

Pós-Graduação

Segurança de Processos



ASPECTOS A SEREM CONSIDERADOS PARA A SEGURANÇA DE PROCESSOS INDUSTRIAIS DIANTE DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Adriano R. E. Andrea, Giedre R. da S. Fernandes, Keylla de A. Silva, Milena F. Lorenzini e Oldomário J.B. Filho

RESUMO

Os acidentes relacionados a riscos climáticos nas indústrias representam uma preocupação crescente devido aos impactos cada vez mais severos das mudanças climáticas. O objetivo do presente estudo é analisar a influência das Mudanças Climáticas na Segurança dos Processos industriais e a importância de uma análise de riscos para prevenir e/ou mitigar as consequências de catástrofes de origem climáticas e destacar a relevância de uma metodologia eficaz nesse sentido. O trabalho visa também entender e traçar estratégias para minimizar os impactos e manter a sustentabilidade dos negócios. Metodologicamente, a pesquisa foi realizada através de um estudo de caso, com aplicação de uma Análise Preliminar de Riscos em uma instalação do gasoduto Brasil-Bolívia, no estado de Santa Catarina, onde ocorreu um acidente em 2008, que ocasionou a destruição de dois trechos do gasoduto, após grandes deslizamentos de terra, ocasionados por fortes chuvas na região. Ao adotar uma abordagem proativa, as indústrias podem implementar medidas de engenharia, protocolos de segurança e planos de emergência adequados para reduzir a probabilidade de acidentes relacionados a riscos climáticos e mitigar da melhor forma as suas consequências. A mitigação dos riscos climáticos nas indústrias é fundamental para proteger vidas, o meio ambiente e garantir a sustentabilidade das operações industriais no futuro.

Palavras-chave: *mudanças climáticas, análise de riscos, segurança de processos.*

ABSTRACT

Accidents related to climate risks in industries represent a growing concern due to the increasingly severe impacts of climate change. The objective of this study is to analyze the influence of Climate Change on the Safety of Industrial Processes and the importance of a risk analysis to prevent and/or mitigate the consequences of climate-related catastrophes and highlight the relevance of an effective methodology in this regard. The work also aims to understand and outline strategies to minimize impacts and maintain business sustainability. Methodologically, the research was carried out through a case study, with the application of a Preliminary Risk Analysis in a Brazil-Bolivia gas pipeline installation, in the state of Santa Catarina, where an accident occurred in 2008, which caused the destruction of two sections of the gas pipeline, after large landslides, caused by heavy rains in the region. By adopting a proactive approach, industries can implement

appropriate engineering measures, safety protocols and emergency plans to reduce the likelihood of accidents related to climate risks and best mitigate their consequences. Mitigating climate risks in industries is essential to protect lives, the environment and ensure the sustainability of industrial operations in the future.

Keywords: *climate change, risk analysis, process safety.*

1. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais há um grande desafio para a sociedade que são as mudanças climáticas e suas consequências extremas. Inundações, tempestades, elevação de níveis dos mares e das temperaturas estão cada vez mais mudando as condições de trabalho e impactando na lucratividade das empresas. Entender e traçar estratégias para nos adaptar a estes cenários estão sendo necessárias para a sustentabilidade de muitos negócios e é preciso incluir nessas análises a segurança de processos industriais.

As mudanças climáticas são transformações a longo prazo nos padrões de temperatura e clima. Segundo a ONU – Organização das Nações Unidas (ONU, 2023), essas mudanças estão sendo mais impulsionadas pelas atividades humanas como a queima de combustíveis fósseis pelas indústrias, meios de transporte, atividades do agronegócio que geram desmatamentos e queimadas de florestas. As consequências são o aumento da temperatura, secas intensas, escassez de água, tempestades catastróficas e um declínio da biodiversidade.

Os impactos gerados por essas mudanças ocorrem em diversas áreas da indústria, destacando-se: transporte, construção, energia, alimentação, turismo, varejo e como iremos ver neste trabalho a indústria de processamento. No Brasil existem preocupações com o tema, inclusive o governo federal está mudando o nome de um dos seus ministérios para Ministério do Meio Ambiente e das Mudanças Climáticas, que deve tratar de novas legislações e exigências relacionadas as mudanças climáticas.

O presente trabalho tem por objetivo analisar a influência das Mudanças Climáticas na Segurança dos Processos industriais através da aplicação de uma análise preliminar de riscos em um estudo de caso, considerando os eventos naturais extremos que tem ocorrido nos últimos anos e acidentes na indústria devido a causas naturais.

Os objetivos específicos que serão desenvolvidos ao longo do trabalho são:

- Levantar grandes acidentes relacionados com as mudanças climáticas;
- Apresentar estudo de caso analisando uma ocorrência de acidente devido a mudança climática ocorrido no Brasil;
- Analisar o clima na região do estudo de caso;

- Levantar análises de riscos aplicáveis a acidentes devido ao clima e aplicação de uma técnica de análise no Estudo de Caso.

A fim de delimitar o presente trabalho destacamos que não se realizou uma análise sobre probabilidade e histórico de ocorrências de eventos naturais que poderiam servir de base para a elaboração da Matriz de Tolerabilidade de Riscos. Essa análise precisaria envolver especialistas em clima e não foi o objetivo do trabalho. Também não faz parte deste trabalho a análise de ocorrências oriundas de causas climáticas.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Grandes acidentes com causas naturais

Com base nos dados da *Marsh Specialty* (RELATÓRIO MARSH, 2022), eventos de catástrofes naturais são responsáveis por 13 dos 100 maiores incidentes de danos materiais desde 1974. Vários incidentes de segurança de processo no setor de energia nos mostraram as consequências de não se preparar efetivamente para eventos climáticos extremos.

A gravidade e a frequência dos incidentes de catástrofes naturais têm aumentado em muitas partes do mundo. Somente em 2021, eventos de catástrofes naturais resultaram em perdas seguradas estimadas em valores superiores a US\$ 100 bilhões (RELATÓRIO MARSH, 2022).

Analisando detalhes de alguns incidentes no setor de energia, é possível entender que a indústria está progredindo na melhoria das operações e práticas de gerenciamento de risco e a importância de estar preparada para as mudanças das condições climáticas.

A indústria de Petróleo e Gás depende de infraestruturas complexas, interligadas e têm longa vida útil econômica. Grandes interrupções em qualquer um desses sistemas pode ter um efeito cascata em outros sistemas interligados local, regional e globalmente, assim as mudanças climáticas, incluindo aumento das temperaturas, mudanças nos padrões de precipitação, aumento do nível e eventos climáticos extremos mais frequentes representam muitos desafios para o setor de petróleo e gás (Cruz; Krausmann, 2013).

Infelizmente, grande parte da infraestrutura de petróleo e gás está localizada em áreas costeiras baixas, no mar ou em áreas que provavelmente sofrerão eventos climáticos extremos mais frequentes (Wilbanks *et al.*, 2007; Paskal, 2009). Esta localização os expõe a inundações costeiras e tempestades, aumento do nível do mar e subsidência e erosão do solo (Paskal, 2009). A elevação do nível do mar pode tornar a infraestrutura existente mais propensa a frequentes ou inundações permanentes e temperaturas mais quentes e sua maior variabilidade podem aumentar os custos de projeto, construção, manutenção e operação. No verão de 2005, o furacão Katrina e, um mês depois, o furacão Rita, foram responsáveis por um dos piores desastres da história recente dos Estados Unidos; também foi o mais caro para a indústria offshore de petróleo e gás dos EUA no Golfo do México e teve repercussões em todo o mundo (Cruz; Krausmann, 2008, 2009; Sengul *et al.*, 2012). A maioria dos requisitos de avaliação de risco industrial diz respeito a instalações individuais e raramente incluem riscos sistêmicos. Os perigos hidro meteorológicos têm o potencial de impactar grandes extensões de território, causando danos a tudo em seu caminho, muitas vezes simultaneamente afetando outras instalações e infraestrutura, sistemas vitais, governos locais e cidadãos.

Acidentes oriundos das condições climáticas incomuns podem resultar na liberação e derramamento de materiais perigosos. Esses acidentes representam riscos significativos para a segurança e o meio ambiente, com impactos potencialmente negativos na imagem corporativa e altos custos de seguros.

No quadro 1 pode ser verificada uma listagem dos grandes acidentes ocorridos na indústria mundial que geraram acidentes de processos devido a causas naturais.

