



**Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Escola Politécnica & Escola de Química  
Programa de Engenharia Ambiental**

Débora Nascimento Eiriz

**CONTRIBUIÇÃO AO PLANO DE GERENCIAMENTO DE RISCOS PARA LOCAIS DE  
ARMAZENAMENTO DE PRODUTOS QUÍMICOS EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO E  
PESQUISA**

Rio de Janeiro  
2023



Débora Nascimento Eiriz

CONTRIBUIÇÃO AO PLANO DE GERENCIAMENTO DE RISCOS PARA LOCAIS DE  
ARMAZENAMENTO DE PRODUTOS QUÍMICOS EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO E  
PESQUISA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientadores: Assed Haddad e Carina Mariane Stolz

Rio de Janeiro  
2023

Eiriz, Débora Nascimento.

Contribuição ao plano de gerenciamento de riscos para locais de armazenamento de produtos químicos em instituições de ensino e pesquisa / Débora Nascimento Eiriz – 2023.126 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica e Escola de Química, Programa de Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro, 2023.

Orientadores: Assed Haddad e Carina Mariane Stolz

1. Gerenciamento de Riscos. 2. Análise de Riscos. 3. Segurança. 4. Armazenamento de Produtos Químicos. I. Haddad, Assed (Orient.). II Stolz, Carina Mariane. III. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica e Escola de Química. IV. Título.



UFRJ

CONTRIBUIÇÃO AO PLANO DE GERENCIAMENTO DE RISCOS PARA LOCAIS DE  
ARMAZENAMENTO DE PRODUTOS QUÍMICOS EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO E  
PESQUISA

Débora Nascimento Eiriz

Orientadores: Assed Haddad e Carina Mariane Stolz

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Aprovada pela Banca:

Presidente/Orientador, Prof. Assed Haddad, D.Sc, UFRJ

Presidente/Orientadora, Prof<sup>a</sup>. Carina Mariane Stolz, D.Sc, UFRJ

Prof<sup>a</sup>. Katiúcia Nascimento Adam, D.Sc, UFRJ

Prof<sup>a</sup>. Lais Zucchetti, D.Sc, UFRJ

Prof<sup>a</sup>. Luciana De Nazaré Pinheiro Cordeiro, D.Sc, UFRJ

Prof<sup>a</sup>. Mayara Amario, D.Sc, UFRJ

Rio de Janeiro  
2023

*Dedico essa dissertação a toda minha família e amigos, em especial ao meu pai, à minha falecida mãe Regina Nascimento Eiriz, ao meu marido Guilherme Campos Moreira e à minha filha Helena Eiriz Moreira, por toda compreensão nas minhas ausências e por sempre me apoiarem em mais esta etapa da minha formação.*

## **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho só foi possível graças ao apoio direto ou indireto de muitas pessoas. Segue meus agradecimentos a algumas delas:

- Aos meus familiares que tanto amo e tem me dado suporte e me incentivado a continuar estudando e finalizar meus projetos após ter me tornado mãe, e que muitas vezes dedicaram seu tempo e seus fins de semana cuidando da minha filha com todo o carinho para que eu pudesse cumprir meus compromissos acadêmicos e profissionais. Um agradecimento especial à minha madrinha Cristiane, à minha tia Dulce, à minha prima Luana e à minha irmã Jackeline, que têm se feito tão presentes ao longo desta jornada.

- Á meu amado marido Guilherme que sempre me incentiva a ir além e buscar acima de tudo minha realização pessoal e profissional.

- Aos meus orientadores, Prof. Assed Haddad e Prof. Carina Mariane Stolz, pela compreensão, apoio e incentivo a terminar este estudo e conquistar o almejado título.

- Á Deus que sempre tem me sustentado e feito superar todas as dificuldades.

“A maior parte das coisas importantes do mundo foram realizadas por pessoas que continuaram tentando quando parecia não haver mais nenhuma esperança de sucesso”  
Dale Carnegie

## RESUMO

EIRIZ, Débora Nascimento. **CONTRIBUIÇÃO AO PLANO DE GERENCIAMENTO DE RISCOS PARA LOCAIS DE ARMAZENAMENTO DE PRODUTOS QUÍMICOS EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO E PESQUISA**. Rio de Janeiro, 2023. Dissertação (mestrado) – Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

O gerenciamento de produtos químicos é uma fonte de preocupação constante nas empresas devido a sua alta variabilidade, complexidade e volumes movimentados e armazenados. Se tratando de instituições públicas de ensino e pesquisa, a questão se torna ainda mais urgente, pois a falta de regulamentação e controle eficientes, brechas na legislação, falta de comunicação, conhecimento e cultura de segurança no armazenamento de produtos químicos. Tudo isso aliado a ferramentas de gerenciamento de risco inexistentes ou, caso existam, primitivas e desatualizadas, resultam em um ambiente propício a ocorrência de acidentes que podem causar perdas pessoais, patrimoniais ou doenças ocupacionais. Neste trabalho realizou-se uma revisão sistemática de artigos que abordam o tema gerenciamento de risco no armazenamento de produtos químicos, através da ferramenta StArt (*State of the Art through Systematic Review*) de acordo com as diretrizes do PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis*). Os dados foram estruturados de acordo com os critérios: metodologia/técnica de análise de riscos empregada, tipo de análise (qualitativa ou quantitativa), tipo de produto químico, tipo de contenção e fase do ciclo de vida do empreendimento. Observou-se que a maior parte dos artigos tratavam de estudos de caso em plantas em operação, com foco em tanques de armazenamento com produtos químicos no estado líquido. Além disso, foi elaborado um plano de gerenciamento de riscos aplicável em setores de armazenamento de produtos químicos em unidades de instituições públicas de ensino e pesquisa, visando preencher uma lacuna metodológica e evitar situações de risco nestes locais. Obteve-se um documento contendo 18 requisitos fundamentais, baseados em conceitos trazidos de modelos de gerenciamento da área de segurança de processos.

Palavras chave: 1. Gerenciamento de Riscos. 2. Análise de Riscos. 3. Segurança. 4. Armazenamento de Produtos Químicos.

## ABSTRACT

EIRIZ, Débora Nascimento. **CONTRIBUTION TO THE RISK MANAGEMENT PLAN FOR CHEMICAL STORAGE PLACES IN TEACHING AND RESEARCH INSTITUTIONS.** Rio de Janeiro, 2023. Dissertation (master's degree) - Environmental Engineering Program, Escola Politécnica e Escola Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

The management of chemical products is a source of constant concern within companies due to its high variability, complexity and volumes moved and stored. When it comes to public teaching and research institutions, the issue becomes even more urgent, as the lack of efficient regulation and control, gaps in legislation, lack of communication, knowledge and safety culture in the storage of chemical products; all this combined with non-existent or, if they exist, primitive and outdated risk management tools; result in an environment conducive to the occurrence of accidents that can cause personal and property losses or occupational diseases. This work carried out a systematic review of articles that address the topic of risk management in the storage of chemical products, through the StArt tool (State of the Art through Systematic Review) according to the PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews guidelines. and Meta-Analysis). The data were structured according to the criteria: risk analysis methodology/technique, type of analysis (qualitative or quantitative), type of chemical, type of containment and project's life cycle. The results showed that most of the articles managed with case studies in operational stage plants, with focus on storage tanks and chemicals in the liquid state. In addition, a risk management plan applicable to chemical storage units of teaching and research public institutions was developed, aiming to fill a methodological gap and avoid risk situations in these places. A document containing 18 fundamental requirements based on concepts brought from models of the process safety area was obtained.

**Keyword:** 1. Risk Management. 2. Hazard Analysis. 3. Safety. 4. Chemical storage.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Metodologia empregada na dissertação .....	9
Figura 2 – Perfil da seleção primária de artigos segundo critérios de inclusão e exclusão.....	11
Figura 3 - Distribuição dos artigos segundo classificação da prioridade de leitura .....	12
Figura 4 - Distribuição dos artigos eliminados conforme critérios de exclusão .....	13
Figura 5 - Fluxograma da revisão sistemática.....	14
Figura 6 – Tetraedro do fogo.....	17
Figura 7 – Pentágono da explosão.....	17
Figura 8 – Diferenças entre slopover, frothover e boilover .....	21
Figura 9 - Aplicação de técnicas de risco de acordo com o ciclo de vida do empreendimento .....	22
Figura 10 - Modelo de Planilha de APR .....	23
Figura 11 - Matriz de Tolerabilidade de Riscos .....	24
Figura 12 - Palavras-guia, parametros e desvios de processo .....	25
Figura 13 - Modelo de Planilha de HAZOP .....	25
Figura 14 - Modelo de Planilha de FMEA .....	26
Figura 15 – Diagrama ilustrativo de uma árvore de falhas .....	27
Figura 16 - Diagrama ilustrativo de árvore de eventos .....	28
Figura 17 – Diagrama “Bow-tie” genérico .....	29
Figura 18 - Conceito de camadas de proteção para um sistema.....	30
Figura 19 - Modelo de Sistema de gerenciamento de segurança baseada em risco (RBPS) do CCPS .	55
Figura 20 - Práticas de gestão dos Regulamento Técnico ANP n° 43/2007 (Anexo I) e ANP n° 05/2014.....	56
Figura 21 - Gráfico de barras com convergência entre causas-raiz dos acidentes .....	60
Figura 22 - Distribuição dos artigos de acordo com ano de publicação.....	62
Figura 23 - Distribuição de artigos por Revistas.....	62
Figura 24 - Distribuição dos artigos segundo critérios de prioridade de leitura .....	63
Figura 25 - Distribuição de artigos segundo natureza da metodologia empregada.....	63
Figura 26 - Quantidade de técnicas de análise de riscos observadas por ocorrência no texto .....	64
Figura 27 – Distribuição dos artigos por fase do ciclo de vida do empreendimento .....	64
Figura 28 – Tipos de contenção por porcentagem de distribuição segundo ocorrências no texto .....	65
Figura 29 – Distribuição de produtos químicos por estado físico .....	65
Figura 30 - Vista superior 3d exemplificando local de estudo.....	79
Figura 31 - Exemplos de armazenamento em almoxarifados de algumas instituições de ensino. ....	81
Figura 32- Matriz de categoria de perigo e Massa de Referência das substâncias.....	82

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Indicadores de Acidentes de Trabalho. Ano base: 2020 .....	5
Tabela 2 - Relação entre SIL, PFD e RRF .....	30
Tabela 3 - Classificação das principais substâncias presentes de acordo com IR.....	84

**LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Ordem cronológica dos principais acidentes ocorridos mundialmente envolvendo produtos químicos .....	32
Quadro 2 - Ordem cronológica dos principais acidentes no Brasil ocorridos envolvendo produtos químicos .....	39
Quadro 3 – Classificação das principais normas ABNT por tipo de aplicação.....	46
Quadro 4 – Levantamento das causas-raiz dos acidentes.....	59
Quadro 5 – Síntese dos artigos estudados e separação por tipo de técnica e metodologia empregada .	67
Quadro 6 – Legenda das categorias de metodologias indicadas no Quadro 5 e número de ocorrências nos artigos .....	68
Quadro 7 -Comparação entre requisitos de diferentes programas de gerenciamento de riscos .....	86
Quadro 8 - Estrutura do Plano de gerenciamento de riscos .....	87

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

APR	Análise Preliminar de Riscos
AQR	Análise Quantitativa de Riscos
CCPS	<i>Center of Chemical Process Safety</i>
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CSB	<i>Chemical Safety and Hazard Investigation Board</i>
FMEA	<i>Failure mode and effects analysis</i> (Análise de Modos de Falha e Efeitos)
FMECA	<i>Failure Modes, Effects and Criticality Analysis</i> (Análise de Modos de Falha, Efeitos e Criticidade)
HAZOP	<i>Hazard and Operability Study</i> (Estudo de perigos e operacionabilidade)
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Renováveis
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
LOPA	<i>Layer of Protection Analysis</i> (Análise de Camadas de Proteção)
OIT	Organização Internacional do Trabalho
OSHA	<i>Occupational Safety and Health Administration</i>
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PHA	<i>Process Hazard Analysis</i>
PGR	<i>Programa de Gerenciamento de Riscos</i>
SGS	Sistema de Gestão de Segurança
SGSO	Sistema de Gestão de Segurança Operacional
SMS	Saúde, Meio Ambiente e Segurança
CNAE	Classificação Nacional de Atividades Econômicas
O&G	Óleo e Gás

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	2
1.1.	JUSTIFICATIVA .....	4
1.2.	OBJETIVOS .....	7
2.	METODOLOGIA .....	8
2.1.	REVISÃO SISTEMÁTICA DE ARTIGOS .....	9
2.2.	PROTOCOLO DE GERENCIAMENTO DE PRODUTOS QUÍMICOS .....	14
3.	PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....	16
3.1.	ARMAZENAMENTO DE PRODUTOS QUÍMICOS E SEUS RISCOS .....	16
3.2.	POSSÍVEIS CENÁRIOS ACIDENTAIS .....	18
3.3.	MÉTODOS DE ANÁLISE DE RISCOS .....	21
3.4.	HISTÓRICO DOS PRINCIPAIS ACIDENTES ENVOLVENDO ARMAZENAMENTO PRODUTOS QUÍMICOS .....	31
3.5.	LEGISLAÇÃO E APARATO NORMATIVO RELACIONADO AO ARMAZENAMENTO DE PRODUTOS QUÍMICOS.....	43
3.6.	MODELOS DE GERENCIAMENTO DE RISCOS E SEGURANÇA.....	54
4.	DESENVOLVIMENTO .....	58
4.1.	ANÁLISE DE CAUSAS-RAIZ DOS ACIDENTES .....	58
4.2.	REVISÃO SISTEMÁTICA .....	61
4.3.	DESCRIÇÃO DA SITUAÇÃO-PROBLEMA .....	79
4.4.	PLANO DE GERENCIAMENTO DE RISCOS.....	85
5.	CONCLUSÃO .....	93
	REFERÊNCIAS .....	95

## 1. INTRODUÇÃO

O gerenciamento dos riscos relacionados à produtos químicos é uma parte essencial do sistema de gestão de uma organização, e visa minimizar os impactos negativos seja para o processo, os trabalhadores e/ou para a sociedade. Ele requer monitoramento e tempo hábil de resposta com base em uma abordagem probabilística, visando: “a identificação de sinais de condições anormais, a avaliação do risco de falha dentro de uma janela de tempo, a identificação de ações alternativas e a diligência por parte dos tomadores de decisão” (CARNEIRO, 2009; REGAN & PATÉ-CORNELL, 1997).

A identificação dos perigos e a caracterização dos riscos associados fazem parte das quatro etapas fundamentais do gerenciamento de riscos, que envolvem: identificação, análise, avaliação e priorização. O perigo é uma condição inerente de uma substância ou processo com potencial para causar danos às pessoas, à propriedade e ao meio ambiente. Já o risco, é a mensuração do perigo, medida da capacidade de um perigo se materializar em um acidente, resultado da associação entre fatores como frequência de ocorrência de um ou mais cenários acidentais e a magnitude dos efeitos físicos associados (SÃO PAULO, 2011).

A única forma de reduzir os riscos é pela adoção de salvaguardas ou dispositivos de segurança, ou seja, pela implementação de recursos de projeto, equipamentos ou procedimentos que visam diminuir a probabilidade ou reduzir a gravidade do cenário (CCPS, 2019). As salvaguardas podem ser classificadas como preventivas (que atuam nas causas) ou mitigadoras (que atuam nas consequências). As salvaguardas preventivas envolvem a engenharia de confiabilidade e resiliência de projeto e operacionais. Já as salvaguardas mitigadoras envolvem os sistemas de proteção e emergências e governança de risco.

A análise de riscos é o emprego de estimativas qualitativa, semiquantitativa ou quantitativa utilizando-se de técnicas estruturadas, para se identificar possíveis cenários acidentais e suas frequências e severidades associadas (BAHIA, 2017). Pode ser aplicada a um equipamento, processo, instalação ou organização, com foco em: reconhecer os riscos associados de um sistema, seus modos de falha, novas possibilidades de eventos e novas formas de falha, a fim de adotar ferramentas de prevenção eficazes. Deve também avaliar se um determinado sistema ou processo é seguro o suficiente e estabelecer uma lista de prioridades e opções; evitando perder o foco nas situações de severidade desprezíveis ou superestimar os efeitos e/ou frequência.

Os estudos de avaliação do risco visam estimar a probabilidade de ocorrência de

danos à saúde de uma população ou comunidade exposta à um tipo particular ou à uma série de substâncias químicas, buscando auxiliar na tomada de decisões que equilibrem desenvolvimento econômico e implementação de medidas de proteção à saúde e ao meio ambiente. Os resultados da estimativa de risco são utilizados para a tomada de decisão, por meio de critérios comparativos de risco, visando à definição da estratégia de gerenciamento do risco (SÃO PAULO, 2011).

O estudo deve ter como foco reduzir ao máximo incertezas nas estimativas por meio de uma base de dados completa e um levantamento sistemático. Uma subvalorização dos riscos pode levar a uma maior incidência de efeitos adversos na população alvo, enquanto que uma supervalorização dos riscos pode levar a um problema de custo-eficiência, ocasionando gastos desnecessários, escassez de recursos e consequências prejudiciais em outras áreas igualmente relevantes (PAUMGARTTEN, 1993).

Um acidente consiste em um evento indesejável envolvendo substâncias perigosas, que resulta em dano às pessoas, a instalação e/ou ao meio ambiente. É constituído a partir de fatos e conexões que geralmente não atuam isolados nem são resultados do acaso (BAHIA, 2009). Historicamente, a área de segurança se desenvolveu de forma reativa, a partir de grandes acidentes. As lições aprendidas a partir de acidentes são os únicos pontos positivos que se pode obter a partir destes eventos negativos, pois permite a implementação de medidas que evitem sua reincidência.

A pior cultura de segurança é aquela pautada num falso sentimento de adequação devido a simples existência de instrumentos burocráticos e cumprimento dos requisitos mínimos da legislação. A falta de percepção de risco é normalmente consequência da intimidade dos indivíduos com o processo e com os perigos habitualmente presentes, o que acaba fortalecendo uma falsa sensação de segurança (CCPS, 2007).

Os instrumentos de comando e controle tem caráter mandatório com base em penalizações (multas, cancelamentos de licenças etc.), monitoramento, fiscalização contínua e padrões a serem seguidos. Possuem duas características bem definidas, como por exemplo: imposição pela autoridade de padrões rígidos e intransponíveis sobre seus processos produtivos para garantia da qualidade e segurança ambiental, restrições sobre o nível de utilização de um insumo químico e determinação da melhor tecnologia disponível para contornar o problema da externalidade (PERMAN *et al.*, 2003).

A legislação muitas vezes falha em impor medidas regulatórias como padrões ou limites de tolerância pela falta generalizada de conhecimento sobre os efeitos adversos associados a certos produtos químicos. Muitas vezes a regulamentação é tardia e

impulsionada a partir de graves acidentes ou casos extremos que requerem revisões abrangentes e medidas de comando e controle mais efetivas (AHLERS, 1999).

Por um outro lado, quanto mais rigoroso for o aparato normativo, menores serão os limites admissíveis de exposição a um determinado produto químico e mais efetivas deverão ser as estratégias adotadas de gerenciamento de riscos. Para isso, os legisladores devem levar em conta o cenário socioeconômico do país e a capacidade do governo em adotar uma estratégia balanceada que não prejudique a sobrevivência das organizações e o desenvolvimento econômico do país como um todo (PEARCE; TURNER, 1990).

Um dos grandes desafios da área de segurança reside no fato de que, como ela não agrega valor diretamente (por atuar na prevenção de um possível dano e não ser vista como geradora de lucro), é muitas vezes prejudicada por aspectos de cultura organizacional e uma falta de conscientização que parte, muitas das vezes, da liderança das empresas. No entanto, deve-se considerar que o valor de uma empresa é medido tanto em bens tangíveis quanto em bens intangíveis, desta forma, as empresas deve ter em mente o quanto sua credibilidade, imagem e sobrevivência podem ser colocadas em xeque devido a um evento indesejável (BEHM *et al.*, 2004). Para se perceber o valor desta área deve haver uma mudança de paradigma, percepção, olhar atento e capacidade argumentativa e interrelacional dos profissionais envolvidos com a área de segurança. Eles devem ser capacitados nas ferramentas de segurança e ter habilidade de identificar os perigos e valorar os riscos presentes no ambiente, a fim de indicar quais são as medidas necessárias e quais são dispensáveis.

## **1.1. JUSTIFICATIVA**

A Organização Internacional do Trabalho estima cerca de 2,3 milhões de óbitos de trabalhadores em todo o mundo devido a acidentes ou doenças relacionadas ao trabalho todos os anos (o que corresponde a mais de 6.000 mortes todos os dias). Anualmente, ocorrem cerca de 340 milhões de acidentes de trabalho e 160 milhões de vítimas de doenças relacionadas ao trabalho. Estima-se que apenas as substâncias perigosas causem 651.279 mortes por ano (ILO, 2022), ou seja, cerca de um terço do total anual de óbitos relacionados ao trabalho.

No Brasil, as estatísticas oficiais são divulgadas anualmente pelo Ministério de Trabalho e Previdência no Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho (AEAT) onde apenas no ano de 2021, foram comunicados 571,8 mil acidentes e 2.487 óbitos associados ao trabalho, com aumento de 30% em relação a 2020 (ONU, 2022).

Utilizando os últimos indicadores de acidente do trabalho disponíveis, divulgados no AEAT do ano de 2020, realizou-se um recorte de informações segundo as subdivisões da Classificação Nacional de Atividades Econômicas, códigos 19 e 20, que tratam respectivamente: Fabricação de coque, Produtos derivados de petróleo e biocombustíveis e Fabricação de produtos químicos. A intenção com este recorte foi a seleção de um grupo de informações sobre acidentes de trabalho em setores que tenham suas atividades direta ou indiretamente ligadas ao ramo químico.

A Tabela 1 exhibe os dados de estabelecimentos localizados nas Unidades da Federação, o número médio de vínculos empregatícios por setor, o total de acidentes e a porcentagem deles em relação ao total de vínculos, além do total de óbitos.

Tabela 1 – Indicadores de Acidentes de Trabalho. Ano base: 2020

CNAE	Setores envolvidos com o Ramo Químico	Número médio de vínculos	Incidência (por 1.000 vínculos)	Total de Acidentes	% Acidentes / n° de vínculos	Incidência de Doenças Ocupacionais (por 1.000 vínculos)	Incidência de Acidentes Típicos (por 1.000 vínculos)	Incidência de Incapacidade Temporária (por 1.000 vínculos)	Taxa de Mortalidade (por 100.000 vínculos)	Total de óbitos
2011	<b>Cloro e álcalis</b>	1161	25	29	2.5	5	17	9	-	-
2012	Intermediários para Fertilizantes	3177	13	41	1.3	-	10	8	-	-
2013	<b>Aduos e Fertilizantes</b>	32266	23	726	2.3	0	19	17	9	3
2014	Gases Industriais	4601	8	38	0.8	0	7	7	-	-
2019	Produtos Químicos Inorgânicos	8033	23	184	2.3	0	18	17	-	-
2021	Produtos Petroquímicos Básicos	4257	15	65	1.5	1	13	5	-	-
2022	Intermediários para Plastificantes, Resinas e Fibras	1268	14	18	1.4	-	13	7	-	-
2029	Produtos Químicos Orgânicos	13340	16	210	1.6	-	14	9	-	-
2031	Resinas Termoplásticas	7681	20	157	2.0	1	17	14	-	-
2032	Resinas Termofixas	2384	23	56	2.3	0	19	22	-	-
2033	Elastômeros	1221	11	14	1.1	-	9	5	-	-
2040	Fibras Artificiais e Sintéticas	3137	29	91	2.9	0	26	23	-	-
2051	Defensivos Agrícolas	9112	9	81	0.9	1	6	7	-	-
2052	Desinfestantes Domissanitários	2240	11	25	1.1	-	10	7	-	-
2061	Sabões e Detergentes Sintéticos	21931	13	291	1.3	0	9	10	18	4
2062	Produtos de Limpeza e Polimento	21600	20	441	2.0	0	16	16	-	-
2063	Cosméticos, Produtos de Perfumaria e de Higiene Pessoal	47056	13	602	1.3	0	10	11	-	-
2071	Tintas, Vernizes, Esmaltes e Lacas	24438	15	370	1.5	0	12	13	4	1
2072	Tintas de Impressão	1759	20	36	2.0	2	16	19	-	-
2073	Impermeabilizantes, Solventes e Produtos Afins	2814	23	65	2.3	-	20	17	36	1
2091	Adesivos e Selantes	5462	18	98	1.8	0	15	15	-	-
2092	Explosivos	5757	13	77	1.3	-	12	11	17	1
2093	Aditivos de Uso Industrial	11374	14	163	1.4	0	12	12	18	2
2094	Catalisadores	514	12	6	1.2	-	12	6	-	-
2099	Produtos Químicos não Especificados Anteriormente	32120	15	496	1.5	0	13	12	-	-
1910	<b>Coquearias</b>	496	40	20	4.0	-	38	28	-	-
1921	Produtos do Refino de Petróleo	23532	8	178	0.8	0	6	4	4	1
1922	Produtos Derivados do Petróleo	6276	12	76	1.2	0	10	10	16	1
1931	Fabricação de álcool	115650	22	2502	2.2	0	19	16	15	17
1932	<b>Fabricação de Biocombustíveis</b>	2837	41	116	4.1	1	31	34	-	-
<b>TOTAL</b>		<b>417495</b>	<b>542</b>	<b>7271</b>	<b>1.7</b>	<b>15</b>	<b>451</b>	<b>391</b>	<b>137</b>	<b>31</b>

Fonte: Elaborado a partir da base de dados históricos de acidentes de trabalho (InfoLogo) do Ministério do Trabalho e Previdência (AEAT, 2020)

As informações de número médio de vínculos e taxa de incidência (por 1000 vínculos) permitiram o cálculo do total de acidentes ocorridos, já as informações de número médio de vínculos e taxa de mortalidade (por 100.000 vínculos), possibilitaram o cálculo do total de óbitos ocorridos. Pode-se observar que no ano de 2020 houve um total de 7271 acidentes de trabalho e 31 óbitos, dados estes obtidos em um ano atípico em plena situação emergência sanitária devido a pandemia causada coronavírus, onde muitos trabalhadores foram afastados de suas atividades presenciais e migrados para um regime híbrido ou remoto. A tendência é que os dados estratificados por setor no ano de 2021 e nos anos subsequentes, apresentem um quantitativo ainda mais expressivo.

Observa-se que os setores com maiores porcentagem de acidentes e que, pode-se inferir, apresentaram maiores riscos e proporcionalmente mais acidentes aos trabalhadores foram os setores de coquearias, biocombustíveis, cloro e álcalis e adubos e fertilizantes. Por outro lado, os setores de fabricação de gases industriais, refino e defensivos agrícolas apresentam as menores taxas de incidência e porcentagens de acidentes. Vale salientar que os dados apresentados não refletem toda a realidade de acidentes do ramo químico no país, somente um recorte da realidade de alguns setores produtivos.

Diante de um cenário econômico cada vez mais dinâmico e competitivo, é imprescindível a priorização da segurança tanto no nível ocupacional, quanto operacional e organizacional. Neste quesito, o gerenciamento de produtos químicos é uma fonte de preocupação tanto em empresas privadas quanto em instituições governamentais devido a sua alta variabilidade, complexidade e volumes movimentados e armazenados (SANTANA *et al.*, 2020).

Desta forma, surge a problemática de muitas instituições públicas não possuírem em suas diversas unidades, um sistema adequado de gerenciamento de produtos químicos que preze pela segurança, em consonância com as normas brasileiras aplicáveis, ou que utilizem de qualquer ferramenta de análise e/ou gerenciamento de riscos, podendo levar a diversas situações de contaminação ocupacional e ambiental (ANTONIASSI; SILVA, 2017).

A falta de regulamentação e controle eficientes, brechas na legislação, falta de comunicação, conhecimento e cultura de segurança no armazenamento de produtos químicos, aliada a ferramentas de gerenciamento de risco inexistentes ou, caso existam, insuficientes ou desatualizadas; criam um ambiente propício a ocorrência de acidentes que podem resultar em afastamentos, doenças ocupacionais, perdas pessoais ou patrimoniais (JARDIM, 1997; GERBASE *et al.* 2005).

Neste contexto, o enfoque deste estudo se volta para os almoxarifados, armazéns ou

depósitos de produtos químicos, que muitas vezes não têm a devida atenção das organizações quanto a segurança e o gerenciamento de riscos, quando em comparação ao processo produtivo em si. Ainda assim, tais espaços são fundamentais para o êxito nos negócios de qualquer empresa, visto que neles se concentram boa parte de seus ativos financeiros, materializados como matérias-primas, insumos e/ou produtos finais. Desta forma, precisam ser gerenciados adequadamente, não só em relação ao seu quantitativo e controle de estoque, mas levando em conta a questão do armazenamento seguro (PAOLESCI, 2014).

