

## ANÁLISE DE RISCOS NA IMPLANTAÇÃO DE PROJETOS FOTVOLTAICOS RESIDENCIAIS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA

Higor Tadeu Azevedo Miranda<sup>1</sup>  
Leandro César Mol Barbosa<sup>1</sup>  
Maurício Sá Santos Diniz<sup>1</sup>  
Silvia Maria Santana Mapa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Minas Gerais

DOI: 10.47168/rbe.v28i2.657

### RESUMO

A implantação de sistemas fotovoltaicos *on-grid* está sujeita a diferentes riscos em todas as suas etapas de execução. Esses envolvem tanto incertezas relacionadas à segurança, quanto ao desempenho do projeto. Este artigo teve como objetivo realizar a análise de riscos em um projeto de instalação de um sistema fotovoltaico residencial na cidade de Ouro Branco-MG. Para isso foi realizada uma pesquisa-ação, na qual foram utilizadas três ferramentas integradas: Análise Preliminar de Riscos (APR), Matriz de Probabilidade e Impacto (MPI) e *Bow-tie*. Por meio de sua aplicação conjunta foi possível levantar 19 riscos, os quais foram devidamente classificados e analisados. Para cada um destes riscos foram estipuladas medidas de respostas, aplicadas no intuito de eliminar ou reduzir as causas e mitigar possíveis efeitos negativos. Como resultado pôde ser observada uma redução de 69% no grau de risco do projeto, com a supressão de todos os riscos classificados como altos ou extremos. Além disso, foi possível verificar uma aplicação balanceada proveniente do uso integrado de diferentes ferramentas de análise e gerenciamento de riscos, a qual proporcionou um maior detalhamento em pontos chave da análise, sem prejuízo aos demais.

Palavras-chave: Sistemas fotovoltaicos *on-grid*; Análise de Riscos; *Bow-tie*.

### ABSTRACT

The implementation of on-grid photovoltaic systems is subject to different risks at all stages of execution. These involve both uncertainties related to the safety of individuals and project performance. Thus, the article aimed to carry out a risk analysis in a project to install a residential pho-

voltaic system in the city of Ouro Branco-MG. For this, an action research was carried out, in which three integrated tools were used: Preliminary Risk Analysis (PRA), Probability and Impact Matrix (MPI) and Bow-tie. Through its joint application, it was possible to identify 19 risks, which were duly classified and analyzed. For each of these risks, response measures were stipulated, applied in order to eliminate or reduce the causes and mitigate possible negative effects. As a result, a 69% reduction in the degree of project risk could be observed, with the suppression of all risks classified as high or extreme. In addition, it was possible to verify a balanced application resulting from the integrated use of different analysis and risk management tools, which provided greater detail in key points of the analysis, without prejudice to the others.

Keywords: On-grid photovoltaic systems; Risk analysis; Bow-tie.

## 1. INTRODUÇÃO

A matriz elétrica brasileira é composta em sua maior parte por hidroelétricas. Embora seja uma matriz limpa, essa está sujeita à uma perda de carga anual de cerca de 14%, dado o porte da rede de transmissão, além da ativação de plantas termoeletricas em caso de racionamento (COELHO et al., 2021). A ativação de termelétricas tem como consequência o aumento do custo da eletricidade e emissão de poluentes, sendo importante a estipulação de medidas mais sustentáveis de produção (OLIVEIRA; CRUZ, 2016). Uma alternativa para este cenário consiste na geração pelo próprio consumidor, por meio de sistemas fotovoltaicos. Os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (SFCR), ou sistemas *on-grid*, são sistemas de conversão de energia solar compostos por geradores conectados à rede elétrica externa, e sua implantação depende da instalação de uma série de componentes elétricos interligados entre si (KUMAR et al., 2018).

A implantação de um sistema fotovoltaico está sujeita a uma gama de riscos, sejam estes relacionados a perdas de projeto, segurança dos envolvidos ou qualquer outro evento prejudicial que possa incorrer da implantação (GÓMEZ; HERNÁNDEZ, 2016). Uma vez que estes projetos estão ligados à serviços elétricos, muitos deles realizados em altura, faz-se necessário que as condições locais sejam avaliadas no intuito de prevenir eventos indesejados que possam gerar dano pessoal (JUNIOR; CAVIGNAC, 2019). Além disso, o próprio projeto está sujeito a riscos de obtenção de resultados não satisfatórios, ampliados por incertezas relacionadas à Resolução Normativa nº 482/2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que abre

campo para diferentes meios de tributação e ações políticas (COELHO et al., 2021). Estes fatores ampliam a importância da realização de um planejamento adequado, com o devido processo de levantamento e avaliação dos riscos. Além disso, faz-se relevante a estipulação de medidas de resposta, as quais devem ser supervisionadas ao longo da implantação (GÓMEZ; HERNÁNDEZ, 2016).

Com base no exposto, este artigo teve como objetivo realizar a análise de riscos de um projeto fotovoltaico, implantado em uma residência da cidade de Ouro Branco-MG. Por meio dele, foi possível identificar eventos indesejados e propor medidas de resposta a fim de obter êxito em todas as etapas do projeto, respeitando as necessidades do cliente e a segurança dos envolvidos. Para isso, foi realizada uma pesquisa-ação, com o auxílio de um modelo de avaliação de riscos baseado nas ferramentas Análise Preliminar de Risco (APR) e Matriz de Probabilidade e Impacto, de forma a mapear e classificar os riscos que envolvem o projeto. Além disso, para obter um maior aprofundamento sobre as medidas de resposta, foi utilizada a ferramenta *Bow-tie*, a qual foi direcionada a dois riscos, considerados de difícil análise.

O artigo está estruturado da seguinte forma: no tópico 2 foi elaborado o referencial teórico, abordando os sistemas fotovoltaicos *on-grid* e sua caracterização, além das ferramentas utilizadas como base de análise; no tópico 3 foram declarados os passos metodológicos utilizados para a verificação dos riscos; o tópico 4 contemplou a apresentação dos resultados das análises de riscos organizados por etapa de execução, antes e após a adoção de medidas de resposta; no tópico 5, foi realizada a discussão sobre os resultados obtidos, bem como sobre os benefícios da utilização das ferramentas; por fim, no tópico 6, foi elaborada a conclusão, contendo os apontamentos e considerações finais do artigo.

## 2. REVISÃO TEÓRICA

Os sistemas fotovoltaicos *on-grid*, são sistemas de conversão de energia solar em energia elétrica, compostos por geradores conectados à rede externa de eletricidade. Esses podem ser implantados na residência de consumidores e, após o processo de homologação, passam a possuir responsabilidade compartilhada entre o titular da instalação e a concessionária de energia elétrica. Isso se dá com o objetivo de gerar energia elétrica com qualidade e segurança para a rede de distribuição (KUMAR et al., 2018).

A relação entre o titular e a concessionária é regida através de um contrato denominado Parecer de Acesso, que é preenchido pelo titular da instalação através de um formulário padrão reconhecido pela

concessionária de energia, que autoriza a conexão do sistema. Conforme a Resolução Normativa nº 482/ 2012 da ANEEL, a energia gerada por sistemas fotovoltaicos *on-grid* pode ser consumida na própria unidade geradora ou convertida em créditos por kWh para posterior compensação na mesma unidade ou em outra de mesma titularidade (COELHO et al., 2021).

## 2.1 Implantação de sistemas fotovoltaicos

Para a instalação do SFCR é necessária a implementação de componentes elétricos interligados a cabos que compõem os geradores de energia. Esses estão relacionados a três grupos: dispositivos de proteção, tais como disjuntores, Dispositivo de Proteção de Surto (DPS) e fusíveis; dispositivos conversores de energia, dentre eles os módulos fotovoltaicos, inversor e transformador em casos específicos; e os dispositivos de fixação, que correspondem a estrutura de montagem dos módulos e acessórios (KUMAR et al., 2017; KUMAR et al., 2018).