Quadro 1: listagem dos grandes acidentes ocorridos na indústria mundial

Empresa	Ano	Local	Causa Natural	Consequência
Cedar Bayou	1994	Texas	Enchente	Vazamento de toneladas de etano e polietileno
<u>Refinaria Pascagoula</u>	1998	Mississippi	Furacão Georges	Fechamento da refinaria por três meses.
Refinaria Korteiz	1999	Turquia	Terremoto	Incêndio
Porto de Mohammedia	2002	Marrocos	Chuvas Torrenciais	Explosão e incêndio
Plataforma <u>Thunder Horse</u>	2005	Golfo do México	Furacão Dennis	Parada de construção
Refinaria Valero	2007	Texas	Frio extremo	Incêndio

SCGas	2008	Brasil	Chuvas intensas	Avárias em dutos e incêndio
Refinaria	2011	Japão	Terremoto seguido de tsunami	Explosão e Incêndio
DuPont	2014	Texas	Baixa temperatura	Vazamento produto químico
Indústria Química Arkema	2017	Texas	Furacão Harvey	Explosão e incêndio
Usina de condicionamento de gás	2018	Nova Guiné	Terremoto	Avaria em dutos
Indústria de refino e petroquímica	2021	Texas	Tempestade e baixas temperaturas	Parada total de produção ou com taxa reduzida

Fonte: elaborado pelo autor

2.1.1 Cedar Bayou, Texas, EUA – Outubro de 1994

Cedar Bayou é uma instalação de fabricação petroquímica localizada em Baytown, Texas. A planta opera sete unidades de processo produzindo etileno, propileno, alfa-olefinas normais (NAO), polietileno de alta densidade (PEAD), polietileno de baixa densidade (PEBD), polietileno linear de baixa densidade (LLDPE) e polialfaolefinas (WIKIPEDIA, 2023).

Em outubro de 1994, a hidrovia Cedar Bayou transbordou e inundou grande parte de Baytown, Texas, em pouco mais de dois dias de chuva sobre a bacia hidrográfica do Bayou. Quando a chuva começou a cair sobre a subestação elétrica da usina, a instalação perdeu toda a energia elétrica externa, forçando os operadores a desligar a maioria das unidades de processo (RELATÓRIO MARSH, 2022).

As enchentes do Texas ao longo do rio San Jacinto fecharam o local, envolvendo 650.000 t/ano de eteno; 200.000 t/a de LLDPE e 280.000 t/a de plantas de LDPE. A água da enchente rompeu diques ao redor da subestação principal e inundou salas de controle e escritórios.

2.1.2 Pascagoula, Mississippi, EUA – Setembro de 1998

Uma refinaria inteira foi fechada por três meses após ser atingida pelo furacão Georges. O furacão deixou toda a usina submersa em mais de um metro e meio de água salgada do Golfo do México. Embora o furacão fosse apenas uma tempestade de categoria 2, seu movimento lento sujeitou a refinaria a 17 horas de vento forte e chuva e a tempestade ultrapassou os diques construídos para proteger a empresa (RELATÓRIO MARSH, 2022).

2.1.3 Korfez, Golfo de Izmit, Turquia – Agosto de 1999

Um terremoto de magnitude 7,4 na escala Richter causou o colapso de uma chaminé de concreto de 312 pés de altura em uma das unidades de petróleo bruto, provocando incêndios na refinaria. (RELATÓRIO MARSH, 2022). Incêndios também eclodiram em tanques de armazenamento no local.

Os danos à refinaria incluíram a perda total de seis tanques de armazenamento, enquanto outros quatro tanques foram deformados e 50% de danos a outros tanques de teto flutuante. Os danos às unidades de processo incluíram o incêndio na unidade de destilação de petróleo bruto e danos a um reformador e a vários oleodutos de conexão.

2.1.4 Porto de Mohammedia, Marrocos – Novembro de 2002

Após chuvas torrenciais, o aumento da enchente em uma refinaria permitiu que o óleo residual flutuando na superfície entrasse em contato com um equipamento quente, causando explosões e um incêndio. Um segundo incêndio começou e vários tanques de armazenamento pegaram fogo e explodiram. Os danos à refinaria foram extensos e duas pessoas morreram, com outras três desaparecidas (RELATÓRIO MARSH, 2022).

2.1.5 Thunder Horse, Golfo do México, EUA – Julho de 2005

Em julho de 2005, a plataforma estava passando por comissionamento e instalação final de módulos de produção antes do início da produção do campo Thunder Horse. A plataforma foi evacuada devido à proximidade prevista do furacão Dennis. Um guincho

de 10t e outros equipamentos foram perdidos ao mar. A perda resultou no início da produção do projeto com três anos de atraso. Não houve vazamento de óleo, combustível ou outras substâncias perigosas (RELATÓRIO MARSH, 2022).

2.1.6 Incêndio na refinaria Valero Mckee- Fevereiro de 2007

Em fevereiro de 2007, uma frente fria abaixou a temperatura por quatro dias alcançando menos de 15°C no Texas. Ocorreu um incêndio após propano líquido ser liberado pelo processo de canalização na unidade de desasfaltação na refinaria de Valero. O incêndio fechou a indústria por 2 meses e a empresa trabalhou com capacidade reduzida por quase um ano. O fechamento da empresa contribuiu para curtas quedas no abastecimento de gasolina em alguns mercados (RELATÓRIO MARSH, 2022).

O relatório da CSB após a investigação registrou que o Instituto Americano do Petróleo - API não oferece nenhum guia detalhado para as refinarias, não estabelecendo um programa efetivo de proteção por congelamento (RELATÓRIO MARSH, 2022).

O conselho recomendou que a API desenvolvesse uma nova prática recomendada para essa proteção do congelamento, o que deveria incluir um regulamento escrito sobre proteção de congelamento; inspeções periódicas de tubulações sem fluxo e de equipamentos não usados com frequência ou que estejam fora de uso e requisitos para a revisão na mudança da gestão.

2.1.7 Rompimento em dois pontos da Rede de gás de Santa Catarina – Novembro de 2008

Deslizamentos de terra provocados por constantes chuvas causaram avarias em dois pontos de distribuição de gás em Santa Catarina. O primeiro acidente ocorreu no quilômetro 41,5 da BR-470 em Gaspar (SC), na rede de distribuição da SCGás. O rompimento da rede gerou incêndio - controlado, sem deixar feridos - e o suprimento de gás foi cortado para cinco municípios catarinenses: Blumenau, Timbó, Gaspar, Pomerode e Indaial. No segundo acidente, houve rompimento no gasoduto Bolívia-Brasil (Gasbol) no bairro Belchior, em Blumenau. Com o acidente, foi fechado o fornecimento a quase todo o território catarinense e, consequentemente, suspenso também o envio ao Rio Grande do Sul. Entre 46 municípios catarinenses atendidos pela rede de distribuição da

SCGás, apenas seis mantiveram o suprimento, no norte do Estado. A indústria de cerâmica foi uma das mais prejudicadas pelo corte do fornecimento em Santa Catarina. Apenas Cecrisa, Eliane e Portobello consomem cerca de 400 mil metros cúbicos diários de um fornecimento de 1,3 milhão de metros cúbicos da SCGás. Outra preocupação da companhia, na época, foi revisar a extensão dos dutos na BR-470, já que as chuvas colocaram vários pontos sob risco de deslizamento. No total, a SCGás entrega o combustível a 75 postos de gás natural veicular e a cerca de 130 indústrias (CORREIO BRASILIENSE, 2008).

2.1.8 Fukushima: Japão foi atingido por terremoto, tsunami e acidente nuclear – março de 2011

Uma grande explosão ocorreu em uma refinaria na cidade de Sendai, no nordeste do Japão, horas depois que o maior terremoto da história do país foi seguido por um tsunami.

O incêndio na refinaria teve origem em uma instalação de transporte de derivados de petróleo. No momento da explosão, os trabalhadores da refinaria estavam sendo evacuados, não havendo capacidade para extinguir o incêndio, que resultou em danos a uma unidade de craqueamento catalítico (FCC) da refinaria (RELATÓRIO MARSH, 2022).

A fúria do mar, por sua vez, provocou um acidente nuclear na usina de Fukushima, 260 quilômetros ao norte de Tóquio. Mais de 18 mil pessoas foram mortas pelo tsunami, e o acidente em Fukushima forçou a retirada de 160 mil pessoas que moravam nas imediações (BCC, 2011).

2.1.9 Acidente de Liberação de Produtos Químicos Tóxicos na Instalação Química DuPont – Novembro de 2014

Em novembro de 2014, aproximadamente 10 toneladas de metil mercaptano, produto altamente tóxico, foram liberados de uma unidade de produção de inseticida (Unidade Lannate®) na instalação de fabricação de produtos químicos da Du Pont em La Porte, Texas/EUA. A liberação matou três operadores e um supervisor dentro de um prédio de manufatura da empresa devido a uma combinação de asfixia e exposição aguda (por inalação) ao metil mercaptano (CSB, 2019).

As temperaturas na área de Houston nas 24 horas anteriores ao acidente foram em média de aproximadamente 4° C. Em baixas temperaturas (11 °C), a água e o metil mercaptano formam um material sólido semelhante ao gelo chamado hidrato de clatrato de metil mercaptano (AH a. RD MOHAMMADI, 2011).