Este trabalho vem ao encontro de preencher uma lacuna bibliográfica e fornecer orientações e diretrizes no que tange ao armazenamento de produtos químicos, dado a carência de estudos na literatura abordando segurança no gerenciamento destes locais. Desta forma, a contribuição gerada através da elaboração de um plano de gerenciamento voltado aos espaços de armazenamento em instituições públicas de ensino e pesquisa é de grande importância para o enriquecimento de uma literatura escassa no tema e no aprimoramento de sistemas de gestão em segurança nestas instituições.

## **1.2. OBJETIVOS**

### ***1.2.1. Objetivo geral***

Desenvolver um protocolo de gerenciamento de riscos para setores de armazenamento de produtos químicos, passível de ser aplicado a instituições públicas de ensino e pesquisa, com base nas ferramentas de gestão de segurança de processos.

### ***1.2.2. Objetivos específicos***

Como objetivos específicos, podem ser citados:

- a) Investigar as principais ferramentas de gerenciamento de riscos aplicáveis ao armazenamento de produtos químicos;
- b) Estudar os riscos associados e possíveis cenários acidentais aplicáveis ao armazenamento de produtos químicos;
- c) Buscar o histórico dos principais acidentes envolvendo armazenamento de produtos químicos;
- d) Avaliar a legislação e normas pertinente ao armazenamento de produtos químicos;
- e) Realizar uma revisão sistemática de artigos através da Ferramenta StArt (*State of the Art through Systematic Review*) de acordo com as diretrizes do PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis*).

## 2. METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho se baseou numa pesquisa documental, bibliográfica exploratória e uma análise qualitativa, com o intuito de facilitar o entendimento dos conceitos e apresentar de forma concisa os elementos integrantes da segurança de processo que tangenciam o tema de gerenciamento de risco no armazenamento de produtos químicos.

Inicialmente foi realizada uma pesquisa documental, a partir da qual se desencadeou a revisão sistemática, a revisão bibliográfica e o plano de gerenciamento de risco em segurança de processos.

A partir da revisão sistemática de artigos (descrita no item 2.1.), foi realizada a análise qualitativa dos dados extraídos, assim como a análise do conteúdo. Já na revisão bibliográfica, pontuou-se conceitos relevantes para o trabalho como: os principais métodos de análises de riscos, os possíveis cenários acidentais que podem se materializar, o histórico dos principais acidentes envolvendo o armazenamento de produtos químicos, os principais riscos envolvidos no armazenamento, o aparato normativo relacionado e os modelos de gerenciamento, referências nas áreas de risco e de segurança.

A partir do levantamento dos métodos de análises de riscos e os possíveis cenários acidentais, foi possível realizar a classificação de artigos com base nesses parâmetros. De forma análoga, a partir do levantamento dos principais riscos envolvidos no armazenamento e o aparato normativo foi realizar um estudo voltado para uma situação problema típica de um local de armazenamento de produtos químicos em uma instituição pública de ensino e pesquisa.

Segundo o histórico de acidentes, foi realizada uma análise de causas-raiz e fatores em comum entre esses episódios. Além disso, com base no aparato normativo e em modelos de gerenciamento de risco em segurança de processos, foi elaborado o protocolo de gerenciamento de riscos para setores de armazenamento de produtos químicos, passível de ser aplicado a unidades de instituições públicas de ensino e pesquisa.

A estruturação do processo metodológico adotado é representada no fluxograma da Figura 1.

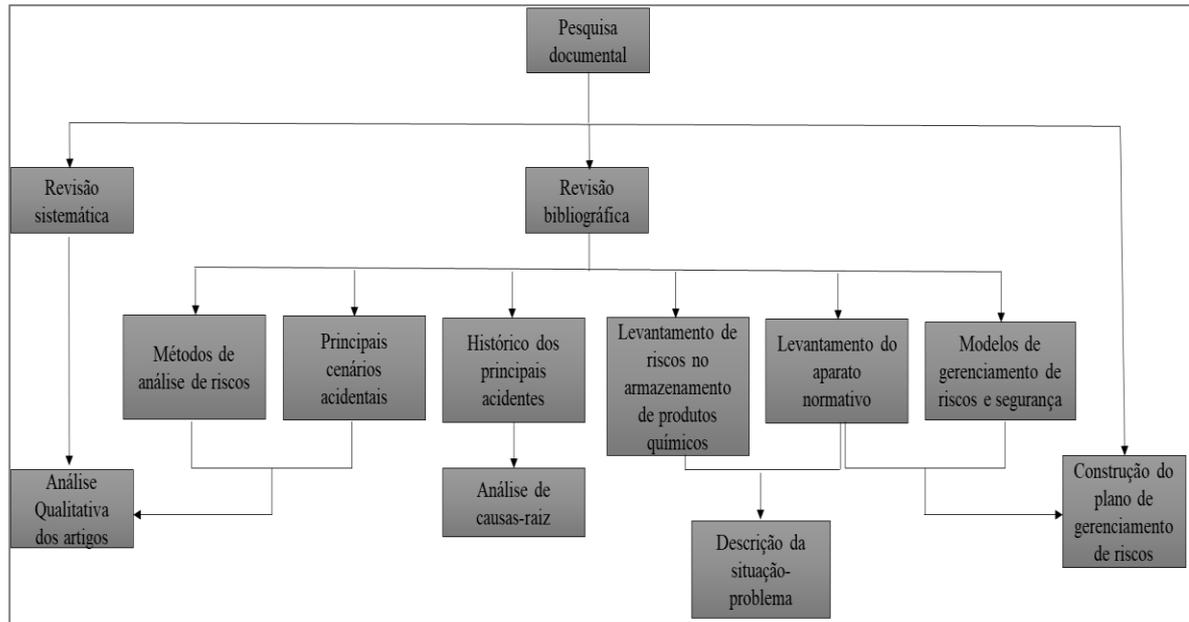


Figura 1 – Metodologia empregada na dissertação  
Fonte: Autoria própria

## 2.1. REVISÃO SISTEMÁTICA DE ARTIGOS

Realizou-se uma revisão sistemática de artigos nas bases eletrônicas de dados indexadas: *Web of Science*, SCOPUS, SCIELO, Periódicos Capes e Google Acadêmico. Na busca, pesquisou pelas palavras-chave (ou “strings”): “*Risk Management*”, “*Risk Assessment*”, “*Risk Analysis*”, “*Storage*” e “*Chemical\**”, através de suas combinações e utilização de operadores booleanos. Tais operadores; como AND, OR ou NOT; informam às plataformas de busca como se deve combinar os termos a fim de restringir a busca bibliográfica. O asterisco (\*) na busca pelo termo “*Chemical\**”, indica que a pesquisa pode retornar resultados contendo o termo no plural. Não se limitou a pesquisa por filtros em ano de publicação ou idioma.

A revisão foi conduzida com o auxílio da ferramenta StArt (*State of Art through Systematic Review*) e de acordo com as diretrizes PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis*).

A ferramenta StArt é um software gerenciador de revisões criado pelo Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software da Universidade Federal de São Carlos. Esta ferramenta auxilia em todas as etapas da condução de uma revisão sistemática, tornando o processo muito mais organizado, confiável, reproduzível e auditável, desde o planejamento (onde se define o protocolo de pesquisa), passando pela execução (identificação dos estudos, remoção

de duplicatas, seleção e rejeição de artigos e extração de dados), e chegando até a sumarização, onde é possível obter estimativas visuais dos resultados e construção de gráficos (LAPES, 2014).

A metodologia de revisão sistemática de acordo com as diretrizes PRISMA 2020 consiste em um guia atualizado com um passo a passo estruturado sobre como reportar revisões sistemáticas de forma transparente e reproduzível evidenciando o porquê da pesquisa, como foi feita e o que foi encontrado a partir dela, aumentando a confiabilidade na seleção e nos resultados encontrados. Publicado pela primeira vez em 2009 e atualizada no ano de 2020, ele inclui um *checklist* de 7 seções e 27 itens no total que auxiliam o autor da revisão na avaliação do atendimento a todos os pré-requisitos (PAGE *et al.*, 2021).

O critério de seleção de artigos levou em conta a presença das palavras-chave: “*Risk Management*”, “*Risk Assessment*”, “*Risk Analysis*” e o operador booleano *OR* no título dos artigos; e também as palavras-chave: “*Storage*” e “*Chemical\**” e o operador booleano *AND* no *abstract* do artigo.

Na seleção inicial dos estudos realizada no dia 16/09/22 obteve-se 351 artigos. Após a remoção de duplicatas, que representavam 34% do total (120 artigos), totalizou-se um quantitativo de 231 artigos; os quais foram avaliados em seguida, segundo os critérios de inclusão e exclusão a partir da leitura do *abstract*.

#### **a. Critérios de inclusão de artigos**

Os critérios de inclusão adotados foram:

- a) Foram incluídos artigos que tratam de estudo, avaliação ou gerenciamento de risco no título e armazenamento de produtos químicos no *abstract*;
- b) Foram incluídos artigos com status de aceite e/ou revisão por pares;
- c) Foram incluídos artigos publicados e com texto integralmente disponíveis em meio eletrônico.

#### **b. Critérios de exclusão de artigos**

Os critérios de exclusão adotados foram:

- d) Foram excluídos artigos que abordam armazenamentos ligados às tecnologias de Captura de carbono (CCS), armazenamentos subterrâneos ou geológico de CO<sub>2</sub> ou outras substâncias;
- e) Foram excluídos artigos que tratam de estudos toxicológicos, contaminações

ocupacionais, ambientais ou liberações acidentais diversas que não estão relacionados à estocagem de produtos químicos;

f) Foram excluídos estudos de risco de processos diversos não relacionados ao armazenamento de produtos químicos;

g) Foram excluídos artigos com abstract e/ou texto completo indisponível ou cujo texto não esteja nos idiomas: inglês, português ou espanhol;

h) Foram excluídos artigos em que não se identificou qual metodologia de análise de riscos foi empregada ou não abordaram estudos de risco focados no armazenamento.

Os resultados dessa avaliação foram registrados, onde em seguida realizou-se uma reavaliação da seleção, para checar que o grupo de artigos selecionados estavam de acordo e, principalmente, que não se eliminou nenhum artigo relevante erroneamente. Ao final desta etapa obteve-se 93 artigos que seguiram para a etapa definição de prioridades de leitura e de classificação de qualidade. O perfil desta análise é exibido na Figura 2 abaixo.

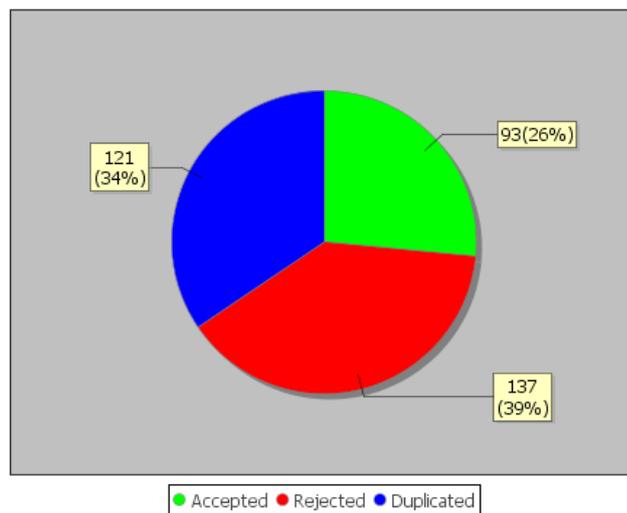


Figura 2 – Perfil da seleção primária de artigos segundo critérios de inclusão e exclusão

Fonte: Ferramenta stArt (LAPES, 2014)

### c. Definição da prioridade de leitura

A prioridade de leitura foi estabelecida com o auxílio da ferramenta “*Adjust quantitative criteria*” no software StArt, a partir de uma ordenação decrescente de pontuação (“*score*”), definida segundo os critérios:

- Strings* no título: 5 pontos por ocorrência;
- Strings* no abstract: 3 pontos por ocorrência.

Após a atribuição de pontuação, definiu-se a ordem de prioridade de leitura, sendo:

- c) Pontuação de 0 a 10 – Muito baixa (“Very Low”);
- d) Pontuação de 11 a 20 – Baixa (“Low”);
- e) Pontuação de 21 a 30 – Alta (“High”);
- f) Pontuação de 30 a 40 – Muito alta (“Very High”).

O resultado desta análise é exibido na Figura 3, onde observa-se que a maioria dos artigos se distribuíram entre as classificações de prioridade de leitura “Low” ou “High”.

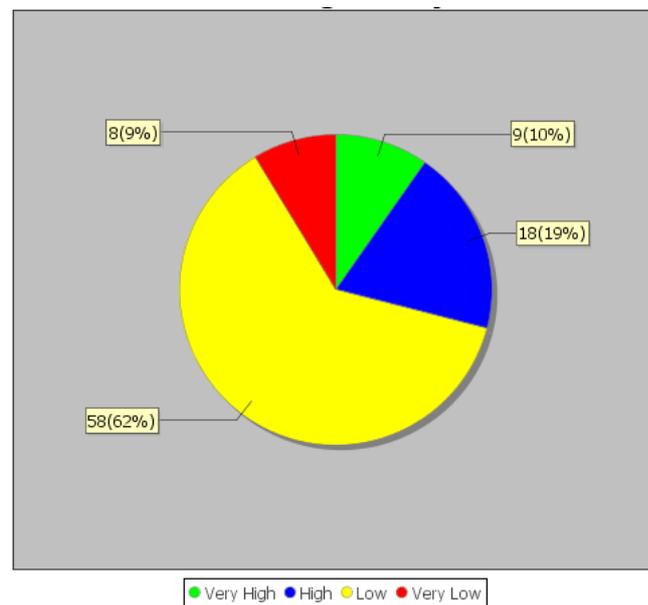


Figura 3 - Distribuição dos artigos segundo classificação da prioridade de leitura  
Fonte: ferramenta stArt (LAPES, 2014)

#### d. Critérios de qualidade dos artigos

O nível da revista ou periódico foi considerado como critério de qualidade, levando-se em consideração que o fator de impacto (FI) atribuído pelo portal *Journal Citation Reports* (JCR) e o *H-index* atribuído pelo portal *Scimago Journal & Country Rank* (SCR); presumem um maior rigor científico e cumprimento de características que atestem a qualidade e veracidade das informações contidas naquele documento aceito para publicação. O número de citações dos artigos foi considerado como critério de qualidade por ser um indicativo da relevância do seu conteúdo no meio científico.

Utilizou-se como critérios de qualidade o cruzamento de dados entre status da prioridade de leitura com classificação das revistas. Artigos com status de *Low* ou *Very Low* com pontuação (*score*) < 12 em revistas com FI < 1 e *H-index* < 100 seriam considerados de

menor qualidade e excluídos.

Desta forma, 35 dos 93 artigos foram considerados de menor qualidade, totalizando um grupo de 58 artigos que seguiram para a etapa de leitura e extração de dados.

#### e. Extração de Dados

Iniciando a etapa de extração de dados, ao realizar sequencialmente o *download* dos documentos, eliminou-se 13 artigos após leitura completa do texto, segundo revisão dos critérios de exclusão do item 2.1.1 (Figura 4) , o que forneceu um universo de 45 artigos para leitura na íntegra, estudo, coleta, categorização e síntese de dados, os quais estão listados no APÊNDICE A.

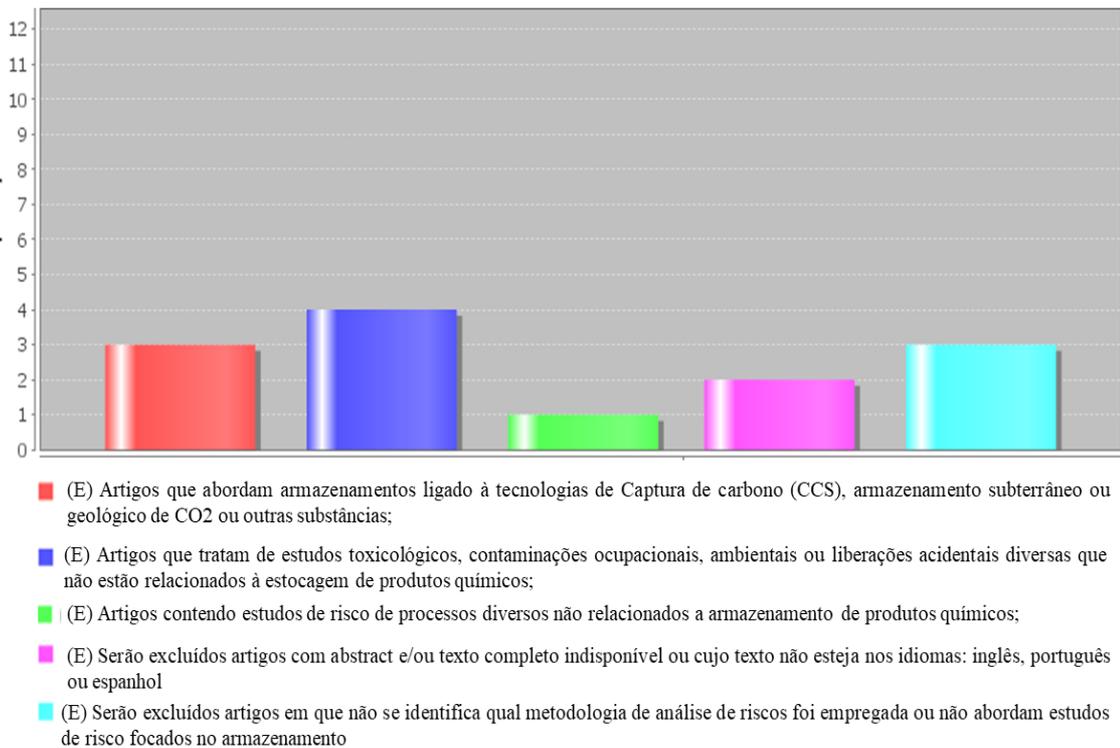


Figura 4 - Distribuição dos artigos eliminados conforme critérios de exclusão

Fonte: Adaptado de ferramenta stArt (LAPES, 2014)

Um fluxograma esquemático do processo metodológico de revisão sistemática contendo as etapas de identificação, triagem e inclusão dos artigos é exibido na Figura 5.

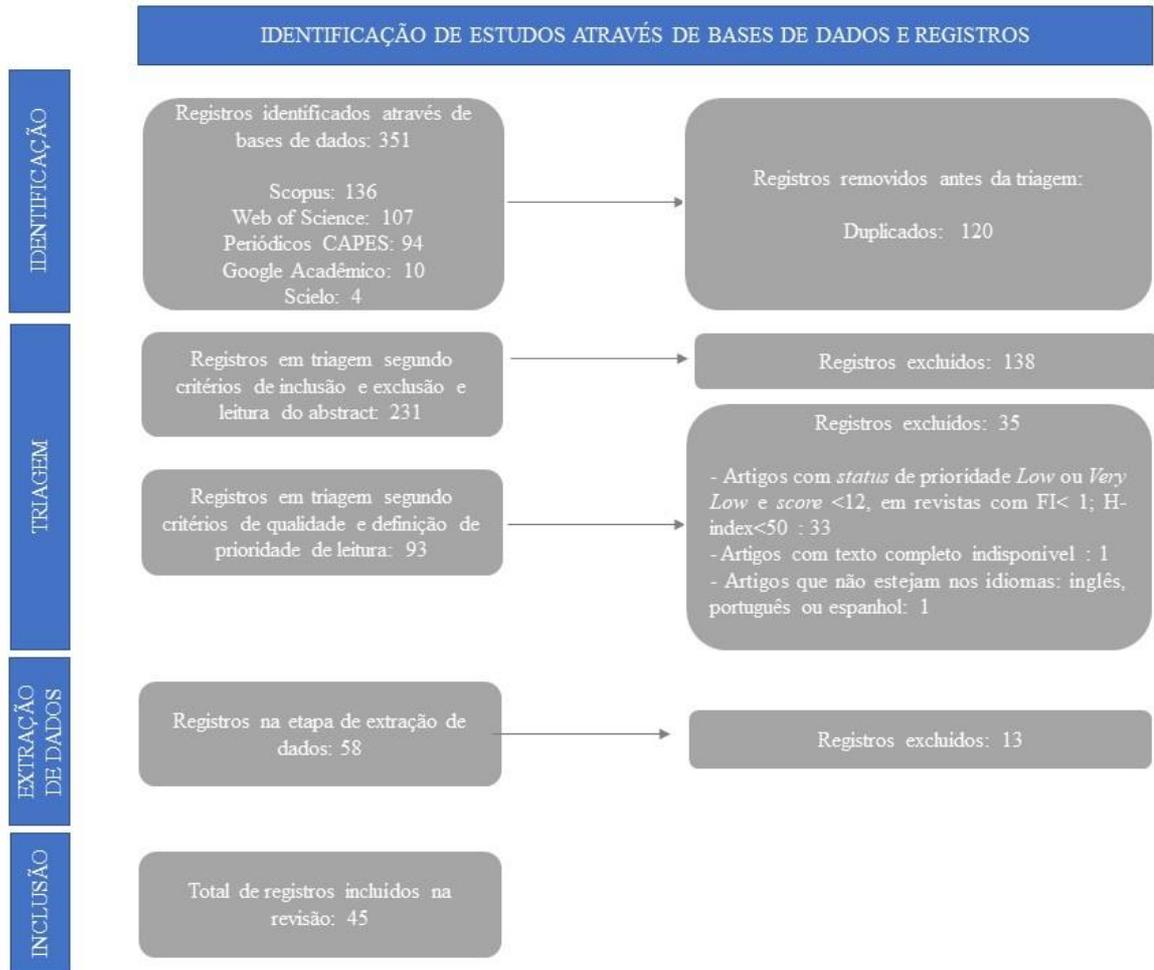


Figura 5 - Fluxograma da revisão sistemática

Fonte: Adaptado de The PRISMA 2020: *statement: an updated guideline for reporting systematic reviews* (PAGE *et al.*, 2021)

Por fim, foi elaborado um formulário de extração de dados a fim de propiciar análise e comparação do conteúdo dos trabalhos. Os atributos extraídos foram: tipo de contenção, metodologia/técnica de análise de riscos empregada, ferramentas/técnicas auxiliares, tipo de análise (qualitativa ou quantitativa), tipo de produto químico, fase do ciclo de vida do empreendimento (comissionamento, operação, descomissionamento, etc.), além de um breve relato contendo um resumo do conteúdo e principais conclusões.

## 2.2. PROTOCOLO DE GERENCIAMENTO DE PRODUTOS QUÍMICOS

A revisão bibliográfica foi dividida em seis sessões, na sessão 3.1 descreveu-se os principais riscos existentes em ambientes de armazenamento de produtos químicos. Na sessão

3.2 listou-se as principais consequências em caso de acidentes, através da descrição dos cenários acidentais que podem ser desencadeados. Na sessão 3.3 foram apresentadas as principais metodologias de análise de riscos aplicadas na segurança de processo. Na sessão 3.4 apresentou-se um histórico e breve resumo dos principais acidentes envolvendo produtos químicos no Brasil e no Mundo. Na sessão 3.5 foram apresentadas as principais legislações, órgãos reguladores e todo aparato normativo que tangenciam e são aplicáveis (de forma compulsória ou não) à setores de armazenamento de produtos químicos. Fechando o capítulo, na sessão 3.6 apresentou-se 4 modelos de gerenciamento de riscos e segurança: o modelo de sistema de gerenciamento de segurança baseada em risco (RBPS) do CCPS, os regulamentos técnicos do Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional da ANP, a norma regulamentadora NR-01 do Ministério de Trabalho e Emprego (MTE) do Governo Federal e o programa de gerenciamento de riscos ocupacionais das agências regulatórias OSHA e EPA.

Para a elaboração desta revisão bibliográfica utilizou-se documentos diversos: artigos científicos, teses e dissertações, notas técnicas, boletins informativos, documentários, relatórios de acidentes, regulamentações (nacionais e internacionais), livros-texto; a fim de obter um “*overview*” da área de segurança de processos e trazer conceitos em comum aplicáveis a setores de armazenamento em unidades de instituições de ensino e pesquisa.

O desenvolvimento deste trabalho foi dividido em 4 sessões. Na sessão 4.1 realizou-se uma análise de causas-raiz dos acidentes previamente levantados no item 3.4 da pesquisa bibliográfica. A sessão 4.2 trouxe os resultados da revisão sistemática conduzida de acordo com a metodologia descrita no item 2.1.

Na sessão 4.3 realizou-se a descrição de um local de armazenamento em instituição de ensino e pesquisa e algumas análises conduzidas com base no seu inventário, frente às normas referencias na área de gerenciamento de riscos, como a Resolução nº 3.965 do Conselho Estadual do Meio Ambiente do Estado da Bahia (CEPRAM) a norma P4.261 da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB).

Fechando o capítulo de desenvolvimento, na sessão 4.4 apresentou-se os componentes necessários e requisitos gerais, para a construção de um plano de gerenciamento voltado às unidades de armazenamento em instituições públicas de ensino e pesquisa.

### **3. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. ARMAZENAMENTO DE PRODUTOS QUÍMICOS E SEUS RISCOS**

Os principais riscos envolvidos em sítios de armazenamento de produtos químicos se baseiam na liberação acidental de produtos perigosos por perda de contenção (derramamentos e vazamentos) que podem ocasionar, incêndios e explosões e liberações tóxicas. Neste contexto, os solventes orgânicos são a fonte mais comum deste tipo de acidente nas indústrias químicas (CROWL, 2011).

O incêndio consiste numa situação contendo fogo não controlado, já a explosão consiste numa liberação de energia abrupta. A partir de um evento iniciador, uma situação de incêndio pode ocasionar uma explosão e vice-versa. A diferença básica entre incêndios e explosões se dá pela taxa de liberação de energia, que é muito superior na explosão. Incêndios envolvem propagação de radiação térmica a partir de reações de combustão enquanto explosões envolvem uma descontinuidade de pressão ou ondas de choque e pode ser de origem química ou puramente mecânica (CCPS, 2010).

A ocorrência de incêndios ou explosões em se dá pela formação de uma condição de atmosfera explosiva, que consiste em uma mistura com o ar, sob condições atmosféricas, de substâncias inflamáveis na forma de gás, vapor, névoa ou poeira, na qual após ignição, a combustão se propaga através da mistura não consumida (ABNT, 2006).

Atmosferas explosivas relacionada a líquidos e gases inflamáveis resultam, de acordo com o triângulo de fogo, com a presença e combinação de três elementos: combustível, comburente e fonte de ignição. Este conceito foi atualizado em um modelo chamado tetraedro de fogo, onde acrescentou-se a fator reação em cadeia além dos três elementos iniciais (Figura 6). Considera-se que com a ruptura das moléculas do combustível, ocorre a liberação de produtos intermediários instáveis (radicais livres) e elétrons, o que torna o oxigênio mais reativo, aumentando a intensidade da combustão. Desta forma, a reação em cadeia é o que sustenta o incêndio e o retroalimenta (FSAC, 2023).

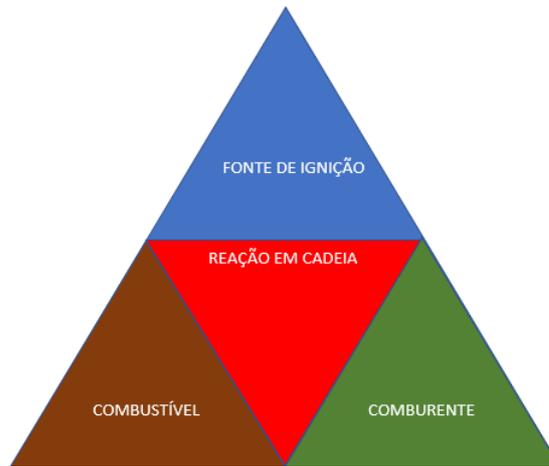


Figura 6 – Tetraedro do fogo  
 Fonte: Adaptado de FSAC, 2023

Tratando-se de poeiras combustíveis, dois elementos precisam estar presentes para propiciar a deflagração: dispersão das partículas (em suficiente quantidade e concentração); e confinamento (OSHA, 2013); ilustra-se os fatores através de um pentágono da explosão, exibido na Figura 7.

