

**WORKSHOPS DE IDENTIFICAÇÃO DE MODOS DE FALHA:
DOCUMENTOS DE APOIO À APLICAÇÃO DO GUIA**

Catálogo para outras tipologias: usinas fotovoltaicas e aterros sanitários

Expressamos nossa gratidão ao Japan Special Fund (JSF) por viabilizar esta publicação por meio da cooperação técnica RG-T3528: Implementação da metodologia para fortalecer a resiliência ao risco de desastres e à mudança climática nos projetos do BID.

Coautoria: A produção e disseminação deste Guia Metodológico e seus Catálogos foram coordenadas por Raimon Porta e Ginés Suárez, com as valiosas contribuições de Julia Ciancio, María Alejandra Escovar e Adriana Zambrano. O desenvolvimento do conteúdo do Guia e a catalogação dos Modos de Falha foram realizados por Ignacio Escuder, Adrián Morales, Sandra Navarro e Helena Yarritu, equipe técnica da empresa consultora iPresas.

Agradecimentos: O processo de revisão técnica contou com a inestimável colaboração de Melissa Barandiarán, Karen Piñeros e Carolina Rogelis. O desenvolvimento do curso online de capacitação associado a este Guia foi realizado pela empresa TAEC com o apoio da equipe do INDES e o feedback de Álvaro Adam, Leandro Kazimierski e Luis Mora. A produção de conteúdo, sua publicação e difusão foram possíveis graças a Edoardo Brovero, Lara Chinarro, Wilhelm Dalaison, Maricarmen Esquivel, Patricia Henríquez, Sergio Lacambra, Roberto Leal, Katherine López, David Maier, Lidia Marcelino, Pamela Ogando, Harold Rodríguez e Serge Troch.

Design e diagramação: Alejandro Scaff.

Citação sugerida: Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID). Workshops de Identificação de Modos de Falha. Documentos de apoio à aplicação do Guia. Catálogo para outras tipologias: usinas fotovoltaicas e aterros sanitários.

Palavras-chave: modo de falha, infraestrutura, risco, desastre, resiliência, sustentabilidade.

Copyright©2025 Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID). Esta obra está sujeita a uma licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0 CÓDIGO LEGAL) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.pt>). Devem ser cumpridos os termos e condições indicados no link e deve ser feito o devido reconhecimento ao BID.

Qualquer controvérsia que surgir sob esta licença e que não puder ser resolvida amigavelmente será submetida à mediação não vinculante conforme as Regras de Mediação da OMPI, mediante notificação adequada. Caso não haja acordo, a controvérsia será submetida à arbitragem conforme as regras da Comissão das Nações Unidas para o Direito Comercial Internacional (CNUDCI). O uso do nome do BID para fins distintos do reconhecimento ou o uso do logotipo do BID não está autorizado por esta licença e requer um acordo adicional.

Observe que o link inclui termos e condições que fazem parte integrante desta licença.

As opiniões expressas nesta obra são exclusivamente dos autores e não refletem necessariamente os pontos de vista do Banco Interamericano de Desenvolvimento, de seu Diretório Executivo ou dos países que representa.



Documentos de apoio à aplicação do guia: Catálogo para outras tipologias: usinas fotovoltaicas e aterros sanitários

Siglas e abreviações	4
1. Introdução	5
I. Usinas fotovoltaicas	6
1. Características particulares a serem consideradas para usinas fotovoltaicas	6
1.1. Participantes	6
1.2. Revisão de informações	8
1.3. Visita técnica	8
2. Modos de Falha	9
2.1. Modos de Falha hidrológicos	11
2.2. Modos de Falha por ventos fortes	14
2.3. Modos de Falha por ressacas	19
2.4. Outros Modos de Falha	21
3. Relação de estudos técnico-científicos	24
4. Recomendações e boas práticas	25
II. Aterros sanitários	29
1. Características particulares para aterros sanitários	29
1.1. Participantes	29
1.2. Revisão de informações	31
1.3. Visita técnica	31
2. Modos de Falha	32
2.1. Modos de Falha estruturais	32
2.2. Outros Modos de Falha	32
3. Relação de estudos técnico-científicos	38
4. Recomendações e boas práticas	39
Referências	41

Siglas e abreviações

ANCOLD	<i>Australian National Committee on Large Dams</i> (Comitê Nacional Australiano de Grandes Barragens)
ASCE	<i>American Society of Civil Engineers</i> (Associação Americana de Engenheiros Cívicos)
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
CDA	<i>Canadian Dam Association</i> (Associação Canadense de Barragens)
CCS	Divisão de Soluções para Mudanças Climáticas do BID
CPR	Comunidade de Prática de Resiliência do BID
CWC	<i>Central Water Commission</i> (Comissão Central de Recursos Hídricos)
DRM	Unidade de Gestão de Riscos de Desastres do BID
ESG	Divisão de Soluções Ambientais e Sociais do BID
ESR	Unidade de Gestão de Riscos Ambientais e Sociais do BID
FERC	<i>Federal Energy Regulatory Commission</i> (Comissão Federal de Regulação de Energia)
FMEA	<i>Failure Modes and Effects Analysis</i> (Análise de Modos de Falha e seus Efeitos)
ICOLD	<i>International Commission on Large Dams</i> (Comissão Internacional de Grandes Barragens)
INE	Setor de Infraestrutura e Energia do BID
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (Organização Internacional de Normalização)
MARDMC	Metodologia de Avaliação de Riscos de Desastres e Mudanças Climáticas do BID (em inglês, DCCRAM)
MF	Modo de Falha
MPAS	Marco de Política Ambiental e Social do BID
OP-704	Política de Gestão de Riscos de Desastres do BID
PAE	Plano de Ação de Emergência
PGRD	Plano de Gerenciamento de Riscos de Desastres
SPANCOLD	Comitê Nacional Espanhol de Grandes
Barragens WIMF	Workshop de Identificação de Modos de Falha
USACE	<i>United States Army Corps of Engineers</i> (Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos)
USBR	<i>United States Bureau of Reclamation</i> (Departamento de Reabilitação Hídrica dos Estados Unidos)

1. Introdução

O objetivo deste documento, em conjunto com o “Guia Metodológico para a realização de Workshops de Identificação de Modos de Falha”, é desenvolver a metodologia dos Workshops de Identificação de Modos de Falha (WIMF) e sua aplicação específica a determinadas infraestruturas.

Os workshops constituem a parte principal da análise qualitativa de riscos de desastres e mudanças climáticas em infraestruturas. Por isso, e a fim de garantir a correta aplicação do guia, foram elaborados vários documentos de referência que fornecem, de maneira clara e abrangente para cada tipo de infraestrutura, as técnicas, os processos e as ferramentas necessárias para um adequado desenvolvimento dos Workshops de Identificação de Modos de Falha e a posterior tomada de decisões. Cabe destacar que a falha não significa necessariamente a ruptura da infraestrutura, mas também a perda do serviço que ela presta.

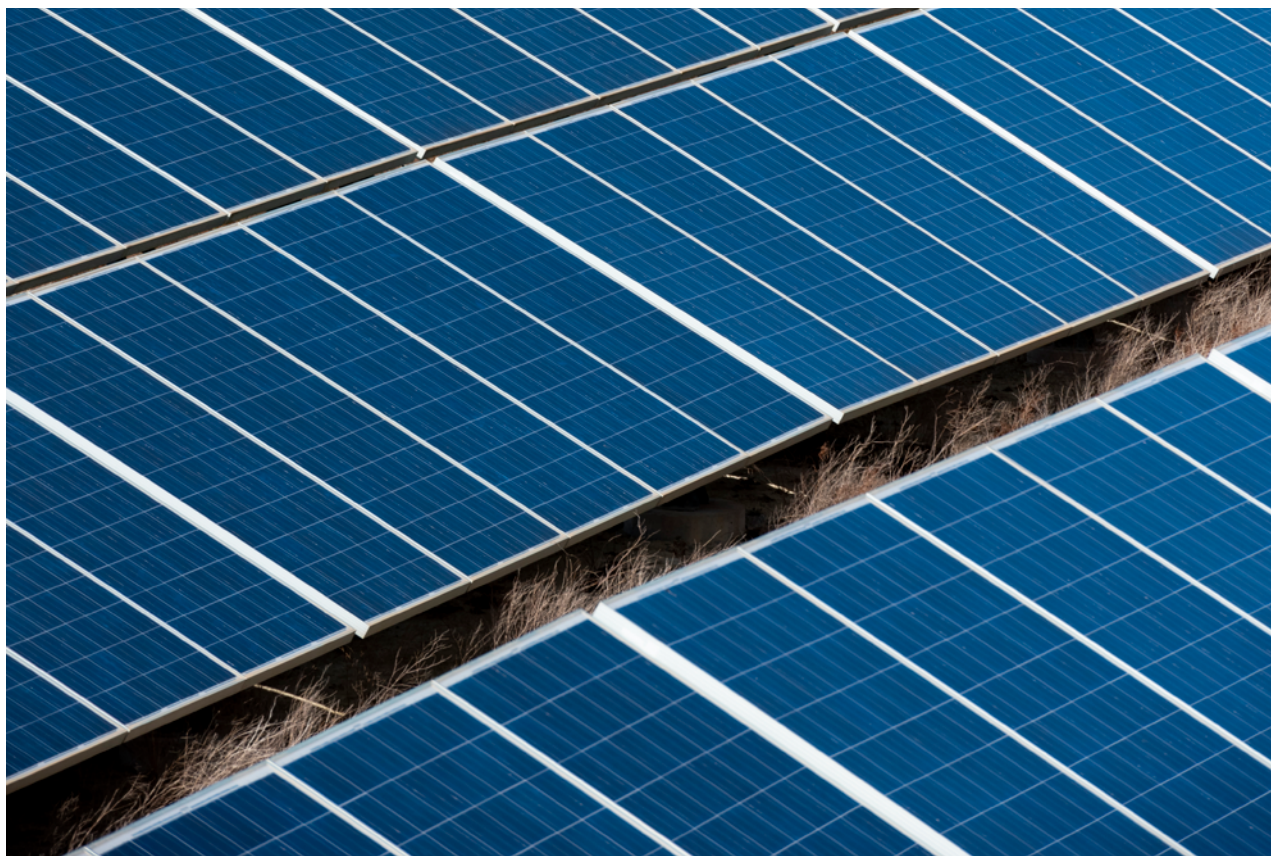
Especificamente, este Catálogo busca apoiar e complementar a aplicação do “Guia Metodológico para a realização de Workshops de Identificação de Modos de Falha” em infraestruturas singulares, particularmente nos casos de usinas fotovoltaicas e aterros sanitários.

Este documento está organizado em quatro seções. A primeira detalha as características particulares das infraestruturas singulares a serem consideradas na realização das sessões de Modos de Falha, abrangendo desde os participantes que devem estar presentes até os elementos-chave da revisão de informações e da visita técnica.

A segunda seção apresenta exemplos dos Modos de Falha mais representativos, classificados conforme seu evento desencadeador. Para cada Modo de Falha foi elaborada uma ficha que inclui sua descrição, um esquema e os fatores que influenciam o risco. Esses fatores podem aumentar ou diminuir o risco, dependendo da situação ou das informações disponíveis em cada infraestrutura analisada. Como será comentado posteriormente, esses exemplos servem de referência para o leitor, que deverá definir os Modos de Falha e fatores associados à sua infraestrutura ao longo dos Workshops, com a participação de todos os integrantes do grupo de trabalho.