Uma das causas da liberação altamente tóxica de metil mercaptano foi a falta de salvaguardas para evitar que o hidrato de metil mercaptano se solidificasse na tubulação de alimentação. Em um dos cenários considerados no Estudo de Análise de Riscos a equipe DuPont reconheceu o potencial do hidrato de metil mercaptano de solidificar na tubulação de alimentação. A equipe avaliou o entupimento como um perigo improvável e de baixa gravidade, atribuindo-lhe a classificação de risco mais baixa possível. Como resultado dessa classificação de risco, nenhuma proteção adicional ou outras ações de proteção foram necessárias para lidar com esse cenário (CSB, 2019).

O CSB determinou que a causa da liberação altamente tóxica de metil mercaptano foi o projeto de engenharia defeituoso e a falta de proteções adequadas e ações corretivas, operações de solução de problemas, gerenciamento de mudanças, práticas de trabalho seguras, comunicações de turnos, projeto de ventilação predial, detecção de gás tóxico e resposta a emergências (CSB, 2019).

2.1.10 Furacão Harvey causa explosões em indústria química do Texas – 2017

A água e a falta de energia elétrica criaram uma combinação fatal para as fábricas do setor químico que operavam na zona industrial castigada pelo furacão Harvey, depois rebaixado a tempestade tropical. A situação já era crítica na fábrica da francesa Arkema, onde é produzido um composto que, para evitar uma reação em cadeia, precisa ser refrigerado a uma temperatura estável inferior a 0 °C (EL PAIS, 2017).

Foi deixado que o complexo se incendiasse, porque o composto químico ali produzido, o peróxido orgânico, é muito inflamável e causaria um risco ainda maior se fosse retirado de lá. Os geradores auxiliares da fábrica foram insuficientes para manter o agente químico na temperatura ideal, e a área ficou completamente alagada (EL PAIS, 2017). Houve uma pessoa hospitalizada após inalar fumaça tóxica, e outras nove foram hospitalizadas por precaução.

O canal de Houston e seus arredores concentram 40% da produção petroquímica dos Estados Unidos. As grandes refinarias suspenderam suas operações por vários dias por causa do furacão (EL PAIS, 2017).

2.1.11 Entrada, Papua Nova Guiné - Fevereiro de 2018

Um terremoto de magnitude 7,5 ocorreu com vários tremores secundários nas semanas seguintes. O evento causou danos significativos a edifícios e infraestruturas e mais de 100 pessoas das comunidades locais foram mortas. Os danos afetaram o aeroporto local de Komo, uma usina de condicionamento de gás, que foi fechada com segurança com alguns danos (mas sem perda de contenção), e o sistema de dutos associado, onde não houve perda de contenção (RELATÓRIO MARSH, 2022).

2.1.12 Tempestade de Inverno Uri – Fevereiro de 2021

A tempestade gerou uma onda ártica sem precedentes e prolongada de temperaturas congelantes, gelo e neve para ativos de energia nas regiões central e leste dos EUA (RELATÓRIO MARSH, 2022).

O Texas, que é o principal estado de produção de energia nos EUA, experimentou uma falha quase catastrófica de seu sistema de rede elétrica que atende cerca de 90% do estado. O sistema de rede elétrica do estado opera independentemente da rede nacional, portanto, o estado depende principalmente de seus próprios recursos de geração de energia para atender à demanda.

O sistema lutou para atender ao rápido aumento da demanda durante a tempestade de inverno. O fornecimento de gás natural para a indústria foi reduzido em mais de 50%, e as cadeias de abastecimento de petróleo bruto foram reduzidas em mais de 20%.

2.2 Estudo de Caso

2.2.1 - Descrição do evento

Em 23 de novembro de 2008, dois trechos do gasoduto Brasil-Bolívia, localizados entre as cidades de Gaspar e Blumenau, no estado de Santa Catarina, foram destruídos após

grandes deslizamentos de terra, ocasionados por fortes chuvas na região. Quase 15 anos depois, o período de fortes chuvas de novembro de 2008 ainda é considerado a maior tragédia catastrófica natural da região (SANTIN, 2008).

Tal fato causou inúmeros prejuízos, entre eles explosões no gasoduto e avarias nas redes de gás natural da região Sul da Companhia de Gás de Santa Catarina (SCGás), inclusive com interrupção de tráfego na rodovia BR-470, e consequente corte de fornecimento de gás em diversos pontos de distribuição de gás de Santa Catarina e Rio Grande do Sul (DIÁRIO GAÚCHO, 2008).

Na cidade de Gaspar, onde ocorreu um dos incidentes, a ruptura no gasoduto causou explosão e o gás permaneceu queimando por mais de 24 horas, criando um clarão que podia ser visto de longe. Na ocasião, em dois dias choveu o correspondente as chuvas que se registram em um mês, havendo registros de mais de 100 mortes e milhares de desabrigados por conta das chuvas.

2.2.2 - Causas

A ruptura do gasoduto Brasil-Bolívia em dois trechos no Estado de Santa Catarina foi causada, segundo notícias da época, pelas fortes chuvas e deslizamentos de terras na localidade do gasoduto. Houve suspeitas de que a explosão do gasoduto tenha causado os deslizamentos, e não o contrário, mas segundo engenheiros da companhia de gás e geólogos das Prefeituras, tal fato não seria possível (ZONA DE RISCO, 2008). afirmar, também, que a ausência da análise de riscos climáticos ou a análise falha para a escolha da localização da instalação do gasoduto, pode ser apontada como uma das causas do acidente, já que no local os gasodutos estavam instalados em encostas.

Com 3.150 km de extensão, a rede de dutos em questão atravessa os Estados de Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Juntos, os Estados são responsáveis pelo consumo de 71% da energia do país. A transportadora Brasileira Gasoduto Bolívia-Brasil S.A. (TBG) é responsável pela operação do empreendimento em solo brasileiro (ZONA DE RISCO, 2008).

2.2.3 - Consequências

O acidente causou inúmeros prejuízos para a população local e também para os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Primeiramente a explosão, apesar de não ter causado vítimas, levou a evacuação de algumas residências. As avarias nas redes de gás levaram a suspensão do fornecimento de gás nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, além de interrupção de tráfego na rodovia BR-470 (CORREIO BRAZILIENSE, 2008).

2.2.4 - Reduzindo riscos

Acidentes como os citados poderiam ser evitados com o uso de metodologia de análise de riscos sendo possível a identificação preliminar dos riscos, com o estabelecimento de medidas mitigadoras para minimizar a exposição a esses riscos ou caso os resultados dessas análises de riscos sejam não aceitáveis, podendo sugerir a não execução do empreendimento. Porém, as metodologias de análises de riscos disponíveis na legislação brasileira não obrigam a levar em consideração os eventos de origem climática para o estabelecimento e medidas de controle e/ou compensatórias em regiões com alto índice de vulnerabilidade climática. Porém, a análise socioeconômica de custo-benefício é exigida no âmbito do Governo Federal para os projetos de infraestrutura que venham a compor o Plano Integrado de Longo Prazo da Infraestrutura (PILPI).

2.3 Clima

A crosta terrestre se diferencia de um lugar para outro. Esta geografia se deve, em grande parte, à combinação de múltiplos agentes naturais, tais como o relevo, o clima, os rios e a estrutura geológica.

Observa-se que a geografia não se deve a um desses agentes isoladamente, mas à atuação conjugada e associada de vários deles. Dentre os vários agentes naturais responsáveis pela diferenciação da crosta terrestre, o clima tem um papel fundamental na configuração externa do relevo, entre outros (UOL, 2020).

Por definição, a climatologia avalia as variações do tempo de longo prazo e, embora utilize parâmetros como temperatura do ar, pressão atmosférica, vento, umidade ou

precipitação, os mesmos parâmetros da meteorologia, o foco é tirar conclusões sobre a evolução geral do conjunto de fenômenos meteorológicos, de maior frequência, em um determinado local. A análise da climatologia é de suma importância para entender o impacto das mudanças climáticas considerando a avaliação da série histórica dos dados.

Não devemos deixar ainda de considerar, para este estudo, as diversidades climáticas, como exemplo o fenômeno como o El Niño, este um grande gerador de importantes alterações no clima, causando chuvas intensas e volumosas no sul do Brasil, podendo ser potencializado quando alinhado as mudanças climáticas (eCYCLE, 2020).

O efeito estufa também contribui para as mudanças climáticas, com concentrações cada vez maiores dos gases de efeito estufa e o calor retido na atmosfera estão levando a Terra para um estágio incerto, com repercussões de longo alcance cujo impacto real para o presente e o futuro ainda é desconhecido (G1, 2018).

Os efeitos das mudanças climáticas estão cada vez mais frequentes, a ponto de alguns especialistas definirem os eventos extremos como sendo o novo normal. Estudar estes efeitos, valores médios e suas variabilidades, através de dados reais coletados e suas séries histórica são fundamentais para a previsibilidade de seus efeitos e consequências.

