos dos acidentes, ao citarem, por exemplo, os gastos com os primeiros socorros, o tempo perdido, perda de equipamentos e também materiais, os salários que devem ser pagos aos afastados e a engenharia de reparação. Além disso, Bedin (2009) afirma que os impactos provenientes dos acidentes também refletem na própria sociedade, ou seja, os custos são repassados pelo empregador no momento em que repassa o aumento de preço de algum produto ou serviço e também quando o governo se vê obrigado a aumentar os tributos por conta das despesas que teve que assumir.

A fim de enfrentar os acidentes de trabalhos, medidas devem ser tomadas. Neste sentido, cabe mencionar a relevância da efetiva obediência às Normas Regulamentadoras aplicáveis no âmbito da construção civil. Tais normas são oriundas do Ministério do Trabalho (MT). No presente estudo, é de grande valia as Normas Regulamentadoras N° 35, 6, 10 e 18, tratando cada uma, respectivamente, acerca do Trabalho executado em altura; Equipamentos de proteção individual – EPIs; Segurança em instalações e serviços em eletricidade, bem como, condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção.



Citação (APA): Cavaignac, A. L. de O. (2020). Análise dos modos e efeitos de falhas na instalação de energia solar em telhados residenciais de Imperatriz/MA: uma abordagem da ferramenta FMEA. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 6(7), 45-57.

Outro meio de enfrentar os acidentes de trabalho é identificar os riscos do ambiente através da avaliação qualitativa e avaliação quantitativa. A primeira é entendida como a sensibilidade do avaliador em identificar o risco do local de trabalho. A segunda ocorre através de um método científico próprio à quantificação do risco (Gardinalli, sem ano).

Diante dos acidentes de trabalho que podem envolver a construção civil, incluindo inclusive a instalação de energia solar, importante também considerar a incidência dos modos e efeitos de falhas, a partir daí surge a abordagem da ferramenta FMEA.

A sigla FMEA tem origem na língua inglesa, referindo-se a *Failure Mode and Effect Analysis*, que em português significa Análise do Modo de Falha e Efeito. O seu surgimento ocorreu na década de 50, com o objetivo de identificar a “qualidade e confiabilidade nos programas aeroespaciais da NASA” (Mota; Cavaignac, 2019, p.26). Esta ferramenta é conceituada por Mota & Cavaignac (2019) como uma análise estruturada e documentada que serve para avaliar minuciosamente um produto ou processo, tendo como finalidade constatar os modos de falha, suas causas, efeitos e o impacto desses efeitos no produto final. A partir da relação feita entre a falha, suas causas e efeitos, faz-se uma proposição de índices para avaliar a probabilidade de acontecimento da falha, qual a gravidade de seus efeitos e possibilidade de identificar a falha, bem como impedi-la antes do efeito ser produzido. Esse também é o entendimento de Gonçalves (2015), o qual compreende FMEA como o estudo sistemático e estruturado das falhas potenciais que podem ocorrer em qualquer parte de um sistema para determinar o efeito provável de cada uma sobre todas as outras peças do sistema e no provável sucesso operacional, tendo como objetivos melhoramentos no projeto, produto e desenvolvimento do processo.

A ferramenta FMEA pode ser aplicável em diversas áreas, como a médica, química e petroquímica, alimentos, desenvolvimento de software, administrativo e outros (Laurenti, 2010). Em relação a sua aplicação na área da segurança do trabalho, estudos vêm sendo produzidos (Santos et al., 2019; Cavaignac; Forte, 2018) a fim de fortalecer a literatura sobre o assunto. Por outro lado, a literatura específica sobre a segurança do trabalho na instalação de energia solar em residências ainda é escassa (Tiecher, 2017; Schueda, 2018).

A abordagem da ferramenta FMEA permite uma hierarquia de riscos, priorizando os modos de falha de acordo com um coeficiente chamado número de prioridade de risco ou RPN (STAMATIS, 2003). O RPN deve ser calculado por quem faz uso do FMEA. Para se chegar ao RPN, necessária é uma fórmula específica, a saber:

$RPN = S \times O \times D$ (Mcdermott, et al., 2009; Petronilho, 2010).