Por fim, a terceira e a quarta seções incluem uma relação de estudos técnico-científicos e de recomendações e boas práticas, agrupadas segundo a tipologia dos Modos de Falha utilizada na segunda seção. Esses dois últimos módulos permitem enriquecer as práticas de intervenção dos Workshops de Identificação de Modos de Falha, enfatizando as questões que podem apresentar menor definição nos projetos ou maior relevância no design e na operação da infraestrutura.

II. Usinas fotovoltaicas



1. Características particulares a serem consideradas para placas fotovoltaicas

Neste item apresentam-se as características específicas associadas ao Workshop de Identificação de Modos de Falha para parques de placas fotovoltaicas. Em particular, os aspectos que diferem da metodologia geral exposta no guia estão relacionados com o número mínimo de participantes que devem comparecer e a viabilidade (ou não) de realizar a visita técnica online.

1.1 Participantes

As sessões de identificação de Modos de Falha são conduzidas por um facilitador e contam com um grupo de participantes. Para parques de placas fotovoltaicas, recomenda-se que o Workshop inclua, no mínimo, um técnico especialista nos seguintes campos:

- **Projeto das placas fotovoltaicas.** É recomendável a presença dos técnicos responsáveis pelo projeto e, quando aplicável, pela construção, para que compartilhem sua experiência, as problemáticas ocorridas e possíveis modificações no projeto original, bem como o processo construtivo adotado. Esses participantes enriquecem os Workshops de Modos de Falha, mas não são críticos para seu desenvolvimento, exceto em projetos ainda na fase de concepção, nos quais esse pessoal é essencial.
- **Hidrologia e hidráulica.** Em projetos de placas fotovoltaicas, a hidrologia e a hidráulica são importantes para avaliar o dimensionamento das obras de drenagem. Recomenda-se convidar o(s) especialista(s) que tenha(m) participado do estudo hidrológico-hidráulico

durante o projeto ou, na ausência deles, outro especialista que possa oferecer sua opinião. Em situações de inundação, hidrologia e hidráulica desempenham papel fundamental no design do sistema elétrico das placas fotovoltaicas. O especialista em hidrologia e hidráulica é relevante independentemente da fase em que a infraestrutura se encontre (projeto, construção ou operação) no momento de realizar o Workshop.

- **Técnico com experiência em medidas de adaptação à mudança climática.** Projetos de placas fotovoltaicas podem incluir um estudo hidrológico e/ou hidráulico das obras de drenagem, sendo, portanto, importante considerar a influência da mudança climática sobre a intensidade das precipitações e a variação das temperaturas. Recomenda-se convidar um especialista em riscos associados à mudança climática que possa contribuir com sua opinião. Independentemente da fase do projeto em que o Workshop seja realizado, é recomendada a participação desta figura na sessão.
- **Geologia, geotecnia e sismicidade da região.** Recomenda-se convidar o geólogo que participou do estudo geológico-geotécnico do projeto, ou, na sua ausência, outro especialista que possa contribuir com sua opinião sobre os materiais da fundação. Da mesma forma, se a infraestrutura estiver localizada em uma zona sísmica, o geólogo deve possuir conhecimento suficiente para identificar se os riscos foram analisados e se a infraestrutura foi projetada considerando essas solicitações. Independentemente da fase do projeto, recomenda-se a presença deste profissional no Workshop.
- **Elementos elétricos.** As placas fotovoltaicas possuem componentes elétricos, por isso é recomendável que pelo menos uma pessoa especialista no funcionamento desses elementos participe dos Workshops quando forem críticos para a segurança da infraestrutura.
- **Manutenção.** Caso o projeto esteja em fase de operação, recomenda-se a participação dos técnicos responsáveis pelas inspeções e manutenção das placas fotovoltaicas, pois sua experiência pode ser valiosa para identificar potenciais Modos de Falha relacionados a falhas de funcionamento e/ou operação.
- **Gestão de emergências.** Em infraestruturas fotovoltaicas em operação, recomenda-se convidar aos Workshops o pessoal encarregado da gestão de emergências. Esses participantes ajudam a compreender as consequências de uma falha ou mau funcionamento da infraestrutura, bem como entender como está organizado o sistema de gestão de emergências.
- **Representantes locais e de comunidades minoritárias** podem oferecer conhecimentos relevantes sobre a região para o desenvolvimento do Workshop, por exemplo, indicando quais áreas do parque fotovoltaico são afetadas por chuvas fortes ou como são impactadas por ameaças naturais específicas da zona
- **Especialistas externos.** Esses especialistas não apenas aportam seu vasto conhecimento em placas fotovoltaicas, como também oferecem uma visão externa ao projeto, evidenciando aspectos que podem passar despercebidos pelos técnicos envolvidos diretamente, por estarem imersos no projeto.

Ainda que esses sejam os atores recomendados para a realização dos Workshops de Modos de Falha em parques fotovoltaicos, cada obra deve ser analisada individualmente para definir quais dos atores listados são realmente necessários em cada caso específico, assim como avaliar a necessidade de incluir outros participantes.

1.2 Revisão das informações

Conforme explicado no documento “Guia Metodológico para a Realização de Workshops de Identificação de Modos de Falha”, a revisão e análise das informações existentes constitui o primeiro passo para a identificação de Modos de Falha e deve abranger todos os aspectos-chave relacionados à gestão da segurança, partindo das fases de concepção e construção da infraestrutura, passando pela avaliação do sistema, até o funcionamento e o estado atual da infraestrutura.

A revisão das informações deve incluir os pontos-chave dos documentos disponíveis. Por isso, do ponto de vista conceitual, os elementos fundamentais a serem considerados para a análise de parques de placas fotovoltaicas durante a revisão das informações estão ilustrados na Figura 1.

Cabe destacar que alguns pontos-chave mencionados neste esquema podem não ser necessários, dependendo da fase em que se encontra o projeto da infraestrutura. Por exemplo, como é previsível, o estado atual da infraestrutura não será considerado no caso de projetos ainda em fase de planejamento.

Figura 1. Elementos-chave da revisão das informações



1.3 Visita técnica

A visita técnica é uma das principais etapas dos Workshops, pois permite ter uma visão integral do estado atual da infraestrutura e detectar possíveis danos que possam resultar em falhas da infraestrutura.

Essa tarefa é recomendável ser realizada de forma presencial, pois permite uma inspeção mais detalhada por parte dos especialistas. No entanto, em algumas infraestruturas, pode-se considerar a realização online caso a opção presencial não seja viável logisticamente.

Esta seção apresenta a viabilidade ou não de inspecionar as placas fotovoltaicas de forma online.

No caso de parques de placas fotovoltaicas de grande extensão, é interessante realizar o Workshop de forma online, apresentando vídeos e fotos aéreas da infraestrutura feitas por drone.

Isso se deve à ampla área a ser visitada exigida por um projeto de grandes dimensões. Por esse motivo, é recomendável realizar o Workshop online, pois o vídeo feito com drone oferece rapidamente uma visão geral da infraestrutura. Caso seja necessário observar detalhes das placas fotovoltaicas, como o sistema elétrico ou a orientação dos painéis, deve-se considerar a opção de realizar a visita presencialmente, já que pode fornecer informações relevantes que não seriam obtidas apenas por meio de imagens de drone.

2. Modos de Falha

A seguir, são enumerados os Modos de Falha mais característicos para placas fotovoltaicas, segundo a tipologia, entre os quais se encontram Modos de Falha hidrológicos, por ventos fortes, por ressacas e outros.

2.1. Modos de Falha HIDROLÓGICOS:	10
• Inundação pluvial e danos elétricos	10
• Erosão da fundação do painel	11
• Danos elétricos devido à chuva	12
2.2. Modos de Falha POR VENTOS FORTES:	13
• Danos no painel por queda de entulhos	13
• Levantamento do painel laminado	14
• Falha na abraçadeira	15
• Falha na fundação	16
• Falha em cascata dos painéis	17
2.3. Modos de Falha POR RESSACA:	18
• Ressaca e danos elétricos	18
• Destruição dos painéis por ressacas	19
2.4. OUTROS Modos de Falha:	20
• Incêndio na usina solar	20
• Danos por nível freático elevado	21
• Danos no ponto de conexão	22

A seguir, desenvolvem-se os Modos de Falha mais representativos para placas fotovoltaicas e detalham-se os fatores que influenciam o risco do Modo de Falha. Tanto os Modos de Falha quanto os fatores estão definidos de maneira geral, ou seja, o leitor pode utilizá-los como referência, mas deverá desenvolver seus próprios Modos de Falha ao longo do Workshop e com a participação de todos os integrantes do grupo de trabalho.

Da mesma forma, os fatores estão redigidos de forma neutra para cada Modo de Falha, com a finalidade de que o leitor os utilize como referência, cabendo a ele decidir, para o seu caso concreto, se os fatores aumentam ou diminuem o risco do respectivo Modo de Falha.

Existe uma série de fatores que, de alguma forma, influenciam o risco de todos os Modos de Falha. Por esse motivo e com o objetivo de evitar repetições em cada uma das descrições elaboradas para os Modos de Falha característicos, esses fatores são apresentados na lista a seguir e não se repetem nas tabelas posteriores.

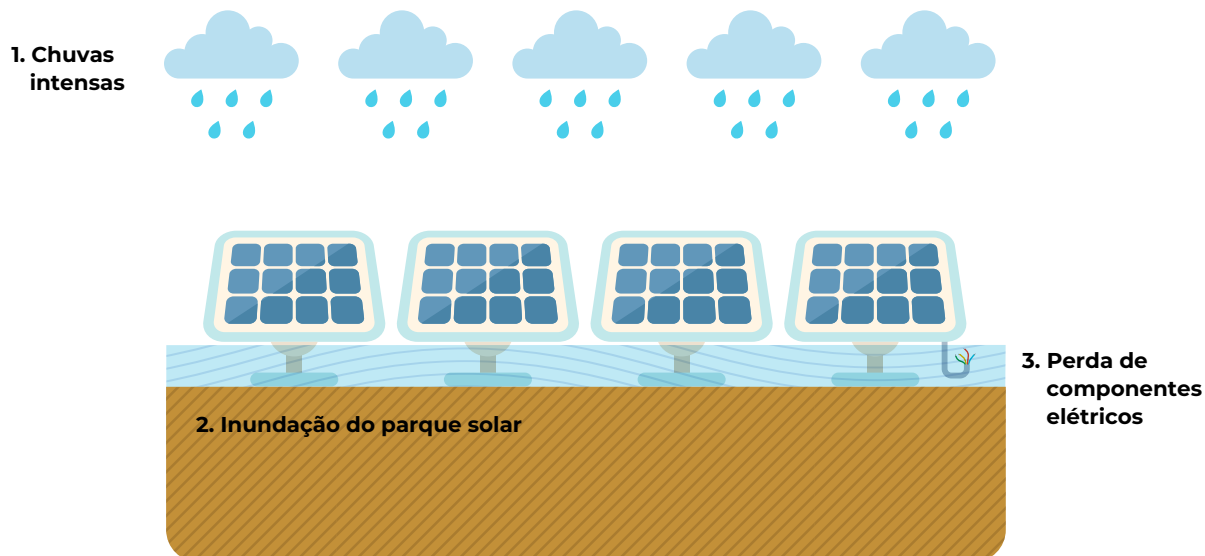
Fatores a considerar em todos os Modos de Falha de placas fotovoltaicas:

- Disponibilidade de recursos para os estudos prévios ou de pré-investimento dos projetos de placas fotovoltaicas.
- Controle de qualidade e supervisão no projeto das obras de placas fotovoltaicas e na sua construção.
- Existência de um sistema alternativo para fornecer energia aos serviços essenciais associados à usina em caso de falha.
- Dependência energética da região em relação à usina, existência de outras fontes de energia.