Um Estudo da Organização Meteorológica Mundial adverte que os últimos oito anos foram os mais quentes já registrados, com o aumento do nível do mar e o aquecimento dos oceanos atingindo novos recordes; agravamento das mudanças climáticas trouxe mais secas, inundações e ondas de calor para várias partes do mundo, ameaçando vidas e meios de subsistência (ONU NEWS 2023).

Na Figura 1 pode ser observada uma mancha de óleo devido a enchente em Kraemer, Louisiana, em 30 de agosto (CNN, 2021).

Figura 1: Mancha de óleo, enchente em Kraemer, Louisiana, em 30 de agosto



Fonte: CNN, 2021

Levando este tema para o setor de óleo e Gás, tomando como base o Relatório Riscos Climáticos no Setor de Petróleo e Gás, emitido pela ONU em abril de 2023, avalia que a combustão ininterrupta de todas as atuais reservas de combustível fóssil, levará as temperaturas a níveis potencialmente catastróficos (OIL-AND-GAS-RISKS, 2023). A ONU deixa claro em seu relatório, que as mudanças climáticas estão aumentando a gravidade e a frequência das tempestades e aumentando o risco de chuvas intensas. Tempestades e inundações causadas por fortes precipitações podem danificar a infraestrutura de extração e produção, bem como interromper as operações dos oleodutos de combustíveis fósseis (OIL-AND-GAS-RISKS, 2023).

2.3.1 Clima no Brasil

O Brasil é um país vulnerável às mudanças climáticas globais, pois apresenta grande extensão territorial, o que dificulta análises de impacto e a criação de políticas públicas de redução dos impactos, reduzindo a capacidade de se proteger e responder às mudanças climáticas (IPCC, 2022).

A região do Paraná tem experimentado mudanças significativas no clima nas últimas duas décadas. Desde o início dos anos 2000, a região tem visto um aumento na temperatura média anual, além de uma diminuição nas chuvas durante o inverno e uma intensificação dos eventos de chuvas extremas durante o verão (IPCC, 2022).

De acordo com os dados coletados pelos centros de monitoramento climático do país, a temperatura média anual nas regiões do Paraná e Santa Catarina, aumentou cerca de 0,5°C nas últimas duas décadas. Esse aumento na temperatura tem sido particularmente notável durante os meses de verão, com temperaturas recordes sendo registradas em diversas cidades da região (PARANACLIMA, 2020).

Além disso, a região do Paraná também tem experimentado uma mudança significativa no regime de chuvas. Durante o inverno, as chuvas têm sido cada vez mais escassas, o que tem afetado a produção agrícola da região. Por outro lado, durante o verão, tem havido um aumento na frequência e intensidade de eventos de chuvas extremas, o que tem causado inundações e deslizamentos de terra em algumas áreas, como por ser visto na Figura 2 (PARANACLIMA, 2020).

Essas mudanças no clima nestas regiões são resultado de uma combinação de fatores naturais e antropogênicos. Por um lado, a região tem sido afetada pelos efeitos do aquecimento global, que tem contribuído para o aumento da temperatura média global e para as mudanças nos padrões de chuva em todo o mundo. Por outro lado, a atividade humana, como o desmatamento, a urbanização e a poluição do ar, tem contribuído para a intensificação dessas mudanças (PARANACLIMA, 2020).

Figura 2 - Queda de barreira na estrada de ferro na região da Serra do Mar, entre Curitiba e o Litoral



Fonte: GDP, 2018

Diante dessas mudanças, é importante que as autoridades e a população destas regiões estejam preparadas para lidar com os impactos do clima em suas vidas e em suas atividades econômicas. Isso inclui a adoção de práticas agrícolas mais sustentáveis, a

implementação de políticas de conservação ambiental e a melhoria da infraestrutura para lidar com eventos climáticos extremos, como enchentes e deslizamentos de terra (G1, 2021).

2.4 Análise de Risco

Para qualquer indústria se prevenir de acidentes oriundos de eventos naturais é de extrema importância entender e reconhecer a sua vulnerabilidade, e avaliar os perigos e riscos a qual está exposta.

O primeiro passo para análise de um evento natural é identificar os riscos que existem para a instalação. Os fenômenos naturais se enquadram em duas categorias:

- **Riscos meteorológicos** que incluem inundações, temperaturas extremas, incêndios florestais, tornados, ciclones tropicais, furacões, tempestades, ventos, raios, chuvas de granizo, secas etc.
- **Riscos naturais geológicos**, incluem eventos sísmicos, terremotos, deslizamentos de terra, tsunamis, erupções vulcânicas e ruptura de barragens. (CCPS, 2019)

Realizar uma avaliação de risco para entendê-lo e desenvolver salvaguardas para os desvios identificados pode não ser uma tarefa fácil. Ao se abordar uma falha por meio de uma análise de riscos, métodos de análises qualitativas e/ou quantitativas, deve-se destacar três pontos:

- Determinar os danos que o perigo natural pode causar na instalação.
- Determinar as consequências impostas ao pessoal, à comunidade e ao meio ambiente como resultado do desastre natural.
- Estimar a frequência ou probabilidade das consequências.

Os riscos para eventos naturais podem ser semelhantes ou completamente diferentes dos riscos apresentados pela instalação durante as operações normais. Também é mais eficiente se concentrar nas consequências do pior caso, pois elas normalmente também abrangem as consequências menores.

Um desafio no planejamento de resposta a desastres naturais é que vários sistemas e equipamentos importantes podem ser afetados pelo mesmo evento, ao mesmo tempo ou

logo em seguida. É notório que neste cenário também pode-se incluir as perdas de camadas de proteção. Um exemplo é o aumento das águas de uma inundação: à medida que o nível da água continua a subir, mais equipamentos podem ser inundados, e, eventualmente, até mesmo os equipamentos em “terreno elevado” também podem ser afetados.

É importante documentar todos os eventos naturais considerados na avaliação e o resultado deve listar as consequências, as salvaguardas e ações existentes a serem tomadas.

A análise de riscos é um conjunto de métodos e técnicas utilizado para avaliar os riscos inerentes aos processos de trabalho que auxiliam na tomada de decisões e permitem que sejam adotadas medidas preventivas para evitar acidentes ou reduzir seu impacto sobre pessoas, equipamentos, instalações e processos, identificando e avaliando de forma qualitativa e quantitativa os riscos. Existem algumas técnicas de análise de risco que podem ser utilizadas para avaliação desses impactos, dentre elas o *What if*, FMEA, HAZOP e APR. As técnicas podem ser escolhidas e combinadas de acordo com as necessidades de cada processo. Algumas são mais adequadas para avaliar as causas de um problema e outras as suas consequências. A Figura 3 mostra as técnicas de análise de risco e a fase da instalação em que cada técnica pode ser aplicada.

Figura 3 - Técnicas Usualmente Aplicáveis às Fases do Ciclo de Vida da Instalação

Fase do ciclo de vida da instalação industrial Técnicas aplicáveis (mais usuais)	Projeto conceitual (FASE 2)	Projeto básico (FASE 3)	Projeto de detalhamento	Comissionamento / pré-operação	Operação (ver Nota 1)	Desativação
Lista de verificação ("checklist")				X	X	X
E se? ("what if?")	X				X	
Análise Preliminar de Riscos (APR)	X	X	X	X	X	X
Estudo de Perigos e Operabilidade (HAZOP)		X	X	X	X	
Análise de Camadas de Proteção (LOPA)		X	X		X	
Análise de consequências		X	X		X	
Análise Quantitativa de Riscos (AQR)			X		X	

Fonte: PETROBRAS, 2023

2.4.1. Análise Preliminar de Risco – APR

Trata-se de uma análise onde se identificam eventos indesejáveis, suas causas, consequências, modos de detecção e salvaguardas. A análise é centrada na identificação dos riscos existentes para as pessoas, o meio ambiente, o patrimônio, a continuidade operacional e a imagem da empresa. Para isso são consideradas possíveis falhas de sistemas, equipamentos, operações e seus respectivos impactos. (Sella, Bianca Cristina – 2014)

É uma ferramenta que possibilita a avaliação prematura de perigo, quando existe pouca ou quase nenhuma informação sobre detalhes ou procedimentos operacionais, sendo a precursora de análises de riscos adicionais. Na figura 4 vemos um modelo de APR utilizada na empresa do estudo de caso.