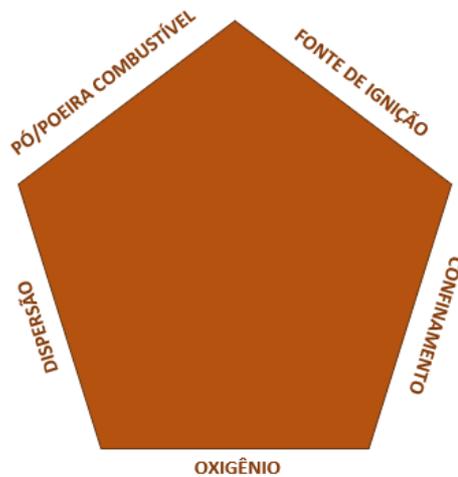


Figura 7 – Pentágono da explosão  
 Fonte: Adaptado de OSHA, 2013

As poeiras podem se acumular nas superfícies (vigas, estantes, equipamentos) e permanecer durante anos até que um evento primário se materialize. A onda de pressão originada por um evento de deflagração de pós serve como combustível para explosões secundárias. Para se ter uma ideia da gravidade, uma explosão catastrófica pode ocorrer a partir de uma fração de 1/32 de uma polegada de poeira acumulada (aproximadamente a espessura de uma moeda de dez centavos), cobrindo apenas 5% da área superficial de uma sala (CSB, 2018). Desta forma é fundamental o controle da emissão ou liberação de poeira

fugitivas, adotando-se medidas de prevenção e projetos de instalações que evitem que a poeira migre e se acumule.

Segundo a NBR 80079-36 (ABNT, 2018), existem quatro princípios de proteção que devem ser observados em etapas, frente a um cenário de potencial formação de atmosfera explosiva, são eles: prevenir a presença de uma fonte de ignição; em caso negativo; prevenir que a fonte de ignição se torne efetiva; em caso negativo; prevenir que a potencial atmosfera explosiva atinja a fonte de ignição, em caso negativo; prevenir a propagação das chamas garantindo seu enclausuramento (ABNT, 2018).

A fim de evitar esta sequência de eventos, a NBR 60079-14 traz o conceito de classificação de áreas segundo a qual uma área classificada consiste em um espaço tridimensional no qual uma atmosfera inflamável pode estar presente e requer precauções especiais para a construção, instalação e utilização de equipamentos, visando o controle de potenciais fontes de ignição (ABNT, 2006).

Para classificar áreas, primeiro é necessário conhecer as propriedades e comportamento das substâncias quando liberadas para o meio externo (ponto de fulgor, densidade, temperatura de ignição, etc.), e determinar a classe do ambiente (Classe I ou II) dependendo do grupo de substâncias presentes. Além disso, é necessário determinar a zona, que se divide em 3 níveis (zona 0, zona 1 e zona 2) de acordo com a probabilidade e frequência da ocorrência de mistura inflamável. A definição dos equipamentos se dá a partir da classificação do local, que define o tipo de proteção adequada, classe de temperatura necessária e o nível de segurança para os dispositivos eletroeletrônicos (ABNT, 2006).

### **3.2.POSSÍVEIS CENÁRIOS ACIDENTAIS**

Um cenário é um evento ou sequência de eventos que levam a uma consequência indesejada. Ele se materializa a partir de um causa inicial, que associado a uma condição habilitadora, levam a um desvio no modo normal de operação. A ocorrência de falhas sequenciais ou simultâneas nas salvaguardas preventivas levam a um evento topo, como por exemplo, uma perda de contenção. A partir deste ponto, a capacidade de acionamento e atuação das salvaguardas mitigadoras definirão a magnitude e severidade das consequências (CCPS, 2008).

Eventos indesejáveis podem ocorrer quando alguns elementos se fazem presentes em

concentrações e condições a iniciar uma liberação tóxica, incêndio explosão e/ou a combinação entre eles. Uma breve descrição das principais consequências que podem se materializar a partir de um evento inicial e suas definições, de acordo com o CCPS Process Safety Glossary (CCPS, 2023):

**a. *Flash fire***

Consiste em um incêndio extremamente rápido em nuvem de vapor onde a massa envolvida não é suficiente para atingir estágio de explosão.

**b. *Jet fire***

Acontece quando há um escoamento de gás inflamável sob alta velocidade e pressão que encontra uma fonte de ignição no ponto de vazamento.

**c. *Fireball***

Acontece quando um volume de vapor inflamável comprimido escapa rapidamente da contenção. Devido a despressurização rápida, forma-se um volume esférico cuja superfície queima a partir da periferia e eleva-se pela redução de densidade causada pelo superaquecimento.

**d. *Incêndio em poça (Pool Fire)***

Ocorre a partir de um rompimento ou furo em um tanque, esfera, tubulação, etc., onde o produto estocado é lançado sobre o solo formando uma poça e sofre ignição.

**e. *Dispersão atmosférica - Puff/Pluma***

Consiste no transporte e dispersão atmosférica de gases para longe da fonte emissora pela ação do vento. A pluma consiste numa liberação contínua de conteúdo com queda da concentração de material conforme se distancia da fonte, já o *puff* consiste numa liberação instantânea que mantém sua concentração ao longo do tempo. Alguns fatores afetam a dispersão atmosférica do material tóxico, sendo eles: velocidade do ar, estabilidade atmosférica, relevo do terreno e altura da fonte de emissão.

**f. *VCE - Explosão de nuvem vapor confinado***

Acontece na combustão de uma mistura inflamável em ambiente fechado, onde maior parte da energia se desenvolve na forma de ondas de choque.

**g. *UVCE – Unconfined vapour cloud explosion***

Evento de explosão em nuvem de vapor não confinada em instalações abertas com presença de substâncias inflamáveis, onde maior parte da energia total se desenvolve na forma de radiação térmica.

***h. BLEVE - Boiling liquid expanding vapour explosion***

Trata-se de uma explosão de vapor expandido por um líquido em ebulição. Envolve substâncias químicas liquefeitas que estão aquecidas a uma temperatura acima do seu ponto de ebulição. Evento puramente físico em que o tanque ao ser aquecido e sob constante aumento de pressão interna, se rompe catastroficamente liberando a massa gasosa a partir da violenta vaporização do líquido liquefeito e projetando fragmentos. Em movimento ascendente, a massa de gás inflamável liberado entra em contato com o ar e queima da periferia até o centro formando uma *fireball* instantaneamente.

***i. Runaway Reaction***

Reação exotérmica instável com taxa de reação descontrolada, levando a aumentos drásticos de temperatura e pressão.

***j. Flashover/ Backdraft***

São fenômenos que ocorrem em situações de incêndio já em andamento. No caso do *flashover*, ocorre uma ignição súbita e generalizada, o calor irradiado provoca a pirólise dos materiais combustíveis de todo ambiente, provocando a propagação rápida do fogo por toda a área. O *blackdraft*, consiste em uma ignição explosiva em um ambiente de incêndio em local fechado, a partir do encontro com o oxigênio proveniente de alguma corrente de ar, que causa uma indução da explosão da nuvem de fumaça pela oxigenação rápida.

***k. Boilover/Slopovert/Frothover***

São fenômenos que ocorrem em situações de incêndio em tanques e consistem na ebulição turbilhonar, erupção ou transbordamento de material inflamável ultra viscoso (petróleo, óleo cru, asfalto, etc.) por decorrência do agravamento de uma situação de emergência já em andamento, seja pela adição água ou LGE no combate a incêndio.

Conforme ilustrado na Figura 8, o *boilover* acontece quando um tanque acumula água na parte inferior, o vapor d'água formado nas altas temperaturas do incêndio ascende, carregando consigo o material inflamável superaquecido. Tal material se expande em violenta erupção atingindo dimensões cerca de dez vezes o diâmetro da contenção inicial e longas distâncias. Já o *slopovert/frothover*, apesar de não se caracterizarem por uma erupção violeta, consistem em um extravasamento de material inflamável por expansão térmica e espumação, seja de forma descontínua e por um dos lados do tanque (*slopovert*), ou de forma contínua e de menor intensidade (*frothover*).



Figura 8 – Diferenças entre *slopover*, *frothover* e *boilover*  
 Fonte: International Fire Protection, 2015

### 3.3.MÉTODOS DE ANÁLISE DE RISCOS

O processo de análise, avaliação e gerenciamento de risco inicia-se com a caracterização do local, estudo do ambiente e das atividades a serem executadas, observando-se as propriedades físicas e construtivas das instalações e ocupação demográfica. Procede-se então com o levantamento de todas as fontes de exposição a perigos devido a características de toxicidade, inflamabilidade, corrosividade, explosividade. Em seguida, utiliza-se das ferramentas de análise de risco para identificação e estimativa dos mesmos.

O estudo das frequências pode ser realizado através de ferramentas como: banco de dados, árvores de falhas/eventos, análise de Markov e análises de confiabilidade. O estudo das consequências dos cenários pode ser elaborado a partir de modelos de fontes, de dispersões, de incêndios, de explosões e de danos.

A avaliação dos riscos (individual, social ou ambiental) se dá a partir de todas as etapas e coleta de informações anteriores, e a partir da mesma deve-se proceder com o gerenciamento, justificando as medidas adotadas, seja para tolerá-lo, tratá-lo, reduzi-lo, transferi-lo ou eliminá-lo.

Durante o ciclo de vida de um processo, diferentes metodologias de análise de risco se fazem necessárias, dependendo da fase em que o empreendimento se encontra. O processo de avaliação de riscos pode ser aplicado em todos os estágios, onde varia-se o nível de detalhamento. Desta forma, existem técnicas mais aplicáveis as fases iniciais de um projeto como APP/APR e *What-if, checklist*; e técnicas mais implementadas na fase de operação ou modificação, como HAZOP, FMEA, árvores de falhas, entre outras. A Figura 9 detalha a

aplicação de técnicas de análise de risco de acordo com as fases de ciclo de vida do projeto, segundo o *Center for Chemical Process Safety – AIChE* (CCPS, 2007, p.37) e norma interna da empresa Petrobrás nº N-2782 (PETROBRÁS, 2005).

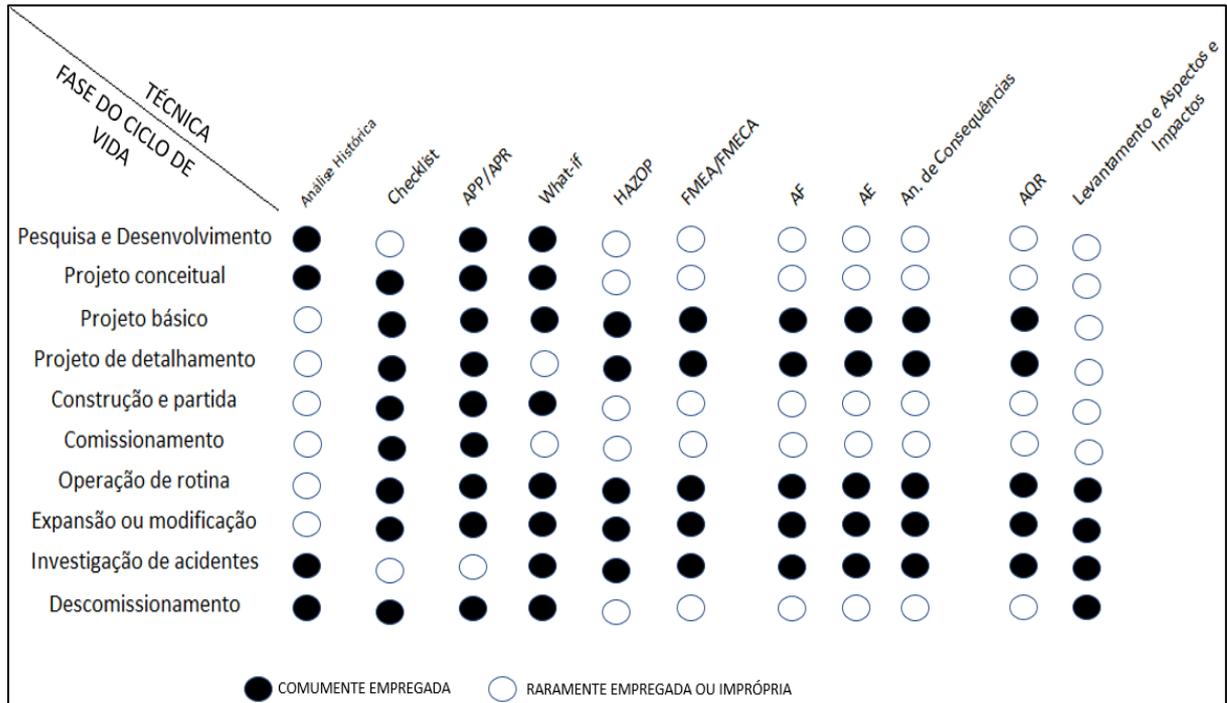


Figura 9 - Aplicação de técnicas de risco de acordo com o ciclo de vida do empreendimento  
Fonte: Adaptado de CCPS, 2007, p.37 e norma PETROBRAS N-2782:2005

Da mesma forma, durante todo o processo de avaliação dos riscos: identificação, análise (consequência, probabilidade e nível de risco) e avaliação; algumas ferramentas e técnicas são mais aplicáveis do que outras. As metodologias de análise de risco podem ser divididas em qualitativas, semiquantitativas e quantitativas. Dentre as ferramentas qualitativas pode-se listar: *checklist*, análise Histórica, APP/APR, HAZOP e *What-if*. Dentre as ferramentas semiquantitativas pode-se listar: Análise de camadas de proteção (LOPA) e Nível de integridade de segurança (*Safety Integrity Level - SIL*). Dentre as ferramentas quantitativas pode-se listar: análise de vulnerabilidade e consequências e análise quantitativa de riscos. A seguir segue uma breve descrição das principais, de acordo princípios da norma NBR 31010 (ABNT, 2012) e dos documentos técnicos do *Center for Chemical Process Safety* (CCPS), referenciados neste trabalho.

#### a. Análise Preliminar de Riscos ou Perigos – APR/APP

A técnica é comumente empregada antes de um estudo mais completo como um primeiro método simples e indutivo de levantamento e classificação dos cenários acidentais em relação à frequência e severidade. Pode ser empregada desde o início da concepção do

projeto quando há pouco detalhamento, ao longo de toda a vida útil para fins de modificação ou revisão e também como precursora de estudos adicionais (ABNT, 2012). Na Figura 10 pode ser visualizada uma representação esquemática de uma planilha de APR. A única diferenciação entre APR e APP é que na primeira, realiza-se uma classificação de risco em: tolerável, médio e não tolerável; através da matriz de tolerabilidade de riscos, exibida na Figura 11. Já na APP, pode-se estimar somente a severidade.

<b>ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCOS – APR</b>									
EQUIPE:								Folha nº: 1	
Unidade:			Subsistema:				Referência:	Data:	Revisão:
Instalação de Transferência e Estocagem de Hidrocarboneto Líquido.			CAMINHÃO				DWG-001-0	28/01/21	A
PERIGO	CAUSAS	MODO DE DETECÇÃO	EFEITOS	CAT. FREQUÊNCIA	CAT. SEVERIDADE	CAT. DE RISCO	RECOMENDAÇÕES	CENÁRIO	
VAZAMENTO NA TRANSFERÊNCIA DE PRODUTO PARA A LINHA	Má conexão do manqote;	Visual; Instrumentação; Ruído	Prejuízos materiais; Contaminação do solo e lençol freático; Contaminação de trabalhadores; Incêndio/Explosões.	D	IV	NT	Kit de contenção contra vazamentos;	A1	
	Rompimento do Manqote;						Seguir o que determina o plano de ação emergencial local;	A2	
	Desgastes/ Fadiga dos materiais;						Garantia da equipe de resposta à emergência a postos;	A3	
	Colisão acidental do caminhão com a válvula de controle manual HV 102-1.						Seguir procedimentos operacionais quanto aos serviços de inspeção e manutenção de equipamentos; Inspeção e Manutenções preventivas do caminhão-tanque; Inspeção e Manutenções preventivas do manqote; Inspeção e Manutenções preventivas da válvula do dreno mangote; Instalação de alarme de nível	A4	
IGNIÇÃO DO LÍQUIDO COMBUSTÍVEL	Acúmulo de Eletricidade estática;	Visual; Sistemas de alarme e incêndio	Danos materiais, Danos à saúde do trabalhador; Incêndio/ Explosões.	D	IV	NT	Manter distante qualquer possível fonte de ignição;	A5	
	Aumento da temperatura;						Aterramento do caminhão antes da operação;	A6	
	Centelhamento/ Faíscas elétricas;						Manutenção sistema de aterramento;	A7	
	Atrito.						Todos os equipamentos e sistemas à prova de explosão.	A8	

Figura 10 - Modelo de Planilha de APR  
Fonte: Autoria própria

Matriz de Tolerabilidade de Riscos	Frequência				
	A Improvável	B Remoto	C Ocasional	D Remoto	E Frequente
Faixa de frequência associada	$\geq 1.000.000$ anos	$10.000 < f < 1.000.000$ anos	$100 < f < 10.000$ anos	$1 < f < 100$ anos	$\geq 1$ /ano
IV Catastrófica	Médio	Médio	Não Tolerável	Não Tolerável	Não Tolerável
III Crítica	Médio	Médio	Médio	Não Tolerável	Não Tolerável
II Marginal	Tolerável	Tolerável	Médio	Médio	Não Tolerável
I Desprezível	Tolerável	Tolerável	Tolerável	Tolerável	Médio

Figura 11 - Matriz de Tolerabilidade de Riscos  
Fonte: Adaptada de Norma PETROBRAS N-2782:2005

#### b. HAZOP – Estudo de perigo e operabilidade

A técnica investiga causas e consequências dos desvios da intenção de projeto a partir de um estudo de nós de um processo e emprego de palavras-guia (Figura 12), oferecendo recomendações para que o evento não ocorra, conforme exemplificado na Figura 13. Geralmente é conduzido por uma equipe multidisciplinar ao longo de uma série de reuniões. A equipe considera os cenários indesejáveis e trabalha de trás para frente com base nos diagramas de processo, P&ID's e demais documentos pertinentes até chegar às causas básicas. Os cenários acidentais identificados como catastróficos a partir de um HAZOP precisam ser analisados e tratados detalhadamente na análise semiquantitativa (LOPA) e análise quantitativa de risco (BAHIA, 2017). Este estudo é mais comumente realizado no estágio de detalhamento do projeto, quando já há disponível um diagrama completo da instalação, mas alterações ainda são praticáveis, mas pode ser empregado ao longo da vida útil, revisões de segurança ou alterações na planta (ABNT, 2012).

Palavra -guia	Significado
Não	Negação da intenção de projeto
Menor	Diminuição quantitativa
Maior	Aumento quantitativo
Parte de	Diminuição qualitativa
Bem como	Aumento qualitativo
Reverso	Oposto lógico da intenção de projeto
Outro que	Substituição completa

Parâmetro	Palavra-guia	Desvio
Fluxo	Não	Sem fluxo
	Menor	Menos fluxo
	Maior	Mais fluxo
	Reverso	Fluxo reverso
Pressão	Menor	Pressão baixa
	Maior	Pressão alta
Temperatura	Menor	Baixa temperatura
	Maior	Alta temperatura
Nível	Menor	Nível baixo
	Maior	Nível alto

Figura 12 - Palavras-guia, parametros e desvios de processo  
 Fonte: Norma CETESB P4.261

<b>Estudo de Perigo &amp; Operabilidade</b> <b>HAZARD AND OPERABILITY - HazOp</b>						
EQUIPE:						Folha nº: 1
Unidade:			Sub-sistema:		Referência:	Data:
Seção de Reação			Vaso de Pressão		DWG-002-0	DD/MM /AAAA
Revisão:	A					
PARAMETRO	PALAVRA-GUIA	DESVIO	CAUSAS	DETECCAO/SALVAGUARDAS	CONSEQUENCIAS	RECOMENDACOES
VAZÃO	MENOS	VAZÃO BAIXA	Falta de água no reservatório Falha na bomba Falta de energia Vazamento ou entupimento no sistema de alimentação Falha da abertura da válvula	VISUAL (D) – vazamento de água VISOR DE NÍVEL (D) NÃO HÁ (S)	Danos ao sistema de aquecimento Comprometimento do processo produtivo Gastos com manutenção corretiva Atraso na produção	Instalação de medidor de vazão com lógica de intertravamento com válvula C Instalação de sistema de alarme de baixo nível Elaboração de procedimento operacional e treinamentos dos operadores Elaboração de procedimento de emergência em caso de acidentes

Figura 13 - Modelo de Planilha de HAZOP  
 Fonte: Autoria própria

**c. FMEA/FMECA**

Técnica utilizada para listar em planilha, conforme exemplificado na Figura 14, as formas em que componentes, sistemas ou processos podem falhar em atender o intuito de seu projeto, além de identificar os efeitos dessas falhas, seja para o próprio equipamento, sistema, planta ou meio ambiente. Cada equipamento é considerado de forma singular, desta forma

fornece pontos de atenção e melhoria, além de permitir uma ordenação de prioridade de acordo com a severidade designada (RUPPENTHAL, 2013).

ANÁLISE DE MODOS DE FALHA E EFEITOS – AMFE						
Failure Mode and Effect Analysis - FMEA						
EQUIPE:						Folha nº: 1
Unidade:			Subsistema:		Data:	Rev:
Seção de Reação da Planta de Processamento do "Produto A"			Vaso Reacional - Reator exotérmico		14/04/21	A
COMPONENTES	MODOS DE FALHA	EFEITOS		CAT.DE RISCO	DETECÇÃO	AÇÕES DE COMPENSAÇÃO
		PARA OUTROS	PARA O SISTEMA			
VÁLVULA A	VA obstruída	aquecimento do reator	perda da qualidade do produto	MARGINAL	Visual ou indireta (através de medição de temperatura anormal do sistema)	Realizar inspeção e manutenção periódica Realizar testes de pressão e calibração Instalação de uma válvula redundante Efetuar limpeza e
	VA deixa passar água além do desejável	resfriamento do reator	baixa eficiência do reator / produto fora da			
SISTEMA DE ALÍVIO B	Obstrução do sistema	aquecimento do reator	perda da qualidade do produto	CRÍTICA	Visual ou indireta (através de contínuo aumento de temperatura do sistema)	Realizar inspeção e manutenção periódica, limpeza e desencrustamento
SISTEMA DE SUFOCAMENTO DA REAÇÃO C	Vc obstruída	aquecimento do reator	perda da qualidade do produto / risco de explosão	CATASTRÓFICA	Visual ou indireta (através de contínuo aumento de temperatura do sistema)	Realizar inspeção e manutenção periódica Realizar testes de pressão e calibração Efetuar limpeza e desencrustamento
SENSOR S	afere a temperatura abaixo da real	compromete a atuação do TIC, podendo ocasionar um superaquecimento do reator	perda da qualidade do produto	CRÍTICA	NÃO HÁ	Realizar inspeção e manutenção periódica Inserção de um sistema de medição de temperatura adicional
			risco de explosão	CATASTRÓFICA	NÃO HÁ	
	afere a temperatura acima da real	compromete a atuação do TIC, podendo ocasionar um resfriamento do reator	baixa eficiência do reator / produto fora da especificação	MARGINAL	NÃO HÁ	

Figura 14 - Modelo de Planilha de FMEA

Fonte: Autoria própria

#### d. *What-if*

Estudo sistemático, baseado em *brainstorming* e questionamento amplo voltado para uma equipe multiprofissional experiente na área. O facilitador utiliza um conjunto de palavras ou frases de 'comando' para estimular o questionamento sobre: "o que pode dar errado?", a fim de estimular os participantes a identificar os possíveis riscos, explorar cenários, suas causas, consequências e impactos (RUPPENTHAL, 2013).

#### e. *Checklist (Lista de Verificação)*

Pode ser aplicada em qualquer estágio do ciclo de vida de um processo e busca encontrar desvios verificando os parâmetros frente aos padrões estabelecidos em uma lista. Pode ser amplamente aplicada em um setor, sistema, instalação, processo, equipamento ou procedimento. Apresenta uma estrutura fixa, logo itens que não estão descritos, não são verificados. Desta forma deve ser constantemente revisada a fim de garantir que tudo esteja sendo coberto e evitando a negligência de riscos ou fatores que não são usualmente verificados (ABNT, 2012).

#### f. Análise por Árvore de Falhas – AAF

Estudo conduzido na análise quantitativa de riscos e baseia-se na construção de um fluxograma verticalizado (Figura 15) com um cenário acidental específico, chamado de evento topo (ex: rompimento de vaso de pressão). Através de combinações de eventos básicos e intermediários, portões lógicos e dados de taxa de falha de equipamentos; calcula-se a probabilidade de ocorrência do evento topo ou evento de segurança de processos. Isso permite o enfoque na prevenção ou mitigação de causas básicas significativas a fim de reduzir a probabilidade do cenário principal (CCPS, 2008).

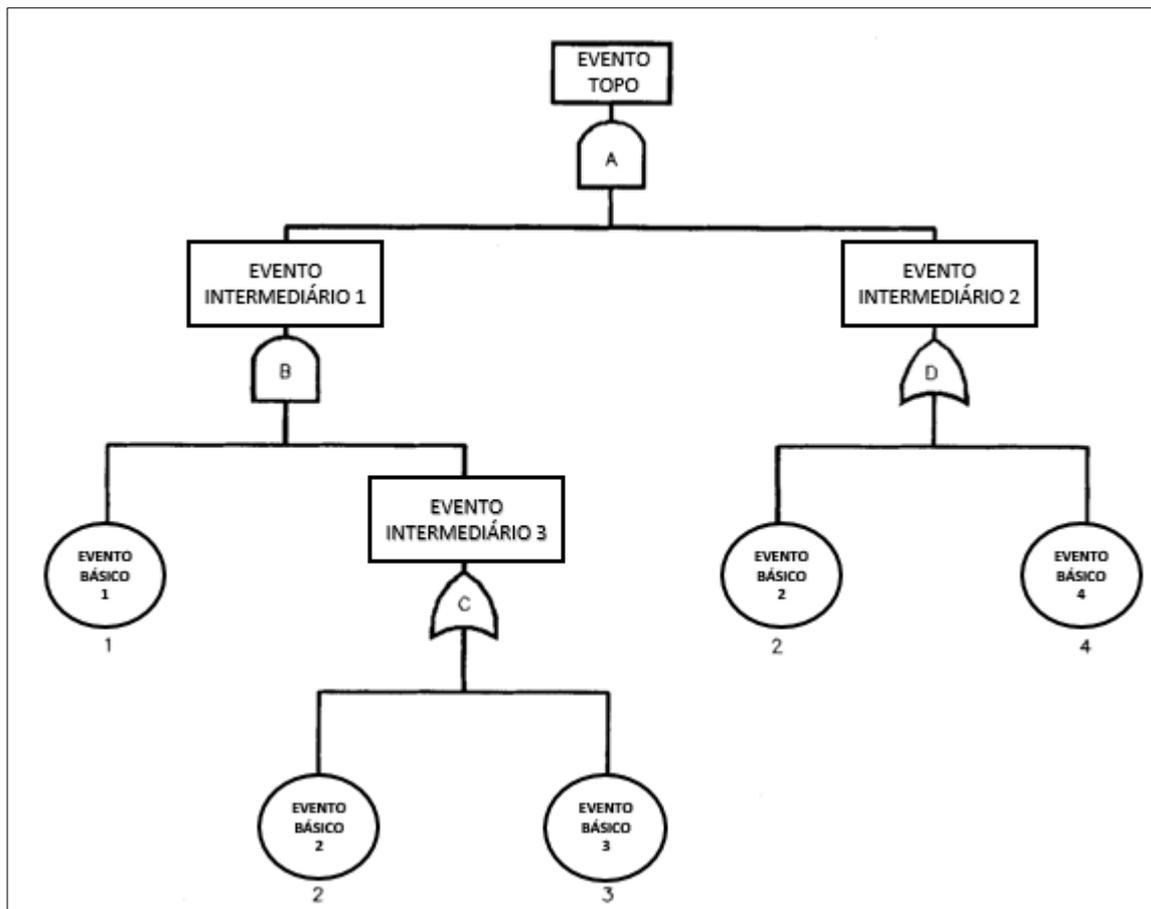


Figura 15 – Diagrama ilustrativo de uma árvore de falhas  
Fonte: Adaptado de CCPS, 2008.

#### g. Análise por Árvore de Eventos - AAE

Baseia-se na construção de um diagrama horizontal (Figura 16) que se inicia com uma falha, por exemplo, de um equipamento, o que pode desencadear eventos múltiplos e o acionamento de camadas de proteção sequencias. Calcula-se as probabilidades em cada etapa até se chegar às probabilidades de diferentes consequências (CCPS, 2008).