2.1 Modos de Falha hidrológicos

INUNDAÇÃO PLUVIAL E DANOS ELÉTRICOS

Em cenário hidrológico, devido às chuvas intensas na região e à falta de capacidade do sistema de drenagem da usina, a planta de painéis solares pode ser inundada. Essa inundação pode danificar os componentes elétricos e, potencialmente, causar danos maiores.

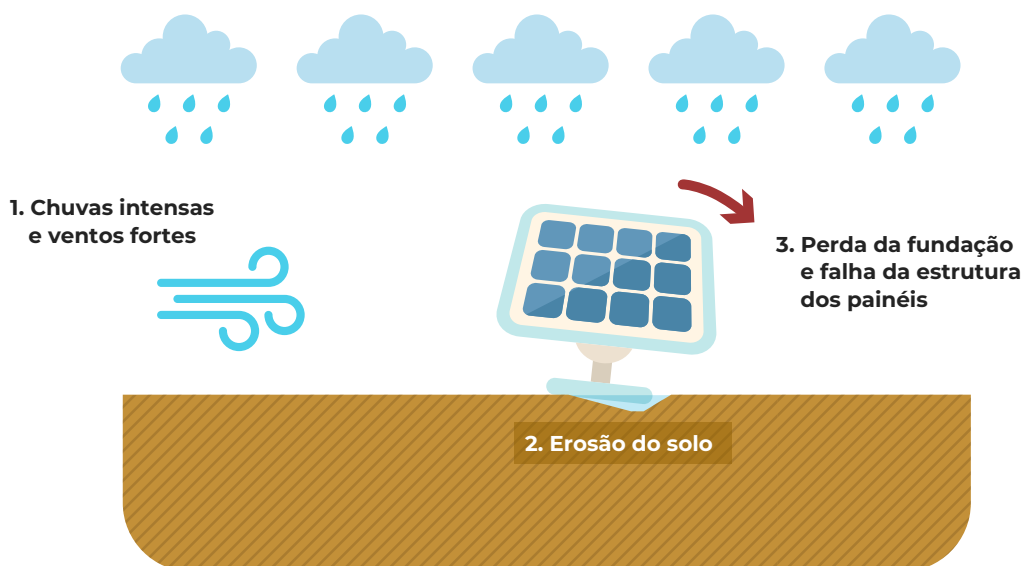


Fatores que influenciam o risco

- Localização da planta (terreno geralmente plano ou com pequenas inclinações).
- Influência das mudanças climáticas na intensidade e frequência das precipitações.
- Existência de um estudo de riscos de inundação na localização da planta.
- Existência e dimensionamento adequado das obras de drenagem.
- Registro de eventos similares na última década.

EROSÃO DA FUNDAÇÃO DO PAINEL

Em cenário hidrológico, as chuvas torrenciais e os ventos fortes afetam a área. A chuva pode provocar o afrouxamento do solo ao redor das fundações, levando à erosão ou afundamento localizado da área da fundação. Por fim, devido aos ventos fortes, a estrutura do painel solar pode falhar por tombamento.

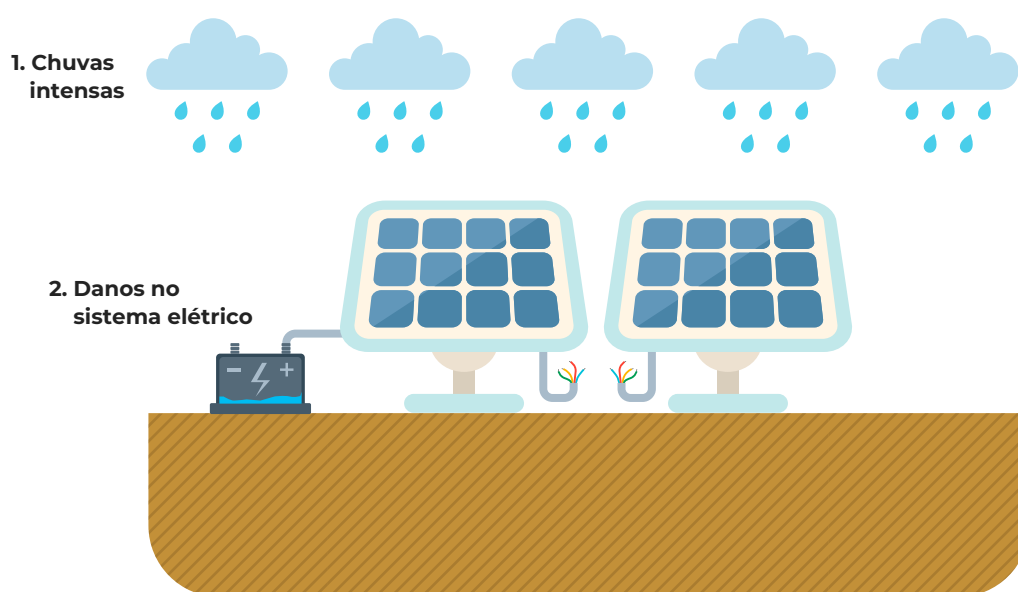


Fatores que influenciam o risco

- Disponibilidade de estudos e ensaios geotécnicos.
- Registro de eventos similares na região.
- Estudos sobre o vento na área (direções, frequência, magnitude...)
- Influência das mudanças climáticas sobre a frequência e intensidade de eventos extremos.
- Definição do material em que a placa solar está fundamentada.
- Características do material do terreno.
- Tempo de reposição da infraestrutura danificada.
- Consequências econômicas em caso de falha.

DANOS ELÉTRICOS DEVIDO À CHUVA

Em cenário hidrológico, chuvas torrenciais podem afetar os componentes elétricos da planta fotovoltaica de diferentes maneiras. Em primeiro lugar, podem inutilizar o sistema elétrico, gerando um curto-circuito caso haja um cabo desconectado ou se a capa estiver danificada. Por outro lado, a chuva pode penetrar nos quadros elétricos ou nos inversores, provocando corrosão e falhas de funcionamento. Por fim, outros componentes podem sofrer corrosão se permanecerem molhados por um período prolongado.



Fatores que influenciam o risco

- Localização do ponto de conexão entre a usina e a central, se é externo ou subterrâneo.
- Potencial de corrosão dos grampos.
- Influência das mudanças climáticas sobre a frequência e intensidade de eventos extremos.
- Tempo de reposição da infraestrutura danificada.
- Consequências econômicas em caso de falha.

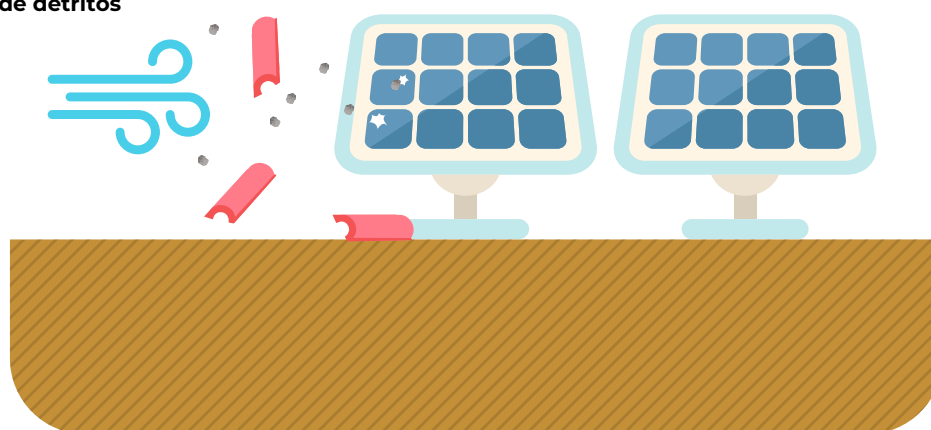
2.2. Modos de Falha por ventos fortes

DANOS NO PAINEL DEVIDO À QUEDA DE DETRITOS

Em cenário de furacão, os ventos fortes podem atingir a área. Esses ventos podem arrastar detritos que colidem com o vidro dos painéis e os danificam. Se um painel for danificado, o funcionamento normal da usina será afetado.

1. Ventos fortes e arraste de detritos

2. Danos nos painéis

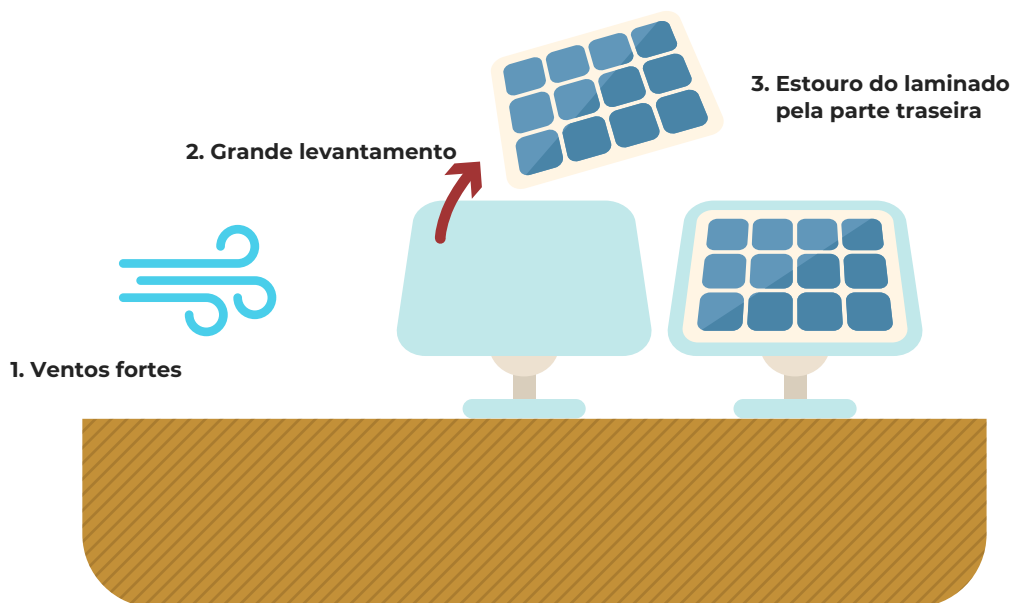


Fatores que influenciam o risco

- Material de que são feitos os painéis solares.
- Influência das mudanças climáticas sobre a frequência e intensidade de eventos extremos.
- Registro de eventos semelhantes na região.
- Estudos sobre o vento na região (direções, frequência, magnitude...).
- Tempo de reposição da infraestrutura danificada.
- Estatísticas de danos em eventos semelhantes.
- Afetação ao conjunto da usina fotovoltaica, se afeta uma porcentagem pequena ou grande dos painéis.

LEVANTAMENTO DA PLACA

Em cenário de furacão, os ventos fortes podem afetar a região. Se as braçadeiras não forem suficientemente resistentes, esses ventos podem levantar a placa e o vidro da parte traseira do painel, destruindo-o. Além disso, se esses objetos forem lançados ao ar, podem atingir e causar danos aos painéis solares ao redor caso caiam sobre eles.