É recomendado que o processo de instalação fotovoltaica seja dividido em duas fases: a pré-instalação e a instalação do sistema. Durante a etapa de pré-instalação, uma visita ao local deve ser realizada pelo projetista para o reconhecimento de campo. Nesta visita, são levantadas informações para o planejamento da instalação, bem como para a determinação da rota dos cabos e dimensionamento de materiais. É realizada a identificação de limitações do projeto, verificação de estruturas de fixação, layout e mapeamento dos riscos físicos do projeto (PINHO; GALDINO, 2014).

Ao dimensionar o projeto, a avaliação dos dados coletados em campo é fundamental (KUMAR et al., 2018). Essa é necessária para a especificação dos componentes do sistema, pois a posição de instalação dos módulos e a sombra de componentes externos (árvores, prédios e estruturas civis próximas) podem prejudicar a eficiência de geração de energia. Com uma coleta de dados assertiva, é possível reduzir os riscos relacionados aos custos de materiais e incertezas sobre o desempenho do sistema. Desta forma, a utilização de um *check list* com os itens essenciais de verificação, a anotação dos valores medidos e a observação de influências externas devem ser tomados como foco para melhorar o desempenho do projeto (PINHO; GALDINO, 2014).

A etapa de instalação deve seguir o planejamento inicial e contemplar os recursos necessários para manter o padrão de qualidade adotado pela empresa. A realização de um bom planejamento minimiza as chances de retrabalho e garante maior agilidade na execução do projeto. Além disso, aumenta o nível de segurança, tanto dos envolvi-

dos, quanto dos equipamentos a serem instalados (GÓMEZ; HERNÁNDEZ, 2016).

No Brasil, de acordo com a Lei Nº 5.194, 1966, art 7º, os profissionais responsáveis pelo projeto e instalação de geração distribuída devem estar legalmente habilitados para a função. Isso inclui a posse de certificados de curso técnico ou superior reconhecidos pelo MEC e registro nos conselhos profissionais de acordo com a respectiva categoria. Também é necessário o registro de uma Anotação de Responsabilidade Técnica (ART), que consiste em um documento formal que intitula um responsável habilitado que responde pelo projeto.

## 2.2 Riscos em sistemas fotovoltaicos

Como em qualquer projeto de implantação, é importante que as instalações fotovoltaicas sejam planejadas e obedeçam a critérios específicos estabelecidos pelas limitações do contexto de execução (TOMOSK et al., 2017). Este planejamento deve envolver a análise e o controle dos riscos, assim como a realização de planos de ação para prevenir possíveis eventos indesejados em todas as esferas de gerenciamento, com o objetivo de alcançar o êxito do projeto (GÓMEZ; HERNÁNDEZ, 2016).

O gerenciamento de risco em um projeto busca maximizar os seus resultados por meio da otimização de oportunidades e supressão de ameaças. Porém o autor ressalta que as chances de se obter ganhos em um empreendimento através de um projeto eficaz são grandes e o gerenciamento de riscos se apresenta como uma peça importante neste contexto (SALES JUNIOR et al. 2010). Por meio dele é realizado o levantamento das incertezas existentes, assim como o dimensionamento das medidas de controle e mitigação que serão utilizadas, aplicando-se plenamente ao ambiente de projetos fotovoltaicos (GÓMEZ; HERNÁNDEZ, 2016).

No Brasil, devido ao crescimento exponencial da demanda por esse tipo de energia, os projetos fotovoltaicos nem sempre são executados por pessoas qualificadas. Esse fator acirra a necessidade de identificação e atualização dos riscos, de forma a evitar erros de projeto ou mesmo a perda de reputação da tecnologia (FILHO; FARIAS, 2019). Além disso, as atividades executadas em instalações elétricas contemplam riscos diretos e indiretos, mesmo em baixas tensões, o que aumenta a probabilidade de lesão dos trabalhadores expostos e exige que sejam adotadas medidas preventivas. Como exemplo de riscos, pode-se destacar o choque e o arco elétrico, gerado em cabos e componentes energizados. Pode-se destacar também a ação de campos eletromagnéticos que, dependendo da intensidade e tempo de exposição, podem ser prejudiciais aos indivíduos. Estes riscos podem

ainda ser potencializados devido à existência de trabalho em altura durante a instalação (JUNIOR; CAVAIGNAC, 2019).

Os riscos em projetos fotovoltaicos não se limitam à segurança no momento da instalação. Esses também envolvem diversas incertezas sobre o projeto e seus resultados, principalmente após a publicação da Resolução Normativa 482/2012 que trata da geração de energia renovável. Esta resolução abre campo para alterações tarifárias sobre projetos fotovoltaicos de acordo com o crescimento do setor de energia renovável ou devido à interesses políticos diversos. Isso torna mais complexa a análise de viabilidade do projeto, elevando o nível de incerteza sobre os resultados de um possível investimento no sistema (COELHO et al., 2021; TOMOSK et al., 2017).

### 2.3 Ferramentas de análise e gestão de riscos

Uma das ferramentas comumente utilizadas para verificar as condições de segurança no desempenho de serviços é a Análise Preliminar de Risco (APR). Essa ferramenta é empregada como método de avaliação das condições do projeto e permite antecipar eventos indesejados presentes em cada passo da tarefa a ser executada. Por meio dela, pode-se propor medidas para evitar riscos negativos, aumentando a segurança dos executores e demais envolvidos (FREITAS, 2019).

A APR deve ser elaborada durante a etapa de planejamento, seja esse da concepção de um sistema ou de sua implantação. Além disso, sua aplicação periódica para a busca de eventos ainda não identificados pode ser considerada como uma boa prática, uma vez que aumenta o nível de segurança das atividades. Para isso, deve ser realizado um levantamento sistemático dos eventos de risco presentes no local de trabalho, bem como a identificação de suas possíveis causas e consequências. Com base nestes parâmetros, pode-se estipular medidas de controle para a eliminação ou mitigação dos riscos (FARIA et al., 2020).

Outra ferramenta popular para a análise e visualização dos riscos é a Matriz de Probabilidade e Impacto (MPI), em que, com o uso de uma matriz, é possível identificar o grau de risco de um determinado evento. O grau de risco é um parâmetro associado a prioridade ou urgência do evento e é estipulado por meio da combinação da sua probabilidade (ou frequência) e impacto (ou consequência) (COX, 2008). Sua visualização pode ser facilitada pelo uso de padrões de cores conforme apresentado na Figura 1, adaptada de Napolitano e Sassi (2018). Neste exemplo a probabilidade e impacto dos riscos são classificadas em Muito alto (MA), Alto (A), Médio (M), Baixo (B) e Muito Baixo (MB). O grau de risco é dado conforme o cruzamento destas duas informações.

Matriz		Impacto/Consequência				
		Muito Baixo (MB)	Baixo (B)	Médio (M)	Alto (A)	Muito Alto (MA)
Probabilidade/frequência	Muito Alto (MA)	MB MA	B MA	M MA	A MA	MA MA
	Alto (A)	M BA	B A	M A	A A	MA A
	Médio (M)	M B M	B M	M M	A M	MA M
	Baixo (B)	M B B	B B	M B	A B	MA B
	Muito Baixo (MB)	M B MB	B MB	M MB	A MB	MA MB

Figura 1 - Matriz 5x5 Probabilidade x Impacto

Uma terceira ferramenta utilizada na análise e gestão de riscos é o *Bow-tie*. O *Bow-tie* fornece uma forma qualitativa de análise, utilizada com frequência para a verificação de riscos voltados à segurança do trabalho, com o intuito de evitar acidentes (KHAKZAD et al., 2012). Embora possua um escopo de aplicação mais restrito, alguns autores defendem um uso mais amplo, considerando a sua utilização para uma maior diversidade de riscos, sejam estes ambientais, de negócio, políticos ou de segurança (SANTOS et al., 2013).