O RPN representa então a multiplicação de três fatores, onde “S” significa Severidade, “O” significa ocorrência; e “D” significa Detecção.

O fator Severidade (S) representa a medida da gravidade do efeito da ocorrência de alguma falha (Almeida, 2014), o seu efeito negativo. Ele é determinado pelo uso de uma tabelacom escala que varia de 1 a 10, “partindo de uma consequência sem danos até danos catastróficos ou irreparáveis (Cavaignac; Forte, 2018). Em outras palavras, quanto maior o valor atribuído, mais grave é o efeito da falha (Almeida, 2014).



Citação (APA): Cavaignac, A. L. de O. (2020). Análise dos modos e efeitos de falhas na instalação de energia solar em telhados residenciais de Imperatriz/MA: uma abordagem da ferramenta FMEA. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 6(7), 45-57.

Por sua vez, o fator Ocorrência (O) é a probabilidade de o modo de falha acontecer (Cavaignac; Forte, 2018). Tal probabilidade poder ser determinada também através de uma escala que varia de 1 a 10. E por fim, o fator Detecção (D) representa o nível de dificuldade para que determinada falha seja identificada (Brambilla; Volante, 2015), sendo também utilizada uma tabela com variação entre 1 a 10.

Cavaignac& Uchoa (2018) propõem uma tabela para a utilização da ferramenta FMEA na área da segurança do trabalho, propondo fatores (índices) de severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D), a qual é utilizada neste trabalho e apresentada na tabela 1 a seguir. Os índices (S) e (D) possuem uma correlação crescente, de 1 a 10. O índice (O) também está contido entre 1 e 10, mas cada natureza de ocorrência tem uma correlação direta com cada valor, já proposta na tabela.

Tabela 1. Referência de índices de Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D)

| Severidade (S) | | Ocorrência (O) | | Detecção (D) | |
|----------------|---|----------------|---------------------------------|--------------|---|
| Índice | Natureza da severidade | Índice | Natureza da ocorrência | Índice | Natureza de detecção |
| 1 | Sem impacto real | 6 | Impacto sofrido | 1 | |
| 2 | Trauma irrelevante | 5 | Queda com diferença de nível | 2 | Inspeção visual |
| 3 | Trauma que requer primeiros socorros | 5 | Impacto contra | 3 | |
| 4 | Incapacidade temporária sem afastamento | 5 | Esforço excessivo ou inadequado | 4 | Teste tátil / teste manual |
| 5 | Incapacidade temporária com afastamento curto | 5 | Prensagem ou aprisionamento | 5 | |
| 6 | Incapacidade temporária com a afastamento longo | 5 | Queda em mesmo nível | 6 | |
| 7 | Incapacidade permanente parcial | 4 | Exposição ao ruído | 7 | Aplicação de checklist / sequencia de antes da tarefa |
| 8 | Incapacidade permanente total | 4 | Contato com substancia nociva | 8 | Inspeção instrumental |
| 9 | Óbito de envolvidos no processo | 4 | Choque elétrico | 9 | Testes mecânicos |
| 10 | Óbito de não envolvidos no processo | 3 | Atrito ou abrasão | 10 | Ausência de métodos efetivos |
| - | - | 3 | Contato com temperatura extrema | - | - |

Fonte: Cavaignac, & Uchoa (2018).

Diante do exposto, o trabalho objetiva analisar, através da ferramenta FMEA, os modos e efeitos de falhas do processo de instalação de energia solar em telhados residenciais de imperatriz/MA. Para tanto, faz-se o uso de um estudo em uma residência específica. Após, é feita a aplicação da metodologia FMEA.