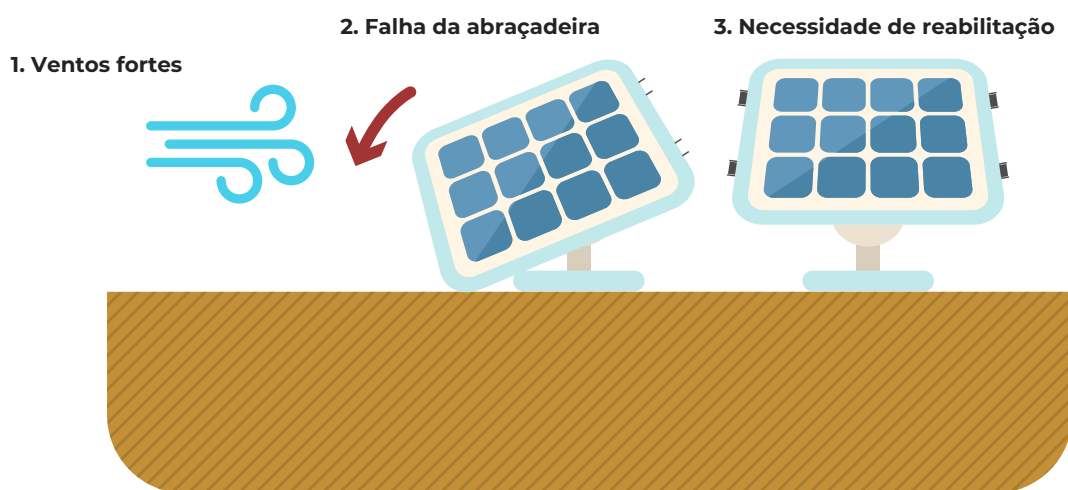


Fatores que influenciam o risco

- Material com o qual os painéis solares são feitos.
- Registro de eventos similares na região.
- Estudos sobre o vento na região (direções, frequência, magnitude...).
- Influência das mudanças climáticas sobre a frequência e intensidade de eventos extremos.
- Tempo de reposição da infraestrutura danificada.
- Estatísticas de danos em eventos similares.
- Afeção ao conjunto da usina fotovoltaica, se afeta uma porcentagem pequena ou grande dos painéis.

FALHA DA ABRAÇADEIRA

Em cenário de furacão, os ventos fortes podem afetar a região. Se as abraçadeiras se soltarem devido às vibrações geradas pelo vento, ou não estiverem bem mantidas, o painel pode cair e se danificar.

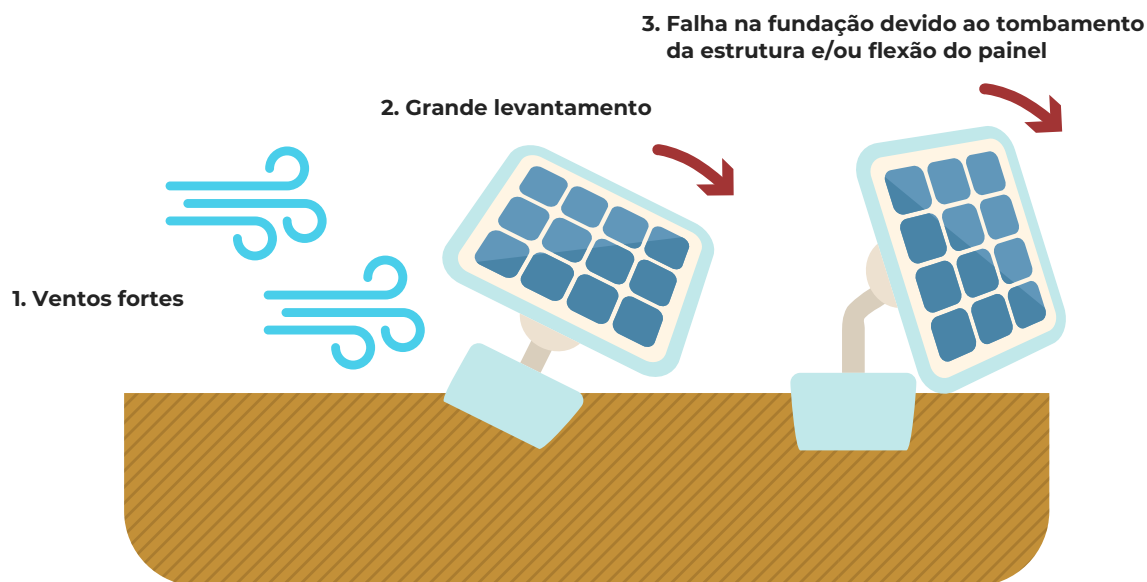


Fatores que influenciam o risco

- Registro de eventos semelhantes na região.
- Estudos sobre o vento na região (direções, frequência, magnitude...).
- Influência das mudanças climáticas sobre a frequência e intensidade de eventos extremos.
- Tempo de reposição da infraestrutura danificada.
- Consequências econômicas.
- Afeção ao conjunto da usina fotovoltaica, se afeta uma porcentagem pequena ou grande dos painéis.

FALHA NA FUNDAÇÃO

Em cenário de ventos fortes, os ventos intensos podem afetar a região. Esses ventos podem levantar a estrutura da placa fotovoltaica, o que significa que toda a estrutura do painel solar pode tombar devido a uma falha na fundação ou a deformações na estrutura tubular.

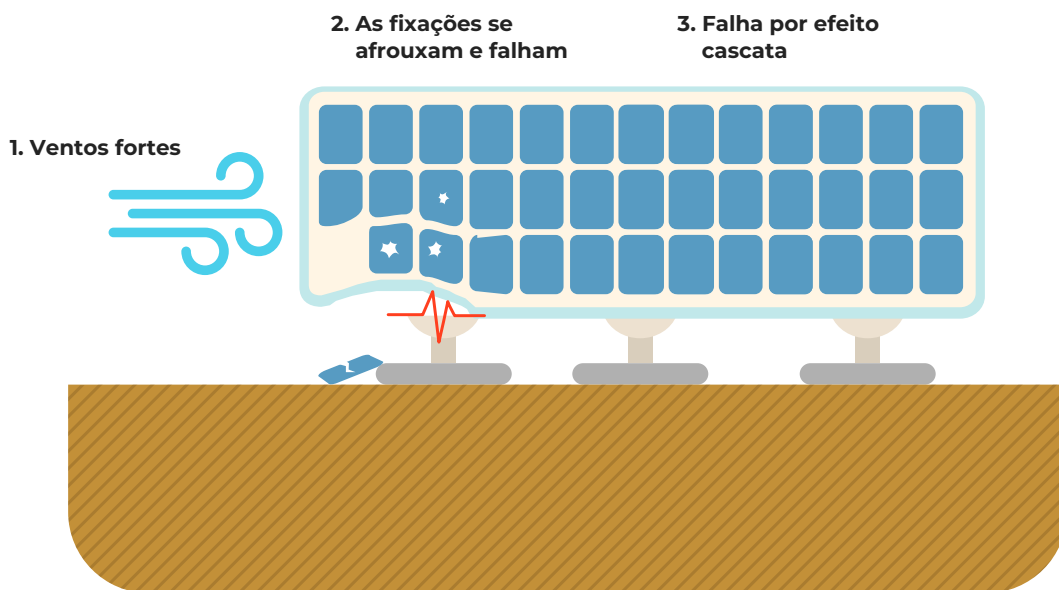


Fatores que influenciam o risco

- Disponibilidade de estudos e ensaios geotécnicos.
- Qualidade dos estudos da fundação.
- Registro de eventos similares na região.
- Estudos dos ventos na área (direções, frequência, magnitude...)
- Influência das mudanças climáticas sobre a frequência e intensidade de eventos extremos.
- Tempo de reposição da infraestrutura danificada.
- Consequências econômicas.
- Definição do material sobre o qual a placa solar está fundeada.
- Características do material do terreno.
- Afeição ao conjunto da planta fotovoltaica, se afeta uma pequena ou grande porcentagem dos painéis.

FALHA EM CASCATA DOS PAINÉIS

Em cenário de ventos fortes, os ventos intensos podem afetar a área. Esses ventos podem afrouxar as fixações, provocando uma falha estrutural, ou seja, o tombamento do painel fotovoltaico. Dado que as usinas de painéis solares estão estruturadas em fileiras e os painéis estão conectados entre si por abraçadeiras, qualquer tombamento afetará toda a fileira, gerando uma falha em cascata e comprometendo o funcionamento normal da planta.



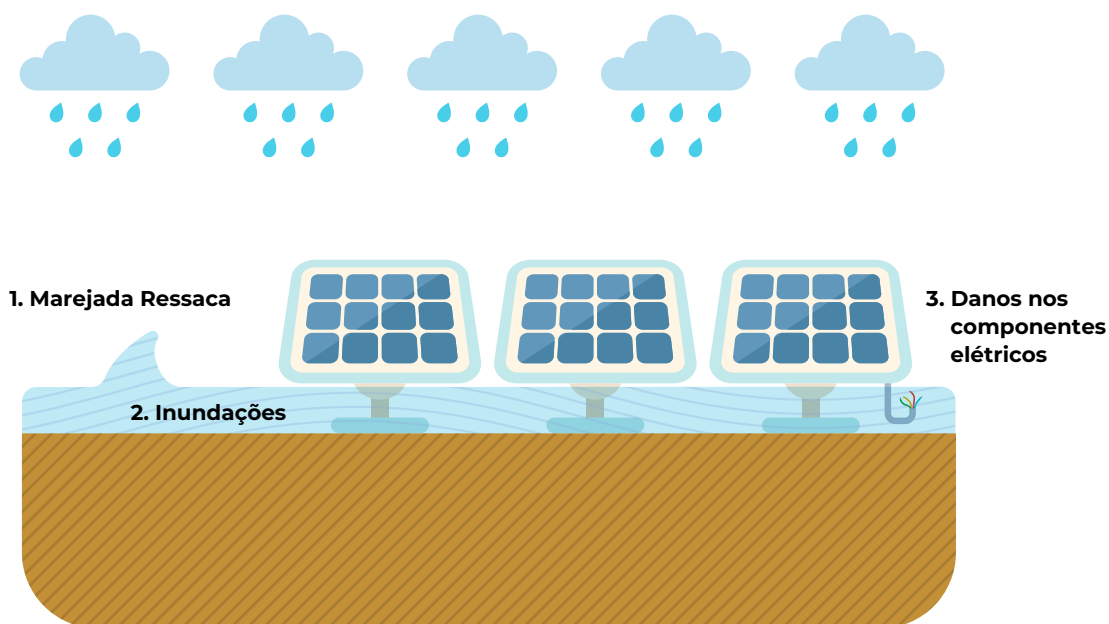
Fatores que influenciam o risco

- Registro de eventos semelhantes na região.
- Estudos dos ventos na região (direções, frequência, magnitude...)
- Influência das mudanças climáticas sobre a frequência e intensidade de eventos extremos.
- Tempo de reposição da infraestrutura danificada.
- Consequências econômicas.

2.3. Modos de Falha por Ressacas

RESSACA E DANOS ELÉTRICOS

Em um cenário de furacão, o nível do mar pode subir devido a uma ressaca. Isso pode inundar algumas áreas, incluindo a planta de painéis solares, causando danos aos componentes elétricos.



Fatores que influenciam o risco

- Propriedade corrosiva da água do mar.
- Potencial de corrosão das abraçadeiras.
- Registro de eventos semelhantes na região.
- Estatísticas de danos em eventos semelhantes.
- Localização da planta (se o terreno é plano ou inclinado)
- Altitude da localização da planta fotovoltaica.
- Tempo de reposição da infraestrutura danificada.
- Consequências econômicas.
- Existência de um estudo de riscos de inundação na localização da planta.
- Existência e dimensionamento adequado das obras de drenagem.