A utilização do *Bow-tie* permite conhecer as causas e as consequências de eventos potenciais de forma detalhada, por meio de uma visualização gráfica capaz de combinar técnicas indutivas e dedutivas (SAUD, 2014). Esta combinação é proveniente da junção de duas outras ferramentas de análise de riscos: a Análise de Árvore de Falha (AAF) e a Análise de Árvore de Eventos (AAE), o que a torna mais robusta. Um dos diferenciais da ferramenta é a determinação das medidas de controle que podem ser adotadas tanto para a prevenção das causas, quanto para a recuperação ou mitigação das consequências levantadas (KHAKZAD et al., 2012), conforme apresentado na Figura 2 (SANTOS et al., 2013).

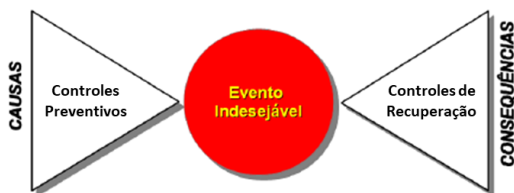


Figura 2 – Esquema do diagrama *Bow-Tie*

Além de trabalhar sobre as causas e consequências de um evento indesejado, o uso do *Bow-tie* também permite um aprofundamento sobre as medidas de controle determinadas. A cada uma delas pode ser vinculado um fator de escalonamento (fator de degradação ou fragilidade), o qual pode reduzir a efetividade do controle (SAUD, 2014). A inserção do fator de escalonamento, incluindo suas próprias medidas de controle, faz com que a análise se torne mais completa, se comparada a outras ferramentas (KHAKZAD et al., 2012).

### 3. METODOLOGIA

Este artigo, possui como objetivo realizar a análise dos riscos de implantação de uma usina fotovoltaica residencial por meio de uma abordagem qualitativa. Para tanto, foi realizado um estudo de natureza aplicada, com o uso da pesquisa-ação, método que conta com a participação direta do pesquisador na implementação das atividades. Esse tem envolvimento ativo na solução de problemas técnicos ou de outras espécies (GIL, 2002).

Os riscos do projeto foram levantados de forma empírica, conforme dados obtidos das análises de campo. Para isso, foram utilizados modelos baseados em três ferramentas distintas: a APR, de forma a levantar os riscos e suas características, a matriz de Probabilidade e Impacto, para mapear e classificar os riscos que envolveram o projeto e o *Bow-tie*, utilizado para obter detalhes dos riscos de maior complexidade.

#### 3.1 Caracterização do projeto de instalação

A análise de risco se deu sobre uma instalação realizada em uma residência na cidade de Ouro Branco-MG. Inicialmente, foi feito o planejamento da instalação fotovoltaica no local, por meio de um *check list*, no qual foram coletados os dados necessários para a realização do



projeto, como a rota dos cabos, o planejamento de fixação dos módulos fotovoltaicos, inversor e dispositivos de proteção. Foi realizada uma inspeção em campo por meio da qual foi possível conhecer a estrutura do telhado e as condições da instalação já existente, de forma a identificar os principais gargalos do projeto.

Após o levantamento de campo, os dados coletados foram analisados em uma plataforma eletrônica desenvolvida para o trabalho. Foi dimensionada a usina ideal para atender às necessidades de consumo de energia elétrica conforme as condições de instalação oferecidas pelo cliente. Um dos desafios da etapa foi especificar os componentes que atendessem a potência planejada e escolher no mercado empresas que atendessem aos requisitos com qualidade, custo e prazo de entrega aceitáveis para as partes interessadas.

Após a instalação do sistema, iniciou-se a etapa de comissionamento, na qual a tensão e frequência elétrica de entrada e saída para a rede de distribuição foram analisadas de forma criteriosa. Essa etapa visou garantir o funcionamento adequado do sistema sem expor os componentes eletrônicos da instalação a riscos, assim como a energia injetada na rede.

Ao final da implantação, foi realizado o monitoramento da instalação. O sistema implantado foi configurado e parametrizado via WiFi, tecnologia que permite monitorar em tempo real os dados de funcionamento da instalação por meio de um aplicativo de celular. Esse pode ser acompanhado em qualquer local, desde que o inversor esteja conectado à internet e o usuário esteja habilitado à rede.

### 3.2 Processo de análise dos riscos

A análise de riscos do projeto foi feita por meio de seis etapas, conforme apresentado no fluxograma da Figura 3.

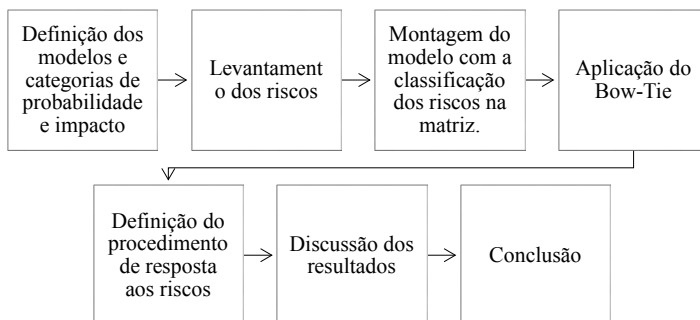


Figura 3 – Fluxograma de análise de riscos de projeto fotovoltaico residencial

Na primeira etapa, foram definidos os padrões de relatórios a serem utilizados para a montagem do modelo de avaliação de risco e do *Bow-tie*. Optou-se por utilizar um modelo próprio, baseado na integração da APR e da Matriz de Probabilidade e Impacto, de forma a centralizar as informações em um único relatório e permitir a análise conjunta de riscos relacionados à segurança e ao projeto em si, com o planejamento de todas as etapas de execução. Isso permitiu uma análise mais adequada e direta, uma vez que as causas e efeitos dos riscos puderam ser comparadas diretamente com as probabilidades e impactos utilizados para a classificação dos riscos. A quantificação das probabilidades e impactos se deu conforme os critérios presentes nos Quadros 1 e 2, montados especificamente para o estudo, baseado em Garvey e Lansdowne (1998).

Quadro 1 – Critérios para probabilidade dos riscos do projeto

Probabilidade	Descrição dos critérios de probabilidade	Valor
Muito baixa	Provável que aconteça uma vez em até 100 projetos.	1
Baixa	Provável que aconteça uma vez em até 50 projetos.	2
Moderada	Provável que aconteça uma vez em até 20 projetos.	3
Alta	Provável que aconteça uma vez em até 10 projetos.	4
Muito alta	Provável que aconteça um em menos de 10 projetos.	5

Quadro 2 – Critérios para impacto dos riscos do projeto

Impacto	Descrição dos critérios de impacto	Valor
Muito baixo	- Os riscos são irrelevantes e não geram prejuízo financeiro ou danos aos envolvidos.	1
Baixo	- Os riscos possuem consequências controladas. - Os custos são pouco significativos sobre o valor do projeto (até 10% do valor do projeto).	2
Moderado	- Os riscos possuem consequências controladas, com dano pequeno aos envolvidos.	3
Alto	- Os riscos possuem consequências controladas, porém com dano maior aos envolvidos. - Os custos são significativos (entre 50% e 70% do valor do projeto).	4
Muito alto	- Os riscos não são controlados, podendo haver dano irreparável. - Os custos são muito significativos (acima de 70% do valor do projeto).	5

O levantamento dos eventos de risco foi feito de forma estratificada por meio da divisão das etapas de execução das atividades do projeto. Foram definidas sete etapas, sendo elas: a coleta de dados, planejamento, homologação, compra de materiais, execução, comissionamento e vistoria com troca do medidor. A definição destas etapas se deu por meio da verificação de implantações já realizadas anteriormente, de forma a promover uma divisão clara entre os grupos de atividades previstas.

Os eventos de riscos levantados foram inseridos no modelo criado para a análise, dando prosseguimento ao levantamento de suas causas e efeitos. Além disso, foram estimadas as suas probabilidades de ocorrência, bem como os seus níveis de impacto, conforme padrões de classificação definidos. Por meio da multiplicação do valor de probabilidade pelo valor de impacto foi estipulado um grau de risco para cada evento analisado. O grau de risco foi utilizado para classificar os riscos em prioridades. Para o estudo, optou-se por utilizar quatro faixas de classificação, alinhadas à percepção dos riscos: extremo, alto, médio e baixo, dadas conforme o valor do grau de risco obtido (Quadro 3).