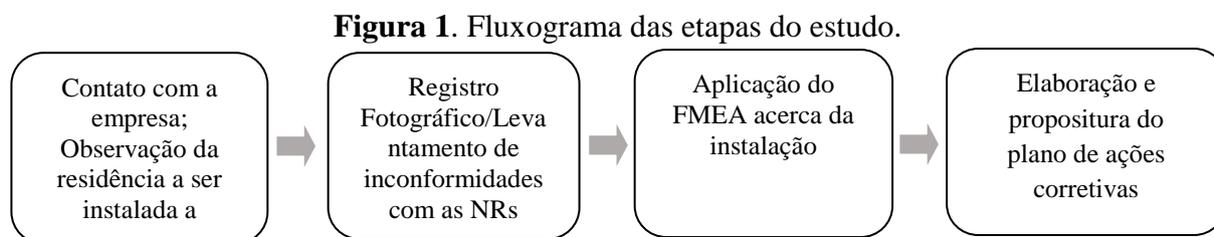


Citação (APA): Cavaignac, A. L. de O. (2020). Análise dos modos e efeitos de falhas na instalação de energia solar em telhados residenciais de Imperatriz/MA: uma abordagem da ferramenta FMEA. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 6(7), 45-57.

2. METODOLOGIA

O presente trabalho envolveu um estudo de caso em uma residência específica de Imperatriz/Maranhão, estando a mesma em processo de instalação de energia solar. Residência com 160m² de área, energia monofásica, telhado com quatro lâminas de água, média de consumo igual a 1.260 kWh mensal.

Primeiramente, foi contatada uma empresa de energia solar de Imperatriz e logo após agendada as datas que ela faria a instalação da energia. O próximo passo foi observar a residência e colher informações. Após, foram feitos registros fotográficos durante o processo de instalação. A partir dos registros, uma abordagem foi feita a respeito das adequações ou inadequações relacionadas com as Normas Regulamentadoras 35, 6, 10 e 18. Após a discussão das adequações ou inadequações relacionadas com as Normas Regulamentadoras, realizou-se a aplicação da ferramenta FMEA. Por fim, a elaboração e propositura do plano de ações corretivas. A Figura 1 apresenta as etapas do estudo baseado no mesmo modelo de estudo aplicado por Cavaignac & Forte (2018).



Fonte: Cavaignac, & Forte (2018). Adaptado.

Para a construção do FMEA foi utilizado o mesmo modelo apresentado por Uchoa, et al (2019). As atividades relacionadas a trabalho em altura também referenciam o mesmo autor (Tabela 2).

Tabela 2. Modelo de tabela para aplicação do FMEA em análise de risco ocupacional.

| Tipo da Falha | Potencial Modo de Falha | Potencial Causa da Falha | Potencial Consequência da Falha | Medida de Controle | D RPN | Ações Corretivas |
|---------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------------|--------------------|-------|------------------|
|---------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------------|--------------------|-------|------------------|

Fonte: Uchoa, et al., (2019). Adaptado.

3. Inconformidades Encontradas Na Instalação De Energia Solar

A respeito das inconformidades encontradas na instalação de energia solar, aplicam-se algumas Normas Regulamentadoras específicas, como a NR 35, que envolve o Trabalho em Altura; a NR 6, que diz sobre o Equipamento de Proteção Individual – EPI; a NR 10, que trata da Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade; e a NR 18, que é a respeito das Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção. Os registros fotográficos a seguir demonstram as inconformidades no processo de instalação de energia solar, sendo cada uma delas comentadas.



Citação (APA): Cavaignac, A. L. de O. (2020). Análise dos modos e efeitos de falhas na instalação de energia solar em telhados residenciais de Imperatriz/MA: uma abordagem da ferramenta FMEA. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 6(7), 45-57.

Figura 2. Inconformidades envolvendo os trabalhadores [1] e [2]: ausência de a) capacete, b) luvas, c) dispositivo de segurança contra queda, d) óculos e) manga para proteção do braço, f) escada apoiada em local inadequado.



Fonte: Autores (2020).

A situação registrada na figura 2 mostra inconformidades com a NR 6, pois cabe ao empregador exigir do trabalhador o uso do EPI, como falta de capacete nos trabalhadores [1] e [2] para proteger contra impactos de objetos sobre o crânio e choques elétricos, assim como também há ausência de luvas em ambos para a proteção das mãos contra choques elétricos devido ao uso de furadeira. Outro fato é a ausência de dispositivo de segurança contra queda, conforme a NR18, que são cabos guia ou cabos de segurança, e uso de talabarte e cinto. A figura 2 também descumpre a NR 6 pela falta de óculos em ambos trabalhadores, a fim de assegurá-los contra impactos de partículas volantes, e há ausência de mangas nos braços do trabalhador [1] para controle da sua temperatura térmica. Além disso, os trabalhadores [1] e [2] estão expostos diretamente ao sol.