DESTRUIÇÃO DOS PAINÉIS POR RESSACA

Em um cenário de furacão, o nível do mar pode subir devido a uma ressaca. Isso pode inundar algumas áreas, incluindo a usina de painéis solares. Caso a inundação atinja a planta fotovoltaica, poderá erodir os alicerces e provocar o tombamento e a destruição dos painéis. Além disso, se a corrente for suficientemente forte, poderá arrastá-los.



Fatores que influenciam o risco

- Propriedade corrosiva da água do mar.
- Potencial de corrosão das abraçadeiras.
- Registro de eventos similares na região.
- Estatísticas de danos em eventos similares.
- Disponibilidade de estudos e ensaios geotécnicos.
- Qualidade dos estudos da fundação.
- Definição do material sobre o qual a placa solar está assentada.
- Existência de um estudo de riscos de inundação na localização da usina.
- Localização da usina (terreno geralmente plano ou com declives).
- Altitude da localização da usina fotovoltaica.
- Tempo de reposição da infraestrutura danificada.
- Consequências econômicas.
- Existência e dimensionamento adequado das obras de drenagem.

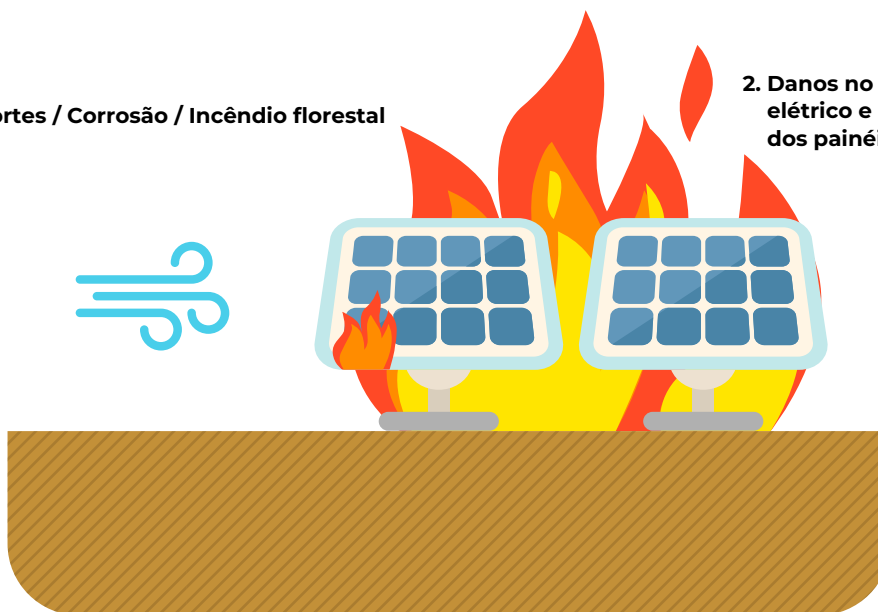
2.4. Outros Modos de Falha

INCÊNDIO NA USINA SOLAR

Em um cenário com ventos fortes e/ou corrosão que danifique o sistema elétrico (ou em um cenário com incêndios florestais), pode ocorrer um incêndio. Se o fogo alcançar a usina fotovoltaica, poderá destruir os painéis solares e/ou os edifícios da instalação, afetando também a fiação que conecta os painéis solares.

1. Ventos fortes / Corrosão / Incêndio florestal

2. Danos no sistema elétrico e destruição dos painéis

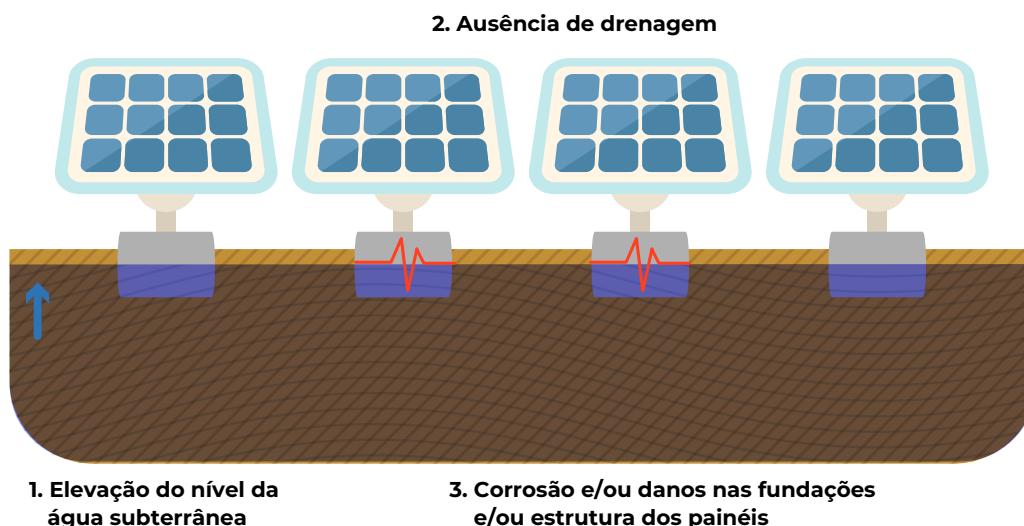


Fatores que influenciam o risco

- Influência das mudanças climáticas sobre a frequência e intensidade de eventos extremos.
- Estudos sobre o vento na região (direções, frequência, magnitude...).
- Tempo de reposição da infraestrutura danificada.
- Vulnerabilidade dos elementos ao fogo.
- Presença de elementos inflamáveis.
- Umidade da região e dos elementos inflamáveis.

DANOS DEVIDO AO ALTO NÍVEL DO LENÇOL FREÁTICO

Em um cenário em que o nível da água subterrânea seja elevado e não haja drenagem, pode ocorrer alta umidade e/ou intrusão de água do mar nas estacas dos painéis solares. Essa intrusão pode causar a corrosão da estrutura dos painéis e/ou das fundações, o que pode levar a um desempenho estrutural inadequado a longo prazo e provocar seu colapso.

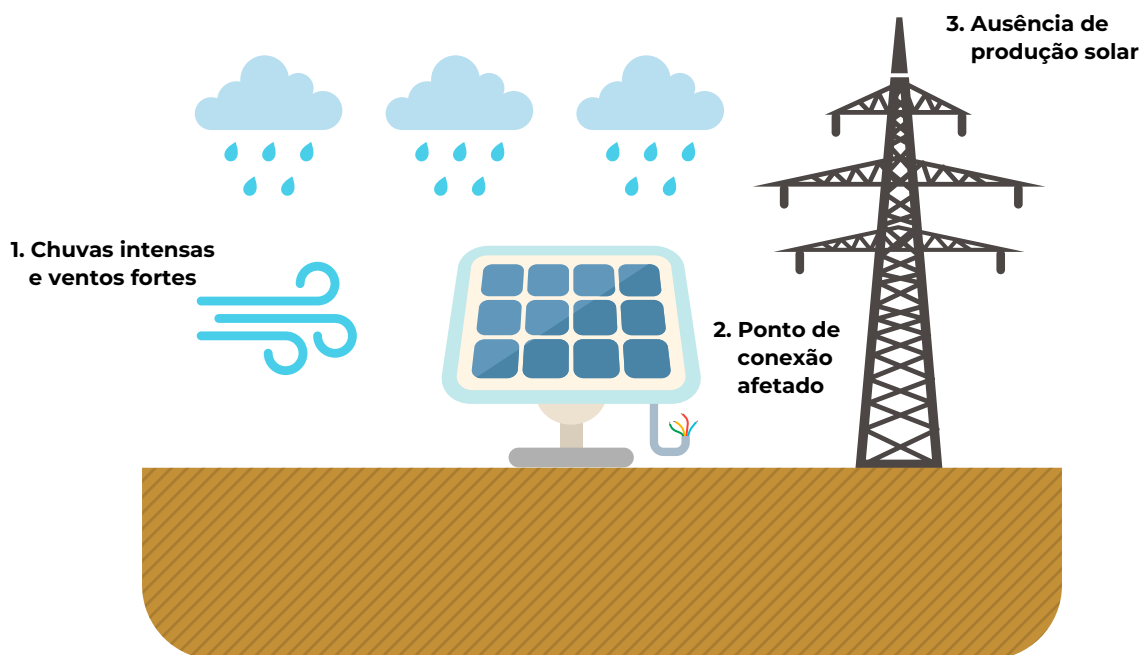


Fatores que influenciam o risco

- Propriedade corrosiva da água do mar.
- Localização do ponto de conexão entre a usina e a central, se é externo ou subterrâneo.
- Localização da usina (terreno geralmente plano ou com pequenas inclinações).
- Altitude da localização da usina fotovoltaica.
- Existência de um estudo de riscos de inundação na localização da usina.
- Disponibilidade de estudos e ensaios geotécnicos.
- Existência e dimensionamento adequado das obras de drenagem.

DANOS NO PONTO DE CONEXÃO

Em um cenário de furacão, chuvas torrenciais e/ou ventos fortes podem afetar o ponto de conexão se este não estiver bem isolado. Isso pode provocar a ausência de produção solar e perdas econômicas.



Fatores que influenciam o risco

- Número de pontos de conexão.
- Localização do ponto de conexão entre a usina e a central: exterior ou subterrâneo?
- Estanqueidade do ponto de conexão.
- Influência das mudanças climáticas sobre a frequência e intensidade de eventos extremos.

3. Relação de estudos científico-técnicos

Nesta seção são mencionados uma série de estudos científico-técnicos, segundo a tipologia dos Modos de Falha, que devem ser considerados para reduzir o risco dos Modos de Falha e diminuir a incerteza, a fim de melhorar o projeto das usinas fotovoltaicas e seus painéis.

MODO DE FALHA HIDROLÓGICO

- Coletar dados meteorológicos.
- Levar em conta eventos extremos devido às mudanças climáticas.
- Estudo de inundação da área.
- Estudo estrutural da infraestrutura.
- Estudo geológico e geotécnico da fundação.
- Plano de Ação de Emergência.

MODO DE FALHA POR VENTOS FORTES

- Estudo estrutural da infraestrutura.
- Estudo geológico e geotécnico da fundação.

MODO DE FALHA POR RESSACAS

- Coletar dados meteorológicos.
- Levar em conta eventos extremos devido às mudanças climáticas.
- Estudo estrutural da obra de proteção.
- Estudo geológico e geotécnico da fundação.
- Plano de Ação de Emergência.

OUTROS MODOS DE FALHA

- Planos de ordenamento urbano dos municípios afetados pelo parque de painéis fotovoltaicos.
- Planos de operação e manutenção dos painéis fotovoltaicos.
- Protocolos de alerta à população em caso de incêndio.
- Planos de Ação de Emergência.
- Estudos de impacto ambiental.

4. Recomendações e boas práticas

A seguir, apresenta-se uma série de recomendações e boas práticas de intervenção conforme as tipologias de Modos de Falha.