Figura 4: Exemplo de tabela para registro de APR

		ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCOS (APR)										Nível de Proteção		
												Gerência Emitente		
Unidade:					Sistema:					Data:				
Subsistema:		Descrição:						Desenhos e Rev.:						
Perigo	Causas	Consequências	Detecções / Salvaguardas	Freq.	Pessoal		Instal.		MA		Imagem		Recomendações / Observações	Cenário
					S	R	S	R	S	R	S	R		
	-	-	-											
	-	-	-											

Fonte: PETROBRAS, 2023

3. METODOLOGIA

Para analisar o case proposto nesse trabalho vamos utilizar a técnica de Análise Preliminar de Risco – APR. Essa técnica foi escolhida por ser uma ferramenta de análise que pode ser desenvolvida sem muitos recursos e pode ser aplicada em qualquer fase da instalação, seja ela nova ou já existente. É importante que sejam pensados nos riscos na fase de projeto, para criar mecanismos de prevenção e mitigação, mas isso não exime uma empresa de elaborar uma APR sobre eventos naturais com a instalação já em execução. A técnica também foi escolhida por possibilitar a inserção de salvaguardas de mitigação, ou seja, após a ocorrência de um cenário de risco analisado, as salvaguardas que mitigam, reduzindo os impactos (em extensão ou criticidade) são muito importantes para os cenários de risco devido a causas naturais.

A técnica HAZOP não é apropriada para essa análise devido as causas a serem analisadas nesse tipo de estudo serem sempre relacionadas a variações nos processos industriais, assim como a técnica LOPA, cujo foco é a análise das camadas de proteção dos processos industriais. A AQR também não é aplicável nesse tipo de estudo, pois analisa quantitativamente as consequências de ocorrências devido a vazamentos nos processos industriais. As demais técnicas listadas na Figura 3 foram consideradas muito simples e não são consideradas análises semi-quantitativas tal como a APR, que desta forma auxiliará na avaliação dos riscos das causas naturais consideradas.

Foram elencadas possíveis causas de eventos extremos da natureza, que são: fortes chuvas, tempestade tropical, chuva de granizo, enchentes, inundações, deslizamentos de terra, descarga atmosférica, temperaturas extremas, fortes ventos, ciclone, furacão, terremoto, movimentação de placas tectônicas (falha geológica), incêndios florestais e seca extrema. Os eventos extremos da natureza considerados como causa na APR são aqueles que foram observados nos últimos anos no estado de Santa Catarina, que são:

- Fortes chuvas/ Deslizamentos de terra;
- Tempestade;
- Enchentes/inundações;
- Descarga atmosférica;
- Ciclone;
- Terremoto;
- Movimentação de placas tectônicas (falha geológica).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os perigos considerados na APR foram pequeno, médio e grande vazamento de gás natural, sendo os mesmos divididos em dois trechos com diferentes características geológicas: trecho de planalto e trecho de descida da serra até o mar, devido aos cenários possuírem diferentes consequências e salvaguardas. Os seis cenários analisados na APR são:

1. Pequeno vazamento de gás natural em trecho de Planalto, devido as causas naturais listadas na Figura 5, tendo como consequência o corte no fornecimento de gás nas cidades supridas pelo gasoduto, a ruptura no gasoduto e a possibilidade de incêndio (jato de fogo);
2. Médio vazamento de gás natural em trecho de Planalto, devido as causas naturais listadas na Figura 5, tendo como consequência o corte no fornecimento de gás nas cidades supridas pelo gasoduto, a ruptura no gasoduto e a possibilidade de incêndio (jato de fogo);
3. Grande vazamento de gás natural em trecho de Planalto, devido as causas naturais listadas na Figura 5, tendo como consequência a interrupção de tráfego nas rodovias por

onde passa o gasoduto, o corte no fornecimento de gás nas cidades supridas pelo gasoduto, a ruptura no gasoduto e a possibilidade de incêndio (jato e bola de fogo);

4. Pequeno vazamento de gás natural na descida da serra até o mar, devido as causas naturais listadas na Figura 6, tendo como consequência o corte no fornecimento de gás nas cidades supridas pelo gasoduto, a ruptura no gasoduto e a possibilidade de incêndio (jato de fogo);

5. Médio vazamento de gás natural na descida da serra até o mar, devido as causas naturais listadas na Figura 6, tendo como consequência o corte no fornecimento de gás nas cidades supridas pelo gasoduto, a ruptura no gasoduto e a possibilidade de incêndio (jato de fogo);

6. Grande vazamento de gás natural na descida da serra até o mar, devido as causas naturais listadas na Figura 6, tendo como consequência a interrupção de tráfego nas rodovias por onde passa o gasoduto, o corte no fornecimento de gás nas cidades supridas pelo gasoduto, a ruptura no gasoduto e a possibilidade de incêndio (jato e bola de fogo).

Foram verificados possíveis modos de detecção e salvaguardas, sendo que como forma de detecção, devido a ruptura do gasoduto, existe presença de sensor de vazamento próximo de válvulas para todos os cenários.

Figura 5: APR desenvolvida para cenários em trecho de Planalto

Análise Preliminar de Riscos (APR)														
Unidade:	Gasoduto Brasil-Bolívia					Data: 06/06/2023				Participantes: ADRIANO ANDREA				
Sistema:	Gasoduto saindo da REPAR no estado do Paraná, passando pelo estado de Santa Catarina										GIEDRE RIANE DA SILVA FERNANDES			
Subsistema:	Trecho do Gasoduto que passa pelo estado de Santa Catarina										KEYLLA DE ALMEIDA SILVA			
Descrição	Gasoduto Brasil-Bolívia (localizados entre as cidades de Gaspar e Blumenau, no estado de Santa Catarina)										MILENA FÁTIMA LORENZINI OLDOMARIO JOSÉ BRANDÃO FILHO			
PERIGO	CAUSAS	CONSEQUÊNCIAS	Detecções / Salvaguardas	Freq.	Pessoas		Instalações		Meio ambiente		Reputação		Recomendações / Observações	
					Sev.	Risco	Sev.	Risco	Sev.	Risco	Sev.	Risco		
Pequeno vazamento de gás natural em trecho de Planalto	- Fortes chuvas/ Deslizamentos de terra - Tempestade - Enchentes/inundações - Descarga atmosférica - Ciclone - Terremoto - Movimentação de placas tectônicas (falha geológica)	- Corte no fornecimento de gás nas cidades supridas pelo gasoduto - Ruptura no gasoduto - Possibilidade de incêndio (jato de fogo)	Detecção: - Sensor de vazamento próximo de válvulas Salvaguardas: - Plano de Resposta a Emergência do Gasoduto - Sinalização de Perigo na faixa de servidão do gasoduto - Válvulas de bloqueio manual e automática de isolamento do trecho	A	I	T	II	T	II	T	II	T		
Médio vazamento de gás natural em trecho de Planalto	- Fortes chuvas/ Deslizamentos de terra - Tempestade - Enchentes/inundações - Descarga atmosférica - Ciclone - Terremoto - Movimentação de placas tectônicas (falha geológica)	- Corte no fornecimento de gás nas cidades supridas pelo gasoduto - Ruptura no gasoduto - Possibilidade de incêndio (jato de fogo)	Detecção: - Sensor de vazamento próximo de válvulas Salvaguardas: - Plano de Resposta a Emergência do Gasoduto - Sinalização de Perigo na faixa de servidão do gasoduto - Válvulas de bloqueio manual e automática de isolamento do trecho	A	II	T	III	T	II	T	III	T		
Grande vazamento de gás natural em trecho de Planalto	- Fortes chuvas/ Deslizamentos de terra - Tempestade - Enchentes/inundações - Descarga atmosférica - Ciclone - Terremoto - Movimentação de placas tectônicas (falha geológica)	- Interrupção de tráfego nas rodovias por onde passa o gasoduto - Corte no fornecimento de gás nas cidades supridas pelo gasoduto - Ruptura no gasoduto - Possibilidade de incêndio (jato/bola de fogo)	Detecção: - Sensor de vazamento próximo de válvulas Salvaguardas: - Plano de Resposta a Emergência do Gasoduto - Sinalização de Perigo na faixa de servidão do gasoduto - Válvulas de bloqueio manual e automática de isolamento do trecho	A	V	M	IV	T	III	T	IV	T	1) Revisar o plano de comunicações para situações de emergência com foco nas comunicações com órgãos externos (Órgão Ambiental, Defesa Civil, Corpo de Bombeiros) e realizar simulados de comunicação periódicos. 2) Aumentar a frequência de inspeção por inspetores com drones na faixa de dutos. 3) Implementar instrumentação geotécnica de áreas de risco (para mapear as áreas sujeitas a movimentação do terreno) e demais áreas instáveis de encostas.	

Fonte: elaborada pelo autor

As salvaguardas para o trecho de planalto são o Plano de Resposta a Emergência do Gasoduto, a sinalização de Perigo na faixa de servidão do gasoduto e as válvulas de bloqueio manual e automática de isolamento do trecho.

As salvaguardas para o trecho de descida da serra até o mar são, além das mencionadas acima para o trecho de planalto, o monitoramento da estabilidade do terreno com o piezômetro e inclinômetro (para o monitoramento das encostas). Esse equipamento permite quantificar o efeito da movimentação do terreno na tubulação e avaliar a necessidade de intervenção na instalação (MICHAELSEN, 2011).