Ainda a respeito da figura 2, se observa a falta de sinalização, pois a NR 18 afirma que: “nos locais sob as áreas onde se desenvolvam trabalhos em telhados e ou coberturas, é obrigatória a existência de sinalização de advertência e de isolamento da área capazes de evitar a ocorrência de acidentes por eventual queda de materiais, ferramentas e ou equipamentos”.

A Figura 2 também descumpre a NR 18 porque é proibida a utilização de escada de mão que possui o risco de queda de objetos ou materiais. Esse risco de queda está relacionado as telhas, pois a escada está apoiada diretamente nas telhas, que são peças soltas e não fixas, como caibros ou vigas, sendo importante ressaltar ainda sobre o estado físico da escada, que não está em perfeitas condições, possibilitando queda dos trabalhadores.

Além disso, a Figura 2 contempla o trabalho executado em altura, visto que o telhado para a instalação da energia solar é acima de 2 metros do nível inferior, com risco de queda dos trabalhadores [1] e [2]. Portanto, há irregularidade quanto à NR 35, pois todo trabalho em altura deve ocorrer sob supervisão, o que não aconteceu na situação apresentada. A Norma



Citação (APA): Cavaignac, A. L. de O. (2020). Análise dos modos e efeitos de falhas na instalação de energia solar em telhados residenciais de Imperatriz/MA: uma abordagem da ferramenta FMEA. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 6(7), 45-57.

Regulamentadora 35 também prevê que todo trabalho em altura deve ser precedido de Análise de Risco, a qual não foi aplicada.

Figura 3. Inconformidades envolvendo os trabalhadores [1] e [2]: ausência de a) capacete, b) luvas, c) dispositivo de segurança contra queda, d) botas desgastadas.



Fonte: Autores (2020).

Acerca da Figura 3, as inconformidades pela ausência de capacete está presente no trabalhador [1]. Já a ausência de luvas e dispositivos de segurança contra queda são identificadas nos trabalhadores [1] e [2]. Por sua vez, as botas desgastadas usadas por ambos são inadequadas, já que NR6 afirma que a empresa é obrigada a fornecer ao trabalhador o EPI em perfeito estado de conservação, devendo substituí-lo quando danificado. Também há o descumprimento da NR 18, entendendo que os trabalhadores [1] e [2] estão muito próximos e é proibida a concentração de carga em um mesmo ponto sobre o telhado: Existe o risco de rompimento e queda.

Figura 4. Inconformidades envolvendo o trabalhador [1]: ausência de a) capacete, b) luvas, c) dispositivo de segurança contra queda, d) manga para proteção do braço.



Fonte: Autores (2020).



Citação (APA): Cavaignac, A. L. de O. (2020). Análise dos modos e efeitos de falhas na instalação de energia solar em telhados residenciais de Imperatriz/MA: uma abordagem da ferramenta FMEA. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 6(7), 45-57.

O cenário da Figura 4 mostra que todas as inconformidades apontadas ferem a Norma Regulamentadora 6.

Figura 5. Inconformidades envolvendo os trabalhadores [1] [2] e [3]: ausência de a) capacete, b) luvas, c) dispositivo de segurança contra queda, d) manga para proteção do braço, e) botas desgastadas.



Fonte: Autores (2020).

A Figura 5 mostra a fase de instalação da energia solar através dos painéis solares fotovoltaicos.

Figura 6. Inconformidades envolvendo o trabalhador [1]: ausência de a) luvas, b) óculos, c) capacete.



Fonte: Autores (2020).



Citação (APA): Cavaignac, A. L. de O. (2020). Análise dos modos e efeitos de falhas na instalação de energia solar em telhados residenciais de Imperatriz/MA: uma abordagem da ferramenta FMEA. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 6(7), 45-57.