Quadro 3 – Classificação de riscos fotovoltaicos

Grau de risco	Classificação
1 e 2	Baixo risco
3 a 7	Médio risco
8 a 14	Alto risco
15 a 25	Risco extremo

Para os eventos de risco que apresentaram uma necessidade de análise mais complexa em termos de seus mecanismos de efetivação, foi realizada a aplicação do *Bow-Tie*. Por meio dele foi possível identificar de forma mais detalhada as suas causas, bem como os seus efeitos. Além disso, foram levantadas medidas de controle preventivas e de mitigação, assim como os fatores que podem levar à sua degradação. Estes dados foram retroalimentados no modelo de análise, proporcionando uma melhor definição das causas e dos efeitos propostos, além de uma melhor base para a definição das respostas aos riscos.

A definição de estratégias de resposta se deu com base na classificação dos eventos de risco, dando prioridade àqueles que apresentaram um maior grau. Foram considerados os efeitos e as causas levantadas, bem como as circunstâncias em que cada etapa do projeto é executada. Com base nessas respostas, o risco residual foi recalculado, e os resultados foram apresentados e analisados. Além disso, a

aplicação do método foi discutida em função da literatura, bem como dos resultados obtidos, sendo os achados de pesquisa expressos na conclusão.

#### 4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

O levantamento dos riscos, bem como a definição de medidas de resposta foram realizados antes da execução de cada etapa do projeto, de forma a tornar as atividades mais seguras. Ao longo da aplicação do método proposto foram identificados um total de 19 eventos de risco distribuídos em todas as sete etapas de execução. Esses foram levantados de forma empírica, com base na experiência da equipe de implantação. Os eventos de risco levantados foram separados por cores de acordo com as etapas e podem ser verificados no diagrama da Figura 4, no qual as áreas ocupadas por cada evento de risco ou etapa são proporcionais ao seu grau de risco. Nota-se que na etapa de execução foi mapeada uma maior quantidade de riscos para o projeto se comparado às outras etapas (cinco riscos). Esta etapa também se destaca por apresentar o maior grau de risco do projeto. Isto se dá uma vez que ela envolve possível contato com partes energizadas e trabalho em altura, o que potencializa os riscos. Outra questão importante a salientar é que todas as etapas apresentam um grau de risco relevante. Isso fez com que a necessidade de gerenciamento dos riscos se desse ao longo de todo o ciclo de vida do projeto.



Figura 4 - Diagrama de árvore dos riscos de projetos fotovoltaicos residenciais

Outro ponto importante diz respeito à classificação dos eventos listados. Dentre os 19 riscos encontrados, três foram classificados como de risco extremo, 14 como alto risco e apenas dois como médio risco. Nenhum dos riscos foi classificado como baixo (Figura 5).

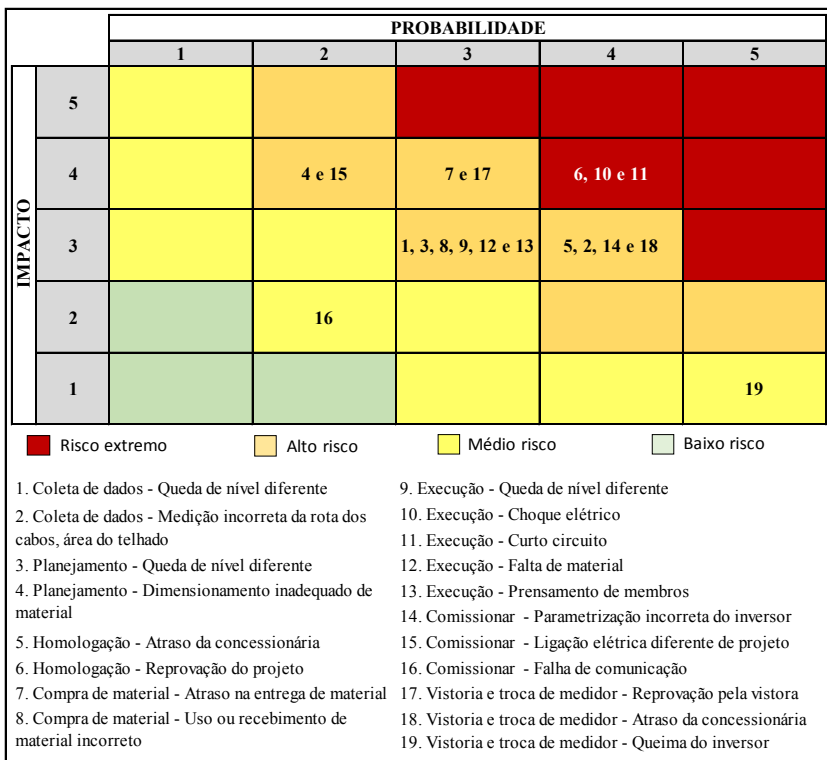


Figura 5 – Organização dos riscos na matriz de probabilidade e impacto

A alta classificação dos riscos apresentada pode estar associada à falta de medidas de contingência adequadas, no caso de materialização de algum dos eventos de risco levantados. Ao longo da coleta dos dados, notou-se que não havia um planejamento sólido para a realização das atividades com foco na estipulação de respostas prévias para a mitigação tanto das causas dos riscos, quanto de seus efeitos. Os resultados da análise individual dos riscos serão apresentados de forma mais detalhada nos tópicos seguintes, separados por etapas.

#### 4.1 Etapa de coleta de dados e planejamento

Ao início das atividades foi necessária a realização de uma visita em campo para a coleta de dados necessários para a elaboração do planejamento do projeto. A etapa de coleta de dados visou levantar as condições presentes, englobando a tomada de medidas e verificação geral do ambiente. Como as células fotovoltaicas são instaladas no telhado, dois riscos foram levantados antes da coleta dos dados (Tabela 2). O primeiro diz respeito à queda de níveis diferentes<sup>1</sup> devido a algum obstáculo ou condição insegura presente no ambiente. Este tipo de queda poderia gerar como efeito escoriações ou quebra de membros, resultando em dano ao trabalhador e afastamento. O segundo risco diz respeito ao levantamento de informações incorretas, sejam essas medidas para o cálculo das rotas de cabo a serem utilizadas, ou mesmo da área do telhado. Dentre as causas prováveis para isso estão a falta de registro em campo e a improvisação com ferramentas inadequadas, podendo gerar falta de material durante a implantação ou mesmo um orçamento incorreto do projeto, fazendo com que o valor estimado fosse diferente dos gastos realizados.

Quadro 4 – Riscos de projetos fotovoltaicos na etapa de coleta de dados e planejamento

Evento de risco	Causa	Efeito	Prob.	Imp.	Grau de risco
Queda de nível diferente	- Obstáculos durante a inspeção de campo; - Condições inseguras do ambiente.	- Escoriações; - Quebra de membros; - Afastamento do trabalho.	3	3	9
Medição incorreta da rota dos cabos e área do telhado	- Os dados coletados não serem devidamente registrados no campo; - Improvisação e uso de ferramentas impróprias para as medições.	- Falta de material para implantação; - Estimativa de custo de projeto diferente do realizado.	4	3	12

Ambos os graus de risco calculados puderam ser enquadrados como altos, exigindo medidas de resposta compatíveis (Quadro 5). No caso, para a queda de nível diferente estão a conscientização sobre a verificação de condições desconhecidas e a utilização de cinto com talabarte. Já para as medições, é necessária a aplicação de um *checklist* para materiais e ferramentas a serem utilizadas. Com base nessas me-

<sup>1</sup> Quedas de altura acima de 2 m, que tem medidas estipuladas por Norma Regulamentadora específica (NR35).

didadas, o risco residual foi recalculado pelo autor com base em histórico de falhas e experiência de projetos, resultando em 1 para a queda de nível diferente e 3 para as medições incorretas.