A frequência de ocorrência dos cenários foi avaliada conforme a Matriz de Tolerabilidade de Riscos da Figura 7. Cada empresa deve elaborar sua matriz conforme os gestores julgarem mais apropriado, com critérios definidos pela própria empresa. O que diferencia a maioria das matrizes de avaliação de riscos encontradas na bibliografia de uma matriz para avaliar os riscos de origem em eventos naturais são as categorias de frequência dos cenários, que precisam levar em consideração a frequência desses eventos. São raros os modelos encontrados na literatura que levam em consideração a ocorrência de cenários acidentais devido a causas naturais. O presente trabalho não realizou uma análise mais profunda sobre probabilidade e histórico de ocorrência de eventos naturais para a elaboração da Matriz de Tolerabilidade de Riscos. Essa análise precisaria envolver especialistas em clima e não foi o objetivo do trabalho.

Consideramos a frequência para os três cenários em trecho de descida da serra até o mar como B – Pouco provável, considerando que pode ter ocorrido uma vez durante o período de operação da instalação (como realmente ocorreu em 2008 com o gasoduto do estudo de caso) e/ou pode ocorrer nos próximos 30 anos (já se passaram 15 anos desde 2008 e o cenário ainda não ocorreu novamente).

Já para o cenário em trecho de Planalto consideramos a frequência para os três cenários como A – Extremamente Remota (nunca ocorreu e/ou não é esperado que ocorra nos próximos 30 anos), levando em consideração que a avaliação da frequência em ocorrer o cenário é completa, ou seja, tendo que haver o perigo, as causas e chegando nas consequências listada na Figura 5. Como as consequências listadas estão ao extremo, considerando até a possibilidade de incêndio com jato e bola de fogo, consideramos a frequência desse cenário como extremamente remoto.

Figura 6: APR desenvolvida para cenários em trecho de descida da serra até o mar

Análise Preliminar de Riscos (APR)													
Unidade:	Gasoduto Brasil-Bolívia					Data: 06/06/2023				Participantes: ADRIANO ANDREA			
Sistema:	Gasoduto saindo da REPAR no estado do Paraná, passando pelo estado de Santa Catarina										GIEDRE RIANE DA SILVA FERNANDES		
Subsistema:	Trecho do Gasoduto que passa pelo estado de Santa Catarina										KEYLLA DE ALMEIDA SILVA		
Descrição	Gasoduto Brasil-Bolívia (localizados entre as cidades de Gaspar e Blumenau, no estado de Santa Catarina)										MILENA FÁTIMA LORENZINI		
OLDOMARIO JOSÉ BRANDÃO FILHO													
PERIGO	CAUSAS	CONSEQUÊNCIAS	Detecções / Salvaguardas	Freq.	Pessoas		Instalações		Meio ambiente		Reputação		Recomendações / Observações
					Sev.	Risco	Sev.	Risco	Sev.	Risco	Sev.	Risco	
Pequeno vazamento de gás natural na descida da serra até o mar	- Fortes chuvas/ Deslizamentos de terra - Tempestade - Enchentes/inundações - Descarga atmosférica - Ciclone - Terremoto - Movimentação de placas tectônicas (falha geológica)	- Corte no fornecimento de gás nas cidades supridas pelo gasoduto - Ruptura no gasoduto - Possibilidade de incêndio (jato de fogo)	Detecção: - Sensor de vazamento próximo de válvulas Salvaguardas: - Plano de Resposta a Emergência do Gasoduto - Sinalização de Perigo na faixa de servidão do gasoduto - Válvulas de bloqueio manual e automática de isolamento do trecho - Monitoramento de vazão - piezômetros (monitoramento das encostas) - inclinômetro (monitoramento das encostas)	B	I	T	II	T	II	T	II	T	
Médio vazamento de gás natural na descida da serra até o mar	- Fortes chuvas/ Deslizamentos de terra - Tempestade - Enchentes/inundações - Descarga atmosférica - Ciclone - Terremoto - Movimentação de placas tectônicas (falha geológica)	- Corte no fornecimento de gás nas cidades supridas pelo gasoduto - Ruptura no gasoduto - Possibilidade de incêndio (jato de fogo)	Detecção: - Sensor de vazamento próximo de válvulas Salvaguardas: - Plano de Resposta a Emergência do Gasoduto - Sinalização de Perigo na faixa de servidão do gasoduto - Válvulas de bloqueio manual e automática de isolamento do trecho - Monitoramento de vazão - piezômetros (monitoramento das encostas) - inclinômetro (monitoramento das encostas)	B	II	T	III	T	II	T	III	T	
Grande vazamento de gás natural na descida da serra até o mar	- Fortes chuvas/ Deslizamentos de terra - Tempestade - Enchentes/inundações - Descarga atmosférica - Ciclone - Terremoto - Movimentação de placas tectônicas (falha geológica)	- Interrupção de tráfego nas rodovias por onde passa o gasoduto - Corte no fornecimento de gás nas cidades supridas pelo gasoduto - Ruptura no gasoduto - Possibilidade de incêndio (jato/bola de fogo)	Detecção: - Sensor de vazamento próximo de válvulas Salvaguardas: - Plano de Resposta a Emergência do Gasoduto - Sinalização de Perigo na faixa de servidão do gasoduto - Válvulas de bloqueio manual e automática de isolamento do trecho - Monitoramento de vazão - piezômetros (monitoramento das encostas) - inclinômetro (monitoramento das encostas)	B	V	M	IV	T	III	T	IV	T	1) Revisar o plano de comunicações para situações de emergência com foco nas comunicações com órgãos externos (Órgão Ambiental, Defesa Civil, Corpo de Bombeiros) e realizar simulados de comunicação periódicos. 2) Aumentar a frequência de inspeção por inspetores com drones na faixa de dutos. 3) Implementar instrumentação geotécnica de áreas de risco (para mapear as áreas sujeitas a movimentação do terreno) e demais áreas instáveis de encostas.

Fonte: elaborada pelo autor

Foram avaliadas as severidades das consequências dos cenários acidentais com origem de causas de eventos naturais extremos conforme a matriz da Figura 7. Os cenários foram considerados de risco tolerável para pequeno e médio vazamentos de gás natural, tanto no trecho de Planalto como na descida da serra até o mar. Os cenários de grande vazamento de gás natural nos dois trechos foram considerados de risco moderado.

Figura 7: Matriz de Tolerabilidade de Riscos desenvolvida para o presente trabalho (adaptada)

					Categorias de Frequência								
					Descrição / Características				A Extremamente remota	B Pouco provável	C Pouco provável	D Provável	E Frequente
					Pessoas	Patrimônio/ Continuidade Operacional	Meio Ambiente	Reputação	Nunca ocorreu e/ou não é esperado que ocorra nos próximos 30 anos de operação.	Pode ter ocorrido uma vez durante o período de operação e/ou pode ocorrer nos próximos 30 anos.	Ocorreu uma vez durante a operação e/ou pode ocorrer nos próximos 5 anos.	Ocorreu algumas vezes durante a operação e/ou é esperado que ocorra no próximo ano.	Ocorreu diversas vezes durante a operação e/ou é esperado que continue ocorrendo no futuro.
Categorias de Severidade das consequências	V	Catastrófica	Uma ou mais vítimas fatais extramuros (comunidades) relacionadas com as atividades do negócio; Mais de 10 vítimas fatais no interior da empresa	Dano à propriedade dentro da planta ou perda de receita de produção superior a US 50.000.000,00	Amplio impacto ambiental ou impacto irreversível ao meio ambiente dentro ou fora da instalação mesmo com ações mitigadoras adotadas	Reação adversa severa do público , órgão governamentais, não governamentais, cobertura mídia nacional ou internacional, ameaçando a continuidade do negócio	MODERADO	MODERADO	NÃO TOLERÁVEL	NÃO TOLERÁVEL	NÃO TOLERÁVEL		
	IV	Crítica	Até 10 vítimas faais no interior da empresa (colaboradores próprios ou terceiros) ou vítimas com lesões incapacitantes	Dano à propriedade dentro da planta ou perda de receita de produção de US 10.000.000,00 até US 50.000.000,00	Sério impacto ambiental dentro e/ou fora da planta, impacto moderado reversível	Séria reação do público , órgão governamentais, não governamentais, cobertura mídia regional com incursões na mídia nacional	TOLERÁVEL	MODERADO	MODERADO	NÃO TOLERÁVEL	NÃO TOLERÁVEL		
	III	Média	Acidentes em colaboradores próprios ou terceiros com lesão com afastamento, ou sem afastamento porém com restrição médica	Dano à propriedade dentro da planta ou perda de receita de produção de US 1.000.000,00 até US 10.000.000,00	Impacto ambiental moderado dentro da planta	Reação adversa moderada do público, órgãos governamentais ou não governamentais, cobertura da mídia local com pequena repercussão	TOLERÁVEL	TOLERÁVEL	MODERADO	MODERADO	NÃO TOLERÁVEL		
	II	Marginal	Acidentes em colaboradores próprios ou terceiros com lesão sem afastamento	Dano à propriedade dentro da planta ou perda de receita de produção de US 100.000,00 até US 1.000.000,00	Impacto ambiental adverso dentro da planta	Reação adversa moderada do público, órgãos governamentais ou não governamentais	TOLERÁVEL	TOLERÁVEL	TOLERÁVEL	MODERADO	MODERADO		
	I	Desprezível	Acidentes sem lesões ou casos de primeiros socorros	Dano à propriedade dentro da planta ou perda de receita de produção de US 25.000,00 até US 100.000,00	Mínimo a nenhum impacto dentro da planta	Reação adversa mínima do público, órgãos governamentais ou não governamentais	TOLERÁVEL	TOLERÁVEL	TOLERÁVEL	TOLERÁVEL	MODERADO		

Fonte: O autor (adaptada das diretrizes internas da empresa em estudo), 2023.