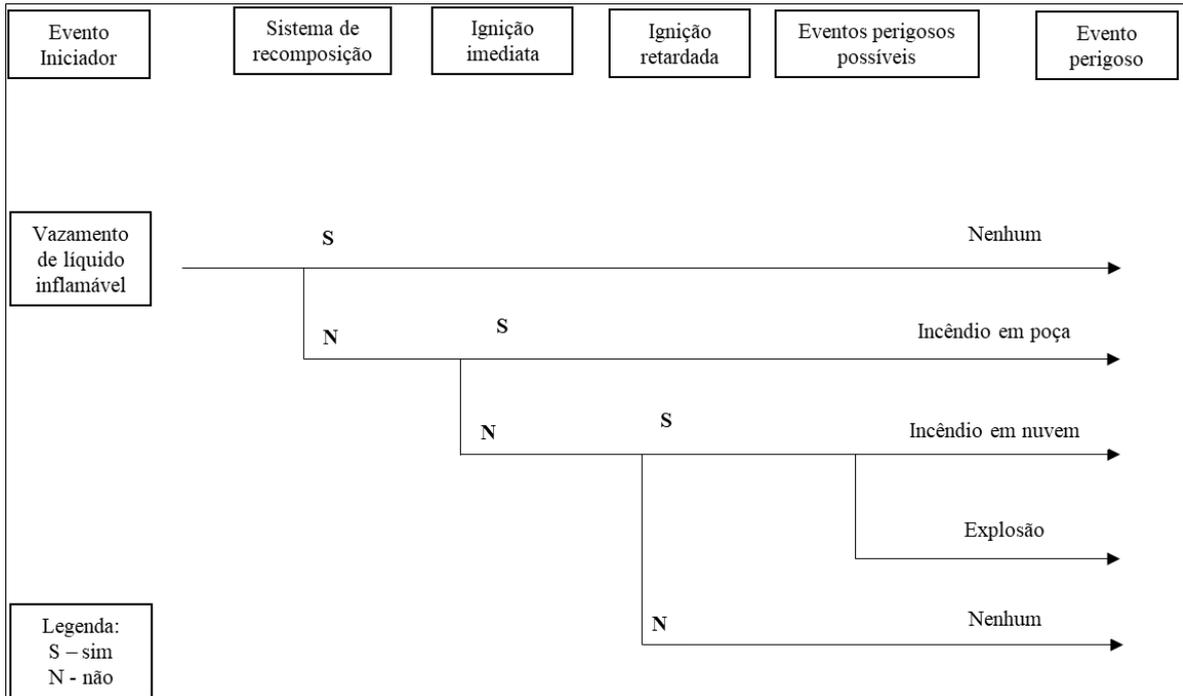


Figura 16 - Diagrama ilustrativo de árvore de eventos  
Fonte: CARDELLA, 2008 apud BARROS, 2013

#### *h. Bow-tie*

É uma ferramenta gráfica que descreve os caminhos de um evento, desde as causas até as consequências, onde seu foco está nas camadas de proteção. Observando a representação esquemática da Figura 17, do lado esquerdo do diagrama se posicionam as barreiras preventivas entre as causas e o evento topo e, do lado direito do diagrama, se posicionam as barreiras mitigadoras entre o evento topo e as consequências. As barreiras preventivas são implementadas a fim de impedir a materialização do cenário, logo atua na redução da frequência. Por outro lado, as barreiras mitigadoras estão presentes a fim de diminuir a magnitude dos impactos, a partir do momento que o evento topo já ocorreu, logo atua na redução da severidade (ABNT, 2012).

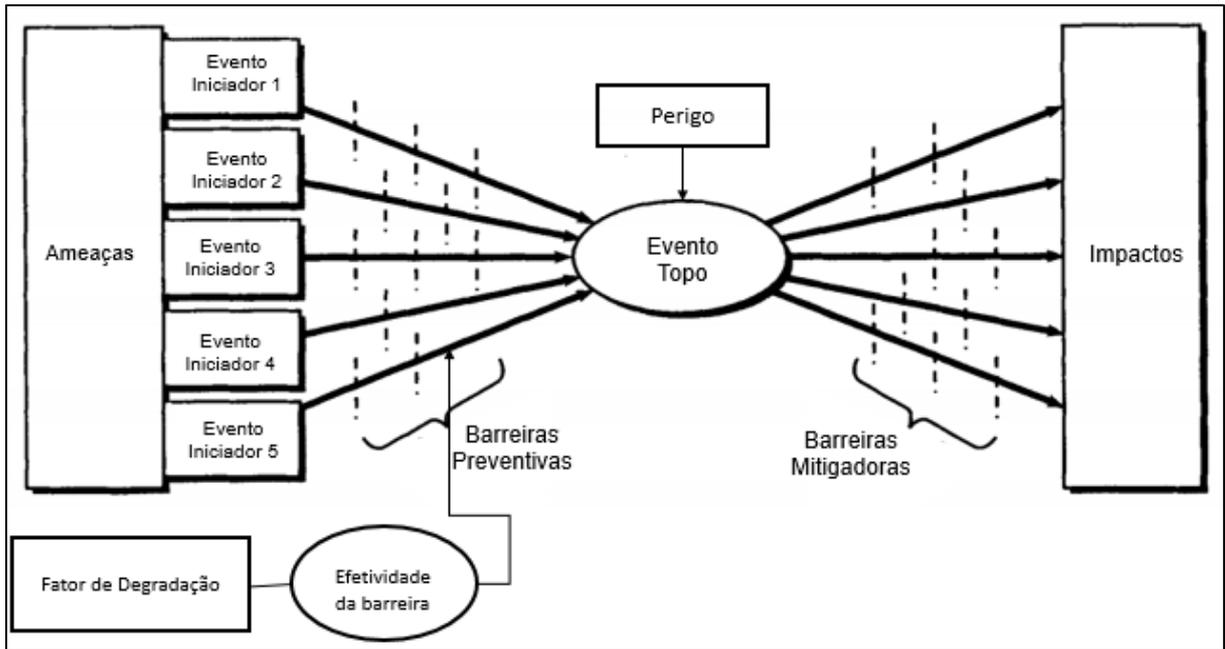


Figura 17 – Diagrama “Bow-tie” genérico  
 Fonte: Adaptado de CCPS, 2008.

#### i. LOPA

Análise das camadas de proteção é uma técnica semiquantitativa pois parte de informações de consequência, onde estimou-se previamente o cenário e a severidade de forma qualitativa partir de outros estudos (HAZOP, APR). Busca calcular uma frequência, estimada de forma quantitativa, comparando-a com a frequência desejável, que deve se enquadrar abaixo da máxima tolerável com base nos critérios de risco estabelecidos (CCPS, 2015).

Se a LOPA indicar que o risco do processo é inaceitável, algumas medidas podem ser adotadas. Normalmente, para um maior fator de redução do risco (RRF), salvaguardas adicionais são incorporadas, mas também pode-se atuar na eliminação do cenário, na redução da frequência, no aumento da integridade das IPL's, (*Independent Protective Layer*) ou na redução impactos de eventos de perda (CCPS, 2008).

Como pode-se verificar na Tabela 2, a partir da LOPA determina-se e verifica-se o nível de integridade de segurança (SIL- *safety integrity level*) para as funções instrumentadas de segurança (SIF), garantindo a integridade mecânica de componentes específicos do processo. De acordo com a norma IEC 61508, o SIL é definido como uma métrica para avaliação do desempenho de segurança para obtenção de certificação. Quanto maior o SIL, menor a probabilidade de falha sob demanda (PFD) e maior o fator de redução de risco. Desta forma, quanto maior o SIL, maior o nível de integridade da barreira ou camada de proteção

(International Electrotechnical Commission, 2010).

Tabela 2 - Relação entre SIL, PFD e RRF

SIF (Função Instrumentada de Segurança)	PFD (Probabilidade de falha sob demanda)	RRF (Fator de redução de risco)
SIL 1	$0,01 \leq \text{PFD} < 0,1$	$100 \leq \text{RRF} < 10$
SIL 2	$0,001 \leq \text{PFD} < 0,01$	$1.000 \leq \text{RRF} < 100$
SIL 3	$0,0001 \leq \text{PFD} < 0,001$	$10.000 \leq \text{RRF} < 1.000$
SIL 4	$0,00001 \leq \text{PFD} < 0,0001$	$100.000 \leq \text{RRF} < 10.000$

Fonte: Adaptado de CPPS, 2015, p.157

A Figura 18 mostra o conceito de camadas de proteção para um sistema. Os critérios para uma salvaguarda (ou barreira) ser considerada uma IPL (ou camada de proteção) exigem que ela seja: efetiva, independente e auditável. Desta forma, toda IPL é uma salvaguarda, mas nem toda salvaguarda é uma IPL (CCPS, 2015).



Figura 18 - Conceito de camadas de proteção para um sistema

Fonte: Adaptado de ALVES, 2007

Pode-se observar que nas camadas iniciais, chamadas de camadas preventivas, constam: os sistemas básicos de controle, os sistemas de alarme e intervenção operacional, os sistemas instrumentados de segurança e os sistemas de proteção mecânica. Já nas camadas de proteção finais, chamadas de camadas mitigadoras, constam: o sistema de combate a incêndio, e os planos de resposta e emergência.

### **3.4. HISTÓRICO DOS PRINCIPAIS ACIDENTES ENVOLVENDO ARMAZENAMENTO PRODUTOS QUÍMICOS**

Uma forma de adquirir conhecimento sobre situações de risco e prevenir possíveis acidentes ou efeitos negativos diversos se dá a partir do estudo de incidentes e acidentes que ocorreram no passado e da incorporação de recomendações e das lições aprendidas, evitando sua reincidência (KLETZ, 1999).

Quanto mais complexos os processos de uma organização, mais complexos são os requisitos de segurança e de tecnologia necessários. Pode-se concluir que o crescimento de uma organização está intimamente ligado aos avanços tecnológicos (CROWL & LOUVAR, 2011). Isso ocorre especialmente nas indústrias de produtos químicos, uma área de processos extremamente complexos que lidam com altas pressões, temperaturas, toxicidade, corrosividade, reatividade, entre outros.

O fato de uma empresa ser grande e sólida no mercado, com muitas ferramentas de segurança e camadas de proteção, não a exime da ocorrência de acidentes graves ou catastróficos. Pode-se verificar no Quadro 1 que diversas corporações envolvidas nestes acidentes se encontravam nesta situação.

Os acidentes acontecem por várias causas e falhas de gerenciamento como pela falha na conscientização e engajamento das pessoas envolvidas sobre a importância de seguir os procedimentos e condutas estipuladas; falha em detectar violações ou degradação dos sistemas; omissão deliberada onde se fecha os olhos para evitar conflitos, para executar um trabalho rapidamente (KLETZ, 1999) ou para atender às pressões por produção da alta direção.

A seguir exibe-se uma cronologia listando 21 acidentes ocorridos em diversos setores produtivos da indústria química, tanto no mundo (ID 1 a 14 do Quadro 1) quanto no Brasil (ID 15 a 21 do Quadro 2) com uma breve descrição de cada acidente. Em seguida, foi feita uma análise de causas-raiz destes acidentes, interrelacionando fatores em comum presentes.

#### **a. Cronologia de grandes acidentes no mundo envolvendo o setor químico**

Descreve-se a seguir, a partir de um breve resumo os principais acidentes mundiais envolvendo produtos químicos constantes no Quadro 1, no qual os acidentes estão

classificados de acordo com um n° de identificação (ID), ano do acidente, local de ocorrência, produto químico envolvido, setor produtivo no qual a empresa ou o acidente estavam inseridos, tipo de cenário acidental e resumo das principais consequências.

Quadro 1 - Ordem cronológica dos principais acidentes ocorridos mundialmente envolvendo produtos químicos

(continua)

ID	Ano	Local	Produto químico	Setor produtivo	Cenário acidental	Consequências
1	1966	Feyzin - França	Terminal de armazenamento de Gás liquefeito	O&G	UVCE seguido de Bleve	18 mortes, 84 feridos 5 esferas de armazenamento totalmente destruídas
2	1974	Flixborough - Inglaterra	Planta de produção de caprolactama - unidade de oxidação do cicloexano	Petroquímico - Produção de caprolactama - Unidade de oxidação de cicloexano	UVCE (rompimento de tubulação inadequada instalada temporariamente para by-pass de um dos reatores conectados em série).	28 mortos instantaneamente, e 23 feridos dentre os funcionários da fábrica; 53 pessoas feridas nas imediações; 2500 residências danificadas; Completa destruição das instalações de processo
3	1976	Seveso -Italia	TCDD (2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-dioxina)	Agroindústria - Produção de herbicidas e desinfetantes	Runaway reaction (Superaquecimento e sobrepressão em reator) e Emissão de nuvem tóxica	Aproximadamente 500 pessoas intoxicadas, 200 pessoas desenvolveram lesões na pele
4	1984	San Juan Ixhuatepec - México	GLP	O&G	LOPC em tubulação seguido de UVCE e BLEVE's em diversas esferas e cilindro de armazenamento	542 mortes; 4248 feridos Mais de 200.000 pessoas evacuadas
5	1984	Bhopal-Índia	Isocianato de metila e Cianeto de hidrogênio	Agroindústria - Produção de pesticidas (carbaril)	Runaway reaction (Superaquecimento e sobrepressão em reator) e Emissão de nuvem tóxica	Mais de 200.000 pessoas intoxicadas Pelo menos 2153 mortas

Quadro 1 - Ordem cronológica dos principais acidentes ocorridos mundialmente envolvendo produtos químicos

(continua)

6	1986	Chernobyl - Ucrania	Material radioativo	Nuclear - Geração de energia em usina nuclear	Explosão de reator nuclear	31 mortes;  Por volta de 7000 pessoas afetadas pela radiação
7	1988	Mar do Norte - Reino Unido	Hidrocarbonetos condensados	O&G - Planta forma Offshore Piper Alpha	LOPC em flange cego seguido de UVCE (. Explosão e incêndios)	167 mortos
8	1989	Prince William Sound - USA	Óleo cru	O&G - Petroleiro Exxon Valdez	LOPC em tanque de armazenamento de navio	Contaminação ambiental, aproximadamente 250.000 barris de óleo despejados no mar. Morte de diversas espécies de animais marinhos.  Impactos socioeconômicos nas comunidades ao redor.
9	1989	Pasadena (Texas) - USA	Produção de polietileno de alta densidade (HDPE)	Petroquímico	UVCE - Explosão do reator e incêndio	23 mortos e 314 feridos
10	1991	Hamlet - USA	Fábrica de processamento de frango	Alimentício	Incêndio	25 mortos e 54 feridos
11	2003	Kinston - USA	Fábrica de produção de borracha	Petroquímico	Explosão de poeira em espaço confinado	6 mortos e 38 feridos
12	2005	Texas City - USA	Nafta	O&G - Refinaria	UVCE e Incêndio em poça	15 mortos e 180 feridos
13	2010	Golfo do México - USA	Hidrocarbonetos	O&G - Planta forma Offshore Deep Water Horizon	UVCE - Explosão e incêndio (Vazamento de hidrocarbonetos de plug no poço) e Blowout	11 pessoas morreram, 17 ficaram feridas.  Contaminação ambiental, aproximadamente 5 milhões de barris de óleo despejados no mar.

Quadro 1 - Ordem cronológica dos principais acidentes ocorridos mundialmente envolvendo produtos químicos

(conclusão)

14	2020	Beirute - Líbano	Nitrato de Amônio	Atividade Portuária – Galpão de armazenamento no Porto de Beirute	Incêndio seguido de explosão em depósito de armazenamento	220 mortos e mais de 6000 feridos; Destruição de diversas edificações ao redor; Impactos socioeconômicos nas comunidades ao redor.
----	------	------------------	-------------------	---	---	--

Fonte: Adaptado de IChemE, 2022, p.8

Dentre os acidentes mundiais levantados, sua maioria se concentra no setor petroquímico e de O&G. Em ordem cronológica, o acidente de Feyzin envolvendo o rompimento de um vaso de pressão em um terminal de armazenamento de GLP, levou muitas empresas a revisarem seus padrões para o armazenamento e manuseio desses materiais (KLETZ, 1999, p.166). Este foi considerado na época um dos piores acidentes envolvendo este produto, sendo superado somente pelo acidente de San Juan Ixhuatepec no México em 1984, que apresentou danos em grandes proporções e largas distâncias por BLEVE em esferas de armazenamento envolvendo mesmo produto químico, e levando a óbito 542 pessoas, um número cerca de 30 vezes maior que no acidente de 1966.

O acidente de Flixborough em 1974, na Inglaterra, ocorrido principalmente pela instalação de uma tubulação by-pass inadequada em reatores em série sem uma revisão de segurança, gestão de mudança ou supervisão adequada por profissionais experiente. Cerca de 30 toneladas de ciclohexano foram liberados a partir do rompimento da tubulação, o que se materializou em uma UVCE causando a morte instantânea de 28 funcionários, total destruição da fábrica além de casas e estabelecimentos comerciais ao redor (CROWL & LOUVAR, 2011, p.48).

O acidente de Seveso na Itália em 1976, aconteceu a partir de uma *Runaway Reaction* que desencadeou um superaquecimento e aumento de pressão descontrolados, com consequente ruptura do disco de segurança do reator, levando a uma liberação atmosférica de uma mistura contendo, dentre outros componentes, o produto TCDD, um tipo de dioxina altamente tóxica. Apesar de nenhum óbito, aproximadamente 500 pessoas foram intoxicadas, 200 desenvolveram lesões na pele e cerca de 80.000 animais foram abatidos, para impedir que

compostos de dioxina entram na cadeia alimentar. Uma área de cerca de 17 km<sup>2</sup> foi afetada, sendo que o entorno mais próximo (108 hectares), se tornou inabitável até os dias de hoje (ICChemE, 2022, p.49). Este tornou-se um dos acidentes químicos mais conhecidos (sendo superado apenas por Bhopal), o qual teve efeitos de longo alcance sobre as leis de muitos países (KLETZ, 1999, p.376).

O acidente de Bhopal em 1984 é considerado o pior desastre da indústria química, nele pelo menos pelo menos 2153 perderam suas vidas e mais de 200.000 pessoas foram intoxicadas (KLETZ, 1999, p.368). Assim como no acidente de Seveso, uma *Runaway Reaction* desencadeou um superaquecimento e aumento de pressão descontrolada num tanque de armazenamento, levando a liberação atmosférica de uma nuvem tóxica de 40 toneladas de isocianato de metila e cianeto de hidrogênio. A causa foi atribuída à entrada de água num dos tanques causando uma reação altamente exotérmica, porém além disso, o sistema de alarmes, de refrigeração, de lavagem de gases e de acionamento do *flare* não estavam disponíveis durante a situação de emergência.

O acidente na usina nuclear de Chernobyl em 1986, trouxe à tona os riscos do uso da energia nuclear, sendo caracterizado como o maior desastre da história do setor, com consequências que também se perpetuam até os dias de hoje. Desde o início da construção do reator 4, devido a pressões governamentais e demanda crescente por energia e produção, foi relatado uma economia nos projetos e o mesmo foi colocado em operação sem completar os testes de segurança necessários. O acidente ocorreu quando os operadores pretendiam realizar um teste no sistema elétrico do reator. Os testes foram realizados no período da noite, num turno com poucos funcionários, alguns deles recém formados e pouco experientes. Boa parte dos procedimentos estavam rasurados, deixando uma margem para dúvidas e insegurança sobre qual conduta a ser adotada. Devido a uma série de erros na condução dos testes, os sistemas de segurança falharam e o reator sofreu uma explosão, liberando cerca de 50 toneladas de destroços de material altamente radioativo num raio de 3 km. Tal radiação liberada continuamente foi de cerca de 10 vezes a radiação das bombas atômicas lançadas sobre Hiroshima e Nagasaki e vazaram continuamente se espalhando pelas correntes de vento, atingindo primeiramente a cidade de Pripyat. Devido ao despreparo e desconhecimento em lidar com acidentes deste tipo, os bombeiros, médicos e equipes de socorro foram até o local prestar o primeiro atendimento com trajes comuns, nenhuma roupa própria para radiação ou máscaras respiratórias. A maioria dos funcionários expostos faleceram em dias, meses ou poucos anos após a exposição; outros ficaram com danos de saúde irreversíveis. Além disso, a

cidade de Pripjat só foi evacuada 36 horas após o acidente, o que também ocasionou danos à saúde diversos a esta população exposta neste período de tempo (DISCOVERY CHANNEL, 2004).

O acidente ocorrido no Mar do Norte (176 km da costa de Aberdeen no Reino Unido) em 1988, na plataforma Piper Alpha, durou cerca de 1:30h. No dia do acidente, haviam 226 funcionários a bordo, dos quais 167 perderam suas vidas. A plataforma foi à pique cerca de 1:30h após o início do acidente. Havia 62 funcionários de serviço no turno da noite, enquanto que os outros 164 funcionários estavam distribuídos pelas áreas de convivência, alimentação e/ou dormitórios. Somente três meses após a plataforma ir a pique, as equipes de resgate retiraram do mar 81 corpos e recuperaram evidências materiais essenciais para as investigações sobre o acidente. Dentre as causas básicas do acidente consta o erro na emissão e organização de permissões de trabalho, o que levou a dar partida equivocadamente em uma bomba backup que estava parada e deveria permanecer inoperante, pois estava desconectada da válvula de segurança em manutenção. Ao ativar a bomba backup sem checar o bloqueio da linha, iniciou-se a cadeia de eventos que levaram a lastimável perda material e humana (NATIONAL GEOGRAPHIC, 2013).

No acidente de 1989 em Prince William Sound- Alasca, o petroleiro chamado Exxon Valdez bateu em um recife causando uma rachadura no casco e de seu interior vazaram cerca de 11 milhões de barris de petróleo e catastrófico dano socioambiental. Segundo estimativas, levou a morte de cerca de 500.000 aves marinhas, 3000 lontras marinhas, 300 focas, 250 águias e 22 orcas (IChemE, 2022, p.16). As tentativas iniciais de conter o petróleo falharam e, nos meses que se seguiram, a mancha se espalhou, cobrindo uma área de cerca de 2100 km de costa. Dentre os motivos do acidente, consta o desvio da rota habitual, violação de procedimentos, falta de treinamento da equipe a bordo e até mesmo embriaguez em serviço do comandante da embarcação. Dentre os fatores agravantes destaca-se a ausência de uma estratégia de resposta, emergência e contingência para lidar com um acidente nessas proporções.

O acidente em Pasadena (Texas) – USA em 1989 resultou em 23 fatalidades e 314 feridos. A explosão ocorreu em uma fábrica de produção de PEAD (polietileno de alta densidade) onde, após a liberação acidental de 40 toneladas de uma mistura inflamável contendo etileno, isobutano, hexano e hidrogênio; formou-se uma grande nuvem de gás, que foi ignitada cerca de 2 minutos após o vazamento. Os danos resultantes da explosão impossibilitaram a reconstituição do acidente, no entanto, evidências mostraram que os

procedimentos operacionais não foram adequadamente seguidos (CROWL & LOUVAR, 2011, p.51).

O acidente de Hamlet – USA em 1991 aconteceu em uma planta de processamento de frango. A investigação revelou que a planta tinha um longo histórico de irregularidades com a legislação, falta licenças, inspeções, manutenções corretivas e medidas de combate a incêndio e emergências (ex: sistema de sprinklers não operante, saídas de emergência trancadas); motivadas em sua maioria por redução de custos (DIAMOND, 2017). Uma adaptação irregular em uma linha contendo fluido hidráulico inflamável rompeu, e foi ignitada pelo contato com o calor vindo das fritadeiras, o incêndio que se espalhou rapidamente. Grande quantidade de fumaça densa e tóxica foi produzida a partir de uma combinação múltipla da queima de óleo de soja e outras fontes de material combustível, além de explosões de diversas fontes de gás instalação. A fumaça tinha o potencial letal com apenas algumas inalações. No total, 25 pessoas morreram e outras 54 ficaram feridas, sofrendo sequelas como: queimaduras, cegueira, doenças respiratórias e pós-traumáticas (ICChemE, 2022, p.63).

O acidente em Kinston – USA em 2003, 6 pessoas morreram e outras 38 ficaram feridas em uma situação de explosão e incêndio causada por poeira combustível em espaço confinado. A fábrica produzia borracha e outros produtos para uso médico. O combustível foi um pó fino de polietileno, que se acumulava em uma superfície oculta acima de um teto suspenso sobre a área de fabricação, transportado pelo sistema de ventilação do prédio. Os funcionários desconheciam esta situação logo o local não fazia parte da limpeza de rotina e remoção de particulados. Os investigadores não conseguiram determinar a fonte de ignição ou o método de dispersão da poeira (CSB, 2004). O local não dispunha de instalações elétricas para áreas classificadas e o sistema de sprinklers estava inoperante no momento da emergência (ICChemE, 2022, p.56).

O acidente na refinaria Texas City – USA em 2005 levou a formação de uma UVCE e incêndio em poça, seguido de grandes explosões que mataram 15 trabalhadores e feriram cerca de outros 180. As fatalidades aconteceram entre funcionários que estavam dispostos em containers, instalados inadvertidamente dentro de uma área controlada de risco. O fato ocorreu durante a partida na unidade de isomerização da planta quando, devido a uma série de problemas de instrumentação e controle, falha de comunicação, liderança e erro operacional; ocorreu uma sobrecarga de material na torre muito além dos níveis permitidos. A investigação conduzida pelo CSB também revelou uma falta de entendimento e comprometimento com

segurança por parte da administração corporativa, porém o passo fundamental para a falha foi a contínua alimentação e aquecimento da torre. Ao se acionar a válvula de alívio, houve a descarga de um gêiser diretamente para a atmosfera (CSB, 2007). A liberação de inflamáveis levou a múltiplas explosões e incêndios. Pelo menos 4 *near-misses* já haviam acontecido anteriormente, porém nenhuma investigação efetiva foi conduzida nem foram feitas mudanças apropriadas no projeto (como por exemplo um sistema de *flare* para evitar essa liberação diretamente de líquidos e vapores inflamáveis) (CROWL & LOUVAR, 2011, p.53).

No acidente na plataforma semissubmersível, *Deep Water Horizon*, no dia 20 de abril de 2010, houve uma grande explosão e incêndio após um vazamento de óleo e gás de um poço para a plataforma. Ela operava no Mississippi Canyon no Golfo do México, ao sul da Louisiana, distante aproximadamente 70 km da costa. O poço exploratório estava no processo de cimentação final para abandono temporário, a fim de que posteriormente outra plataforma iniciasse a produção do mesmo. A plataforma tinha uma tripulação de 126 pessoas. Dentre elas, 11 foram imediatamente identificadas como desaparecidas (posteriormente confirmadas como vítimas fatais), e 17 pessoas ficaram feridas. Dentre as causas consta cimentação inadequada, erro de interpretação de testes de pressão e comunicação ineficiente (IChemE, 2022, p.12). A plataforma afundou 36 horas após a explosão inicial. A estimativa de vazamento foi na ordem de 200 milhões de barris, que causaram graves problemas ambientais, econômicos e sociais pelo litoral americano do golfo. O derramamento causou uma mobilização de importância nacional e resultou em uma operação de controle e resposta sem precedentes. Os hidrocarbonetos fluíram continuamente por 87 dias antes de uma interceptação bem sucedida por poços de alívio ser realizada (MARSH & MCLENNAN, 2014).

#### **b. Cronologia de grandes acidentes no Brasil envolvendo o setor químico**

Descrevem-se a seguir no Quadro 2, os principais acidentes envolvendo produtos químicos no Brasil. Considerou-se o Quadro 2 como continuação do padrão de classificação realizado previamente no Quadro 1, dando-se continuidade à numeração dos acidente a partir do nº de identificação (ID).

Quadro 2 - Ordem cronológica dos principais acidentes no Brasil ocorridos envolvendo produtos químicos

(continua)

ID	Ano	Local	Produto químico	Setor produtivo	Cenário acidental	Consequências
15	1972	Duque de Caxias - RJ	GLP	Refinaria - Reduc	Explosão – 3 esferas de armazenamento de GLP	42 funcionários mortos e 40 feridos
16	1984	Vila Socó, Cubatão -SP	Vazamento de combustíveis	O&G - oleodutos que ligavam a Refinaria Presidente Bernardes de Cubatão (RPBC) ao terminal portuário da Alemoa	LOPC	
17	1987	Goiânia - GO	Césio-137	Nuclear	Liberação de conteúdo radioativo de equipamento de radioterapia abandonado inadvertidamente	113 mil pessoas foram expostas aos efeitos do césio, muitas com contaminação corporal externa, 129 pessoas apresentaram contaminação corporal aguda, 49 pessoas foram internadas, 21 necessitando de tratamento intensivo; 4 pessoas morreram
18	2000	Baía de Guanabara - RJ	Óleo combustível (MF-380)	O&G - Oleoduto	LOPC por rompimento em duto	Contaminação ambiental pelo vazamento de 1.292.000 litros de óleo combustível; Impactos socioeconômicos nas comunidades ao redor (pesca, balneabilidade, turismo e comércio).