A Figura 6 é sobre o manuseio do trabalhador [1] em fios de um inversor para conectar a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos ligada à rede elétrica da rua, tudo isso sem utilizar luvas contra choque elétrico, em desacordo com a NR 6 - F - F.1 “c”. A falta de óculos também é observada, que é contra os impactos de partículas volantes, caso haja um curto circuito. Sobre a figura 6, também é importante citar que ela fere a NR 10, pois em todas as intervenções em instalações elétricas devem ser adotadas medidas preventivas de controle do risco elétrico e de outros riscos adicionais. É necessária uma realização de análise de risco.

4. Aplicação da Ferramenta FMEA

Considerando os registros fotográficos anteriormente apresentados, foram identificadas falhas no processo de instalação de energia solar. Diante disso, foram definidos dois processos principais para a aplicação da ferramenta FMEA: instalação de painéis solares fotovoltaicos; Instalação elétrica no térreo.

Tabela 3. Aplicação da ferramenta FMEA na instalação de painéis solares fotovoltaicos.

| Tipo da Falha | Potencial Modo de Falha | Potencial Causa da Falha | O | Potencial Consequência da Falha | S | Medida de Controle | D | RPN | Ações Corretivas |
|---------------------|---|---|---|---|----|--------------------|---|-----|--|
| Erro humano | Desorganização do ambiente de trabalho | Impacto contra ferramentas, maquinas e equipamentos | 5 | Trauma que requer primeiros socorros | 3 | Visual | 2 | 30 | Fiscalização e planejamento do ambiente de trabalho; |
| Falha Estrutural | Ausência de fixação e suporte da escada | Queda com diferença de nível | 5 | Incapacidade permanente parcial | 7 | Teste tátil | 4 | 140 | Verificação da estrutura de suporte anteriormente a execução da atividade; Verificação da estrutura de suporte anteriormente a execução da atividade; |
| Falha Estrutural | Sobrecarga da estrutura do telhado | Queda com diferença de nível | 5 | Incapacidade permanente total | 8 | Teste tátil | 5 | 200 | Cuidados ao descarregamento de insumos; |
| Falha no EPI ou EPC | Ausência de rodapé - Ausência do uso de capacete | Impacto sofrido com objetos em queda | 6 | Óbito de não envolvidos no processo | 10 | Visual | 1 | 60 | Fiscalização e planejamento do ambiente de trabalho; |
| Falha no EPI ou EPC | Ausência do uso de luvas | Choque elétrico | 4 | Incapacidade temporária com afastamento curto | 5 | Visual | 1 | 20 | Fornecimento / Uso / Fiscalização do uso; |
| Falha no EPI ou EPC | Ausência do dispositivo de segurança contra quedas | Queda com diferença de nível | 5 | Incapacidade permanente parcial | 7 | Visual | 1 | 35 | Fornecimento / Uso / Fiscalização do uso; |
| Falha no EPI ou EPC | Ausência do uso de óculos | Impacto sofrido | 6 | Incapacidade permanente parcial | 7 | Visual | 1 | 42 | Fornecimento / Uso / Fiscalização do uso; |
| Falha no EPI ou EPC | Insolação causado pela ausência de balaclava/Capacete | Esforço excessivo ou inapropriado | 5 | Incapacidade temporária sem afastamento | 4 | Visual | 1 | 20 | Fornecimento / Uso / Fiscalização do uso; Pausa para descanso; |

Fonte: Autores (2020).



Citação (APA): Cavaignac, A. L. de O. (2020). Análise dos modos e efeitos de falhas na instalação de energia solar em telhados residenciais de Imperatriz/MA: uma abordagem da ferramenta FMEA. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 6(7), 45-57.

A instalação dos painéis solares fotovoltaicos é algo que demanda cautela, levando em conta que envolve serviço de energia, transporte de carga, movimentação em altura e uso de aparelhos elétricos. Para esta atividade foram reconhecidos três tipos de falhas: Erro humano, Falha estrutural e falha no EPI ou EPC.

A desorganização do ambiente de trabalho é uma falha comum que pode ocorrer em qualquer ambiente trabalho. Além da perda de tempo, o trabalhador pode entrar em contato com ferramentas perfurantes ou ainda se impactar contra ferramentas ou insumos de trabalho. Esta falha pode acarretar em um trauma que requer primeiros socorros. Por ter uma medida de controle visual seu RPN é 30. A fiscalização do ambiente de trabalho em todas as suas fases pode corrigir a falha.