Quadro 5 – Riscos residuais de projetos fotovoltaicos na etapa de coleta de dados e planejamento

Evento de risco	Medida	Prob.	Imp.	Grau de risco residual
Queda de nível diferente	- Conscientizar o trabalhador sobre a verificação do piso e das condições desconhecidas durante o levantamento dos dados; - Utilização de cinto e talabarte.	1	1	1
Medição incorreta da rota dos cabos e área do telhado	- Criar <i>check-list</i> contendo ferramentas apropriadas e materiais para o levantamento de campo (agenda, caneta, trena à laser e multímetro).	1	3	3

Após a coleta inicial dos dados, foi recomendada a adaptação do telhado da residência e instalação de aterramento dedicado ao sistema, depois do qual, outra visita foi realizada para o planejamento da atividade. Neste caso dois riscos foram levantados: a queda de nível diferente e o dimensionamento inadequado do material. Como a queda de nível diferente já havia sido levantada, o mesmo procedimento foi utilizado para a sua tratativa. Já no caso do dimensionamento inadequado, foi verificado que este pode acontecer devido ao mau posicionamento do módulo, existência de sombras na área, falta de planejamento da instalação e devido à problemas de conexão do inversor com a rede de corrente alternada. Estes problemas poder resultar tanto no aumento do custo do projeto quanto na geração insuficiente de energia, resultando em um grau de risco igual a 8 (Quadro 6).

Quadro 6 – Risco de projetos fotovoltaicos na etapa de planejamento

Evento de risco	Causa	Efeito	Prob.	Imp.	Grau de risco
Dimensionamento inadequado de material	- Mal posicionamento dos módulos; - Sombreamento das áreas externas; - Falta de planejamento do local de instalação; - Problemas de conexão do inversor com a rede de corrente alternada.	- Aumento do custo do projeto; - Geração insuficiente de energia se comparada à prevista.	4	2	8

Como resposta ao dimensionamento inadequado de material, medidas como a verificação de influências externas, uso de bússola e consideração do ponto de instalação do inversor no planejamento foram propostas (Quadro 7). Estas foram responsáveis por uma redução do risco residual para 4.

Quadro 7 – Risco residual de projetos fotovoltaicos na etapa de planejamento

Evento de risco	Causa	Prob.	Imp.	Grau de risco residual
Dimensionamento inadequado de material	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Observar e considerar influências externas que podem prejudicar a geração da usina;</li> <li>- Utilizar bússola para a identificação da orientação solar;</li> <li>- Considerar no planejamento o ponto de instalação do inversor e o recurso necessário para a conexão com a rede c.a.</li> </ul>	2	2	4

#### 4.2 Etapa de homologação e compra de material

Os processos de homologação e compra de materiais não necessitam de atividades de campo para a sua execução, porém, isso não significa que os riscos relacionados a elas sejam menores. Estes podem ser verificados por meio da Quadro 8 e compreendem o atraso da concessionária, a reprovação do projeto, o atraso da entrega do material e o uso ou recebimento de material incorreto. Estes possuem grau de risco alto, com exceção da reprovação do projeto, que se trata de um risco extremo.

Quadro 8 – Risco residual de projetos fotovoltaicos na etapa de planejamento

Evento de risco	Causa	Efeito	Prob.	Imp.	Grau de risco
Atraso da concessionária	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Falta de mão de obra ou outros problemas no setor responsável da concessionária;</li> <li>- Atraso no envio da documentação necessária.</li> </ul>	- Atraso na liberação do projeto.	4	2	8



Quadro 8 – Risco residual de projetos fotovoltaicos na etapa de planejamento (cont.)

Evento de risco	Causa	Efeito	Prob.	Imp.	Grau de risco
Reprovação do projeto	- Falha no planejamento; - Erro de preenchimento da documentação; - Montagem em desconformidade; - Erro da concessionária.	- Atraso da liberação/ aprovação do projeto; - Insatisfação com o pagamento da fatura de energia em conjunto com o financiamento do sistema.	4	4	16
Atraso na entrega de material	- Falta de material no mercado; - Atraso no transporte.	- Atraso na fase de execução do projeto.	3	4	12
Uso ou recebimento de material incorreto	- Erro na entrega do material pelo fornecedor; - Especificação de material incorreta.	- Atraso na execução do projeto.	3	3	9

O risco de reprovação do projeto, por envolver questões mais complexas de análise, foi verificado a fundo por meio da utilização da ferramenta *Bow-tie*. Sua análise segue descrita na Figura 6.

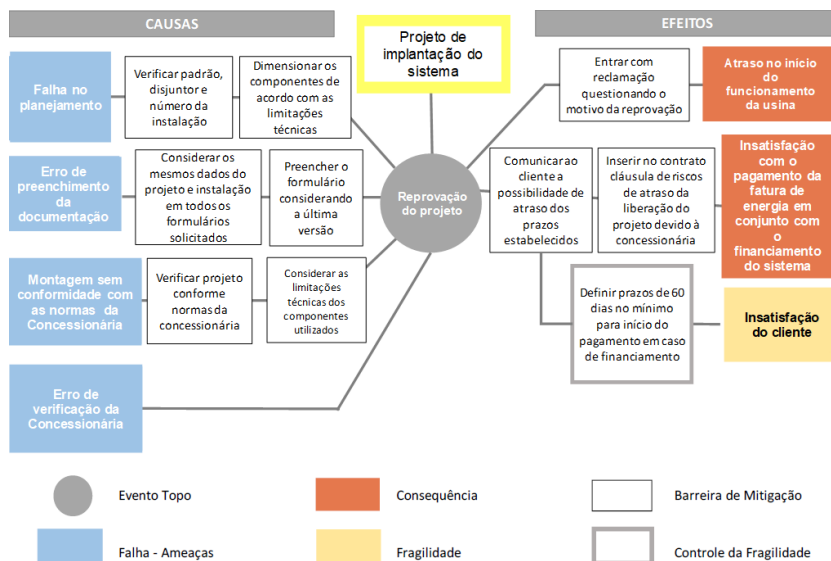


Figura 6 – *Bow-tie* Risco de Reprovação de Projeto Fotovoltaico

De forma a mitigar os riscos verificados, algumas estratégias de resposta foram traçadas. Estas englobam desde ações simples como a verificação do prazo de entrega da concessionária ou a consideração de reservas de prazo no projeto, até ações mais complexas como a verificação de todas as entregas ou abertura de reclamação no caso de atrasos da concessionária (Quadro 9). Por meio destas ações, o grau de risco estimado para o projeto reduziu consideravelmente, encontrando-se agora entre as categorias de médio e baixo risco.

Quadro 9 – Risco residual de projetos fotovoltaicos na etapa de planejamento

Evento de risco	Medida	Prob.	Imp.	Grau de risco residual
Atraso da concessionária	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Observar os prazos de entrega da documentação;</li> <li>- Abrir chamado de reclamação em caso de atraso.</li> </ul>	2	2	4
Reprovação do projeto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificar padrão de disjuntores e dimensionar componentes conforme limitação técnica;</li> <li>- Tomar os devidos cuidados com o preenchimento do formulário;</li> <li>- Verificar projeto conforme normas da concessionária;</li> <li>- Entrar com reclamação em caso de atrasos da concessionária;</li> <li>- Inserir cláusula de risco contratual e comunicar ao cliente.</li> </ul>	1	4	4
Atraso na entrega de material	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Observar o cumprimento do tempo de entrega do material;</li> <li>- Considerar uma reserva de prazo ao planejar o projeto;</li> <li>- Considerar tempos de tolerância de atraso no projeto.</li> </ul>	1	3	3
Uso ou recebimento de material incorreto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificar as especificações técnicas do material antes da solicitação;</li> <li>- Certificar-se das características dos componentes ao se planejar e projetar a montagem do sistema;</li> <li>- Verificar todas as entregas e solicitar de imediato a troca de materiais incorretos.</li> </ul>	1	2	2

### 4.3 Etapa de execução

Na etapa de execução, encontra-se a maior quantidade de riscos, visto que é necessária a interface do executante com componentes elétricos e estruturas da instalação (Quadro 10). Há risco de queda de nível diferente, que ocorre devido a obstáculos presentes no ambi-

ente, além da possibilidade de prensamento de membros nas estruturas a serem instaladas. Durante à instalação, os painéis fotovoltaicos recebem radiação solar, sendo essa luminosidade convertida em energia elétrica. Isso gera uma maior probabilidade de curto circuito caso ocorra uma ligação incorreta dos painéis fotovoltaicos ou o mau funcionamento dos componentes eletrônicos. Conseqüentemente pode ocorrer a queima dos módulos fotovoltaicos, queima do inversor, avaria em componentes eletrônicos e, em se tratando em pessoas, queimaduras e projeção de partículas nos envolvidos.