MODO DE FALHA HIDROLÓGICO

Para reduzir o risco dos Modos de Falha de tipologia hidrológica, deve-se considerar:

- No caso de ausência de dados de precipitação no país devido à escassez de rede de estações meteorológicas e à alta variabilidade geográfica das chuvas, deverão ser realizadas as análises e ajustes pertinentes das séries históricas.
- Deve-se considerar a incerteza nos dados de precipitação existentes devido a problemas no registro e na manutenção da rede.
- É necessário levar em conta a grande variabilidade climática entre diferentes anos.
- Considerar os estudos existentes sobre mudança climática, uma vez que esta acarretará maior recorrência de chuvas extremas e picos de vazão.
- O projeto deve incluir um desenho detalhado do sistema de drenagem, garantindo a drenagem adequada de toda a usina solar e evitando concentrações de escoamento que possam causar erosão do solo.
- Posicionar as instalações elétricas dos painéis solares (interconexões, caixas string etc.) nas partes mais elevadas das estruturas, para evitar problemas em caso de inundações.
- Localizar os centros de transformação da usina em terrenos elevados, para evitar a entrada de água por escoamento superficial e inundações.
- Devem ser analisadas as características topográficas, geológicas, hidrogeológicas e geotécnicas do terreno onde serão instalados os painéis solares. A abrangência das investigações e estudos a realizar deve permitir a caracterização dos terrenos afetados pela obra e a obtenção dos parâmetros necessários para determinar a resistência, deformabilidade, permeabilidade e estabilidade físico-química do solo.
- Os parâmetros de resistência utilizados nos cálculos devem ser justificados com um número suficiente de ensaios, além de outros métodos indiretos que contribuam para uma estimativa mais robusta.
- Devem ser consideradas as ações sísmicas sobre os painéis solares, conforme a atividade sísmica da região onde se localiza a infraestrutura.
- Realizar visitas técnicas ao local de instalação dos painéis fotovoltaicos para detectar possíveis aspectos não considerados durante o projeto ou investigar as causas de mau funcionamento.
- Elaborar um Manual de Operação e Manutenção da infraestrutura, a fim de dispor dos procedimentos e do pessoal necessário para a execução das tarefas operacionais e de manutenção. Recomenda-se que o manual inclua: tarefas a serem realizadas (inspeções, medições, manutenção de instrumentação, revisões de segurança etc.), os responsáveis por cada tarefa, a periodicidade de cada uma delas e o departamento/administração local correspondente.

MODO DE FALHA – VENTOS FORTES

Para reduzir o risco dos Modos de Falha da tipologia de ventos fortes, devem ser consideradas as seguintes recomendações:

- Realizar cálculos estruturais considerando a ação do vento.
- Com o objetivo de reduzir a incerteza sobre as cargas de projeto do vento, recomenda-se realizar um estudo específico de ventos para o local do parque de painéis fotovoltaicos. As mudanças climáticas devem ser incorporadas à modelagem.
- Selecionar uma carga de projeto superior à velocidade do vento recomendada nas Diretrizes da ASCE (*American Society of Civil Engineers*) e em outros estudos, considerando também que as mudanças climáticas podem aumentar a frequência e intensidade dos furacões no futuro.
- Para que a estrutura dos painéis suporte a ação do vento, recomenda-se projetar os fundamentos e estruturas de suporte com cálculos de engenharia específicos. As barras e conexões devem ter resistência suficiente e os fundamentos devem ter profundidade e largura adequadas.
- Incluir uma análise de ressonância dessas estruturas para avaliar o efeito potencial das cargas dinâmicas do vento sobre as estruturas de suporte dos painéis.
- Prever separação suficiente entre estruturas e armações para evitar falhas em cascata.
- Analisar a viabilidade de incluir muros corta-vento externos que impeçam a projeção de detritos sobre a planta durante esses eventos.
- O uso de cabos subterrâneos no nível de distribuição dentro da usina, quando possível, pode reduzir falhas causadas por ventos fortes ou pelo impacto de detritos em linhas aéreas, subestações, equipamentos ou transformadores.
- Realizar a manutenção da infraestrutura.
- Os painéis fotovoltaicos e suas fundações devem dispor de equipamentos de instrumentação adequados para permitir a análise periódica de seu comportamento e detectar anomalias que possam comprometer sua segurança.
- Proteger os equipamentos de monitoramento com ferramentas para a detecção e prevenção de vandalismo contra esses elementos.

MODO DE FALHA – RESSACAS

Para reduzir o risco dos Modos de Falha por ressacas, devem ser consideradas as seguintes recomendações:

- Considerar o conhecimento disponível sobre as possíveis alterações de longo prazo nas condições hidrológicas e os potenciais impactos das mudanças climáticas. Deve-se justificar o grau de confiabilidade das metodologias utilizadas no projeto.
- Realizar visitas técnicas ao local onde estão instalados os painéis fotovoltaicos para identificar possíveis aspectos não contemplados no projeto ou investigar as causas de eventuais falhas de funcionamento da infraestrutura.
- Devem ser analisadas as características topográficas, geológicas, hidrogeológicas e geotécnicas do terreno onde se pretende construir os painéis fotovoltaicos. A abrangência das investigações e estudos a serem realizados deve permitir a caracterização dos terrenos afetados pela instalação dos painéis e a obtenção dos parâmetros necessários para os cálculos de resistência, deformabilidade, permeabilidade e estabilidade físico-química do solo.
- Os parâmetros de resistência utilizados nos cálculos devem ser justificados com um número suficiente de ensaios, além de outros métodos indiretos que contribuam para maior robustez na estimativa.
- Elaborar um Manual de operação e manutenção da infraestrutura, a fim de dispor dos procedimentos e da equipe necessária para realizar as atividades de operação e manutenção. Recomenda-se que o manual inclua: tarefas a serem realizadas (inspeções, medições, manutenção da instrumentação, revisões de segurança etc.), os responsáveis por cada atividade, a periodicidade de cada uma e o departamento/administração local ao qual estão vinculados.

OUTROS MODOS DE FALHA

Para reduzir o risco dos outros Modos de Falha, devem ser consideradas as seguintes recomendações:

- Em casos de problemas sociais, deve-se considerar a opinião da população e realizar reuniões para tentar chegar a acordos.
- Devem ser criados sistemas de alerta para incêndios, elaborados planos de evacuação e definidos os procedimentos de atuação dos serviços de emergência.
- Deve ser elaborado um plano ambiental que especifique os usos e limitações do solo.
- Utilizar componentes de montagem que contenham os mesmos metais ou metais com potencial eletroquímico semelhante. Se os componentes forem compostos por dois metais com grande diferença de potencial eletroquímico, devem ser adicionadas arruelas isolantes entre os componentes.
- Dispor de um sistema de comunicações que permita a supervisão contínua do funcionamento dos diferentes equipamentos, bem como seu controle remoto e regulação da produção.
- A planta deve contar com geradores a diesel que possam suprir altas demandas ou atuar em caso de falha da planta fotovoltaica.
- O sistema de baterias deve estar localizado em um ponto elevado da planta e com conexão direta à subestação transformadora para garantir estabilidade à rede e permitir que os geradores a diesel se adaptem às flutuações da geração solar.
- O estudo de pré-viabilidade do projeto deve analisar qual configuração seria mais adequada para os inversores da usina (centralizada ou descentralizada), visando maior resistência aos riscos naturais.
- Para reduzir danos à usina durante furacões ou inundações, deve ser realizado um estudo sobre a separação física dos geradores fotovoltaicos (conjuntos de módulos de painéis solares). Essa separação pode ser complementada com a separação elétrica dos geradores, utilizando várias usinas conectadas por meio de um anel de média tensão para reduzir a vulnerabilidade do projeto.
- A configuração da usina solar deve possibilitar a geração de energia em modo isolado (“modo ilha”) caso a rede externa seja perdida. Nessa situação, os inversores devem estar preparados para criar sua própria rede e desconectar-se da rede externa, fornecendo energia a serviços essenciais como hospitais.
- Dispor de um Plano de Ação de Emergência que detalhe todas as ações a serem tomadas antes e depois de um furacão, além de descrever os procedimentos de comunicação e gestão durante os eventos.

II. Aterros sanitários



1. Características particulares para aterros sanitários

Ao longo deste documento apresentam-se as características específicas associadas ao Workshop de Identificação de Modos de Falha para aterros sanitários. Em particular, os aspetos que diferem da metodologia geral exposta no guia estão relacionados com o número mínimo de participantes que devem comparecer e a viabilidade, ou não, de realizar a visita técnica online.

1.1 Participantes

As sessões de identificação de Modos de Falha são conduzidas por um facilitador e contam com um grupo de participantes. Para aterros sanitários recomenda-se que o Workshop inclua, no mínimo, um técnico especialista nos seguintes campos:

- **Projeto do aterro sanitário.** É recomendável a presença dos técnicos responsáveis pelo projeto e, quando aplicável, pela construção, para que compartilhem sua experiência, as problemáticas ocorridas e possíveis modificações no projeto original, bem como o processo construtivo adotado. Esses participantes enriquecem os Workshops de Modos de Falha, mas não são críticos para seu desenvolvimento, exceto em projetos ainda na fase de concepção, nos quais esse pessoal é essencial.
- **Hidrologia e hidráulica.** Recomenda-se convidar o(s) especialista(s) que tenha(m) participado do estudo hidrológico-hidráulico durante o projeto das obras ou, na ausência deles, outro especialista que possa oferecer sua opinião.

- Em situações de inundação, a **hidrologia e a hidráulica** desempenham papel fundamental no dimensionamento do sistema de drenagem dos aterros sanitários. O especialista em hidrologia e hidráulica é relevante independentemente da fase em que a infraestrutura se encontre (projeto, construção ou operação) no momento de realizar o Workshop.
- **Técnico com experiência em medidas de adaptação à mudança climática.** Projetos de aterros sanitários incluem um estudo hidrológico e/ou hidráulico para avaliar o comportamento das obras de drenagem; portanto, pode ser importante considerar a influência da mudança climática na intensidade das precipitações. Recomenda-se convidar um especialista em riscos associados à mudança climática que possa contribuir com sua opinião. Independentemente da fase do projeto em que o Workshop seja realizado, recomenda-se a participação desta figura na sessão.
- **Geologia, geotecnia e sismicidade da zona.** Recomenda-se a presença de um técnico especialista nas áreas de geologia e geotecnia que possa contribuir com sua opinião sobre os materiais de fundação e os potenciais deslizamentos dos taludes do aterro sanitário. Da mesma forma, se a obra estiver localizada numa zona sísmica, o geólogo deve ter conhecimentos suficientes para identificar se os riscos sísmicos foram analisados e se o aterro sanitário foi projetado de acordo com essas solicitações. Independentemente da fase do projeto em que o Workshop for realizado, recomenda-se convidar este especialista para participar da sessão.
- **Pessoal responsável pela operação e vigilância do aterro sanitário.** Caso se esteja avaliando um aterro sanitário em fase de operação, recomenda-se que os técnicos responsáveis pelas inspeções e vigilância participem do Workshop, já que sua experiência pode ser valiosa para identificar potenciais Modos de Falha devido a mau funcionamento.
- **Gestão de emergências.** Recomenda-se convidar para os Workshops o pessoal responsável pela gestão de emergências em caso de falha ou mau funcionamento do aterro sanitário. Esses participantes ajudam a compreender as consequências decorrentes da falha da infraestrutura e a entender como está organizado o sistema de gestão de emergências.
- **Representantes locais e de comunidades minoritárias** que podem fornecer conhecimentos relevantes sobre a região para o desenvolvimento do Workshop, por exemplo, sobre o impacto gerado pelo aterro sanitário nas comunidades próximas ou sobre como as ameaças naturais específicas da área os afetam.
- **Especialista em meio ambiente.** É recomendável convidar técnicos especializados em meio ambiente para os Workshops, pois podem contribuir com sua opinião sobre as consequências ambientais que uma falha na operação do aterro sanitário pode desencadear.
- Por fim, recomenda-se a presença de **especialistas externos ao projeto.** Esses especialistas não só oferecem amplo conhecimento sobre aterros sanitários, como também trazem uma visão externa ao projeto, destacando aspectos que podem passar despercebidos aos técnicos envolvidos diretamente.