A equipe de montagem também deve ter o cuidado durante a montagem e posicionamento da escada de trabalho. A mesma que pode se encontrar com sobrecarga, então a ausência de fixação e suporte da escada pode levar a queda com diferença de nível causando até uma incapacidade dos contribuintes. Toda a estrutura deve ser verificada cautelosamente antes do início das atividades.

A estrutura do telhado também se encontra em constante sobrecarga, tanto pela entrada de insumos quanto pela passagem da equipe de instalação. Caso a estrutura entre em colapso, ocorreria a queda dos trabalhadores, juntamente com insumos e com o telhado, podendo causar uma incapacidade permanente dos envolvidos. É necessário um planejamento adequado e rigoroso para determinação do local de descarregamento e entrada de insumos.

O ambiente de trabalho, como observado na figura 2, se encontra sem qualquer EPC contra queda de objetos, os trabalhadores também não estavam usando capacete. Um acidente em que envolvesse queda de materiais ou ferramentas poderia acarretar até mesmo no óbito de não envolvidos no processo. Todo o ambiente de trabalho deve ser fiscalizado por profissionais para evitar esta falha.

Os profissionais também não estavam utilizando luvas. Por envolver eletricidade na instalação das placas solares, havia um risco de choque elétrico, podendo causar a incapacidade temporária com afastamento do trabalhador. A empresa deve ter o fornecimento de EPI's para os trabalhadores, além de obrigar e fiscalizar o uso.

Por estarem realizando trabalho em altura, é obrigatório a utilização de dispositivos de segurança contra quedas. Em caso de um escorregamento, a ausência de tais dispositivos pode acarretar na incapacidade permanente parcial.

Durante a instalação da estrutura das placas solares, pode ocorrer a projeção de partículas, logo a utilização de óculos de proteção é essencial. Sua ausência pode acarretar na incapacidade permanente do trabalhador. Também é importante o uso de balaclava, evitando a insolação do trabalhador.



Citação (APA): Cavaignac, A. L. de O. (2020). Análise dos modos e efeitos de falhas na instalação de energia solar em telhados residenciais de Imperatriz/MA: uma abordagem da ferramenta FMEA. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 6(7), 45-57.

Tabela 4. Aplicação da ferramenta FMEA na execução da instalação elétrica.

| Tipo da Falha | Potencial Modo de Falha | Potencial Causa da Falha | O | Potencial Consequência da Falha | S | Medida de Controle | D | RPN | Ações Corretivas |
|---------------------|---------------------------|--------------------------|---|---|---|--------------------|---|-----|---|
| Falha no EPI ou EPC | Ausência do uso de óculos | Choque elétrico | 4 | Incapacidade temporária com afastamento curto | 5 | Visual | 1 | 20 | Fornecimento / Uso / Fiscalização do uso; |
| Falha no EPI ou EPC | Ausência do uso de luva | Choque elétrico | 4 | Incapacidade temporária com afastamento curto | 5 | Visual | 1 | 20 | Fornecimento / Uso / Fiscalização do uso; |

Fonte: Autores (2020).

A Tabela 4 apresenta as falhas para a execução da instalação elétrica. Para a atividade foi reconhecido um tipo de falha, que compreende a ausência do uso de EPI's.

A ausência do uso de óculos pode acarretar na incapacidade temporária com afastamento curto to trabalhado em caso da ocorrência de um curto durante a instalação. Já a ausência de luva pode levar a um choque elétrico. Ambos devem ser fornecidos pela empresa, tendo uso obrigatório.

5. Considerações Finais

Diante de todo o exposto, ficou demonstrada a importância da ferramenta FMEA no processo de instalação de energia solar, ou seja, tal ferramenta visa, a partir da análise dos processos apresentados, não somente tratar as falhas e os seus efeitos, mas também permite a propositura de ações corretivas.