Quadro 2 - Ordem cronológica dos principais acidentes no Brasil ocorridos envolvendo produtos químicos

(conclusão)

19	2001	Campo de Roncador – Bacia de Campos - RJ	Óleo e Gás Natural	O&G - Plataforma P36	UVCE (2 explosões sequenciais)	11 mortos 17 feridos 138 pessoas evacuadas Perda completa da instalação e naufrágio; Contaminação ambiental
20	2011	Campo de Frade -Bacia de Campos – Macaé - RJ	Óleo cru	Bacia de Campos	Kick do poço e Underground blowout	Contaminação ambiental (lançamento de 3,7 mil barris de petróleo no mar)
21	2015	Campo de Camarupim – ES	Condensado de gás natural	O&G – FPSO Cidade São Mateus	LOPC seguido de VCE	9 mortos 26 feridos Danos à instalação (destruição na parte superior da casa de bombas) Inundação parcial

Fonte: Autoria própria

O acidente de 1972 na refinaria Reduc localizada em Duque de Caxias-RJ que levou ao óbito de 42 funcionários e deixou outros 40 feridos, aconteceu de forma semelhante ao acidente de Feyzin (KLETZ, 1999, p.168). Os operadores abriram a válvula de drenagem em um procedimento de remoção de água residual do fundo da esfera de armazenamento de GLP. Devido a um erro operacional, ao acabar toda a água, teve início a saída de GLP, o que fez com que a válvula congelasse e o fluxo não pudesse mais ser interrompido pelos operadores (COSTA, 2011). O conteúdo inflamável sofreu ignição levando a um evento de bleve, destruindo três esferas de armazenamento.

No acidente de 1984 na Vila Socó, Cubatão -SP, pelo menos 508 pessoas foram mortas, em sua maioria crianças, quando uma tubulação sofreu ruptura e 700 toneladas de gasolina se espalharam por uma região de mangue, onde havia uma comunidade palafitas nas proximidades (KLETZ, 1999, p.195). Os moradores notaram o vazamento e passaram a

coletar o produto e levar para suas casas. O líquido sofreu ignição seguida de incêndio cerca de 2 horas após o vazamento, se alastrando por toda a região contaminada e incendiando as moradias de palafitas. A causa principal do rompimento é atribuída a uma falha operacional, onde um operador alinhou inadequadamente e iniciou a transferência de gasolina para uma tubulação que se encontrava fechada, gerando sobrepressão e ruptura da mesma (CETESB, 2023).

O acidente ocorrido em 1987 em Goiânia-GO com o composto Césio-137, tornou-se o maior acidente radioativo do Brasil e também o maior no mundo ocorrido fora de usinas nucleares (Biblioteca Virtual em Saúde, [201-?]). Um equipamento abandonado indevidamente em uma unidade de tratamento oncológico desativada, com conteúdo radioativo em seu interior, foi recolhido por catadores e levado para um ferro velho para ser desmontado. Atraídos pela luz e cor emitida pela substância em seu interior e desconhecendo os riscos daquela substância, o dono do ferro velho, sua família e amigos se expuseram ao material, por via cutânea e até mesmo oral, encantados com o brilho e acreditando até mesmo se tratar de algo sobrenatural. Em poucos dias, diversas pessoas que tiveram contato com o material radioativo direta ou indiretamente, começaram a apresentar sintomas e serem hospitalizadas, o que desencadeou uma investigação que levou à uma série de medidas de mitigação, morte imediata de 4 pessoas, monitoramento de outras 112.800 pessoas, dentre as quais 249 apresentaram significativa contaminação interna e/ou externa, enclausuramento e coleta de 3500 m<sup>3</sup> como lixo radioativo (SECRETARIA DE ESTADO DE SAÚDE, 2020).

O acidente na Baía de Guanabara – RJ em 2000 ocorreu devido ao rompimento de um duto que despejou aproximadamente 1,3 milhão de litros de óleo numa área total de aproximadamente 135 km<sup>2</sup> de baía. Não há consenso em relação às causas reais do acidente, mas é fato que uma sequência de erros potencializou as consequências. Alguns atribuem o vazamento a uma corrosão no duto, mas estudos posteriores sugeriram que um erro de projeto ocasionou sua ruptura. Este foi considerando o acidente mais marcante na história do Rio de Janeiro tanto pela repercussão quanto por suas proporções socioambientais catastróficas. Em decorrência disso, foi sancionada a “Lei do Óleo” (BRASIL, 2000), que estabeleceu punições mais severas para acidentes ambientais envolvendo esse tipo de material (INEA, 2018).

O acidente no Campo de Roncador, Bacia de Campos – RJ em 2001 teve por consequência 11 mortes, 17 feridos, 138 pessoas evacuadas, contaminação ambiental e perda completa da instalação e naufrágio. O evento crítico aconteceu na operação de esgotamento de água do tanque de drenagem de emergência. A pressurização contínua do tanque levou ao

seu rompimento mecânico, caracterizando o evento como sendo a fonte da primeira explosão. Houve escapamento de gás para os conveses superiores através de aberturas e linhas de suspiro, quando aconteceu a segunda explosão, e nesta foram vitimadas onze pessoas da brigada de incêndio da plataforma. A análise de acidentes realizada permitiu que fossem identificadas várias não conformidades relativas a procedimentos regulamentares de operação, manutenção e projeto, destacando-se aqueles referentes à movimentação frequente de água nos tanques de drenagem de emergência, à operação de esgotamento e à classificação da área de risco em torno desses tanques (ANP, 2001).

No acidente no Campo de Frade localizado na Bacia de Campos – RJ em 2011, houve um evento de *kick* do poço e *underground blowout*, levando ao vazamento de cerca de 3.700 barris de petróleo cru para o mar, a uma distância de 120 km da costa. O relatório de investigação de acidentes da ANP constatou erros de projeto e operacionais decisivos para a ocorrência e agravamento do acidente, além de salientar que o evento teria sido evitado caso a empresa tivesse conduzido suas operações em aderência à regulamentação e conformidade com as boas práticas da indústria do petróleo e seu próprio manual de procedimentos (ANP, 2012).

O acidente no Campo de Camarupim – ES em 2015 no FPSO Cidade São Mateus foi ocasionado por uma perda de contenção primária (LOPC) de condensados de gás natural e criação de uma atmosfera explosiva em um espaço confinado, levando à morte de 9 funcionários e deixando outros 26 feridos (ICHEME, 2022). Três equipes foram enviadas até o local do vazamento, mesmo havendo a presença confirmada de atmosfera explosiva pelos detectores de gás da casa de bombas. Após tentativas frustradas em conter o material com mantas absorventes, foi decidido utilizar uma mangueira de combate a incêndio para a lavagem do local. Durante o aumento da pressão de água, houve uma explosão que causou uma onda de choque e destruição parcial da praça de máquinas e sua sala de controle (ANP, 2015). Foram indicados sete fatores causais durante o processo de investigação de acidentes, sendo eles: estocagem inadequada, erros operacionais e de condução da equipe de bordo.

## 3.5. LEGISLAÇÃO E APARATO NORMATIVO RELACIONADO AO ARMAZENAMENTO DE PRODUTOS QUÍMICOS

### 3.5.1. Regulamentação de Segurança Internacional

Entre as principais organizações internacionais e seus documentos de relevância para a elaboração de um plano de gerenciamento voltado a armazenamento de produtos químicos, podem se citar a OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*), um órgão criado em 1970 e subordinado ao Departamento do trabalho do Governo dos EUA. Ela tem como objetivo garantir condições de trabalho seguras e saudáveis, estabelecer e aplicar padrões e fornecer treinamento, extensão, educação e assistência. Os empregadores devem cumprir todos os padrões, normas e regulamentos aplicáveis; além manter o ambiente de trabalho livre de riscos reconhecidamente graves (OSHA, [202-]). Em seu PSM (*Process Safety Management*) apresenta requisitos de gestão e enfatiza o gerenciamento de riscos associado a produtos químicos altamente perigosos que integre tecnologias, procedimentos e práticas.

No mesmo ano da criação da OSHA, foi criada a NIOSH, uma agência federal subordinada ao CDC (*Center for Disease Control and Prevention*) do Departamento de Saúde e Serviços Humanos dos EUA; sendo responsável pela realização de pesquisas e produção de recomendações para a prevenção de lesões e doenças relacionada com o trabalho (NIOSH, 2022). O documento NIOSH POCKET GUIDE (NPG), por exemplo, traz informações de acesso sobre centena de produtos químicos, ajudando a reconhecer e controlar riscos relacionados e seus perigos no local de trabalho.

A AIChE (*American Institute of Chemical Engineers*) foi uma organização profissional formalmente criada no ano de 1908, com objetivo de estabelecer a carreira de engenharia química, emergente na época, diferenciando-a da química e também de outras engenharias. Ela tem atuado há cerca de 40 anos na promoção de altos níveis de padrões de segurança de processos e controle de perdas para o setor industrial. Com mais de 60.000 membros em mais de 110 países, suas publicações e documentos se tornaram valiosa fonte de informação para profissionais da área (CCPS, 2014).

Em 1985, a AIChE criou o CCPS (*Center for Chemical, Safety*), após os desastres de San Juan Ixhuatepec – México e Bhopal- Índia ocorridos no ano de 1984 e relatados neste trabalho. O principal produto das atividades do CCPS foram, e continuam sendo, diversas diretrizes para auxiliar aqueles que implementam elementos de um sistema de gerenciamento

de risco e segurança de processo (CCPS, 2014). Nos anos iniciais, o CCPS primeiro codificou os elementos críticos da segurança do processo e forneceu ferramentas essenciais para melhorar continuamente os programas de segurança. Além de suas publicações, promoveu workshops e conferências internacionais como oportunidades para aprendizado e discussões para a exploração de novas ideias e decisões relevantes para a indústria química CCPS ([202-]). Dentre as publicações da CCPS, destacam-se: Diretrizes para segurança de processo baseada em risco, Diretrizes para procedimentos de avaliação de perigo, Segurança de Processos para engenheiros – Uma introdução e Diretrizes para Segurança no Transporte de Produtos Químicos, Proteção e Gerenciamento de Riscos.

A EPA, a agência de proteção ambiental do governo dos EUA, tem como missão proteger a saúde humana e o meio ambiente, desenvolver e aplicar regulamentos, fornecer subsídios a projetos, programas e estudos e também estabelecer parcerias voltadas às questões ambientais (EPA, 2022a). Seu RMP (*Risk Management Program*) funciona como um modelo de documento referência e exige, em seu escopo principal, que as instalações que usam substâncias extremamente perigosas desenvolvam um PGR que identifique: os efeitos potenciais de um acidente químico, as medidas de prevenção e os procedimentos de resposta de emergência.

A NFPA (*National Fire Protection Association*) é uma organização internacional sem fins lucrativos dedicada a diminuir mortes, ferimentos, perdas materiais e econômicas devido a incêndios, riscos elétricos e relacionados (NFPA, [202-]). Quando não exigem normas específicas no país, estado ou cidade; os governos têm a opção de adotar ou usar como referência estas normas. A seguir, lista-se algumas voltadas para sistemas de combate à incêndio, armazenamento e segurança elétrica aplicáveis a locais de armazenamento de produtos químicos: NFPA 1 Código de Incêndio; NFPA 1991: Conjuntos de proteção contra vapores para emergências de materiais perigosos; NFPA 1992: Conjuntos de Proteção contra Respingos Líquidos e Vestuário para Emergências de Materiais Perigosos; NFPA 1961 Mangueira de incêndio; NFPA 1221: Instalação, Manutenção e Uso de Sistemas de Comunicações de Emergência; NFPA 1250: Gestão de Riscos; NFPA 704: Sistema Padrão para a Identificação dos Riscos de Materiais para Resposta de Emergência; NFPA 471: Práticas Recomendadas para Responder a Incidentes de Materiais Perigosos; NFPA 430: Código para o Armazenamento de Oxidantes Líquidos e Sólidos; NFPA 329: Práticas recomendadas para a manipulação de liberações de líquidos inflamáveis, combustíveis e gases; NFPA 231: Norma para Armazenamento Geral; NFPA 230: Proteção contra incêndio

do armazenamento; NFPA 70E: Segurança Elétrica no Local de Trabalho; NFPA 45: Proteção contra incêndio para laboratórios que usam produtos químicos; NFPA 17: Sistemas de Extinção de Produtos Químicos Secos; NFPA 17A: Sistemas de Extinção Química Líquidos;- NFPA 13: Sistema de sprinklers; NFPA 15: Sistemas fixos de pulverização de água para proteção contra incêndio.

A ACGIH (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists*) é uma associação privada de profissionais das áreas de higiene industrial, ocupacional, saúde, segurança e meio ambiente, sediada nos Estados Unidos da América. Ela estabeleceu os limites de tolerância para mais de 700 substâncias químicas e suas publicações anuais são referências para diversas legislações mundiais que tratam sobre exposição ocupacional tanto para agentes químicos, físicos e índices de exposição biológicos (ACGIH, 2023).

A ANSI (*American National Standard Institute*) organização privada sem fins lucrativos fundada em 1918 que coordena identifica e desenvolve soluções baseadas em padrões e avaliação da conformidade para tanto para os EUA quanto para o mundo (ANSI, 2023).

A instrumentação e os padrões industriais tem bases técnicas nas principais fontes como: API (*American Petroleum Institute*), ASME (*American Society of Mechanical Engineers*), ASTM (*American Society for Testing & Materials*), BSI (*British Standards Institution*), ISA (*International Society for Measurement & Control*), ISO (*International Standard Organization*), DIN (*Deutsches Institut für Normung*), DNV (*Det Norske Veritas*), BV (*Bureau Veritas*) e JIS (*Japanese Industrial Standards*).

Dentre os citados, a organização internacional de normalização (ISO) é a que mais se destaca em nível mundial, e também possui representação no Brasil através da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

### **3.5.2. Regulamentação de Segurança no Brasil**

Entre as principais organizações de relevância dentro do cenário nacional, pode-se destacar o papel da ABNT, uma entidade privada e sem fins lucrativos criada em 1940. Esta é responsável pela elaboração das Normas Brasileiras (NBR), atuando também na avaliação da conformidade, programas de certificação de produtos, sistemas e rotulagem ambiental (ABNT, 2023). É membro fundadora da ISO, da Comissão Pan-Americana de Normas

Técnicas – Copant, da Associação Mercosul de Normalização – AMN e da Comissão Eletrotécnica Internacional - IEC. As principais normas ABNT de relevância para o presente trabalho estão apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 – Classificação das principais normas ABNT por tipo de aplicação

(continua)

<p>Normas relativas à sistemas de gestão</p>	<p>ISO GUIA 73: Gestão de riscos, - Vocabulário;</p> <p>NBR ISO/IEC: 31.000: Gestão de riscos - Princípios e diretrizes;</p> <p>NBR ISO/IEC 31.010: Gestão de riscos - Técnicas para o processo de avaliação de riscos;</p> <p>NBR ISO 14001: Sistemas de gestão ambiental;</p> <p>NBR ISO 45001: Sistema de Gestão de Saúde e Segurança Ocupacional (SGSSO).</p>
<p>Normas relativas à eletricidade e equipamentos</p>	<p>NBR 14.009: Segurança de máquinas – Princípios para apreciação de riscos;</p> <p>NBR 13849: Segurança de máquinas - Partes de sistemas de comando relacionadas à segurança;</p> <p>NBR 60529: Graus de proteção providos por invólucros (Códigos IP);</p> <p>NBR 60079: Atmosfera explosiva;</p>
<p>Normas relativas à proteção e combate à incêndios</p>	<p>NBR 12693: Sistemas de proteção por extintores de incêndio;</p> <p>NBR 13860: Glossário de termos relacionados com a segurança contra incêndio;</p> <p>NBR 15662: Gerenciamento de riscos de explosão; NBR 15808: Extintores de incêndio portáteis;</p> <p>NBR 15809: Extintores de incêndio sobre rodas;</p> <p>NBR 12962: Inspeção, Manutenção e Recarga dos Extintores de Incêndio;</p> <p>NBR 12779: Mangueira de incêndio: inspeção, manutenção e cuidados;</p> <p>NBR 12779: Mangueiras de Incêndio - Inspeção, Manutenção e Cuidados;</p> <p>NBR 10897: Proteção contra incêndio por chuveiro automático;</p> <p>NBR 13792: Proteção contra incêndio, por sistema de chuveiros automáticos, para áreas de armazenamento em geral;</p> <p>NBR 6135: Chuveiros automáticos para extinção de incêndio ± especificação</p>

Quadro 3 – Classificação das principais normas ABNT por tipo de aplicação

(conclusão)

Normas relativas às edificações, projeto e instalações	<p>NBR 14432: Exigência de resistência ao fogo de elementos construtivos nas edificações;</p> <p>NBR 14434: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos;</p> <p>NBR 17505: Armazenagem de líquidos inflamáveis e combustíveis;</p> <p>NBR 12235: Armazenamento de resíduos sólidos perigosos.</p> <p>NBR 15575: Edificações habitacionais</p>
Normas relativas à identificação e classificação	<p>NBR 7500: Símbolos de risco e manuseio para o transporte e armazenamento de materiais;</p> <p>NBR 13434: Sinalização de segurança contra incêndio e Pânico,</p> <p>NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação;</p> <p>NBR 14725: Produtos químicos — Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente;</p> <p>NBR 80079-20-1: Características de substâncias para classificação de gases e vapores – Métodos de ensaios e dados;</p> <p>NBR 80079-20-1: Características dos materiais - Métodos de ensaio de poeiras combustíveis;</p> <p>NBR 7195: Cores para segurança.</p>

Fonte: Autoria própria

Outra organização de relevância é o INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia), uma autarquia federal criada em 1973, vinculada ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços que possui, dentre outras funções, verificar e fiscalizar a observância das normas técnicas e legais e promover o intercâmbio de informações com entidades e organismos estrangeiros e internacionais. Dentre suas portarias relevantes para este trabalho, pode-se citar a Portaria nº 206/2011, que contém requisitos de avaliação da conformidade para serviços de inspeção técnica e manutenção de extintores de incêndio; e a Portaria nº 179/2010, que apresenta requisitos de avaliação da conformidade de equipamentos elétricos para atmosferas explosivas, nas condições de gases e vapores inflamáveis e poeiras combustíveis (INMETRO, 2011; INMETRO, 2010).

### 3.5.2.1. Normas regulamentadoras

Sob a ótica das normas regulamentadoras (NR's) do Ministério do Trabalho e Previdência, algumas delas trazem em seu texto diretrizes que tangenciam o escopo deste trabalho, aplicando-se também ao armazenamento de produtos químicos e versando sob as medidas que devem ser adotadas.

A NR-1 estabelece que as instituições devem implementar um PGR para fins de prevenção e gerenciamento dos riscos ocupacionais. Cabe a organização o levantamento preliminar de perigos, a avaliação dos riscos ocupacionais, o controle dos riscos, aos planos de ação, a análise de acidentes e doenças relacionadas ao trabalho, a preparação para emergências e a capacitação e treinamento em SST (BRASIL, 2020a).

A NR-3 estabelece as diretrizes para caracterização do grave e iminente risco e os requisitos técnicos objetivos de embargo e interdição. A situação de grave e iminente risco é toda condição ou situação de trabalho que possa causar acidente ou doença com lesão grave ao trabalhador. A caracterização do grave e iminente risco deve considerar tanto a consequência quanto a probabilidade de ocorrência (BRASIL, 2019a).

A NR-9 estabelece os requisitos para a avaliação das exposições ocupacionais a agentes físicos, químicos e biológicos e as medidas de prevenção e controle dos riscos. Devem ser adotados para fins de medidas de prevenção: os critérios e limites de tolerância (constantes na NR-15 e seus anexos e na ausência deles, devem ser utilizados como referência para a adoção de medidas de prevenção aqueles previstos pela ACGIH). O nível de ação para agentes químicos, é calculado como a metade dos limites de tolerância. Considera-se nível de ação, o valor acima do qual devem ser implementadas ações de controle sistemático de forma a minimizar a probabilidade de que as exposições ocupacionais ultrapassem os limites de exposição (BRASIL, 2020b).

A NR-15 trata das atividades e operações insalubres e estabelece graus de insalubridade de acordo com os limites de tolerância (válidos para absorção apenas por via respiratória) e inspeção nos locais de trabalho (BRASIL, 2019c).

A NR-10 se aplica às fases de geração, transmissão, distribuição e consumo, incluindo as etapas de projeto, construção, montagem, operação, manutenção das instalações elétricas e quaisquer trabalhos realizados nas suas proximidades. As áreas onde houver instalações ou equipamentos elétricos devem ser dotadas de proteção contra incêndio e

explosão, conforme dispõe a NR 23. Os materiais, peças, dispositivos, equipamentos e sistemas destinados à aplicação em instalações elétricas de ambientes com atmosferas potencialmente explosivas devem ser avaliados quanto à sua conformidade, no âmbito do Sistema Brasileiro de Certificação. Nas instalações elétricas de áreas classificadas ou sujeitas a risco acentuado de incêndio ou explosões, devem ser adotados dispositivos de proteção, como alarme e seccionamento automático para prevenir sobretensões, sobrecorrentes, falhas de isolamento, aquecimentos ou outras condições anormais de operação (BRASIL, 2019b).

A NR-23 estabelece que todos os empregadores devem adotar medidas de prevenção de incêndios, em conformidade com a legislação estadual e as normas técnicas aplicáveis. O empregador deve providenciar para todos os trabalhadores informações sobre a utilização dos equipamentos de combate ao incêndio; os procedimentos para evacuação dos locais de trabalho com segurança e os dispositivos de alarme existentes. Os locais de trabalho deverão dispor de saídas, em número suficiente e dispostas de modo que aqueles que se encontrem nesses locais possam abandoná-los com rapidez e segurança, em caso de emergência. As aberturas, saídas e vias de passagem devem ser claramente assinaladas por meio de placas ou sinais luminosos, indicando a direção da saída. Nenhuma saída de emergência deverá ser fechada à chave ou presa durante a jornada de trabalho e podem ser equipadas com dispositivos de travamento que permitam fácil abertura do interior do estabelecimento (BRASIL, 2011a).

A NR-11 trata do Transporte, Movimentação, Armazenagem e Manuseio de Materiais. Sob a ótica da sua aplicação para sítios de armazenamento, estabelece que: O piso do armazém deverá ser constituído de material não escorregadio e mantido em perfeito estado de conservação, o peso do material armazenado não poderá exceder a capacidade de carga calculada para o piso; o material armazenado deverá ser disposto de forma a evitar a obstrução das portas, da iluminação, do acesso a equipamentos contra incêndio e das saídas de emergências; o armazenamento deverá obedecer aos requisitos de segurança especiais a cada tipo de material (BRASIL, 2016).

A NR-12 define referências técnicas, princípios e medidas de proteção para resguardar a saúde e a integridade física dos trabalhadores e estabelece requisitos mínimos para a prevenção de acidentes e doenças do trabalho nas fases de projeto e de utilização de máquinas e equipamentos, e ainda à sua fabricação, importação, comercialização, exposição e cessão. Devem ser adotadas medidas de controle dos riscos adicionais provenientes da emissão ou liberação de agentes químicos, físicos e biológicos pelas máquinas e

equipamentos, com prioridade à sua eliminação, redução de sua emissão ou liberação e redução da exposição dos trabalhadores, conforme NR-09 (BRASIL, 2022a).

A NR-13 tem enfoque na segurança na operação de tanques metálicos de armazenamento, onde as empresas que os possuem, devem elaborar um programa e um plano de inspeção que considere, no mínimo, os seguintes pontos: os fluidos armazenados, as condições operacionais, os mecanismos de danos previsíveis e as consequências para os trabalhadores, instalações e meio ambiente decorrentes de possíveis falhas dos tanques (BRASIL, 2022b).

A NR-16 trata das atividades e operações perigosas como as executadas com: explosivos sujeitos a degradação química ou auto catalítica e ação de agentes exteriores (calor, umidade, faíscas, fogo, fenômenos sísmicos, choque e atritos); no transporte e armazenagem de inflamáveis líquidos e gasosos liquefeitos e de vasilhames vazios desgaseificados ou decantados; na produção, transporte, processamento e armazenamento de gás liquefeito; nos locais de armazenagem de pólvoras químicas, artifícios pirotécnicos e produtos químicos usados na fabricação de misturas explosivas ou de fogos de artifício; na produção, utilização, processamento, transporte, guarda, estocagem e manuseio de materiais radioativos, selados e não selados, entre outros (BRASIL, 2019d).

A NR-20 estabelece os requisitos mínimos para a gestão de SST contra os fatores de risco de acidentes provenientes das atividades, manuseio e manipulação de inflamáveis e líquidos combustíveis. As instalações são divididas em classes de acordo com critérios de atividade ou capacidade de armazenamento, este último tendo prioridade para critérios de classificação. No projeto das instalações deve constar, dentre outros itens: a planta geral, a descrição das atividades e processos, as características e informações de segurança, saúde e meio ambiente constantes nas FISPQ's e a identificação de áreas classificadas e instalações elétricas (BRASIL, 2019e).

A NR-25 trata sobre resíduos industriais, que são caracterizados como aqueles provenientes dos processos industriais, na forma sólida, líquida ou gasosa ou combinação dessas, e que por suas características físicas, químicas ou microbiológicas não se assemelham aos resíduos domésticos. Estabelece que os trabalhadores envolvidos em atividades de coleta, manipulação, acondicionamento, armazenamento, transporte, tratamento e disposição deste passivo devem ser capacitados pela empresa, de forma continuada, sobre os riscos envolvidos e as medidas de controle e eliminação adequadas (BRASIL, 2011b).

A NR-26 estabelece que devem ser adotadas cores para segurança em estabelecimentos ou locais de trabalho, a fim de indicar e advertir acerca dos riscos existentes. As cores servem para identificar os equipamentos de segurança, delimitar áreas, identificar tubulações de líquidos e gases e advertir contra riscos. Apesar disso, seu uso deve ser reduzido o máximo possível, a fim de não ocasionar distração, confusão e fadiga ao trabalhador. Os produtos químicos utilizados no local de trabalho devem ser classificados quanto aos perigos para a segurança e a saúde dos trabalhadores de acordo com os critérios estabelecidos pelo Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos (GHS), da Organização das Nações Unidas. A rotulagem preventiva de produtos químicos perigosos também deve utilizar os procedimentos definidos pelo sistema GHS e conter os seguintes elementos: identificação e composição do produto químico, pictograma(s) de perigo, palavra de advertência, frase(s) de perigo, frase(s) de precaução e informações suplementares (BRASIL, 2015).

A NR-32 estabelece as diretrizes básicas para a implementação de medidas de proteção à segurança e à saúde dos trabalhadores dos serviços de saúde, bem como daqueles que exercem atividades de promoção e assistência à saúde em geral. Incluem-se como serviços de saúde a pesquisa e ensino em saúde em qualquer nível de complexidade. Em relação aos riscos químicos, deve ser mantida a rotulagem do fabricante na embalagem original. Os produtos químicos, inclusive intermediários e resíduos que impliquem riscos à segurança e saúde do trabalhador, devem ter uma ficha descritiva contendo, no mínimo, as seguintes informações: características e as formas de utilização do produto; os riscos à segurança e saúde do trabalhador, as medidas de proteção coletiva e individual, condições e local de estocagem e procedimentos em situações de emergência. Uma cópia desta ficha deve ser mantida nos locais onde o produto é utilizado. Nos locais onde se utilizam e armazenam produtos inflamáveis, o sistema de prevenção de incêndio deve prever medidas especiais de segurança e procedimentos de emergência. As áreas de armazenamento devem ser ventiladas e sinalizadas, contendo locais próprios para alocação de produtos químicos incompatíveis (BRASIL, 2019f).

### **3.5.2.2. Decretos e Leis Federais**

Diversos decretos e leis federais criados tangenciam a questão do armazenamento de produtos químicos. Seguindo uma ordem cronológica, a resolução CONAMA nº. 237/1997 dispôs sobre o licenciamento ambiental e a expedição das licenças: prévia, de instalação e de

operação para atividades ou empreendimentos, dentre os quais constam os depósitos de produtos químicos e produtos perigosos (BRASIL, 1997).

A Lei nº 9.605/1998 dispôs sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente. No Art. 56. estabeleceu pena de um a quatro anos de reclusão e multa para quem produzir, processar, embalar, importar, exportar, comercializar, fornecer, transportar, armazenar, guardar, ter em depósito ou usar produto, resíduo ou substância tóxica, perigosa ou nociva à saúde humana ou ao meio ambiente, em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou nos seus regulamentos (BRASIL, 1998).

A resolução CONAMA 358/2005 dispôs sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde incluindo em seu escopo estabelecimentos de ensino e pesquisa na área de saúde, incluindo resíduos contendo substâncias químicas que podem apresentar risco à saúde pública ou ao meio ambiente e os demais produtos considerados perigosos, conforme classificação da NBR 10.004:2004 (tóxicos, corrosivos, inflamáveis e reativos). Nela fica estabelecida a necessidade de estabelecimento de um Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde (PGRSS) como documento integrante do processo de licenciamento ambiental, baseado nos princípios da não geração de resíduos e na minimização da geração de resíduos, que aponta e descreve as ações relativas ao seu manejo, contemplando os aspectos referentes à geração, segregação, acondicionamento, coleta, armazenamento, transporte, reciclagem, tratamento e disposição final, bem como a proteção à saúde pública e ao meio ambiente (BRASIL, 2005).