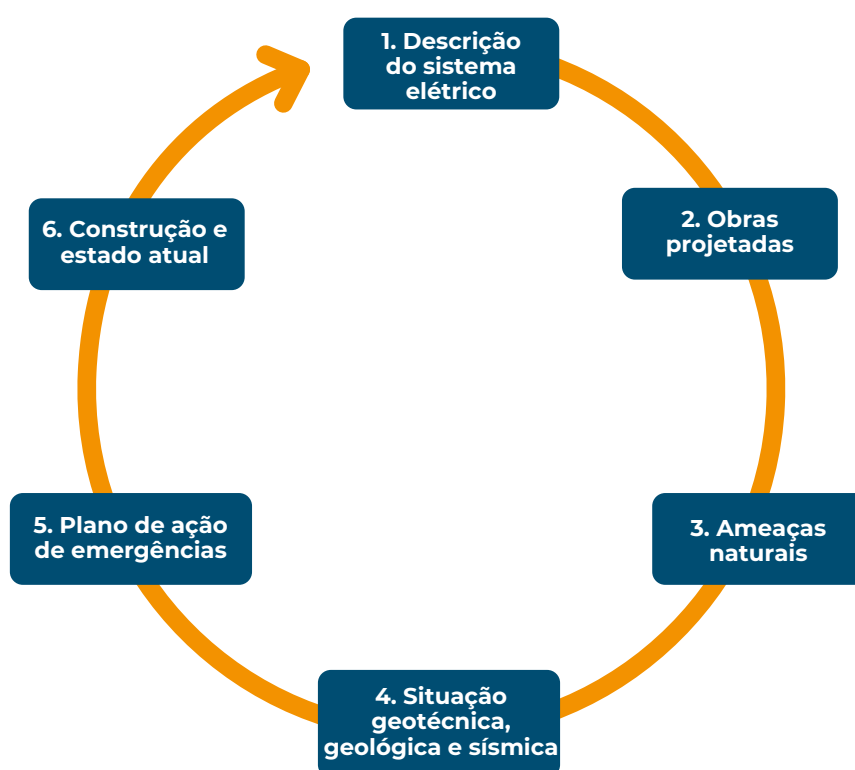
Embora esses atores sejam recomendados para a realização de Workshops de Identificação de Modos de Falha para aterros sanitários, é necessário analisar cada obra e avaliar quais dos perfis apresentados são realmente necessários para cada caso específico, bem como a necessidade de incluir outros perfis.

1.2 Revisão de informação

Conforme explicado no “Guia metodológico para a realização de Workshops de Identificação de Modos de Falha”, a revisão e análise das informações existentes constitui a primeira etapa para a identificação dos Modos de Falha e deve abranger todos os aspectos-chave relacionados à gestão da segurança, iniciando com as fases de projeto e construção da infraestrutura, passando pela avaliação do sistema, seu funcionamento e o estado atual da infraestrutura.

A revisão de informação deve contemplar os pontos-chave dos documentos. Assim, do ponto de vista conceitual, os elementos fundamentais a serem considerados para a análise de aterros sanitários durante a revisão de informação estão representados na Figura 1..

Figura 1. Elementos-chave da revisão de informação



É importante destacar que alguns pontos-chave mencionados neste esquema não serão necessários dependendo da fase do projeto em que a infraestrutura se encontra. Por exemplo, como é previsível, o estado atual não será considerado em uma infraestrutura na fase de projeto.

1.3 Visita técnica

A visita técnica é uma das principais etapas dos Workshops, pois permite obter uma visão integral do estado atual da infraestrutura e detectar possíveis danos que possam resultar em falhas na infraestrutura.

Recomenda-se que esta atividade seja realizada presencialmente, pois permite uma inspeção mais detalhada por parte dos especialistas. No entanto, em algumas infraestruturas, pode-se considerar a realização da visita online, caso a opção presencial não seja logisticamente viável.

No caso dos aterros, é interessante realizar o Workshop de forma online, mostrando vídeos e fotos aéreas da infraestrutura feitas com drone. Isso se deve ao fato de que, durante a operação do aterro, pode haver grande movimentação de máquinas pesadas e movimentação contínua de terras, o que, em caso de visita presencial, poderia representar riscos e perigos, além de atrapalhar o trabalho dos operários. Por isso, recomenda-se realizar o Workshop online, já que o vídeo realizado com drone oferece rapidamente uma visão geral da infraestrutura. No entanto, isso não exclui a possibilidade de realizar a visita de forma presencial, tomando as devidas medidas de segurança.

2. Modos de Falha

A seguir, são listados os Modos de Falha mais característicos para aterros sanitários e uma classificação segundo sua tipologia, dividida em Modos de Falha estruturais e outros Modos de Falha.

2.1. Modos de Falha ESTRUTURAIS:	32
• Deslizamento dos taludes do aterro	32
• Impermeabilização inadequada do aterro e contaminação	33
2.2. OUTROS Modos de Falha:	34
• Incêndio no aterro	34
• Inundação do aterro e contaminação	35
• Conflitos sociais por falta de socialização de novos projetos	36

A seguir, são detalhados os Modos de Falha mais representativos para aterros sanitários, bem como os fatores que influenciam o risco de cada Modo de Falha. Tanto os Modos de Falha quanto os fatores estão definidos de forma geral, ou seja, o leitor pode utilizá-los como referência, mas deverá desenvolver seus próprios Modos de Falha ao longo do Workshop e com a participação de todos os integrantes do grupo de trabalho.

Da mesma forma, os fatores estão redigidos de forma neutra para cada Modo de Falha, com o objetivo de que o leitor os utilize como referência, sendo ele mesmo responsável por decidir, para o seu caso específico, se os fatores aumentam ou diminuem o risco do seu Modo de Falha.

Há uma série de fatores que, de alguma maneira, influenciam o risco de todos os Modos de Falha. Por esse motivo, e para evitar repetições nas descrições de cada um dos Modos de Falha característicos, esses fatores são apresentados na lista a seguir e não são repetidos nas tabelas posteriores.

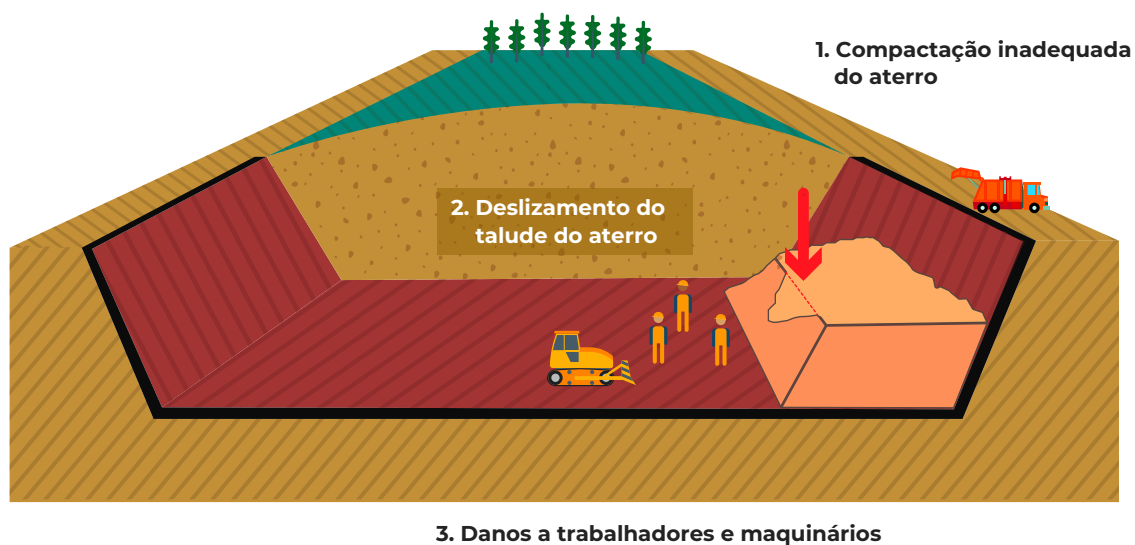
Fatores a considerar em todos os Modos de Falha de aterros sanitários:

- Disponibilidade de recursos para os estudos prévios ou de pré-investimento dos projetos de aterros sanitários.
- Controle de qualidade e supervisão durante a operação do aterro sanitário.
- Existência de Planos de Ação de Emergência.
- Existência de marco legal e institucional de regulação.

2.1. Modos de Falha Estruturais

DESLIZAMENTO DOS TALUDES DO ATERRO

Em cenário sísmico ou de operação normal, devido à má execução da compactação das camadas do aterro, ocorre o deslizamento de um grande volume de terra e resíduos. Esse arraste de material alcança a parte inferior do aterro, onde podem estar localizados trabalhadores e máquinas que ficariam soterrados, provocando grandes consequências econômicas e sociais.

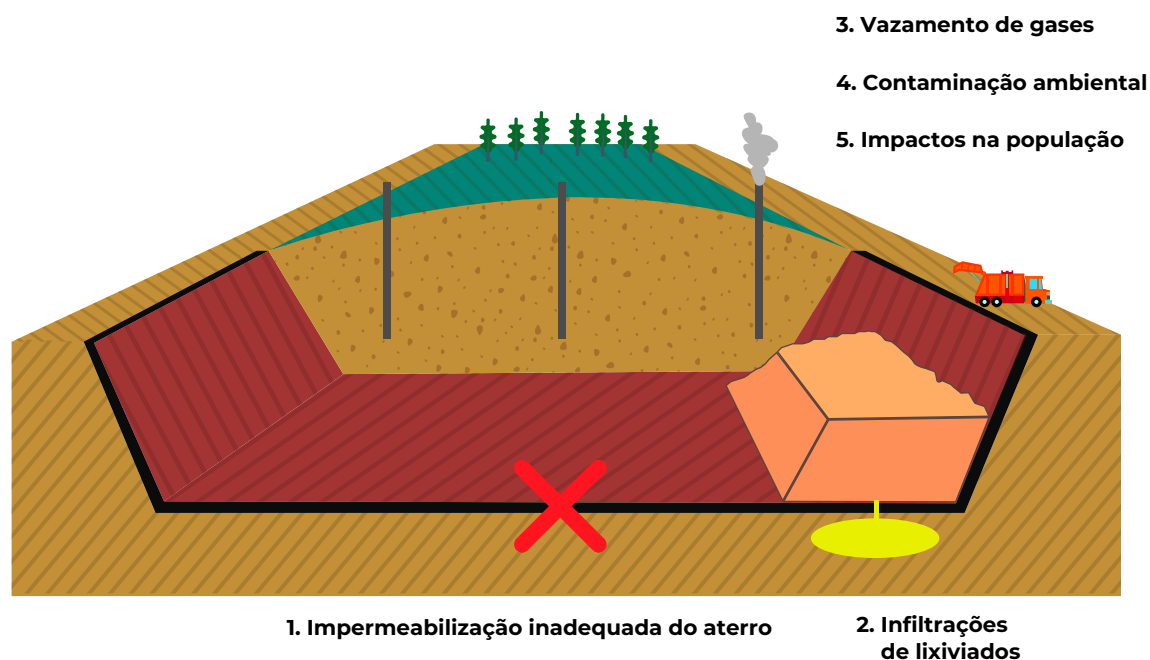


Fatores que influenciam o risco

- Presença de instrumentação e monitoramento nos aterros para detectar problemas.
- Identificação de pontos críticos de deslizamentos.
- Projeto estrutural adequado do aterro, controle da inclinação dos taludes.
- Conhecimento das regras de operação por parte dos trabalhadores.