O trabalho no contexto de energia solar acontece predominantemente em altura, o que demanda o cumprimento de protocolos de medidas de segurança, tal como a obediência a NR 35. Especial destaque também deve ser dado a Norma Regulamentadora 10, a fim de mitigar os possíveis choques elétricos e imprevistos com a segurança do trabalhador. De igual modo, cabe ressaltar sobre o uso de EPI's referidos na NR 6 e também a conscientização aos comandos da NR 18.

Considerando os dois processos definidos para a aplicação da ferramenta FMEA: instalação de painéis solares fotovoltaicos e execução da instalação elétrica, a contribuição deste trabalho refere-se em apontar quais são as falhas e também os efeitos e riscos que as falhas decorrentes do processo de instalação de energia solar podem causar. Sendo assim, necessário propor um plano de ações corretivas. O plano a seguir abrange os modos de falhas constatados, levando em conta a ordem de prioridade dos modos de falhas e o respectivo RPN, apresentado em ordem decrescente. O maior modo de falha identificado é acerca da sobrecarga da estrutura do telhado, que pode levar a uma queda de uma altura significativa do telhado. Na sequência, aparece o modo de falha ausência de fixação e suporte da escada, com RPN 140 e a ausência de rodapé - Ausência do uso de capacete, com índice de risco equivalente a 60.



Citação (APA): Cavaignac, A. L. de O. (2020). Análise dos modos e efeitos de falhas na instalação de energia solar em telhados residenciais de Imperatriz/MA: uma abordagem da ferramenta FMEA. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 6(7), 45-57.

Para o cenário do estudo realizado, as ações corretivas propostas no plano são variadas, exigindo aspectos como treinamentos específicos, utilização de dispositivos de segurança contra queda e especial ênfase sobre os EPI's, em outros termos, o seu devido fornecimento, uso e fiscalização sobre o uso.

Tabela 5. Plano de ações corretivas para os modos de falhas na instalação de energia solar.

| Ordem de prioridade | Tipo da Falha | Potencial Modo de Falha | RPN | Ações correção |
|---------------------|---------------------|--|-----|--|
| 1º | Falha Estrutural | Sobrecarga da estrutura do telhado | 200 | Verificação da estrutura de suporte anteriormente a execução da atividade; Cuidados ao descarregamento de insumos; |
| 2º | Falha Estrutural | Ausência de fixação e suporte da escada | 140 | Verificação da estrutura de suporte anteriormente a execução da atividade; |
| 3º | Falha no EPI ou EPC | Ausência de rodapé - Ausência do uso de capacete | 60 | Fiscalização e planejamento do ambiente de trabalho; |
| 4º | Falha no EPI ou EPC | Ausência do uso de óculos | 42 | Fornecimento / Uso / Fiscalização do uso; |
| 5º | Falha no EPI ou EPC | Ausência do dispositivo de segurança contra quedas | 35 | Fornecimento / Uso / Fiscalização do uso; |

Fonte: Autores (2020).

Finalmente, reiterando que a ferramenta FMEA pode ser aplicada em várias áreas, conforme afirma Laurenti (2010), convém salientar que há a necessidade de futuros estudos ao seu respeito no contexto da instalação de energia solar, não somente em locais residenciais, mas também em estabelecimentos comerciais e empreendimentos. Os estudos sobre esta temática ainda são escassos, e é sempre pertinente priorizar a saúde e segurança do trabalhador.

REFERÊNCIAS

- Almeida, I. M., & Jackson Filho, J. M. (2007). Acidentes e sua prevenção. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, 32(115), 7-18.
- Almeida, M. A. P. de. (2014). *Proposição de método de implantação do FMEA: o caso de uma indústria do setor automotivo*. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharias) - Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba.
- AEAT – *Anuário Estatístico de Acidente De Trabalho 2017*. Ministério da Fazenda ... [et al.]. –vol. 1 (2009) –. –Brasília: MF, 2017. 996 p.
- Bedin, B. (2009). *Prevenção De Acidentes De Trabalho No Brasil Sob A Ótica Dos Incentivos Econômicos*. 123 f. Dissertação (Mestrado em Direito) Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul.
- Brambilla, H., & Volante, C. R. (2015). Um estudo sobre FMEA – análise de modos e efeitos de falha. In: III SIMTEC – Simpósio de Tecnologia da FATEC Taquaritinga. Disponível em: <<https://simtec.fatectq.edu.br/index.php/simtec/article/view/235/178>>. 10 p. Outubro.
- Cavaignac, A. L. de O., & Forte, L. L. N. (2018). Utilização do FMEA para priorização de risco ocupacional: uma nova abordagem direcionada a construção civil. *Brazilian Journal of Production Engineering-BJPE*, 132-149.
- Cavaignac, A. L. de O., & Uchoa, J. G. L. (2018). Obtaining FMEA's indices for occupational safety in civil construction: a theoretical contribution. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, 15(4), 558-565.