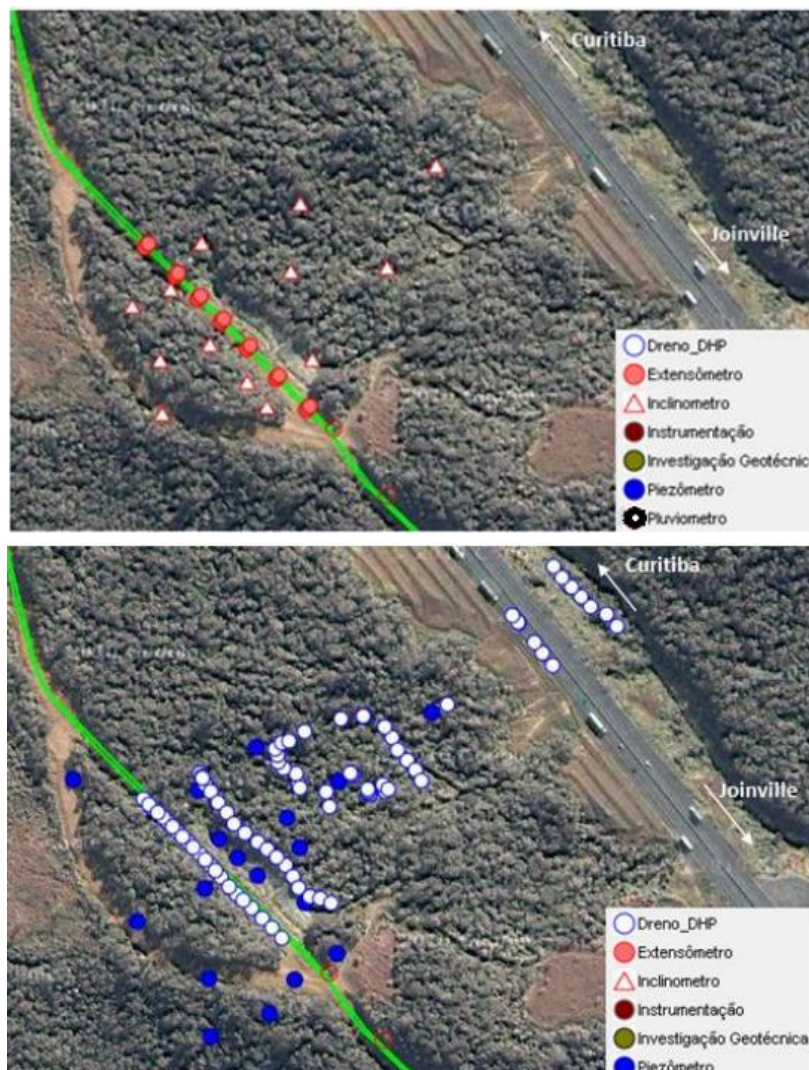
Para os cenários de risco moderado, foram listadas três possíveis recomendações:

- 1) Revisar o plano de comunicações para emergências com foco nas comunicações com órgãos externos (Órgão Ambiental, Defesa Civil, Corpo de Bombeiros, Polícia Rodoviários Federal) e realizar simulados de comunicação periódicos. A empresa deve possuir plano de comunicações para emergências, mas salienta-se em praticar essas comunicações, a fim de testar números de telefones e manter contato frequente com os órgãos públicos, pois numa emergência o aviso imediato é muito importante para uma interdição de rodovia ou evacuação de população de área de risco.
- 2) Aumentar a frequência de inspeção por inspetores com drones na faixa de dutos. A empresa possui esse tipo de inspeção, mas com o aumento de eventos extremos da natureza é importante que essas inspeções sejam realizadas com maior frequência, para detectar possíveis desmoronamentos e outras situações que possam levar as consequências indesejadas.
- 3) Implementar instrumentação geotécnica de áreas de risco (para mapear as áreas sujeitas a movimentação do terreno) e demais áreas instáveis de encostas. Os resultados obtidos através de instrumentações geotécnica de uma encosta, por exemplo, permite definir um

método de controle para garantir a operação segura de dutos enterrados (Michaelson, 2011).

É importante intensificar as ações de mitigação, pois em um cenário de risco desta natureza as ações de comunicação rápidas após uma ocorrência são muito importantes. Uma interdição de rodovia eficaz, antes mesmo de um possível deslizamento de terra, poderá salvar muitas vidas. Os simulados de resposta a emergências também são de suma importância, sendo que devem ocorrer integrados com os órgãos públicos, focados em ações de comunicação e avisos a comunidades que possam ser afetadas com os cenários previstos.

Figura 8: Localização de inclinômetros e piezômetros em trecho de encosta monitorado pela Transpetro



Fonte: Michaelson, 2011

Ações preventivas de inspeções e monitoramento de encostas também são essenciais. Na Figura 8 podem ser verificados pontos de monitoramento de encostas através de inclinômetros e piezômetros (Michaelsen, 2011).

Dois cenários foram considerados de risco moderado e não houve risco maior avaliado no estudo de caso. Isso pode ser considerado ao fato que os perigos na situação do estudo de caso são vazamentos de gás natural. Caso o duto contivesse óleo, por exemplo, os riscos ao meio ambiente seriam maiores, devido a possibilidade de acometer rios, solo e lençol freático. Nessa situação provavelmente os cenários receberiam uma avaliação de criticidade maior do que a realizada no presente trabalho.

5 – CONCLUSÃO

Não há como negar que o planeta está em uma revolução climática, atribuído principalmente ao aquecimento global, sendo assim, as indústrias têm que se preparar às novas condições ambientais. Mesmo com a nítida mudança que temos acompanhado ao longo dos anos sobre as alterações no clima, identificamos uma carência de relatos de eventos de processo, no Brasil, ligados a mudanças climáticas, como a do terremoto Catarina – SC em 2004, a catástrofe de Petrópolis em 2022, entre outros.

Apesar de não ter disponível na literatura muitas informações sobre o acidente do Gasoduto GASBOL, o mesmo foi selecionado para análise do Estudo de Caso, pois continha informações mínimas suficientes para o desenvolvimento do trabalho. Não foi escolhido um outro acidente para o Estudo de Caso devido a não localização de relatórios de análise ou mesmo descrição de acidentes de segurança de processo com origem de causas naturais em agências brasileiras ou órgãos e fundações ambientais.

O Estudo de Caso foi realizado utilizando a ferramenta Análise Preliminar de Risco – APR, que foi avaliada como mais adequada para a situação. A partir da análise da APR ficou evidente que o maior perigo para o cenário de rompimento da tubulação é o grande vazamento de gás e esse evento tem alta probabilidade de ser provocado por deslizamento de terra motivado pelas ações climáticas.

Os estudos para avaliação de riscos associados a condições naturais extremas deverão ser conduzidos como as avaliações de riscos de processo, dando a mesma ênfase de gestão para mitigação dos riscos e identificação de salvaguardas. É de extrema importância a sensibilização das lideranças quanto a necessidade da implementação das salvaguardas. Com base no mapeamento dos riscos, é possível elaborar um Plano de Resposta a Emergências de Riscos Naturais robusto e eficaz na mitigação das consequências em caso de acidente com causas naturais.

Não temos controle sobre o tempo, entretanto, podemos trabalhar para que os impactos sejam mínimos caso desastres naturais ocorram, favorecendo a continuidade dos negócios, um retorno mais seguro à rotina, reduzindo a emissão de poluentes ao meio ambiente e preservando vidas.

Como recomendações para trabalhos e estudos futuros consideramos pertinente: estudar uma padronização de análise sobre probabilidade e histórico de ocorrências de eventos naturais para que as empresas pudessem utilizar como base para as suas análises de riscos; realizar uma análise de ocorrências oriundas de causas climáticas, com foco nas causas dos eventos naturais extremos que geraram essas ocorrências; analisar Planos de Contingências avaliando como inserem as mitigações devido a causas naturais, inclusive planos de empresas situadas em países em que é comum a ocorrência de eventos extremos da natureza causarem acidentes de processo nas indústrias, tais como Japão e Estados Unidos da América.