Quadro 10 – Riscos de projetos fotovoltaicos na etapa de execução

Evento de risco	Causa	Efeito	Prob.	Imp.	Grau de risco
Queda de nível diferente	- Obstáculos durante a inspeção de campo; - Condições inseguras do ambiente.	- Escoriações; - Quebra de membros; - Afastamento de trabalho.	3	3	9
Choque elétrico	- Contato com partes energizadas; - Choque elétrico por baixo isolamento das ferramentas;	- Queimaduras; - Queda de nível diferente; - Fibrilação ventricular, arritmia cardíaca ou morte.	4	4	16
Curto circuito	- Ligação incorreta; - Falha de funcionamento de componentes eletrônicos.	- Queima de inversor ou avaria nos módulos fotovoltaicos; - Queimaduras de pele ou olhos; - Projeção de partículas.	4	4	16
Falta de material	- Levantamento incorreto dos materiais necessários; - Erros no planejamento dos materiais.	- Atraso na execução do projeto; - Retrabalho; - Aumento do custo planejado.	3	3	9
Prensamento de membros	- Corte nas mãos e escoriações.	- Impossibilidade de continuar o serviço; - Atraso na entrega do projeto.	3	3	9

Devido a uma maior probabilidade de ocorrência do risco de choque elétrico nas instalações fotovoltaicas, bem como à complexidade envolvida, foi realizada uma análise detalhada sobre as causas, efeitos, barreiras de controle e mitigação que devem ser adotadas.

Essa foi realizada por meio da ferramenta *bow-tie*, conforme Figura 7. Os dados obtidos foram retroalimentados na lista de riscos.

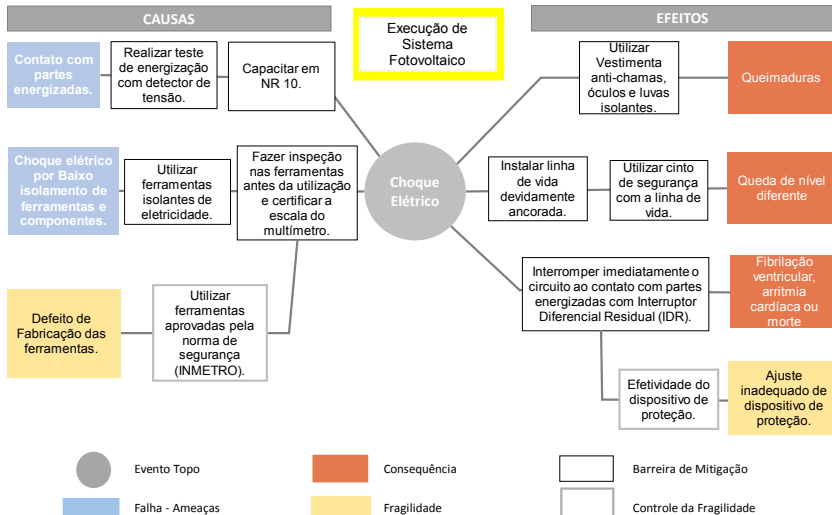


Figura 7 – *Bow-tie* risco de choque elétrico

Para a etapa de execução, foram estabelecidas medidas de controle dos riscos de acordo com a estratégia e recursos disponíveis (Quadro 11). Por exemplo, para os riscos envolvendo “choque elétrico” foi proposta como medida a utilização de Equipamento de Proteção Individual (EPI’s) para trabalho com eletricidade, tais como capacete, óculos, vestimenta antichamas, luvas isolantes e botinas com biqueira de *composite*. Foi proposta também a utilização de cinto de segurança tipo paraquedista, no caso de envolver trabalho em altura. Em se tratando da utilização das ferramentas, foi recomendado que essas sejam isolantes, visto que o contato acidental entre pontos com diferença de potencial pode causar choque elétrico. Foram consideradas também medidas de conscientização e a verificação sistemática da desenergização do sistema.

Quadro 11 – Risco residual de projetos fotovoltaicos na etapa de planejamento

Evento de risco	Medida	Prob.	Imp.	Grau de risco residual
Queda de nível diferente	- Conscientizar o trabalhador sobre a verificação do piso e das condições desconhecidas durante o levantamento dos dados; - Utilização de cinto e talabarte.	1	2	2
Choque elétrico	- Realizar testes de energização; - Capacitar mão de obra em NR10; - Utilizar ferramentas isolantes; - Fazer inspeção nas ferramentas e na escala do multímetro; - Utilizar vestimentas antichamas, óculos e luvas isolantes; - Instalar linha de vida e utilizar cinto de segurança; - Interromper imediatamente o circuito ao contato com partes energizadas.	2	3	6
Curto circuito	- Utilizar EPI's de eletricitista (capacete, óculos, vestimenta antichamas, luvas isolantes e botinas com biqueira de <i>composite</i> ); - Cinto de segurança em trabalho em altura; - Não tocar em partes energizadas; - Utilizar ferramentas isolantes.	1	3	3
Falta de material	- Considerar as medidas planejadas para aquisição dos materiais; - Ao realizar a visita em campo, fazer o registro dos dados; - Utilizar ferramentas de medição (trena a laser e/ou trena comum); - Considerar no planejamento a rota detalhada do circuito elétrico.	1	3	3
Prensamento de membros	- Utilizar EPI's (capacete, óculos, vestimenta antichamas, luvas isolantes e botinas com biqueira de <i>composite</i> ); - Conscientizar trabalhadores para não se expor em locais de possível prensamento; - Não improvisar ferramentas.	1	2	2

#### 4.4 Etapa de comissionamento, vistoria e troca do medidor

Na etapa final de implantação do projeto, é realizado o comissionamento com os devidos testes do sistema, a vistoria e a adequação do medidor de energia. Para a sua execução, foram observados riscos de menor impacto como descrito na Quadro 12. Dentre eles pode-se destacar, por exemplo, a parametrização incorreta do inversor, capaz de reduzir a eficiência do sistema fotovoltaico e trazer consequências para o alcance da geração de energia planejada, além de reduzir a vida útil da instalação.

Quadro 12 – Riscos de projetos fotovoltaicos na etapa de comissionamento e troca do medidor

Evento de risco	Causa	Efeito	Prob.	Imp.	Grau de risco
Parametrização incorreta do inversor	- Ajuste incorreto do inversor; - Defeito de fabricação.	- Geração insuficiente de energia; - Redução de vida útil do sistema.	4	2	8
Ligação elétrica diferente do projeto	- Falta de atenção durante as conexões, pressa.	- Falha de funcionamento; - Queima dos componentes eletrônicos.	4	2	8
Falha de comunicação	- Falta de parametrização do comunicador Wifi com a rede local.	- Perda da funcionalidade de acompanhamento de geração à distância.	2	2	4
Reprovação da instalação durante a vistoria	- Instalação elétrica diferente do projeto; - Erro na documentação de solicitação de vistoria da concessionária.	- Atraso no início de geração do sistema; - Retrabalho em corrigir e reenviar a documentação à concessionária.	3	4	12
Atraso da concessionária	- Falta de mão de obra no setor responsável; - Falta de medidor bidirecional no mercado.	- Atraso na liberação do projeto.	3	3	9
Queima do inversor	- Ligação incorreta; - Defeito de fabricação do inversor.	- Atraso no início de geração do sistema.	1	5	5

O risco de maior grau observado nesta etapa foi a reprovação da instalação durante a vistoria. Caso a instalação seja realizada de forma diferente do projeto, essa é reprovada pela concessionária de energia, o que gera a necessidade de retrabalho e atraso no início da geração de energia pelo sistema. Outro fator que pode contribuir com esta reprovação são os erros na documentação de solicitação de vistoria encaminhada à concessionária, os quais podem gerar retrabalho dada a necessidade de correção e reenvio.