- Citação (APA): Cavaignac, A. L. de O. (2020). Análise dos modos e efeitos de falhas na instalação de energia solar em telhados residenciais de Imperatriz/MA: uma abordagem da ferramenta FMEA. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 6(7), 45-57.
- Costa, J. F. S., Risicato, L. B., Torres, C. A. (2009). Metodologia Multicritério na Avaliação de Custos na Segurança do Trabalho. *Sistemas & Gestão*, 1(2), 104-115.
- Gardinalli, J. R. ([s.a.]). *Manual de prevenção de acidentes e doenças do trabalho*.
- Gonçalves, E. (2015). *Manutenção Industrial – Do Estratégico ao Operacional*. Rio de Janeiro. Editora Ciência Moderna Ltda.
- Hickel, B. M. (2017). *O impacto no desempenho de sistemas fotovoltaicos causado pelo acúmulo de sujeira sobre os módulos FV – metodologia e avaliação através de curvas IxV em campo*. 110 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2017.
- Laurenti, R. (2010). *Sistematização de problemas e práticas da análise de falhas potenciais no processo de desenvolvimento de produtos*. 180 f. Dissertação (Mestrado)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Mcdermott, R., Mikulak, R. J., & Beauregard, M. (2009). *The basics of FMEA*. 2. ed. CRC Press, 2009.
- Mota, C.P.A. ,& Cavaignac, A. L. de O. (2019). Avaliação de risco ocupacional em obras de pequeno porte de unidades unifamiliares com aplicação do fmea: uma investigação sobre trabalho em altura e escavações. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(4), 25-35.
- Petronilho, R. M. (2010). *Avaliação do comportamento geotécnico de pilhas de estéril por meio de análise de risco*. 173p. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. NUGEO, Ouro Preto.
- Rüther, R. (2004). *Edifícios Solares Fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil*. 1ª ed. Florianópolis: Labsolar.
- Santos, A. G. S., Nascimento J. G. P. do, & Cavaignac, A. L. de O. (2019). FMEA como ferramenta de identificação dos riscos ao trabalhador da construção civil. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3): 19-34.
- Schueda, D. E. (2018). *Procedimentos para a instalação de um sistema fotovoltaico de geração de energia distribuída em uma residência: estudo de caso*. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gerenciamento de Obras) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.
- Souza, B. A., Oliveira, C. A. C., Santana, J. C. O. D., Viana Neto, L. A. D. C., & Santos, D. D. G. (2015). Análise dos indicadores PIB nacional e PIB da indústria da construção civil. *RDE-Revista de Desenvolvimento Econômico*, 17(31).
- Stamatis, D. H. (2003). *Failure mode and effect analysis - FMEA: from theory to execution*. 2nd ed. ed. Milwaukee: ASQ quality press.
- Takenaka, F. O. (2010). *Avaliação do potencial de geração de energia solar fotovoltaica na cobertura das edificações do Campus I - CEFET- MG, interligado à rede elétrica*. 154 f. Dissertação de mestrado – Engenharia Civil / UFSC. Florianópolis.
- Tiecher, J. C. (2017). *Aplicação da NR 35 no processo de instalação de painéis fotovoltaicos em residências unifamiliares*. Artigo (Especialização) – Curso de Engenharia de Segurança do Trabalho, Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, set.
- Uchoa, J. G. L., et al. (2019). FMEA method application based on occupational risks in the construction industry on work at height: A theoretical contribution. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 6(10).