REFERÊNCIAS

8Quali – Técnicas para análise de risco. Disponível em: <https://8quali.com.br/quais-sao-as-principais-ferramentas-para-analise-de-riscos-na-gestao-da-qualidade/>. Acessado em: 15/03/2023

AH a. RD Mohammadi, Dados de Equilíbrio de Dióxido de Enxofre e Hidratos de Clatrato de Metil Mercaptano, Journal of Chemical & Engineering Data, vol. 56, pp. 1666-1668, 2011.

BBC, Disponível em: [tps://www.bbc.com/portuguese/internacional-55943220](https://www.bbc.com/portuguese/internacional-55943220). Acessado em: 13/04/2023.

CCPS - Center for Chemical Process Safety. CCPS Monograph: Assessment of and planning for natural hazards. s.l.: AIChE - American Institute of Chemical Engineers, 2019.

OIL-AND-GAS-RISKS, - Briefings Setoriais de Risco: Insights para Instituições Financeiras | Riscos Climáticos no Setor de Petróleo e Gás, 2023.

CNN, 2021. Mancha de óleo no topo das enchentes na Louisiana. Disponível em: <https://edition.cnn.com/2021/08/28/weather/gallery/hurricane-ida/index.html>. Acessado em: 27/04/2023.

CNN, 2023 - Entenda o que é o fenômeno EL Niño disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/internacional/entenda-o-que-e-o-fenomeno-el-nino-que-pode-alterar-a-temperatura-das-aguas-do-oceano/>. Acessado em: 27/04/2023.

CORREIO BRAZILIENSE, Rede de gás de Santa Catarina teve rompimento em dois pontos, 2008. Disponível em: <https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/brasil/2008/11/24/interna-brasil,51435/rede-de-gas-de-santa-catarina-teve-rompimento-em-dois-pontos.shtml>. Acessado em: 13/04/2023.

CRUZ, Ana Maria; KRAUSMANN, Elisabeth. Vulnerability of the oil and gas sector to climate change and extreme weather events. Climatic change, v. 121, n. 1, p. 41-53, 2013.

CSB Incêndio na Refinaria Valero – Texas. Disponível em: <https://pt.allreadable.com/783dFGwf>. Acessado em: 13/04/2023.

CSB, Relatório de Investigação Liberação de Produtos Químicos Tóxicos na Instalação Química DuPont La Porte. 2019. Disponível em: <https://www.csb.gov/dupont-la-porte-facility-toxic-chemical-release/>. Acessado em: 16/04/2023.

DIÁRIO GAÚCHO, Rompimento de gasoduto interrompe fornecimento em RS e SC, alerta Luiz Henrique. Diário Gaúcho, 2008. Disponível em: <http://diariogaucha.clicrbs.com.br/rs/dia-a-dia/noticia/2008/11/rompimento-de-gasoduto-interrompe-fornecimento-em-rs-e-sc-alerta-luiz-henrique-2305695.html?impressao=sim>. Acessado em 14/04/2023.

eCYCLE, 2020 – Fenômeno EL Niño. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/el-nino/>. Acessado em: 15/03/2023.

EL PAIS, 2017. Disponível em: https://brasil.elpais.com/brasil/2017/08/31/internacional/1504177148_713275.html. Acessado em 13/04/2023.

FOTOS: Tragédia de 2008 em Blumenau completa 14 anos; imagens mostram destruição na cidade | ND Mais

G1, 2018 – Mudança climática. Disponível em: <https://g1.globo.com/natureza/noticia/2018/12/06/mudanca-climatica-7-graficos-que-mostram-em-que-ponto-estamos.ghml>. Acessado em: 15/03/2023.

G1, 2023. Após rompimento de tubulação, rede de distribuição de gás é religada em Blumenau | Santa Catarina | G1 (globo.com),

GDO, 2019. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/curitiba/chuva-derruba-barreira-e-faz-trem-descarrilhar-na-serra-do-mar-4gv9fkuc2osoi3uwg2de7yevg/>. Acessado em: 15/03/2023.

IPCC, 2022 Como os impactos das mudanças climáticas afetam o Brasil. Disponível em: <https://climainfo.org.br/2022/02/28/impactos-das-mudancas-climaticas-brasil/>. Acessado em: 27/04/2023.

ONUS News, 2023 Relatório da ONU revela aumento alarmante nos efeitos da mudança climática | ONU News. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2023/04/1813222> Acessado em: 27/04/2023.

CNN, 2021 . Em fotos: Furacão Ida devasta a Costa do Golfo. Disponível em: <https://edition.cnn.com/2021/08/28/weather/gallery/hurricane-ida/index.html> Acessado em: 28/04/2023.

MICHAELSON, F. M., Riscos Geotécnicos em Dutos: Instrumentação para monitoramento de oleodutos e gasodutos em encostas instáveis, Porto Alegre, URFGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

OFFSHORE TECHNOLOGY, 2026 - Disponível em: <https://www.offshore-technology.com/features/feature582/>. Acessado em 13/04/2023.

ONU, 2023. Nações Unidas Brasil. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/175180-o-que-s%C3%A3o-mudan%C3%A7as-clim%C3%A1ticas>. Acessado em:15/03/2023.

PACHECO, Cecilia. Impacts of climate change on process safety. Process Safety Progress, 2023.

PARANACLIMA- Programa Paranaense de Mudanças Climáticas, 2020. Disponível em: https://www.sedest.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2021-06/plano_de_trabalho_paranaclima_-_sedest_e_simepar_vfinal.pdf. Acessado em: 15/03/2023.

PASKAL C Briefing paper: The vulnerability of Energy Infrastructure to Environmental Change (EERG BP 2009/01). Chatham House, London, 2009.

PETROBRAS, 2023. Norma técnica Petrobras N-2595. Disponível em: Norma técnica pública. <https://pt.scribd.com/document/85086104/N-2595-Criterios-Para-Projeto-e-Manutencao-Para-Sistemas-Instrument-a-Dos-de-Seguranca-Em-Unidades-is#:~:text=1.1%20Esta%20Norma%20fixa%20as,Requisitos%20Tcnicos%20e%20Prticas%20Recomendadas>. Acessado em: 15/03/2023.

Port Of Mohammedia Refinery Explosion 2002 - Process Safety Integrity . Disponível em https://processsafetyintegrity.com/events/2022-11-22_mohammedia. Acessado em 13/04/2023.

RCSP, 2023 - Riscos Climáticos no Setor de Petróleo e Gás , disponível em: Briefings Setoriais de Risco: Insights para Instituições Financeiras | Riscos Climáticos no Setor de Petróleo e Gás.

RELATÓRIO MARSH, 100 maiores perdas na indústria de hidrocarbonetos, 27ª Edição. 2022. Disponível em: <https://www.marsh.com/br/industries/energy-and-power/insights/100-largest-losses.html>. Acessado em: 16/04/2023.

Rompimento de gasoduto interrompe fornecimento em RS e SC, alerta Luiz Henrique - Notícias Disponível em: <http://diariogaucha.clicrbs.com.br/rs/dia-a-dia/noticia/2008/11/rompimento-de-gasoduto-interrompe-fornecimento-em-rs-e-sc-alerta-luiz-henrique-2305695.html?impressao=sim>. Acessado em: 16/04/2023.

Segurança do Trabalho ACZ – Técnicas de Análise de Risco. Disponível em: <https://segurancadotrabalhoacz.com.br/tecnicas-de-analise-de-risco/>. Acessado em: 15/03/2023.

SELLA, Bianca Cristina. Comparativo entre as técnicas de análise de riscos APR e HAZOP. 2014. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

SANTIN, Allan. Deslizamentos de terra provocaram explosões na rede de gás em SC, afirma engenheiro. Folha Online, 2008. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2008/11/473181-deslizamentos-de-terra-provocaram-explosoes-na-rede-de-gas-em-sc-afirma-engenheiro.shtml>. Acessado em: 13/04/2023.

SENGUL H, Santella N, Steinberg LJ, Cruz AM, 2012. Analysis of hazardous material releases due to natural hazards in the United States. Disasters 36(4):723–743. doi:10.1111/j.1467-7717.2012.01272.x.

UOL, 2020. A relação entre hidrografia, clima e relevo. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/a-relacao-entre-hidrografia-clima-relevo.htm>. Acessado em: 27/04/2023.

WILBANKS TJ, Bhatt V, Bilello DE, Bull SR, Ekmann J et al. (2007) Effects of Climate Change on Energy Production and Use in the United States. U.S. Climate Change Science Program. <http://www.climatescience.gov/Library/sap/sap4-5/final-report/sap4-5-final-all.pdf>. Acessado em: 13/04/2023.

ZONA DE RISCO, Rompimento e explosão do gasoduto Brasil-Bolívia em Gaspar (SC), 2008. Disponível em: <https://zonaderisco.blogspot.com/2008/11/rompimento-e-exploso-do-gasoduto-brasil.html?m=0>. Acessado em: 13/04/2023.