IMPERMEABILIZAÇÃO INADEQUADA DO ATERRO E CONTAMINAÇÃO

Em cenário de operação normal, devido à má execução da impermeabilização das camadas do aterro, ocorrem vazamentos de gases e infiltrações de lixiviados. Os vazamentos de lixiviados penetram no solo natural, contaminando-o e podendo atingir corpos d'água superficiais ou aquíferos próximos ao aterro. Da mesma forma, o escape de gases contamina o ambiente, podendo alcançar as populações próximas e gerar problemas de saúde.



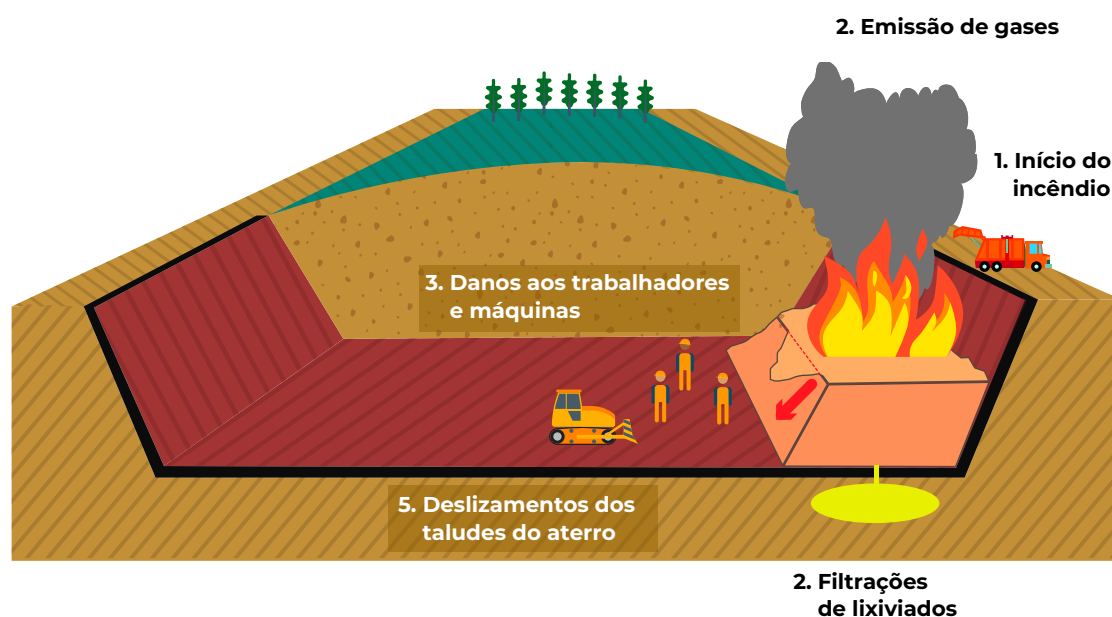
Fatores que influenciam o risco

- Presença de instrumentação e monitoramento nos aterros para detecção de problemas.
- Disponibilidade de estudos e ensaios geotécnicos do material da área onde o aterro está localizado.
- Dimensionamento adequado das obras de drenagem de lixiviados e águas pluviais.
- Conhecimento das regras de operação por parte dos trabalhadores.

2.2. Outros Modos de Falha

INCÊNDIO NO ATERRO SANITÁRIO

Em um cenário de operação normal, pode ocorrer um incêndio no aterro devido a falhas técnicas ou elétricas das máquinas, à atividade humana, à autoignição provocada pelo aquecimento espontâneo dos resíduos ou à existência de incêndios florestais próximos à localização do aterro. O fogo está associado à emissão de gases tóxicos, possíveis destruições de instalações, danos a pessoas, contaminação por lixiviados e deslizamentos dos taludes do aterro, gerando grandes consequências econômicas e sociais.



Fatores que influenciam o risco

- Disponibilidade de dados meteorológicos e existência de redes de estações meteorológicas.
- Influência das mudanças climáticas nas temperaturas.
- Presença de instrumentação e monitoramento nos aterros para detectar problemas.
- Conhecimento das regras de operação por parte dos trabalhadores.
- Existência de aterros clandestinos e/ou sem cumprimento das normas ou medidas de segurança.
- Manutenção adequada da maquinaria para evitar superaquecimentos.

INUNDAÇÃO DO ATERRO E CONTAMINAÇÃO

Em um cenário hidrológico, após um período prolongado de chuvas ocorre o assoreamento das obras de drenagem e a inundação do aterro. Caso a impermeabilização de cada camada não esteja bem executada, as infiltrações de água no terreno podem arrastar lixiviados, provocando a contaminação do meio ambiente e gerando consequências econômicas, sociais e ambientais.



Fatores que influenciam o risco

- Disponibilidade de dados de precipitação, existência de redes de estações meteorológicas e variabilidade geográfica da precipitação.
- Influência das mudanças climáticas na intensidade das precipitações.
- Presença de instrumentação e monitoramento nos aterros para detectar problemas.
- Adequado dimensionamento hidráulico das obras de drenagem.

CONFLITOS SOCIAIS DEVIDO À FALTA DE SOCIALIZAÇÃO DE NOVOS PROJETOS

Durante a construção das obras e devido à socialização inadequada dos projetos, especialmente entre a população próxima ao aterro, ocorrem conflitos sociais que aumentam progressivamente, levando à rejeição do aterro e a bloqueios durante sua construção, comprometendo o sucesso do projeto desenvolvido.



2. Bloqueios durante a construção da obra

Fatores que influenciam o risco

- Acompanhamento social nas fases de pré-investimento, de projeto e de construção, de forma que os beneficiários conheçam o projeto.
- Gestão e preservação das informações dos projetos ao longo dos anos.

3. Relação de estudos técnico-científicos

Nesta seção, são apresentados uma série de tópicos técnico-científicos, de acordo com a tipologia dos Modos de Falha, que devem ser considerados para reduzir o risco dos Modos de Falha e diminuir a incerteza para melhorar o projeto dos aterros.

MODO DE FALHA ESTRUTURAL

- Estudo estrutural do aterro, por exemplo, inclinação dos taludes, espessura das camadas etc.
- Estudo geológico e geotécnico da área onde está localizado o aterro.
- Estudo geológico e geotécnico do material que compõe os filtros ou impermeabilizações do aterro.
- Estudo da ameaça sísmica.

OUTROS MODOS DE FALHA

- Recolher dados meteorológicos.
- Levar em consideração eventos extremos relacionados às mudanças climáticas.
- Plano de Ação de Emergência.
- Protocolos de alerta à população em caso de incidentes no aterro (inundações, incêndios, emissão de gases...)
- Planos de ordenamento urbano dos municípios afetados pela construção do aterro.

4. Recomendações e boas práticas

A seguir, são reunidas uma série de recomendações e boas práticas de intervenção conforme as tipologias dos Modos de Falha.

MODO DE FALHA ESTRUTURAL

Para reduzir o risco dos Modos de Falha de tipologia estrutural, deve-se considerar:

- Realizar visitas técnicas ao local onde se encontra o aterro para detectar possíveis aspectos que não tenham sido considerados durante o projeto.
- Elaborar um Manual de operação do aterro, com o objetivo de dispor dos procedimentos e do pessoal necessário para a realização da operação do aterro e da manutenção da maquinaria. Recomenda-se que o manual inclua: tarefas a serem realizadas (inspeções, medições, manutenção de instrumentação, revisões de segurança etc.), os responsáveis por cada tarefa, a periodicidade de cada uma e o departamento/administração local da qual dependem.
- Os aterros sanitários devem ser compactados diariamente para favorecer o assentamento dos resíduos, evitando deslizamentos.
- Os materiais utilizados para impermeabilizações, filtros e drenos devem ser adequados e não contaminados.
- Fornecer ao aterro a instrumentação pertinente e vigilância para detectar de forma precoce possíveis problemas (instrumentação de monitoramento).
- Proteger os equipamentos de monitoramento com ferramentas para a detecção e prevenção de vandalismo contra esses elementos.

OUTROS MODOS DE FALHA

Para reduzir o risco de outros Modos de Falha, deve-se considerar:

- Estudos existentes sobre as mudanças climáticas. Estas provocarão maior recorrência de precipitações extremas e eventos extremos.
- Realizar um dimensionamento adequado das obras de drenagem de águas pluviais, levando em conta os dados de precipitação do país.
- Realizar um dimensionamento adequado do sistema de coleta de lixiviados e das chaminés de emissão de gases, planejado com capacidade suficiente para eventos de chuvas intensas.
- Quando se tratar de problemas sociais, deve-se levar em conta a opinião da população e realizar reuniões para tentar chegar a acordos.
- Serão criados alertas de aviso de incêndios, desenhados planos de evacuação e procedimentos de atuação dos serviços de emergência.
- Garantir que o aterro tenha mais de uma via de acesso, em caso de emergências.
- Será elaborado um plano ambiental que especifique os usos e limitações do solo.
- Em caso de impactos ao meio ambiente, serão implantadas as medidas necessárias para preservar o meio ambiente.

Referências

Banco Interamericano de Desenvolvimento. *Resumen ejecutivo de la metodología de evaluación del riesgo de desastres y cambio climático del BID*. 2018.

Banco Interamericano de Desenvolvimento. *Metodología de evaluación del riesgo de desastres y cambio climático para proyectos del BID*. 2019.

International Standardization Organization (ISO). *Risk Management – Principles and Guidelines*. ISO 31000. 2009.

International Electrotechnical Commission. *Analysis Techniques for System Reliability – Procedure for Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)*. International Standard. 2006.

Mecca, S., y Masera, M. *Technical Risk Analysis in Construction by Means of FMEA Methodology*. 1999.

Kim, J. H., H. Y. Jeong, y J. S. Park. *Development of the FMECA Process and Analysis Methodology for Railroad Systems*. 2009.

Aguilar Otero, J., Torres Arcique, R., y Magaña Jiménez, D. *Análisis de modos de fallo, efectos y criticidad (FMECA) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad*. 2010.

Zeng, S. X., Tam, C. M., y Tam, V. W. Y. *Integrating Safety, Environmental and Quality Risks for Project Management using a FMEA Method*. 2010.

Carlson, C. S. *Effective FMEAs. Achieving Safe, Reliable, and Economical Products and Processes Using Failure Mode and Effects Analysis*. 2012.

SPANCOLD. *Guías Técnicas de Seguridad de Presas. Guía Técnica N° 8 de Explotación de Presas y Embalses. Análisis de Riesgos aplicado a la Gestión de Seguridad de Presas y Embalses*. 2012.

Hwang, H., Lansey, K., y Quintanar, D. R. *Resilience-based Failure Mode Effects and Criticality Analysis for Regional Water Supply System*. 2015.

Rasoul, Y. y Hanewinkel, M. *Climate Change and Decision-Making Under Uncertainty*. 2016.

Marchau, Vincent A.W.J., Warren E. Walker, Pieter J.T.M. Bloemen, y Steven W. Popper. *Decision Making Under Deep Uncertainty. From Theory to Practice*. 2019.

Ministério do Meio Ambiente e Água (Bolívia). *Medidas de protección y mitigación para reducir riesgos para eventos de inundación y crecidas en áreas agrícolas y urbanas en cuencas Alta y Baja*. 2021.