O Decreto 6514/2008 dispôs sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações, com o objetivo de regulamentar a Lei nº 9.605 citada acima (BRASIL, 2008)

A Lei nº 12.305:2010 instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos. No Art. 27., declara que as pessoas físicas ou jurídicas são responsáveis pela implementação e operacionalização integral do plano de gerenciamento de resíduos ou rejeito sólidos e a contratação de serviços de coleta, armazenamento, transporte, transbordo, tratamento ou destinação ou de disposição final, não isentando a responsabilidade por danos que vierem a ser provocados pelo gerenciamento inadequado dos respectivos resíduos ou rejeitos (BRASIL, 2010).

A instrução normativa do IBAMA nº. 06/2013 estabeleceu o cadastro Técnico

Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e/ou Utilizadoras de Recursos Ambientais (CTF/APP). Pessoas físicas e jurídicas que executam atividades passíveis de controle ambiental têm obrigação legal de realizar sua inscrição no CTF/APP de acordo com a Tabela de Atividades desta instrução, que inclui depósitos de produtos químicos e produtos perigosos (IBAMA, 2013).

A Lei nº 13.425:2017 estabeleceu diretrizes gerais sobre medidas de prevenção e combate a incêndio e a desastres em estabelecimentos, edificações e áreas de reunião de público que contenham em seu interior grande quantidade de material de alta inflamabilidade (BRASIL, 2017).

Dentre as legislações estaduais de relevância para o levantamento e análise de riscos, destaca-se a norma CETESB-SP P4.261:2011 contendo o manual utilizado como referência para a elaboração de estudos de análise de riscos. Vale citar também a norma FEPAM-RS nº 01/01 que traz o manual de análise de riscos industriais; a Resolução CEPRAM- BA nº 3.965:2009, que trata do gerenciamento de risco e a resolução CEPRAM- BA nº 4.578:2017, que versa sobre a análise e gerenciamento de riscos acidentais para substâncias perigosas (SÃO PAULO, 2011; RIO GRANDE DO SUL, 2016; BAHIA 2009; BAHIA, 2017).

Dentro do arcabouço regulatório de segurança operacional voltado para as atividades de E&P, tem relevância para este trabalho as resoluções da ANP nº 43/2007 e nº 05/2014; que contém o Regulamento Técnico do Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional para SGSO (Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional) para as Instalações de Perfuração e de Produção de petróleo e gás natural e para Refinarias de Petróleo, respectivamente. O SGSO é estruturado em 16 (dezesseis) Práticas de Gestão que norteiam as auditorias realizados pela ANP visando o acompanhamento da operação segura das instalações industriais, proteção das vidas e do meio ambiente e servem com um arcabouço teórico e modelo de estruturação para a construção de um plano de gerenciamento voltado à setores de armazenamento de produtos químicos (ANP, 2007; ANP, 2014).

### 3.6. MODELOS DE GERENCIAMENTO DE RISCOS E SEGURANÇA

A Segurança de processos busca a redução de riscos associados a produtos perigosos e as ferramentas de gerenciamento de riscos têm como objetivo reduzir a frequência e consequência de eventos associados como efeitos tóxicos, incêndios explosões, danos às pessoas, equipamentos, instalações e ambientais, perdas associadas aos ativos perdas de produção e impactos à imagem. Esta é uma área que apresenta uma estrutura disciplinada para gerenciar a integridade de sistemas que lidam com substâncias perigosas, aplicando bons princípios de design, engenharia e, principalmente, práticas de gestão e operação; saindo do enfoque da segurança ocupacional, onde apesar de seus eventos serem mais frequentes, suas consequências e efeitos não são consideravelmente tão graves quando comparado a um evento de segurança de processos.

Alguns modelos de gerenciamento de riscos sob a ótica da segurança de processos podem ser utilizados como base, para a construção de um plano de gerenciamento de riscos robusto voltado para o ambiente das instituições de ensino e pesquisa. Apesar desta realidade não se tratar de plantas ou operações industriais em termos de: complexidade dos estudos, nível de exigência, volumes armazenados e dimensão dos efeitos adversos e severidades associadas; os princípios fundamentais podem ser adaptados e aplicados de forma a aumentar a eficiência do sistema de gestão dos setores de armazenamento de produtos químicos nestas instituições.

O primeiro modelo a ser estudado é o de gerenciamento de segurança baseada em risco do CCPS (*risk-based process safety* - RBPS), publicado no ano de 2007 e atualizado em 2011. Ele foi construído a partir dos 4 blocos fundamentais que se subdividem em 20 pilares, detalhados na Figura 19. Os blocos são divididos em: comprometimento com a segurança, entendimento de perigos e riscos, gerenciamento de riscos e aprendizado com a experiência (CCPS, 2014). Para cada um dos 20 pilares, apresenta-se um overview dos principais elementos, princípios-chave, práticas de trabalho, métricas e sugestões de melhoria para a eficácia de programas existentes.

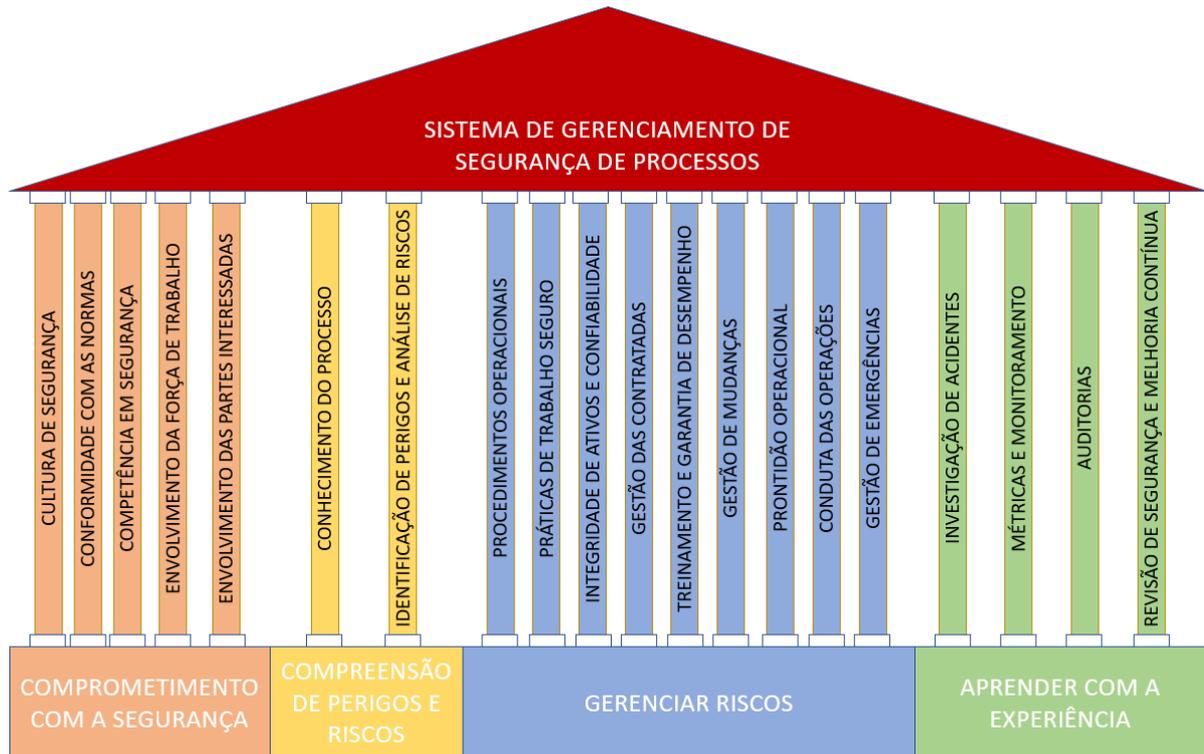


Figura 19 - Modelo de Sistema de gerenciamento de segurança baseada em risco (RBPS) do CCPS  
 Fonte: Adaptado e traduzido de CCPS, 2014

O segundo modelo é da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), levando-se em conta que é de sua competência estabelecer e fiscalizar regras para que as empresas reguladas garantam a utilização das melhores práticas de segurança operacional e de engenharia na proteção da saúde humana e do meio ambiente durante a condução de suas atividades. Utilizou-se como referência os Regulamentos Técnicos do Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional da Agência Nacional de Petróleo - ANP nº 43/2007 e ANP nº 05/2014, detalhados na Figura 20, que estabelecem 17 práticas de gestão subdivididas em três grupos: práticas de Gestão relativas à Liderança, pessoal e gestão; Instalações e tecnologia e Práticas operacionais.



Figura 20 - Práticas de gestão dos Regulamento Técnico ANP n° 43/2007 (Anexo I) e ANP n° 05/2014  
 Fonte: ANP, 2007; ANP, 2014

O terceiro e quarto modelo não são pertencentes à segurança de processos, porém abordam requisitos fundamentais de segurança, sendo de aplicação generalista a diversos tipos de atividades produtivas.

O terceiro modelo estudado baseou-se na nova redação norma regulamentadora brasileira do Ministério do Trabalho e Emprego, a NR-01. Vigente desde 2022, esta norma é de observância obrigatória pelas organizações e pelos órgãos públicos da administração direta e indireta, bem como pelos órgãos dos Poderes Legislativo, Judiciário e Ministério Público. Ela estabelece disposições gerais relativas à segurança e saúde no trabalho, diretrizes e os requisitos para o gerenciamento de riscos ocupacionais e as medidas de prevenção em Segurança e Saúde no Trabalho (BRASIL, 2020a). Por meio dela, ficou estabelecido a elaboração de um programa de gerenciamento de riscos ocupacionais, o qual deve conter como documentos mínimos: o inventário de riscos e o plano de ação.

O quarto modelo é baseado nos requisitos normativos em comum entre a Agência de Administração de Segurança e Saúde Ocupacional (OSHA - Occupational Safety and Health Administration) e a Agência de Proteção Ambiental do Governo dos EUA (EPA - Environmental Protection Agency), listados no site do governo dos Estados Unidos e seus respectivos planos de gerenciamento (USDL, 2018).

O modelo de gerenciamento de Segurança de Processo da OSHA (*Process Safety Management* - PSM) foi criado em 1992 e apresenta 14 elementos fundamentais para prevenir

ou mitigar efeitos de liberações catastróficas de produtos químicos ou energia, a partir dos processos abrangidos no regulamento. Ele abrange a fabricação de explosivos e processos com quantidades limite de líquidos inflamáveis e gases inflamáveis, bem como lista 137 produtos classificados como químicos altamente perigosos (OSHA, 2022).

O modelo de plano de gerenciamento de riscos (*Risk Management Plan* - RMP) foi estabelecido a partir do regulamento chamado “Clean Air Act” de 1990, onde definiu-se que seria atribuição da EPA estabelecer regulamentos e orientações para instalações que utilizam de substâncias perigosas. Deveria ser desenvolvido um PGR para: identificar os efeitos potenciais de um acidente químico, as medidas existentes para evitá-lo e os procedimentos de resposta e emergência caso ele ocorra.

Em resumo, ambos os documentos da OSHA e EPA foram desenvolvidos para atingir um objetivo central: prevenir a liberação acidental de substâncias perigosas (EPA, 2022b).

## 4. DESENVOLVIMENTO

Apresenta-se no item 4.1 uma análise de causas-raiz dos 21 acidentes descritos no Quadro 1 e Quadro 2 do item 3.4. No item 4.2, dispõe-se dos principais resultados encontrados através da condução do estudo de revisão sistemática. No item 4.3 é exibido um exemplo genérico de situação de armazenamento em uma instituição pública de ensino e pesquisa e, por fim, no item 4.4 elaborou-se a estrutura modelo para um plano de gerenciamento do armazenamento de produtos químicos aplicável a este tipo de instituição.

### 4.1. ANÁLISE DE CAUSAS-RAIZ DOS ACIDENTES

A análise de causas-raiz é um método de investigação formal que visa identificar e tratar as falhas básicas do sistema de gestão que levaram a um incidente/acidente. Essas causas-raiz geralmente são desvios em fundamentos e princípios básicos, muitas vezes sequer levados em conta, quando se realiza uma análise descuidada ou superficial (CCPS, 2007).

A análise das causas-raiz dos 21 acidentes descritos na revisão bibliográfica teve como base a bibliografia dos diversos relatórios de acidentes citados no item 3.4, principalmente, nos registros de investigação de acidentes da edição centenária do IchemE (IchemE, 2022). Levantou-se 21 fatores repetidamente listados em diversos episódios, como as principais causas que levaram diretamente aos acidentes (numerados de 1 a 21, nos Quadro 1 e Quadro 2) ou permitiram que ele se desenvolvesse e escalonasse conforme aconteceu.

A partir do Quadro 4 abaixo pode-se construir o gráfico da Figura 21, onde pode-se observar que os fatores apontados como causas em comum foram:

- Plano de resposta à emergência e contingência inadequado (P);
- Violação ou falha em seguir procedimentos operacionais (U);
- Projeto, design e/ou layout inapropriados (F);
- Levantamento de perigos e análise de riscos inadequados ou inexistentes (L);
- Falta de cultura de segurança (I);
- Inspeção, manutenção e/ou testes inadequados (K);
- Treinamento da equipe operacional inadequado (T);

Por outro lado, fatores pouco recorrentes, contendo somente uma citação cada como causa-raiz são:

- Falta de qualificação (J);
- Liderança inadequada (M);
- Salvaguardas ineficazes (Q);

Quadro 4 – Levantamento das causas-raiz dos acidentes

ID CAUSAS RAIZ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
<b>A</b> Ausência de agente regulador independente						X								X	X							
<b>B</b> Ausência de gerenciamento de mudanças				X	X		X			X											X	X
<b>C</b> Comunicação insuficiente			X				X	X			X	X										X
<b>D</b> Controle de documentos inadequado							X		X													
<b>E</b> Controle de instrumentação de processos inadequado			X									X	X									
<b>F</b> Projeto, design e/ou layout inapropriados		X		X		X		X		X	X	X	X	X						X	X	
<b>G</b> Falha em aplicar conceito de Projeto inerentemente mais seguro					X																	X
<b>H</b> Falha no treinamento da brigada de incêndio		X								X												
<b>I</b> Falta de cultura de segurança		X			X			X		X	X	X	X	X							X	X
<b>J</b> Falta de qualificação								X														
<b>K</b> Inspeção, manutenção e/ou testes inadequados				X	X				X	X	X	X	X	X						X	X	X
<b>L</b> Levantamento de perigos e análise de riscos inadequados ou inexistentes		X	X		X				X	X	X	X	X	X						X		X
<b>M</b> Liderança inadequada													X									
<b>N</b> Localização da planta inadequada (proximidade à área residencial)		X		X	X																	
<b>O</b> Normalização de desvios								X	X												X	
<b>P</b> Plano de resposta à emergência e contingência inadequado		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						X	X	
<b>Q</b> Salvaguardas ineficazes				X																		
<b>R</b> Sistema de drenagem e armazenamento inadequados		X																				X
<b>S</b> Sistema de proteção ativa e passiva contra incêndios inapropriados		X					X			X											X	
<b>T</b> Treinamento da equipe operacional inadequado				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							X	
<b>U</b> Violação ou falha em seguir procedimentos operacionais		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Fonte: Autoria própria

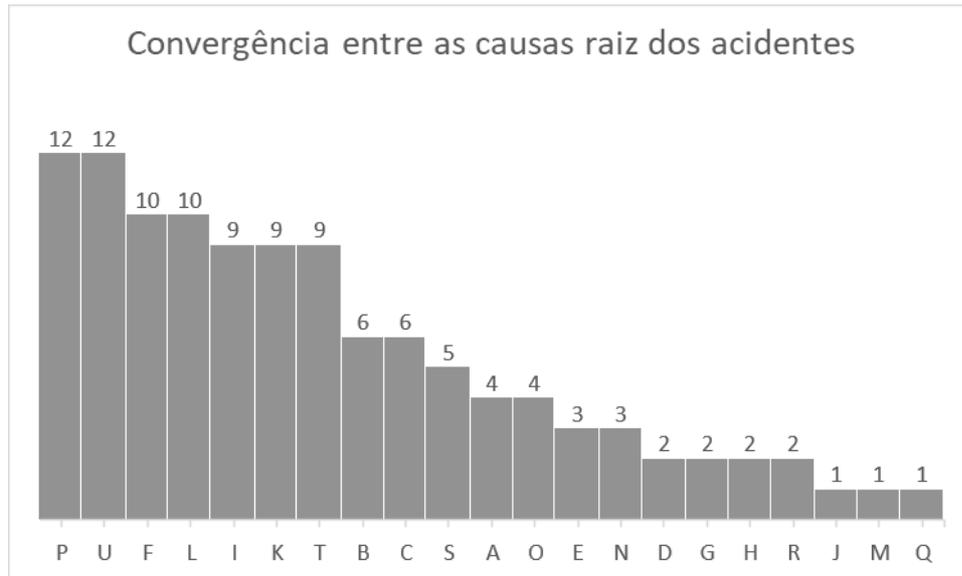


Figura 21 - Gráfico de barras com convergência entre causas-raiz dos acidentes  
Fonte: Autoria própria

A análise dos acidentes utilizando este recorte, permite inferir que, boa parte dos principais eventos aconteceram não por falta de qualificação da força de trabalho ou de suas lideranças, tampouco devido a ineficiência de salvaguardas, porém, principalmente pela deficiência e degradações causadas pela ausência ou falhas no gerenciamento dos processos. Isso está de acordo com KLETZ (1999) que destaca que somente alguns poucos acidentes começam com uma falha repentina em um grande componente principal, sua grande maioria acontece por fatores menores ou sem tanta importância, ou um procedimento ruim, ou uma falha em seguir procedimentos, ou boas práticas de trabalho.

Isso valida a importância de trazer as lições aprendidas a partir desses grandes acidentes, trazendo para situações com tão menos regulação, como a realidade do armazenamento de produtos químicos nos setores em instituições de ensino e pesquisa. Realidade a princípio, não tão notória e impactante quanto a da indústria, em termos de escalonamento e severidade dos efeitos associados, mas que apresentam situações e causas-raiz em comum em relação a falhas no gerenciamento, que podem também recair em situações de emergência de magnitudes consideráveis.

## 4.2. REVISÃO SISTEMÁTICA

A decisão pela condução de um estudo de revisão sistemática se deu a partir de uma revisão de escopo simples, em que se recuperavam poucos artigos estritamente voltados para o tema de gerenciamento de riscos no armazenamento de produtos químicos. Devido a identificação de uma possível lacuna neste campo de pesquisa, partiu-se para buscas com termos mais abrangentes a fim de tentar identificar, interpretar, avaliar e compilar a pesquisa existente e relevante referentes a este tema, além de buscar compreender como tais estudos estão sendo conduzidos e para onde estão voltados. O objetivo do protocolo de revisão se concentrou em torno da pergunta central: “Quais os métodos/técnicas/ferramentas de análise/gerenciamento de riscos voltados para ambientes de armazenamento de produtos químicos?”.

As palavras-chave foram definidas a partir de uma análise exploratória inicial, onde verificou-se que a combinação das palavras-chave: “*Risk Management*”, *Risk Assessment*” e “*Risk Analysis*” na busca pelo título; combinada com a combinação das palavras-chave: “*Storage*” e “*Chemical\**” na busca pelo corpo do *abstract*; retornava uma maior quantidade de artigos relevantes e dentro do tema. Ao tentar realizar a pesquisa removendo uma das três expressões do título, obtinha-se uma quantidade muito menor de resultados, podendo ocasionar a exclusão equivocada de artigos que estariam dentro do escopo e critérios definidos. Já na inclusão das palavras “*Storage*” e “*Chemical\**” na busca no título, restringia-se demais a pesquisa, não retornando resultado algum, por isso optou-se por procurar tais termos na busca pelo corpo do *abstract*.

A busca realizada em 5 bases de dados diferentes tinha por objetivo obter um levantamento que fosse mais abrangente, garantindo a maior cobertura do assunto possível e resultados mais consistentes e confiáveis.

Após a recuperação dos artigos em todas estas bases de dados no formato BibTeX, procedeu-se com a execução de uma metodologia de revisão rigorosa de acordo com as diretrizes PRISMA 2020 e passo a passo estruturado através da ferramenta StArt.

### 4.2.1. Análise do perfil e conteúdo dos artigos

A partir seleção dos 45 artigos selecionados para a realização da revisão sistemática, foi possível a construção de uma análise geral do perfil desses documentos.

De acordo com o ano de publicação, verificou-se que 47% dos artigos se concentravam no período de 2010 à 2019 (Figura 22).

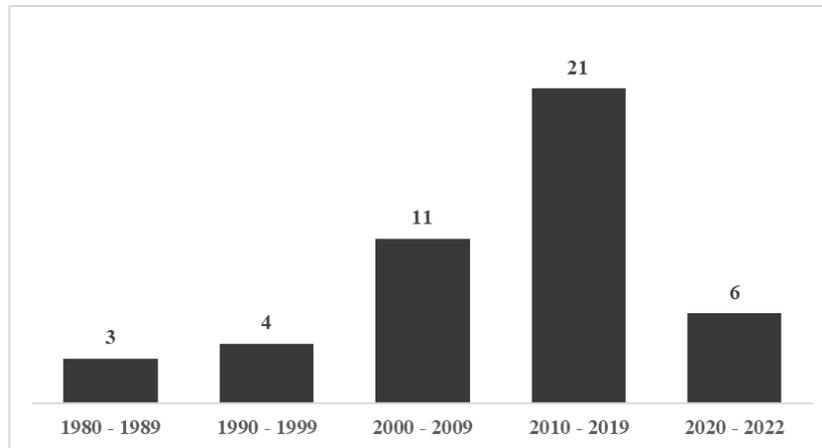


Figura 22 - Distribuição dos artigos de acordo com ano de publicação  
Fonte: Autoria própria

Analisando a distribuição das publicações por revistas, mais da metade delas se concentravam em apenas 2 revistas: *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* (29%) e *Process Safety and Environmental Protection* (24%), conforme pode ser observado na Figura 23.

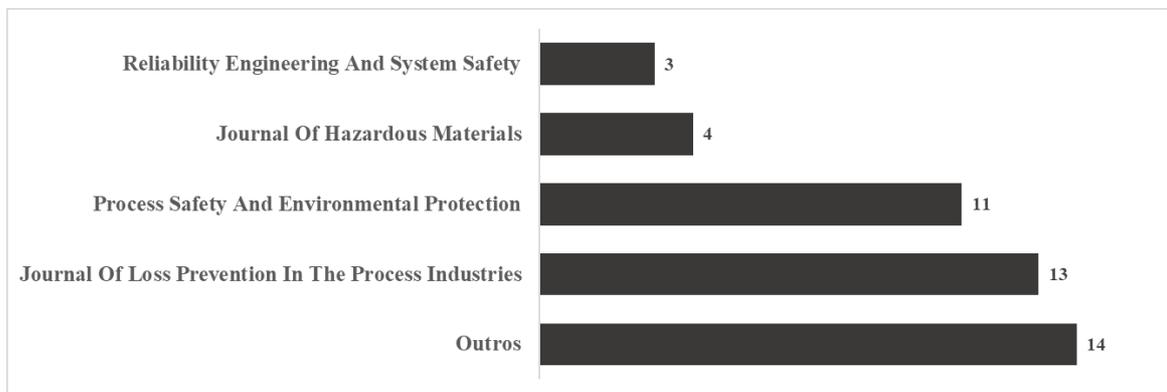


Figura 23 - Distribuição de artigos por Revistas  
Fonte: Autoria própria

Levando em conta a análise de artigos pelos critérios de prioridade de leitura (definidos de acordo com ocorrência de palavras-chave no título e *abstract* e pontuações dadas pela ferramenta de revisão sistemática), observou-se que a maior parte dos artigos se concentrava nos atributos centrais: *High* ou *Low*, e uma minoria se encontrava nos extremos: *Very High* ou *Very Low*, indicando uma boa abrangência na seleção dos artigos (Figura 24).

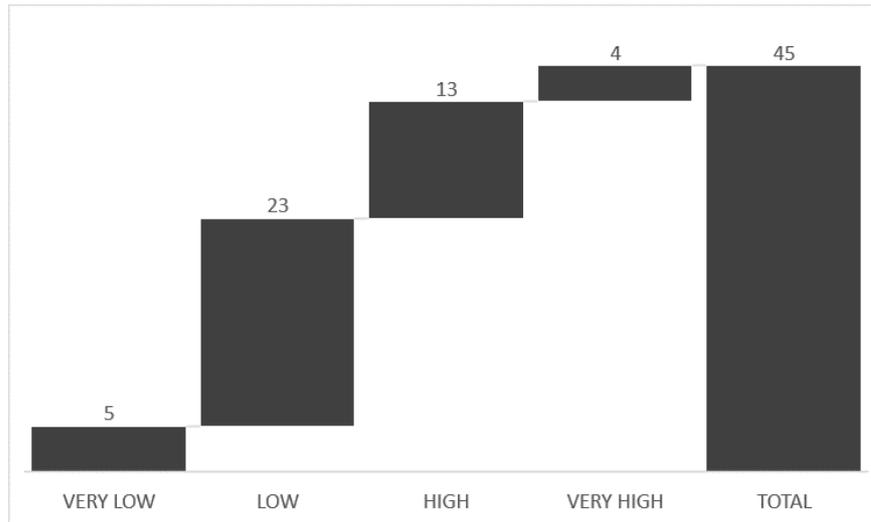


Figura 24 - Distribuição dos artigos segundo critérios de prioridade de leitura  
Fonte: Autoria própria

Os dados obtidos a partir da extração de dados de artigos foram estruturados de acordo com os critérios: metodologia/técnica de análise de riscos empregada, tipo de análise (qualitativa ou quantitativa), tipo de produto químico, tipo de contenção e fase do ciclo de vida do empreendimento.

Foi observado que 40 artigos (89%) continham metodologias quantitativas de análise de riscos, assim como 26 estudos (58%) continham metodologias qualitativas de análise de riscos. Dentro deste universo, 5 artigos (11%) traziam em seu conteúdo exclusivamente análises qualitativas enquanto que 19 artigos (42%) traziam exclusivamente análises de riscos quantitativas, conforme mostrado na Figura 25.



Figura 25 - Distribuição de artigos segundo natureza da metodologia empregada  
Fonte: Autoria própria

Analisando o número de ocorrências por aplicação de técnica de análises de riscos nos estudos, conforme pode-se observar na Figura 26, as principais técnicas empregadas foram: análise de consequências, árvore de falhas e árvore de eventos; com respectivamente 27, 12 e 12 ocorrências. Em relação às técnicas de análises qualitativas, as mais recorrentes

foram: HAZOP, APP e APR, com respectivamente 7, 6 e 6 ocorrências.

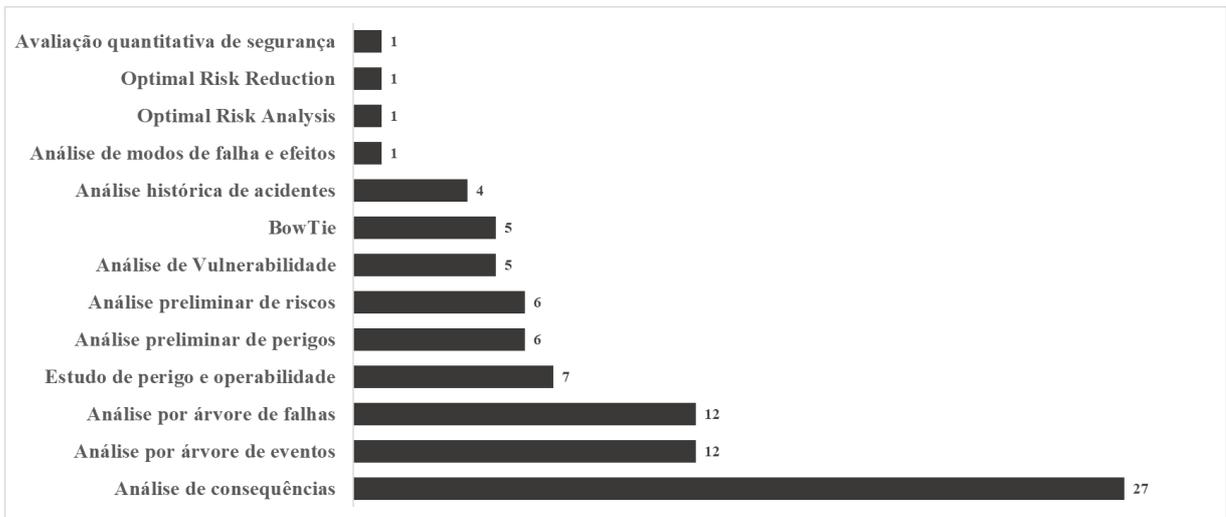


Figura 26 - Quantidade de técnicas de análise de riscos observadas por ocorrência no texto  
Fonte: Autoria própria

Observando a distribuição dos estudos por fase do ciclo de vida do empreendimento (Figura 27), os quais foram classificados segundo a Figura 9 (página 22), pode-se observar que a maior parte dos artigos se voltaram para estudos de caso em plantas já em operação. 29% eram estudos teóricos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) em plantas fictícias ou situações hipotéticas, os demais tratavam de investigação de acidentes (7%), descomissionamento (2%), projeto conceitual (2%), e design (2%).