Após o mapeamento dos riscos, foram estabelecidas medidas de controle para reduzir o risco residual presente na etapa de comissionamento, vistoria e troca do medidor. Para o caso da reprovação da instalação, por exemplo, foi determinada a certificação dos dados solicitados nos formulários de preenchimento com o projeto realizado. Esse, por sua vez, deve seguir as especificações dos fabricantes garantindo maior segurança da instalação. Em caso de erros por parte da

concessionária, deve-se abrir um processo de reclamação. As demais medidas listadas encontram-se na Quadro 13, assim como os riscos residuais para esta etapa do projeto.

Quadro 13 – Risco residual de projetos fotovoltaicos na etapa de comissionamento e troca do medidor

Evento de risco	Medida	Prob.	Imp.	Grau de risco residual
Parametrização incorreta do inversor	- Certificar as especificações técnicas dos componentes utilizados de acordo com o modelo e potência; - Respeitar os parâmetros recomendados pelo fabricante; - Fazer análise da rede de energia.	1	2	2
Ligação elétrica diferente de projeto	- Fazer revisão do circuito e testes de funcionamento; - Verificar todas as conexões antes de energizar o circuito.	1	2	2
Falha de comunicação	- Certificar que a instalação possui rede de internet compatível com o inversor instalado; - Fazer a configuração seguindo os passos recomendados pelo fabricante.	2	2	4
Reprovação da instalação durante a vistoria	- Certificar se os dados solicitados estão compatíveis com o projeto; - Seguir as especificações de componentes do fabricante; - Abrir reclamação em caso de erro da concessionária.	2	2	4
Atraso da concessionária	- Acompanhar os prazos de vistoria e abrir chamado de reclamação em caso de atraso.	3	2	6
Queima do inversor	- Seguir os passos corretos de energização do sistema conforme recomendação do manual; - Utilizar equipamentos com qualidade referência no mercado e garantia de funcionamento.	1	1	1

## 5. DISCUSSÃO

A aplicação de modelos integrados de ferramentas de análise de riscos para a implantação de um sistema fotovoltaico mostrou resultados relevantes para a mitigação dos riscos, sejam esses relacionados à segurança dos envolvidos ou ao alcance dos objetivos traçados. Com base nos resultados apresentados pôde-se observar uma redução elevada do grau de risco do projeto, demonstrada pelo cálculo do risco residual, após a definição das medidas de controle. Conforme

apresentado na Quadro 14, as medidas de controle propostas para o projeto reduziram o grau de risco de 188 pontos para 58, o que representa uma queda de aproximadamente 69%.

Quadro 14 – Comparativo entre classificação dos riscos e riscos residual

Etapa	Descrição do risco	Grau de risco	Grau de risco residual	Diferença
Coleta de dados	- Queda de nível diferente	9	1	8
	- Medição incorreta da rota dos cabos, área do telhado	12	3	9
Planejamento	- Queda de nível diferente	9	2	7
	- Dimensionamento inadequado de material	8	4	4
Homologação	- Atraso da concessionária	8	4	4
	- Reprovação do projeto	16	4	12
Compra de material	- Atraso na entrega de material	12	3	9
	- Uso ou recebimento de material incorreto	9	2	7
Execução	- Queda de nível diferente	9	2	7
	- Choque elétrico	16	6	10
	- Curto circuito	16	3	13
	- Falta de material	9	3	6
	- Prensamento de membros	9	2	7
Comissionar	- Parametrização incorreta do inversor	8	2	6
	- Ligação elétrica diferente de projeto	8	2	6
	- Falha de comunicação	4	4	0
Vistoria e troca de medidor	- Reprovação pela vistora	12	4	8
	- Atraso da concessionária	9	6	3
	- Queima do inversor	5	1	4
TOTAL		188	58	130

A diminuição do grau de risco resultou na eliminação de riscos classificados como extremos e como altos, os quais englobavam a grande maioria dos riscos levantados (três riscos extremos e 14 riscos altos). Essa redução pode ser verificada na Figura 8.



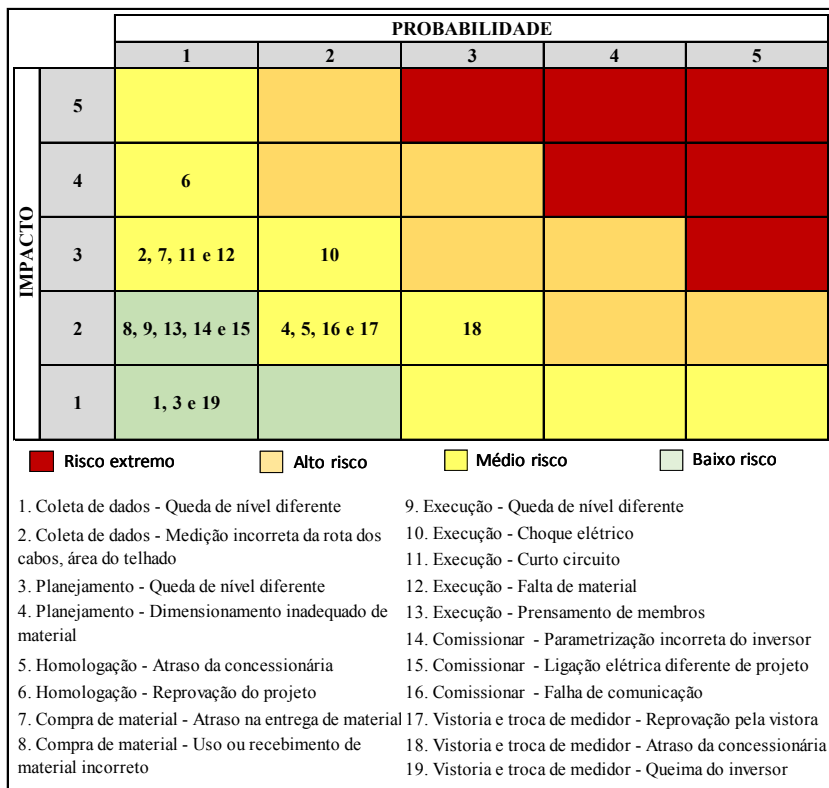


Figura 8 – Organização dos riscos residuais na matriz de probabilidade e Impacto

Diante destes dados, deve-se destacar a redução do grau de risco na etapa de execução, a qual concentra 26% das ameaças encontradas. Foi possível observar uma redução considerável, de 59 pontos para 16, sendo a etapa de maior influência na diminuição do risco total do projeto. Isso se deve em parte à diminuição dos eventos adversos relacionados à eletricidade, o que destaca a importância do planejamento para a concepção prévia de medidas que reduzam este tipo de risco (JUNIOR; CAVAGNAC, 2019).

Um dos pontos importantes para a redução do grau de risco foi a aplicação do *bow-tie*, tendo os choques elétricos como foco de análise. Isso porque com o uso da ferramenta, foi possível ampliar a visão inicial do risco por meio da verificação lógica dos componentes que levam ao evento indesejado (KHAKZAD et al., 2012). Como efeito prático para o risco, foi possível determinar não somente as causas e

efeitos de forma mais detalhada, mas também todas as medidas de contenção que devem ser observadas, como por exemplo, a capacitação na Norma Regulamentadora 10, referente à segurança em instalações e serviços em eletricidade, inspeção de ferramentas ou mesmo a utilização de EPIs específicos.