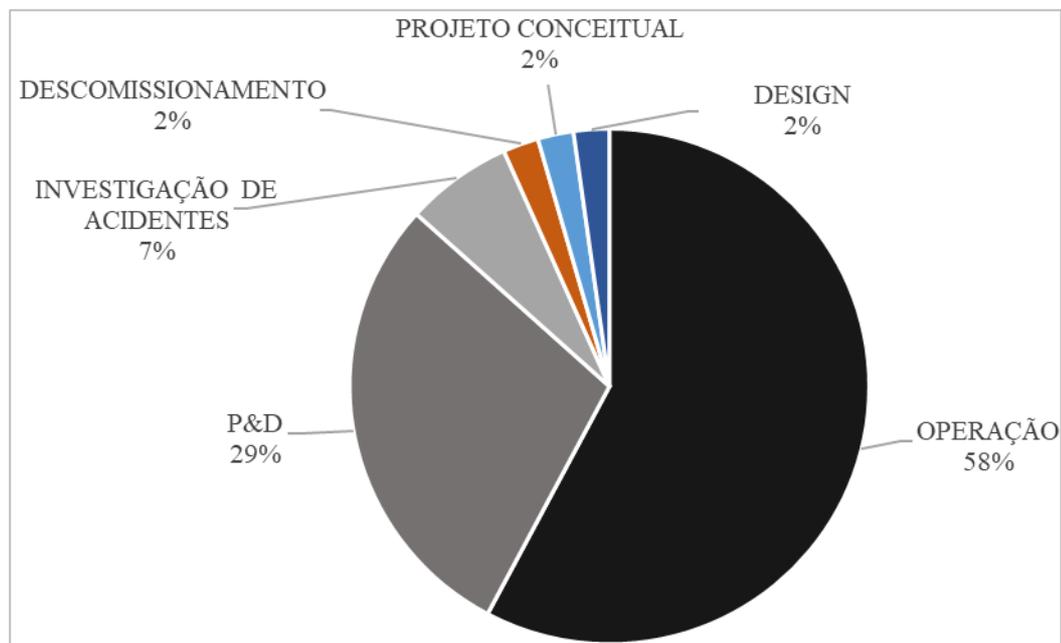


Figura 27 – Distribuição dos artigos por fase do ciclo de vida do empreendimento  
Fonte: Autoria própria

Analisando o tipo de contenção em que a análise de riscos era empregada, mais da metade das menções no texto se tratavam de tanques de armazenamento (53% - 36 menções), seguidos de tubulações (10% - 7 menções) e terminais de distribuição (7% - 5 menções). Somente 3% estudos se voltaram para almoxarifados de armazenagem de produtos químicos, conforme mostrado na Figura 28.

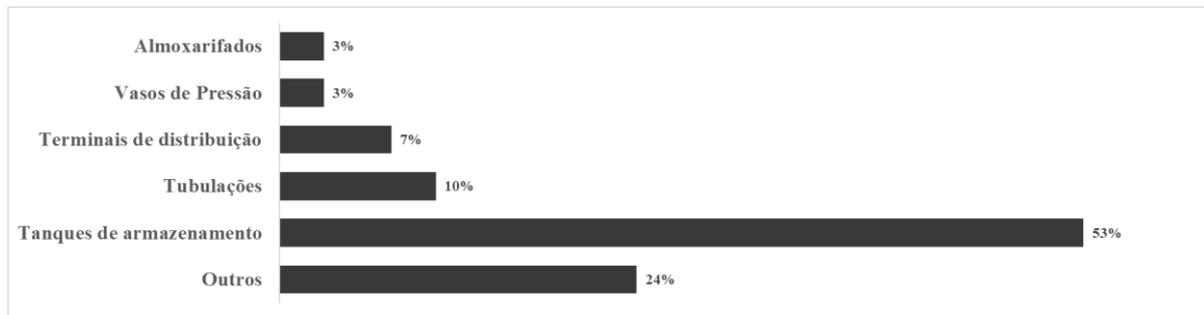


Figura 28 – Tipos de contenção por porcentagem de distribuição segundo ocorrências no texto  
Fonte: Autoria própria

A maioria dos artigos trazia na descrição do estudo um produto químico alvo, o qual seria objeto da análise de risco para sua contenção e armazenamento seguro. A Figura 29 traz a distribuição dos produtos químicos por estado físico no armazenamento. As principais ocorrências abordavam o armazenamento de líquidos (44%) e gases (37%) assim como substâncias que coexistem em ambos os estados físicos. Somente 6% dos estudos tratavam de análises de riscos no armazenamento de substâncias sólidas.

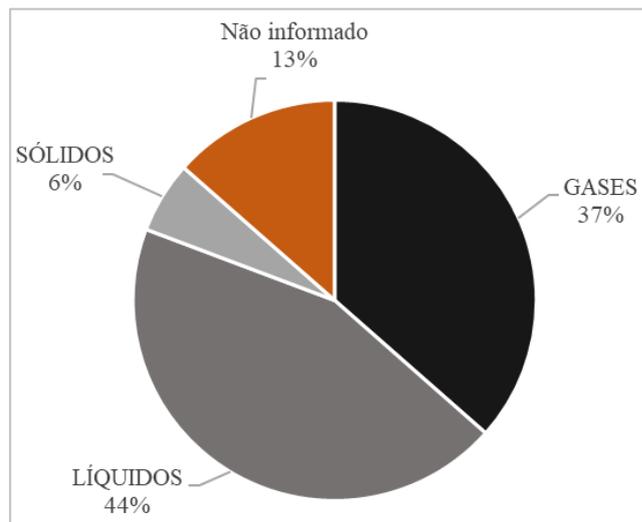


Figura 29 – Distribuição de produtos químicos por estado físico  
Fonte: Autoria própria

Dentre as substâncias líquidas relatadas constavam: amônia, metanol, butanol,

tolueno, acetona, acrilonitrila, estireno, ácido acético, ácido sulfúrico, p-xileno, benzeno, hidretos orgânicos, pesticidas, herbicidas, Tetracloreto de titânio, Sulfolano, Epicloridrina, óleo vegetal e derivados de petróleo diversos. Dentre as substâncias gasosas relatadas constavam: propileno, etileno, propano, butano, hidrogênio, cloro, óxido de etileno, GLP, GNL, amônia e oxigênio. Por fim, dentre as substâncias sólidas relatadas constavam: substâncias radioativas, sais e grãos de milho.

#### **4.2.2. Resumo de conteúdo segundo natureza das metodologias de análise de risco empregadas**

Uma síntese da classificação de metodologias abordadas nos artigos selecionados é apresentada no Quadro 5, os quais estão identificados de acordo com o sistema autor-data e com a codificação indicada na coluna “ID”, atribuída pela ferramenta StArt. Os títulos dos documentos e demais informações pertinentes constam nas tabelas do APÊNDICE A. No Quadro 6 é apresentada a legenda das siglas empregadas (na coluna “Metodologia de Análise de Risco Implementada” do Quadro 5), além do número de ocorrências observadas.

Quadro 5 – Síntese dos artigos estudados e separação por tipo de técnica e metodologia empregada

<b>Tipo de Técnica</b>	<b>ID</b>	<b>Autores/Ano</b>	<b>Metodologia de Análise de Risco Implementada</b>							
<b>Análises Qualitativas e Quantitativas</b>	612	Sun et al. (2020)	AAF	AC	BWT					
	635	Fuentes-Bargues et al. (2017)	AAF	HAZOP	AHA					
	643	Cui & Wu (2016)	AC	APR						
	649	Meng et al. (2014)	APR	AC						
	661	Tamauchi et al. (2017)	QSA	HAZOP	AC					
	684	Bultel et al. (2007)	APR	AC	AAE	AAF				
	691	Roy, Bhatt & Rajagopal (2003)	AAF	AC	HAZOP					
	695	Khan & Abbasi (2001)	ORA	HAZOP	AC	AAF				
	703	Khan & Abbasi (1997)	AV	AC	APP					
	710	Amendola, Contini & Ziomas (1992)	APP	AAE	AC	HAZOP	FMEA	AHA		
	714	Boykin, Freeman & Levary (1984)	AAF	AAE						
	1823	Guo et al. (2021)	AAF							
	1828	Moonis, Wilday & Wardman (2010)	AC	APR						
	1869	Ahmadi et al. (2020)	BWT	AC						
	2849	Alessandri et al. (2018)	AC	AAE						
	2854	Martins et al. (2016)	APP	AC	AAE	AHA				
	2862	Valencia-Barragán, Martínez-Gomez & Ponce-Ortega (2015)	HAZOP	AAE	AC					
	2875	Khan (1990)	AAF	HAZOP						
	706	Cassidy (1993)	APP	AV						
	1827	Sarvestani et al. (2021) desenvolveram	BWT	AAF	AAE					
1894	Gooijer, Cornil & Lenoble (2012)	AC	APR							
<b>Análises Quantitativas</b>	875	Li et al. (2020)	AC							
	623	Yan et al. (2019)	ORR	AC						
	655	Bernechea, Vilchez & Amaldos (2013)	AHA							
	659	Carpenter, Ogle, & Ramirez (2013)	AC							
	676	Kalantarnia, Khan & Hawboldt (2009)	AAE							
	688	Talasilidis et al. (2004)	AC							
	711	Boykin & Levary (1989)	AAF	AC						
	860	Korkmaz, Sari & Carhoglu (2011)	AV							
	1826	Lira-Flores, Gutiérrez-Antonio & Vázquez-Román (2018)	AC							
	1866	Milazzo & Aven (2012)	AV	AAE						
	1896	Caratozzolo, Misuri & Cozzani (2022)	AV							
	1897	Khakzad (2015)	AC							
	1902	Dan et al. (2014)	AC	AAE						
	2844	Kim et al. (2005)	AAF							
	2853	Fabbrocino et al. (2005)	AC							
	2855	Abuswer et al. (2016)	AAF	AC						
2860	I & Cheng (2008)	AC								
2861	Salzano, Iervolino & Fabbrocino (2003)	AC								
2866	Crippa et al. (2009)	AAE								
<b>Análises Qualitativas</b>	639	Liu, Li & Li (2017)	BWT							
	642	Nakayama et al. (2016)	BWT	APR						
	680	Darbra, Demichela & Mure (2008)	AAE							
	715	Martino (1980)	APP							
	1899	Bouloiz, Carbolino & Tkiouat (2010)	APP							

Fonte: Autoria própria

Quadro 6 – Legenda das categorias de metodologias indicadas no Quadro 5 e número de ocorrências nos artigos

SIGLA	CATEGORIA	OCORRÊNCIAS
AC	Análise de consequências	27
AAE	Análise por árvore de eventos	12
AAF	Análise por árvore de falhas	12
HAZOP	Estudo de perigo e operabilidade	7
APP	Análise preliminar de perigos	6
APR	Análise preliminar de riscos	6
AV	Análise de Vulnerabilidade	5
BWT	<i>BowTie</i>	5
AHA	Análise histórica de acidentes	4
FMEA	Análise de modos de falha e efeitos	1
ORA	<i>Optimal Risk Analysis</i>	1
ORR	<i>Optimal Risk Reduction</i>	1
QSA	Avaliação quantitativa de segurança	1

Fonte: Autoria própria

A seguir, apresenta-se uma breve descrição do conteúdo dos artigos de acordo com a natureza da técnica de análise de riscos empregada e seus principais apontamentos.

#### 4.2.2.1. Técnicas Qualitativas

No primeiro artigo estudado, Martino (1980) traz uma visão ampla sobre os perigos do transporte e armazenamento de gás natural liquefeito (GNL) através de uma espécie de análise preliminar de perigos, como um guia para profissionais da área interessados na construção e operação de terminais seguros.

Darbra, Demichela & Mure (2008) aplicaram um modelo baseado em lógica “*fuzzy*” para avaliação preliminar do risco de poluição a partir de liberações acidentais de substâncias ecotóxicas em uma planta. Foram consideradas liberação de tanques, tubulações, *big bags* etc., e critérios de avaliação como: mobilidade, toxicidade, degradabilidade, permeabilidade e profundidade de águas subterrâneas e solo.

Nakayama *et al.* (2016) conduziram um estudo de identificação de perigos para uma estação de abastecimento de combustível híbrida, composta por gasolina e hidrogênio. A metodologia nomeada de *HAZID* combina técnicas qualitativas e quantitativas para identificação de “*worst case cenário*” e cenários de riscos híbridos pela coexistência de produtos como gasolina, hidrogênio e hidretos orgânicos em um mesmo ambiente. O estudo identificou 314 cenários dentre os quais 46 eram considerados de alto risco. Como

recomendações, P&D deveria ser considerada na etapa de projeto conceitual a fim de incorporar medidas de segurança inerentes e passivas, visto que são consideradas mais efetivas do que medidas ativas e de segurança operacional, porém são de mais difícil implementação em um projeto já existente. Além disso, táticas de combate a incêndios e os planos de resposta de emergência devem ser preparados para mitigação de acidentes.

Liu, Li & Li (2017) conduziram uma análise dinâmica e uma análise qualitativa por diagrama *Bow-tie* para fatores de risco no vazamento e derramamento, com base no acidente com explosão catastrófica ocorrido em 1993 no almoxarifado de produtos químicos Qingshuihe em Shenzhen. A construção de um sistema de gerenciamento dinâmico de riscos baseado em tecnologia da informação foi apontada como uma tendência para os próximos anos. Sistemas que envolvam GIS (*geographic information system*), internet das coisas e fusão de informações podem elencar os fatores de riscos, armazenar todos os dados relacionados e permitir o monitoramento em tempo real. Erros operacionais, condições inseguras de armazenamento ou de processos foram fatores apontados como principais causas de acidentes com inflamáveis e produtos explosivos. Procedimentos operacionais adequados, monitoramento das condições de armazenamento, monitoramento de processos, medidas de controle e proteção foram as principais condições de segurança citadas.

Bouloiz, Garbolino & Tkiouat (2010) propuseram uma nova modelagem sistêmica voltada para uma unidade de armazenamento de produtos químicos de uma indústria localizada na zona industrial de Casablanca, no Marrocos. Tal metodologia proposta é baseada em outras duas, chamadas de Método de Análise de Sistemas Disfuncionais (MADS) e UML (Modelagem unificada de linguagem). A perspectiva apresentada pelos autores integrava a UML ao MADS, permitindo a análise funcional e estrutural como uma etapa preliminar à construção de diagramas de colaboração e sequenciamento, para identificação de cenários associados a cada fonte de perigo.

#### **4.2.2.2. Técnicas Quantitativas**

Em 1989, Boykin & Levary construíram um modelo de simulação para um sistema de armazenamento de produtos químicos tóxicos, comparando com resultados através da metodologia padrão de análise por árvore de falhas. Os autores concluíram que a simulação apresentava uma boa acurácia na análise de risco probabilística, fornecendo valores de frequência mais realistas. Segundo eles, as incertezas e informações adicionais podem ser incorporadas e o modelo ser aprimorado. Tal flexibilidade não pode ser evidenciada na análise por árvore de falhas.

Talasilidis *et al.* (2004) construíram um modelo de abordagem numérica integrada para avaliação do risco estrutural em tanques de armazenamento frente às condições extremas de carregamento transiente, seja ocasionado por reações químicas descontroladas (*runaway reactions*), explosões ou atividade sísmica. A análise gera como produto final um conjunto de curvas de fragilidade que permitem calcular as probabilidades de falha e estimar o nível de dano em unidades estruturais. A metodologia pode ser expandida para outros tipos de estruturas e condições extremas, sendo útil no planejamento de estratégias de prevenção e intervenção para grandes complexos industriais.

Korkmaz, Sari & Carhoglu (2011) realizaram um estudo parecido, avaliando o desempenho de instalações industriais na Turquia, quanto a resistência de tanques de armazenamento a terremotos e a resposta sísmica da estrutura. A partir da análise histórica de dados de 40 terremotos foi feita a da avaliação sísmica e modelagem da estrutura do tanque, determinando o risco probabilístico.

Kim *et al.* (2005) conduziram uma avaliação de risco quantitativa através de árvore de falhas para identificar e avaliar os riscos relacionados ao armazenamento de gás natural liquefeito (GNL) em tanque do tipo membrana, localizado em um terminal receptor. O Pacote de Código de Análise de Confiabilidade Interpretada nomeado como “O KIRAP”, pertencente ao Instituto Coreano de Pesquisa de Energia Atômica (KAERI), foi empregado para gerar as árvores de falha e o conjunto de cortes mínimos. Seis eventos topos que poderiam levar a uma grande liberação de GNL foram apontados: falha mecânicas, transbordamento, sobrepressão, subpressão (vácuo), ruptura das linhas de carga e ruptura das linhas de descarga de GNL.

Kalantarnia, Khan & Hawboldt (2009) aplicaram uma metodologia que utiliza a teoria Bayesiana para atualizar dados de probabilidade de ocorrência de eventos e também probabilidade de falha do sistema de segurança. Comparando tal metodologia frente a análise quantitativa de riscos (AQR) tradicional, se apresenta a vantagem de uma análise dinâmica de riscos, com capacidade de atualizar os dados a partir de acidentes e quase acidentes ocorridos ao longo da vida útil da instalação, para prevenir acidentes e melhorar o desempenho geral do sistema.

Carpenter, Ogle, & Ramirez (2013) realizaram a avaliação da manutenção da operação ou descomissionamento de uma instalação contendo esfera de armazenamento de propano. A análise de consequências foi conduzida utilizando-se de uma ferramenta computacional (software *Phast* v6.6 desenvolvido e distribuído pela *Norske Veritas*) onde modelaram-se vários cenários de liberação acidental. As consequências obtidas, apesar de

reduzidas e mais realistas que estudos preliminares, ainda eram graves e previam uma liberação com impactos externos, onde o raio de influência excedia os limites da propriedade. Concluiu-se que a opção de descomissionamento da instalação oferecia uma oportunidade para eliminar o risco e era uma alternativa menos dispendiosa que permanecer em operação. Segundo os autores, outras plantas chegaram à mesma conclusão, onde que o custo de manutenção geralmente excedia em muito o benefício.

Dan *et al.* (2014) realizaram uma análise quantitativa de risco de incêndio e explosão no processo de liquefação de GNL numa FPSO. Os cenários acidentais e as frequências foram obtidos a partir de análise histórica e a análise de consequências também foi conduzida com auxílio do software *Phast* v.6.5. Os cenários acidentais: *jet fire*, explosão e *flash fire* foram identificados como os de maior probabilidade de ocorrência através da perda de contenção em válvulas de expansão.

Bernechea, Vílchez & Arnaldos (2013) elaboraram um modelo para estimar o impacto do efeito dominó sobre frequências de acidentes em avaliações quantitativas de risco de instalações de armazenamento. O efeito dominó pode aumentar consideravelmente as consequências de um evento inicial, porém, segundo os autores, as análises quantitativas geralmente não o levam em conta principalmente por sua complexidade e difícil incorporação. O método foi projetado para ser programado no software MATLAB, que recebe os inputs e gera as frequências finais de acidentes por tanque, o que pode então ser inserido no software de análise de risco RISKCURVES 7.6. Desta forma, é aplicável rapidamente à diferentes tipos de instalações de armazenamento e requer menos tempo que uma análise quantitativa de riscos completa.

Khakzad (2015) também propôs uma metodologia dinâmica baseada na teoria bayesiana para modelar a evolução temporal e espacial de acidentes em um potencial efeito dominó e quantificar as sequências mais prováveis. O modelo foi aplicado para uma planta de armazenamento de combustíveis hipotética. A identificação das unidades críticas e a mais provável sequência de acidentes em caso de escalonamento foram consideradas de importância para alocar da melhor forma as medidas de segurança preventiva e proteção.

Lira-Flores, Gutiérrez-Antonio & Vázquez-Román (2018) utilizaram o modelo chamado *mixed-integer linear optimization programming* (MILP), para encontrar o *layout* otimizado de tanques de armazenamento, buscando minimizar o custo associado a danos potenciais de incêndio e explosão. Essa abordagem permite a definição do armazenamento em localização adequada, reduzindo o risco de efeitos de propagação (efeito dominó) e mantendo

o máximo de segurança possível dos ativos da planta. Desta maneira, a abordagem pode fornecer suporte substancial aos tomadores de decisão durante o estágio de projeto. O estudo de caso usado para testar o modelo matemático de análises de consequências considerou 19 tanques de armazenamento, seis empreendimentos, cinco instalações de processo e 25 cenários possíveis, que incluíam 16 incêndios e 9 explosões. O modelo matemático determinou a alocação ideal dos recipientes de armazenamento, reduzindo o risco em instalações de processo e edifícios. A formulação matemática também permitiu reduzir a subjetividade da análise, fornecendo informações úteis para mitigar os efeitos de incêndios e explosões e, também, suporte substancial durante a fase de projeto.

Yan *et al.* (2019) utilizaram de uma abordagem chamada *Optimal Risk Reduction* (ORR) para uma avaliação tridimensional de risco de acidentes envolvendo incêndio e explosão causados por tanques de armazenamento em uma planta industrial química de carvão. Foi apontado que diferentes formas de aplicações realistas da avaliação de risco em três dimensões podem ser desenvolvidas usando o método proposto. Os riscos tridimensionais em relação às pessoas foram calculados usando fórmulas computacionais para radiação térmica e sobrepressão. Os resultados da avaliação foram utilizados para fornecer orientação de controle de risco, incluindo evacuação e construções planejadas em torno da planta química de carvão avaliada.

Milazzo & Aven (2012) analisaram de eventos acidentais relacionados ao rompimento de tubulações. Duas formas de estudo baseadas em probabilidades e fatores de incerteza foram apresentadas, uma delas baseada na introdução de modelos probabilísticos e árvore de falhas.

Caratozzolo, Misuri & Cozzani (2022) propuseram um modelo de estudo de vulnerabilidade abrangente, não só voltados a tanques de armazenamento, mas outros tipos de equipamentos (vasos horizontais, trocadores de calor, separadores, etc.) para avaliação de possíveis danos estruturais devido à eventos NaTech, desencadeados por inundações de enchente. O modelo foi aplicado a um estudo de caso fictício composto por um conjunto de 26 vasos horizontais diferentes, localizados em uma área industrial europeia propensa a inundações.

Fabbrocino *et al.* (2005) também realizaram um estudo sísmico através de uma avaliação quantitativa e probabilística de risco utilizando o software PHAST para a análise de consequências.

Abuswer *et al.* (2016) realizaram uma modelagem CFD (fluidodinâmica computacional) para analisar a explosão no silo de grãos da empresa *Semabla Company* ocorrida na cidade de Blaye- França em 1997. A explosão ocorreu pela formação de uma mistura híbrida composta de gás inflamável e nuvem de pó de milho. A técnica combina CFD (através do software *Dust Explosion Simulation Code*) em conjunto com equações Probit, para estimar a gravidade das consequências, além da análise por árvore de falhas para estimar as frequências de ocorrência. Segundo os autores, os resultados mostram que haveria uma grande redução do risco se a técnica descrita tivesse sido aplicada antes da ocorrência do evento.

I & Cheng (2008) desenvolveram um método de análise de riscos tridimensional (3D) para investigar a influência de três fatores (sobrepessão, pressão de impulso e radiação térmica) sobre um acidente de ruptura de tanque de armazenamento. Utilizaram da combinação de resultados de simulações CFD no software *FLACS*, com procedimentos de pós-processamento, a fim de obter as iso-superfícies 3D de risco individuais.

Salzano, Iervolino & Fabbrocino (2003) conduziram uma análise quantitativa de riscos para avaliar a vulnerabilidade estrutural de tanques de armazenamento atmosféricos em áreas sujeitas a ações sísmicas. A análise foi baseada em dados observacionais e processada na forma de integração simples da função probit com algoritmos de análise quantitativa de riscos.

Crippa *et al.* (2009) utilizaram da análise quantitativa de riscos por árvore de eventos para combinar as frequências médias com a análise do potencial de escalação do incidente e determinar o custo estatístico dos cenários acidentais identificados.

Li *et al.* (2020) estudaram as distâncias de segurança entre tanques de armazenamento através de análise de consequências. Aplicando a análise de consequências foi possível comprovar que a transferência de tanques de armazenamento do solo para subterrâneo pode reduzir significativamente o grau de impacto de acidentes de explosão, aumentando assim a taxa de utilização do terreno industrial.

#### **4.2.2.3. Técnicas qualitativas e quantitativas**

Os autores Boykin, Freeman & Levary realizaram em 1984 um estudo de para auxiliar na tomada de decisão e avaliar o fator redução de risco a partir de algumas modificações no sistema de armazenamento de uma grande planta química industrial. Utilizando-se da combinação de diferentes técnicas como árvore de falhas, árvore de eventos e perspectiva de

risco, levaram a uma redução do custo capital da instalação na ordem de 10 milhões de dólares. Destaque para o fato de que a aplicação de técnicas de análise de risco para plantas químicas era limitada na época, o conhecimento era restrito à poucas consultorias e algumas empresas. Por isso, previram que seria requerida uma maior formalização de estudos de identificação e análise de riscos, conforme crescesse a preocupação da sociedade quanto aos perigos relacionados aos produtos químicos.

Khan (1990) realizou um estudo de perigo e análise de risco através de HAZOP e árvore de falhas para um complexo de processamento de gás na Índia, que resultou em diversas recomendações, principalmente associadas ao risco de transbordamento não intencional no armazenamento de GLP.

Amendola, Contini & Ziomas (1992) publicaram sobre um estudo de overview, como um exercício de *benchmark* das metodologias disponíveis para avaliação de risco químico, o nível de incerteza e o estado da arte no ano de 1990 na Europa. O projeto foi voltado para uma planta de armazenamento de amônia e o time foi dividido em equipes que deveriam conduzir uma série de análises de risco separadamente, ao final seus resultados e apontamentos seriam confrontados. Tinham por objetivo estabelecer um processo de aprendizagem comum e uma base para construção de procedimentos analíticos sólidos.

Cassidy (1993) realizou um estudo de revisão sobre o tema avaliação de riscos e segurança de grandes sistemas e instalações criogênicas no Reino Unido e Europa apresentando conceitos como “ALARP”, análise de vulnerabilidade e curvas de risco.

Khan & Abbasi (1997) conduziram uma análise de vulnerabilidade e consequências utilizando-se de uma ferramenta computacional (software MAXCREED desenvolvido pela divisão de estudos de risco do *Centre for Pollution Control and Bio-Waste Energy*) para simulação de acidentes e estimativa do dano potencial em uma unidade de armazenamento situada em um congestionado complexo industrial. Tal indústria tinha como principais perigos: explosão, incêndio, liberação de gases tóxicos e vazamento de líquidos corrosivos. Após a condução de análises de riscos de todas as unidades da planta, (que foram classificadas segundo o índice *Dow's Fire and Explosion*), simulou-se os cenários mais prováveis com base no histórico de grandes acidentes da indústria. Os efeitos tóxicos foram calculados através da função probit, onde considerou-se: efeitos de radiação térmica, letalidade, ondas de choque e sobrepressão, fatalidades e danos estruturais. Os contornos de risco para os cenários avaliados extrapolavam a área da indústria e atingiam outras, além da população vizinha. Como recomendações para minimizar os efeitos foi proposto ao invés de

usar um ou dois tanques de grande capacidade, acondicionar o volume entre diversos de menor capacidade; distribuí-los com espaço adequado, a fim de que a falha em um não desencadeasse acidentes secundários ou maiores. Instalação de detectores de gás sensíveis nas áreas de armazenamento. Inspeções e manutenções periódicas e rigorosas dos equipamentos de controle eletrônicos. Disponibilidade imediata de quantidades suficientes de gases inertes para diluir a concentração dos gases inflamáveis em caso de vazamento. Além disso, ter estratégia de resposta a emergências consolidada e exercícios periódicos.

Os mesmos autores no ano 2001 publicaram um artigo em que utilizaram a metodologia chamada análise ótima de risco (*optimal risk analysis*) que envolve a identificação e triagem de perigos, avaliação qualitativa e probabilística, quantificação (ou análise de consequências) e estimativa do risco. O estudo foi conduzido em uma planta de fabricação de sulfolano e mostrou que os recipientes de armazenamento, reatores, evaporador e tubulações eram suas unidades mais perigosas. Tal metodologia foi indicada com pontos positivos como: rápida, com menor custo de implementação, e tão (ou possivelmente mais) exata e precisa quanto outras metodologias já existentes (KHAN; ABBASI, 2001).