Embora o *bow-tie* tenha uma aplicação comumente voltada à segurança do trabalho, com foco em evitar potenciais acidentes (SAUD, 2014), a sua aplicação em um risco gerencial proporcionou bons resultados. Ao ser utilizado para o risco de reprovação do projeto, esse garantiu uma visualização detalhada e precisa dos processos que podem ser aplicados para evitar as causas listadas, como o dimensionamento correto dos componentes, a verificação das normas da concessionária, do padrão de disjuntor, número da instalação, entre outros. O mesmo também pôde ser observado para os efeitos. Com o levantamento de medidas detalhadas para conter os impactos negativos, focados na comunicação e na inserção de medidas contratuais, os efeitos da reprovação do projeto puderam ser mitigados. Mais que isso, a análise se estendeu à verificação da fragilidade das medidas de controle e aos meios para sua contenção.

Por fim, a combinação de diferentes ferramentas de gerenciamento de risco para a análise do sistema fotovoltaico proporcionou uma visão ao mesmo tempo ampla e detalhada. Desta forma possibilitou expandir o escopo de análise englobando não somente riscos de segurança, mas também riscos relacionados ao processo de execução. Além disso, foi possível realizar uma análise balanceada, em que os pontos complexos foram explorados de forma mais aprofundada, sem prejuízo para os demais.

## 6. CONCLUSÃO

Esse trabalho visou a realização de uma análise de riscos voltada à implantação de uma usina fotovoltaica residencial, localizada na cidade de Ouro Branco-MG. Para isso foi utilizada uma combinação de ferramentas de gerenciamento de riscos, incluindo a APR, a Matriz de Probabilidade e Impacto e o *Bow-tie*.

Por meio da análise combinada foi possível levantar um total de 19 eventos indesejados, distribuídos em sete etapas do projeto, totalizando um grau de risco equivalente a 188 pontos. Esses representavam em sua maioria riscos altos e extremos. Com a aplicação de medidas de resposta, o grau de risco do projeto foi reduzido em 69%, resultando em apenas 58 pontos. Com essa redução foi possível eliminar tanto os eventos classificados como altos, como os classificados como extremos.

Além da redução dos riscos, foi possível observar a importância da análise detalhada dos eventos de maior complexidade, tendo a aplicação do *Bow-tie* se mostrado bem-sucedida para este objetivo. Por meio dela foi possível analisar não apenas riscos de segurança, mas também riscos relacionados ao desempenho do projeto.

Este trabalho teve como principal limitação a não aplicação do diagrama *Bow-tie* para outros riscos relevantes, dado ao tempo curto de análise existente entre o planejamento e a execução das atividades de campo. Porém, deve-se ressaltar que a aplicação realizada foi suficiente para demonstrar os benefícios provenientes do uso integrado do *Bow-tie* com outras ferramentas de análise e gerenciamento de riscos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZMI, A.; KOHLE, M. L.; IMENES, A. G. On-Grid Residential Development with Photovoltaic Systems in Southern Norway. In: IEEE Conference on Clean Energy and Technology (CEAT), p. 93-97, 2013. DOI: 10.1109/CEAT.2013.6775606

BRASIL. Lei nº 5.194 de 24 de dezembro de 1966, regula o exercício das profissões de Engenheiro, Arquiteto e Engenheiro-Agrônomo, e dá outras providências. Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l5194.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l5194.htm)

COELHO, E. O. P. et al. Regulatory impact of photovoltaic prosumer policies in Brazil based on a financial risk analysis. *Utilities Policy* 70 (2021), 101214 8 April 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2021.101214>

COX, L. A. What's wrong with risk matrices? *Risk Analysis*, 28(2), p. 497-512, 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2008.01030.x>

FARIA, D. L et al. Análise preliminar de riscos (APR) de uma obra residencial unifamiliar na cidade de Candeias/MG. *Scire Salutis*, 10(2), p. 89-98, 2020. <https://doi.org/10.6008/CBPC2236-9600.2020.002.0011>

FILHO, M. H. O. P.; FARIAS, A. M. Implantation of a photovoltaic system installation and design course. In: IEA SHC International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry, 2019.

FREITAS, W. S. Análise Preliminar de Riscos em Instalações de Painéis Fotovoltaicos Residenciais. In: Anais de Engenharia de Produção, UCEFF, 3(1), p 60-79, 2019. <https://uceff.edu.br/anais/index.php/engprod/article/view/276>

GARVEY, P. R.; LANSLOWNE, Z. F. Risk matrix: an approach for identifying, assessing, and ranking program risks. *Air Force Journal of Logistics*, 22(1), 18-21, 1998.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GÓMEZ, L. S.; HERNÁNDEZ, J. I. M. Risk identification in large photovoltaic plants' construction projects. In: 20th International Congress on Project Management and Engineering, Cartagena, 13-15th July p. 1786–1798, 2016. <http://dspace.aepro.com/xmlui/handle/123456789/892>

JUNIOR, E. B. D.; CAVAINAC, A. L. O. Avaliação de riscos e priorização de falhas por meio do FMEA em serviços elétricos de baixa, média e alta tensão. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3): p. 214-225, 2019. [https://doi.org/10.0001/V05N03\\_004](https://doi.org/10.0001/V05N03_004)

KHAKZAD, N.; KHAN, F.; AMYOTTE, P. Dynamic risk analysis using bow-tie approach. *Reliability Engineering and System Safety* 104 (2012), p. 36–44, 25 April 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2012.04.003>

KUMAR, A.; GUPTA, N.; GUPTA, V. A comprehensive review on grid-tied solar photovoltaic system. *Journal of Green Engineering*, 7(10), p. 213–254, 9 September 2017. <https://doi.org/10.13052/jge1904-4720.71210>

KUMAR, N. M.; SUBATHRA, S. P.; MOSES, J. E. On-Grid Solar Photovoltaic System: Components, Design Considerations, and Case Study. In: 4th International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES), p. 616-619, 28 August 2018. DOI: 10.1109/ICEES.2018.8442403

NAPOLITANO, D. M. R.; SASSI, R. J. Modelo de sistema de interferência fuzzy baseado em matrizes de probabilidade e impacto para classificar riscos em projetos. *Navus: Revista de Gestão e Tecnologia*, 8(4), p. 69-89, 2018. <http://dx.doi.org/10.22279/navus.2018.v8n4.p69-89.717>

OLIVEIRA, L. M.; CRUZ, A. F. S. Análise comparativa de viabilidade técnica e econômica de um sistema fotovoltaico e um sistema híbrido (eólico - fotovoltaico) on-grid para iluminação predial. In: XV SEPA - Seminário Estudantil de Produção Acadêmica, UNIFACS, p. 329–349, 2016.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito – CRESESB Cepel, Rio de Janeiro, 2014.

SANTOS, D.; MOREIRA, M.; ALMEIDA, A. B. Aplicação do método de bow-tie no controle do risco em serviços de abastecimento de água. SILUSBA, 2013.

SAUD, Y. E.; ISRANI, K.; GODDARD, J. Bow-Tie diagrams in downstream hazard identification and risk assessment. *Process Safety Progress* 33(1), p. 26-35, 2014. <https://doi.org/10.1002/prs.11576>

TOMOSK, S.; HAYSOM, J. E.; WRIGHT, D. Quantifying economic risk in photovoltaic power projects. *Renewable Energy*, 109 (2017) p. 422–433, 27, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.03.031>

WARD, S. C.; CHAPMAN, C. B. Risk-management perspective on the project lifecycle. *International Journal of Project Management*, 13(3), pp. 145-149, 1995. [https://doi.org/10.1016/0263-7863\(95\)00008-E](https://doi.org/10.1016/0263-7863(95)00008-E)