Roy, Bhatt & Rajagopal (2003) realizaram uma avaliação quantitativa de risco para seção de armazenamento e purificação de uma instalação de produção de esponja de titânio. Utilizando uma técnica chama *HAZAN*, que combina um estudo detalhado do índice *fire explosion and toxicity index (FETI)* e as técnicas de árvore de falhas e HAZOP. Determinaram que as seções de armazenamento e purificação da planta eram as que apresentavam maior perigo, recomendando diversas medidas de proteção e prevenção para reduzir a probabilidade de ocorrência do evento principal e seus riscos associados.

Bultel *et al.* (2007) realizaram uma análise de riscos a partir da construção de uma matriz de riscos, árvore de eventos e árvore de falhas; para prever e minimizar eventos indesejados que podem ocorrer quando uma célula de combustível (composta por metanol e hidrogênio) alimenta um veículo elétrico. Cinco cenários de acidente foram estudados: *Jet fire*, BLEVE, UVCE, combustão interna e poluição ambiental. O risco de combustão interna dentro do núcleo da célula de combustível apareceu como o cenário de maior probabilidade e frequência, ocasionado pela baixíssima durabilidade do eletrólito. Já os cenários de BLEVE e explosão de hidrogênio foram considerados improváveis.

Moonis, Wilday & Wardman (2010) elaboraram um estudo de revisão e levantamento de dados para uma avaliação de risco contendo análise preliminar de riscos e de consequências sobre a segurança no transporte e armazenamento de hidrogênio como

combustível.

Meng *et al.* (2014) avaliaram as fontes de riscos características oriundas de diversas substâncias presentes no parque industrial de Nanjing, os principais riscos de acidentes e seus raios de influência baseado em dados empíricos de quantidades e características das substâncias, a fim de otimizar a distribuição espacial na área industrial e suportar o desenvolvimento de medidas de prevenção e gestão de riscos.

Fuentes-Bargues *et al.* (2017) realizaram uma análise de riscos em um terminal de armazenamento de combustíveis utilizando-se das técnicas de análise de risco: HAZOP e árvore de falhas (AAF). O HAZOP indicou que as áreas de carga e descarga eram as mais sensíveis da planta, onde o perigo mais significativo era um derramamento de combustível. Já as tarefas relacionadas à transferência de combustível para tanques, apesar de serem mais automatizadas e sob a reduzida influência humana, apresentavam as consequências mais graves na ocorrência de um acidente. Os resultados da AAF permitiram priorizar as medidas preventivas e corretivas de forma a minimizar a probabilidade de falha e mostraram que uma ligeira alteração (aumento ou diminuição) da frequência de falha das operações humanas gerava uma grande influência na frequência de falha do evento topo. Os autores indicaram que os planos de prevenção das organizações deveriam buscar aumentar a formação do pessoal, medições automáticas de controle e melhorar procedimentos.

Tamauchi *et al.* (2017) desenvolveram um método chamado avaliação quantitativa de segurança (QSA) para a usina Rokkasho, que lida com reprocessamento de material nuclear. Os autores utilizaram como base a avaliação probabilística de risco (PRA) e um método de análise integrada de segurança para instalações que possuam uma massa crítica de material nuclear radioativo.

Sun *et al.* (2020) analisaram o impacto da pandemia na segurança de processos utilizando um modelo baseado em riscos para acidentes com vazamento de materiais perigosos no caso de escassez de recursos humanos. A análise foi dividida em duas partes, levando-se em conta o impacto nos erros humanos e os estágios do acidente. As falhas na operação e na transmissão de informações, o excesso de horas de jornada e ambiente de trabalho foram considerados como as principais causas de erros humanos. O número de trabalhadores reduzido (especialmente durante o cenário de pandemia), foi apontado como um fator de aumento nos fatores de risco e na probabilidade de falhas, encurtando a janela de oportunidade e aumentando a possibilidade de acidentes.

Guo *et al.* (2021) realizaram uma análise quantitativa de riscos através de árvore de falhas e combinação de *Fuzzy-Bayesian Networks* (FBN) com *similarity aggregation method* (SAM) para agregar opiniões de especialistas obtidas através de *surveys*, distribuindo critérios de pesos de acordo com as classificações: posição profissional, tempo de serviço, nível de educação, idade e considerações sobre opiniões consensuais e divergentes. As causas de acidentes em tanques de armazenamento foram classificadas em seis categorias: erro operacional, erro de manutenção, falha de equipamento, ruptura de tubulação, rachadura no tanque e eventos Natech. Baseado no perigo potencial, os tomadores de decisão escolheram a melhor forma de alocação de recursos para diferentes aspectos do armazenamento, a fim de prevenir acidentes e mitigar consequências. Eletricidade estática, faíscas por atrito, transbordamento, desvios em procedimentos operacionais, solda ruim e vazamentos foram identificados como os nós críticos e os principais agentes causadores do evento de topo, acidentes em tanques de armazenamento.

Sarvestani *et al.* (2021) desenvolveram um modelo de acidentes preditivo para avaliação dinâmica de riscos em tanques de armazenamento de propano utilizando uma combinação de técnicas de análise de riscos: *Bow-tie*, árvore de falhas e árvore de eventos; além de teoria Bayesiana (para calcular a probabilidade de falha das barreiras).

Ahmadi *et al.* (2020) empregaram um método para avaliação dinâmica de riscos foi empregado para estudo de incêndios em tanques de armazenamento usando teoria bayesiana. Os autores relataram que o método dinâmico é mais preciso do que o método avaliação estática e permite que os riscos em tempo real sejam apresentados.

Gooijer, Cornil & Lenoble (2012) realizaram um estudo como exercício de benchmark e compararam quatro métodos quantitativos de avaliação de risco empregados em diferentes países, seus resultados e implicações. O objeto de estudo era um depósito fictício de GLP. Os resultados indicaram que, apesar das metodologias de análise serem completamente diferentes (tanto na seleção de cenários quanto estimativas de efeitos), as distâncias de segurança calculadas ao redor da planta eram da mesma ordem de grandeza e valores muito próximos. Os autores indicaram que para entender as diferenças em detalhes, é desejável um maior compartilhamento internacional de informações a fim de melhorar os fundamentos e o valor das metodologias de avaliação de risco.

Alessandri *et al.* (2018) realizaram uma avaliação probabilística de risco sísmico em plantas de processo baseada em simulações de Monte Carlo realizadas no software *PRIAMUS* (*Probabilistic risk assessment with Monte Carlo simulations of process plants under seismic*

*loading*). Uma abordagem multinível foi proposta a partir das curvas de risco sísmico, o primeiro nível era representado pelos componentes danificados sismicamente, enquanto os níveis seguintes foram tratados por análise de consequências clássica, incluindo propagação por efeito dominó.

Valencia-Barragán, Martínez-Gomez & Ponce-Ortega (2015) elaboraram uma análise quantitativa de riscos para uma indústria de refino de óleo vegetal em Morelia-México. O risco foi expresso em termos de riscos sociais e individuais, e o cálculo de consequências foi determinada através de equações Probit, onde obteve-se os perfis de radiação e sobrepressão através do *software* SCRI. Com base em princípios de segurança inerente, as estratégias foram sugeridas para redução do risco nas operações, como por exemplo: minimização de estoque, realocação de unidades da planta e redução do número de interconexões (tubos, mangueiras, flanges, válvulas, etc.).

Martins *et al.* (2016) conduziram uma análise quantitativa de riscos para carregamento e descarregamento de GNL em uma unidade flutuante de armazenamento e regaseificação (FSRU) utilizando o *software* PHAST para a análise de consequências.

Cui & Wu (2016) propuseram um método de avaliação de risco em tempo real e simulação de 7 tanques de armazenamento de produtos químicos, em um cais petroquímico na cidade de Qingzhi-China. Foram analisadas e quantificadas as consequências desastrosas de vazamentos. Os métodos de AHP e análise por pares (*Set-Pair Analysis*) foram empregados para avaliação relativa e um programa foi desenvolvido através do software LabVIEW, para simular o vazamento no tanque e obter a avaliação de risco em tempo real.

#### **4.2.2.4. Síntese dos dados**

Em suma, a partir do universo de artigos analisados, pode-se concluir que a análise qualitativa ainda vem sendo empregada na maioria dos estudos como uma avaliação preliminar, a partir da qual se ramificam estudos mais complexos e voltados para simulação de cenários acidentais e análise de consequências. As técnicas de análise por árvore de falhas e análise por árvore de eventos são as metodologias de avaliação quantitativa mais empregadas, enquanto que as técnicas de análise preliminar de perigos, análise preliminar de riscos, além de HAZOP e *Bow-tie*, são as técnicas de avaliação qualitativa mais utilizadas. Algumas metodologias próprias vêm sendo desenvolvidas como uma modificação ou combinação das técnicas clássicas já existentes, por exemplo, *Optimal Risk Analysis* e *Optimal Risk Reduction*. Diversas ferramentas computacionais foram empregadas nas análises

de consequências, utilizando técnicas de CFD, simulação Monte Carlo, cadeias de Markov, método Probit, etc. Além disso, também foi observada uma recorrência na utilização de ferramentas auxiliares para lidar com incertezas e análises probabilísticas, seja na obtenção e/ou no tratamento de dados, como lógica "fuzzy", redes bayesianas e *Set pair analysis* (SPA).

### 4.3. DESCRIÇÃO DA SITUAÇÃO-PROBLEMA

Um exemplo genérico de situação de armazenamento em uma instituição de ensino e pesquisa utilizado como modelo de exemplificação é apresentado na Figura 30, a instituição está localizada em um edifício de dois andares e uma área de alta densidade demográfica, adjacente (distância menor que 200 metros) a ocupações sensíveis, como edificações residenciais, hospital, creche, escola, associação de moradores e comércios diversos.

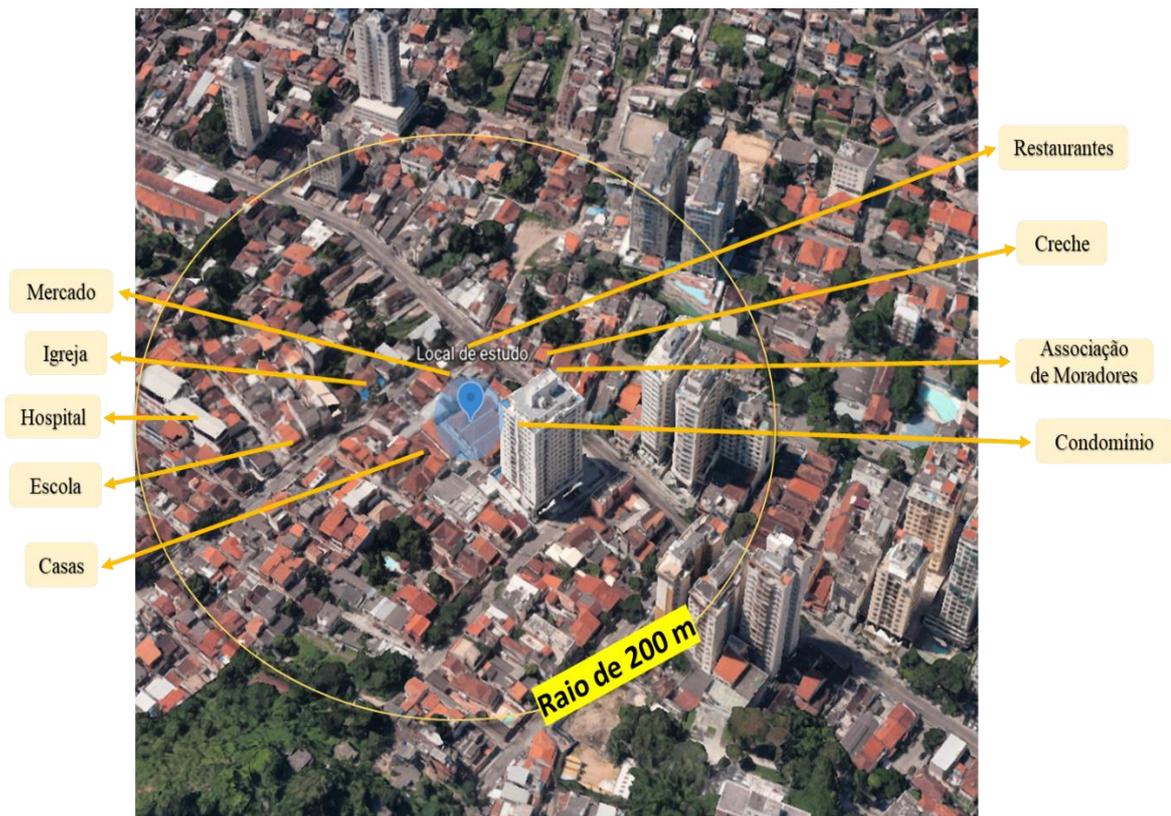


Figura 30 - Vista superior 3d exemplificando local de estudo  
Fonte: Google Earth, ANO 2022

Tal instituição possui almoxarifados de armazenamento com áreas compreendidas entre 40 e 80 m<sup>2</sup>, localizados no nível térreo e no nível superior, com capacidade de

estocagem na ordem de 2 toneladas em cada, contendo alta variabilidade de substâncias químicas. O acesso ao almoxarifado em nível térreo se dá por um corredor estreito, sem acesso de veículos, que também dá acesso a outros locais como: um laboratório, um galpão de equipamentos industriais e a máquinas condensadoras de aparelhos de ar condicionado. Já no andar superior, o acesso se dá por escada comum, sem sinalização, e de acesso único a outros locais como: sala de descanso de terceirizados, diretório acadêmico, refeitório e escritórios.

A estrutura física de ambos os almoxarifados consiste em paredes de alvenaria, teto de madeira e pouca iluminação, com instalação elétrica muito antiga e fora dos padrões. As poucas estantes de armazenamento que existem são de ferro e apresentam alto grau de corrosão, muitas vezes escoradas na parede por outros produtos químicos armazenados em pilhas de caixas pelo chão. Não há ventilação, janelas ou sistema de exaustão, logo o local permanece abafado e quente, atingindo frequentemente temperaturas na faixa entre 30 - 40 °C. Não há sistema de proteção contra incêndios nem no local nem nas outras salas adjacentes.

A Figura 31 a seguir exemplifica o perfil de armazenamento encontrado e funciona como arcabouço ilustrativo das situações perigosas em enfoque neste estudo. Nestas imagens busca-se evidenciar situações como: excesso de peso e de inventário, estantes de ferro em avançado estágio de corrosão, alto volume de estoque, presença conjunta de substâncias combustíveis e inservíveis, frascos danificados e/ou que perderam as informações do rótulo, produtos químicos incompatíveis armazenados lado a lado, empilhamento de caixas e recipientes de armazenamento (bombonas) acima do limite permitido, entre outros.



Figura 31 - Exemplos de armazenamento em almoxarifados de algumas instituições de ensino.  
Fonte: Autoria própria

Em relações as condições meteorológicas da região, obtidas no site Weather Spark, o verão é curto, quente, opressivo, com precipitação e de céu quase encoberto; o inverno é longo, agradável, úmido e de céu quase sem nuvens. Ao longo do ano, em geral a temperatura varia de 19 °C a 31 °C e raramente é inferior a 16 °. A variação sazonal na sensação de umidade é considerada extrema, o período mais abafado do ano dura 8,8 meses, de setembro a junho, no qual o nível de conforto é abafado, opressivo ou extremamente úmido pelo menos em 49% do tempo. Já a velocidade horária média do vento passa por variações sazonais pequenas ao longo do ano, o vento mais frequente vem do leste durante 10 meses, e do norte durante 1,9 meses, no período entre junho e julho.

Os produtos químicos armazenados são diversos (álcoois, ácidos, aldeídos, ésteres, éteres, cetonas, peróxidos, etc.), onde a maioria consiste em substâncias líquidas orgânicas inflamáveis. Alguns produtos estão armazenados em estantes de ferro, outros em caixas pelo chão. O almoxarifado térreo possui um quantitativo por volta de 500 litros de substâncias

líquidas e 164 quilos de substâncias sólidas enquanto que o almoxarifado superior possui um quantitativo por volta de 1615 litros de substâncias líquidas e 346 quilos de substâncias sólidas. O local também é utilizado para armazenar outros itens como: equipamentos inservíveis aguardando recolhimento, arquivamento de papelada, vidrarias e estoque de consumíveis dos laboratórios.

#### 4.3.1. Aplicação da Resolução nº 3.965 (NT – 01/2009) do Conselho Estadual do Meio Ambiente do estado da Bahia (CEPRAM)

Utilizou-se como base de referência a Resolução nº 3.965 (NT – 01/2009) do Conselho Estadual do Meio Ambiente do estado da Bahia (CEPRAM), por ser uma das mais completas do país no que tange ao gerenciamento de riscos, a fim de demonstrar a importância de conhecer o quantitativo e classificar as substâncias químicas presentes nos locais de armazenamento, mesmo os de pequeno porte.

Através de dados de IDLH (concentração de toxicidade aguda imediatamente perigosa para vida ou saúde) fornecidos na concentração de ppm (partes por milhão); e dados de pressão de vapor das substâncias, obtêm-se os valores de categoria de perigo (associado a cada substância e da Massa de Referência (MR), conforme exibido na Figura 32. A Massa de Referência (MR), é a menor quantidade de uma substância perigosa (em kg) capaz de causar danos a uma certa distância do ponto de liberação.

4	3	3	2	2	2	1	1	1	1	G
4	4	3	3	2	2	2	1	1	1	GL
5	4	4	3	3	2	2	2	1	1	350-760
5	5	4	4	3	3	2	2	2	1	100-350
6	5	5	4	4	3	3	2	2	2	50-100
6	6	5	5	4	4	3	3	2	2	25-50
6	6	6	5	5	4	4	3	3	3	10-25
4000-5000	2000-4000	1000-2000	500-1000	250-500	100-250	50-100	10-50	1-10	0-1	IDLH

Categoria de Perigo	MR (Kg)
Categoria 1	50
Categoria 2	100
Categoria 3	250
Categoria 4	500
Categoria 5	750
Categoria 6	1.000

Figura 32- Matriz de categoria de perigo e Massa de Referência das substâncias  
Fonte: BAHIA, 2009

O Fator de perigo (FP) representa uma medida da intensidade da fonte de risco, definido através do quociente entre Maior Massa Liberada Acidentalmente (MMLA) de um subsistema e a Massa da Referência (MR), conforme apresentado na Equação 1. A MMLA é a maior quantidade da substância perigosa capaz de participar de uma liberação acidental. Considerou-se como MMLA o quantitativo das substâncias presente nos almoxarifados e como a MR os valores tabelados para cada substância, exibidos da Figura 30.

$$FP = \frac{MMLA}{MR} \quad (\text{Equação 1})$$

O fator de distância (FD) é uma medida de salvaguarda, definido como o quociente entre duas distâncias (Equação 2). O numerador indica a menor distância entre o ponto de liberação e o ponto onde estão localizados os recursos vulneráveis (comunidade externa, industrial, comercial ou residencial), que foi calculada como 20 metros. O denominador representa uma distância de referência (tabelada em 50 m segundo a norma).

$$FD = \frac{\text{distância (m)}}{50} \quad (\text{Equação 2})$$

O índice de risco (IR) do empreendimento em relação aos seus dois almoxarifados é calculado para cada substância perigosa existente, a partir dos fatores de perigo (FP) e de distância (FD) de cada subsistema considerado, conforme apresentado na Equação 3.

$$IR = \frac{FP}{FD} \quad (\text{Equação 3})$$

Para os subsistemas com a mesma substância perigosa e distância inferior ou igual a 200 m (duzentos metros) entre si, pode-se calcular apenas um IR, desde que o FP seja calculado para o subsistema que apresentar o maior inventário desta substância perigosa e para o cálculo do FD, seja considerada a distância referente a este mesmo subsistema. Os dois locais de armazenamento distam somente cerca de 20 metros um do outro, sendo assim, calculou-se um único IR para as substâncias em comum (BAHIA, 2009).

A Tabela 3 lista as 10 principais substâncias líquidas presentes nestes locais e os resultados dos cálculos de Categoria de Perigo, MR, FP, FD e por fim, o IR.

Tabela 3 - Classificação das principais substâncias presentes de acordo com IR

Substância	QTD Total	Unidade	Densidade (g/mL)	Massa (kg) MMLA	Nº CAS	IDLH (ppm)	Pvap (mmHg)	Categoria de Perigo	MR (Kg)	FP	FD	IR	Volume (m3)
Álcool metílico	580	Litros	0.792	459.36	67-56-1	6000	96	6	1000	0.46	0.4	1.1	0.58
Álcool etílico	530	Litros	0.8	424	64-17-5	3300	44	6	1000	0.42	0.4	1.1	0.53
Hexano	237	Litros	0.66	156.42	110-54-3	1100	124	4	500	0.31	0.4	0.8	0.24
Acetonitrila	164	Litros	0.786	128.904	75-05-8	500	72.8	4	500	0.26	0.4	0.6	0.16
Diclorometano	133	Litros	1.33	176.89	75-09-2	2300	350	5	750	0.24	0.4	0.6	0.13
Acetato de etila	129	Litros	0.902	116.358	141-78-6	2000	73	5	750	0.16	0.4	0.4	0.13
Álcool n-butílico	113.5	Litros	0.81	91.935	71-36-3	1400	6	6	1000	0.09	0.4	0.2	0.11
Ácido acético	102	Litros	1.05	107.1	64-19-7	50	20	3	250	0.43	0.4	1.1	0.10
Acetona	34	Litros	0.784	26.656	67-64-1	2500	180	5	750	0.04	0.4	0.1	0.03
Clorofórmio	30	Litros	1.49	44.7	67-66-3	500	160	3	250	0.18	0.4	0.4	0.03
Ácido Sulfúrico	23	Litros	1.83	42.09	7664-93-9	15	0.001	3	250	0.17	0.4	0.4	0.02

Fonte: Autoria própria

Segundo esta resolução, de acordo com o índice de risco obtido,  $IR > 1$  ou  $IR \leq 1$ , deve-se proceder com um PGR completo ou simplificado, respectivamente. Pode-se observar que três substâncias (álcool metílico, álcool etílico e ácido acético) ultrapassaram ligeiramente o valor limite  $IR > 1$ , indicando que locais de armazenamento em instituições de ensino e pesquisa, os quais a princípio não são alvo de programas de gerenciamento mais robustos, podem recair numa situação de risco considerável para uma ou mais substâncias presentes, onde se necessita um PGR completo para um maior controle e medidas de proteção.

#### 4.3.2. Aplicação da Norma CETESB, P4.261 do estado de São Paulo - Riscos de Acidente de Origem Tecnológica

De forma análoga, utilizou-se em paralelo outra norma referência no país quando se trata de gerenciamento de riscos, a norma CETESB, P4.261 do estado de São Paulo, que aborda os Riscos de Acidente de Origem Tecnológica. Através dela é possível obter orientações para a elaboração de um Estudo de Análise de Riscos (EAR) e um programa de gerenciamento de riscos (PGR) que englobam, além das indústrias, empreendimentos pontuais que armazenam produtos químicos. O EAR consiste em um estudo quantitativo de risco de um empreendimento, baseado em técnicas de identificação de perigos, estimativa de frequências e de efeitos físicos, avaliação de vulnerabilidade e estimativa do risco (SÃO PAULO, 2011).

A metodologia da norma permite realizar sequencialmente: identificação de perigos e consolidação das hipóteses acidentais, estimativas de efeitos físicos e avaliação da vulnerabilidade, estimativa e avaliação do risco, frequências e determinação da necessidade

ou não do PGR. Segundo esta norma, o risco de um empreendimento (para a comunidade e e/ou meio ambiente) circunvizinho e externo aos limites do empreendimento, está diretamente associado às características das substâncias químicas manipuladas, suas quantidades e à vulnerabilidade da região onde está ou será localizado (SÃO PAULO, 2011).

A partir de dados de CL50/DL50,  $P_{vap}$ , ponto de fulgor (PF), ponto de ebulição (PE); pode-se determinar os níveis de toxicidade e inflamabilidade da substância. Em seguida, consulta-se nos anexos da norma a distância de referência (dr) para cada substância, a qual é tabelada e varia de acordo com o quantitativo real da substância. Determina-se *in loco* a distância da população de interesse (dp) em relação ao empreendimento e, por fim, compara-a com o valor de dr (considerando o número mínimo de 26 pessoas na área de interesse delimitada pelo raio referente a dr).

Para as duas principais substâncias identificadas com  $IR \geq 1$  (álcool metílico e álcool etílico) segundo critérios do item 4.7.1. (método de cálculo da Resolução nº 3.965), foi calculado os valores de dr e dp, onde encontrou-se  $dr < dp$ , isso indica, conforme a norma, que para este empreendimento pontual, não se faz necessário a elaboração de um EAR (o qual abrangeria análises quantitativas, consequências, vulnerabilidade etc.), somente de um PGR.

Em suma, através de metodologias distintas de dois estados brasileiros (Bahia e São Paulo), evidencia-se a necessidade de implementação de um PGR para esta situação de armazenamento relatada.

#### **4.4. PLANO DE GERENCIAMENTO DE RISCOS**

Com base nos modelos de planos de gerenciamento apresentados no item 3.6, construiu-se Quadro 7, onde foram listados seus requisitos básicos e como se correlacionam e se reiteram entre si.

Quadro 7 -Comparação entre requisitos de diferentes programas de gerenciamento de riscos

Modelo s/ n° ID	A	B	C	D
	CCPS órgão não regulatório	RESOLUÇÕES DA ANP N° 5 E E ANP N° 43 órgão regulatório brasileiro	NR 01 - Ministério do Trabalho e Emprego	PSM (OSHA) e RMP (EPA) órgãos regulatórios americanos
1	Cultura de segurança	Cultura de Segurança, Compromisso e Responsabilidade Gerencial	-	-
2	Conformidade com as normas	-	Respeito ao que está disposto nas demais Normas Regulamentadoras e demais exigências legais de SST	Informação de segurança de processos
3	Competência em segurança	Qualificação, Treinamento e Desempenho do Pessoal	Capacitação e treinamento em Segurança e Saúde no Trabalho	-
4	Envolvimento da força de trabalho	Envolvimento do Pessoal	-	Participação da força de trabalho
5	Envolvimento das partes interessadas	-	-	-
6	Conhecimento do processo	-	-	-
7	Identificação de perigos e análise de riscos	Identificação e Análise de Riscos	Identificação de perigos e avaliação de riscos ocupacionais	Análise de Perigos do processo
8	Procedimentos operacionais	-	-	Procedimento Operacionais
9	Práticas de trabalho seguro	Ambiente de Trabalho e Fatores Humanos	-	Permissão de Trabalho a Quente
10	Integridade de ativos e confiabilidade	Integridade Mecânica	-	Integridade Mecânica
11	Gestão das contratadas	Seleção, Controle e Gerenciamento de Empresas Contratadas	-	Contratadas
12	Treinamento e garantia de desempenho	-	Treinamento	Treinamento
13	Gestão de mudanças	-	-	Gestão de mudanças
14	Prontidão operacional	-	-	-
15	Conduta das operações	-	-	-
16	Gestão de emergências	Planejamento e Gerenciamento de Grandes Emergências	Preparação para emergências	Planejamento e Resposta a Emergências
17	Investigação de acidentes	Investigação de Incidentes	Análise de acidentes e doenças relacionadas ao trabalho	Investigação de Incidentes
18	Métricas e monitoramento	-	-	-
19	Auditorias	Auditorias	-	Auditorias de Conformidade
20	Revisão de segurança e melhoria contínua	Monitoramento e Melhoria Contínua do Desempenho	-	-
21	-	-	-	Revisão de segurança pré- inicialização
22	-	Elementos Críticos de Segurança Operacional	-	-
23	-	Gestão da Informação e da Documentação	Documentação/ Da prestação de informação digital e digitalização de documentos	Sistema de gestão de documentos
24	-	-	-	Análise de pior cenário de liberação
25	-	-	-	Análise de cenário alternativo de liberação
26	-	-	-	Histórico de 5 anos de acidentes

Fonte: Autoria própria

A estrutura do documento para um plano de gerenciamento aplicável às instituições públicas de ensino e pesquisa que armazenam produtos químicos, foi construída com base em alguns requisitos em comum entre os 4 modelos de gerenciamento descritos no item 3.6 e apresentados no Quadro 7, onde estão elencados nas colunas de A a D.

Listou-se no Quadro 8 os 18 requisitos fundamentais (coluna: “n° item”, de a até r) para construção do plano de gerenciamento, e os parâmetros em comum com os quatro modelos utilizados como base de construção. Em seguida, descreveu-se suas respectivas instruções.

n° item	Requisitos	Fundamentos - Modelos do Quadro 7			
		Modelo A	Modelo B	Modelo C	Modelo D
a	Gestão de Informações e Documentação		✓	✓	✓
b	Envolvimento do pessoal	✓	✓		✓
c	Cultura de segurança, compromisso e responsabilidade gerencial	✓	✓		
d	Qualificação, treinamento e desempenho do pessoal	✓	✓	✓	
e	Ambiente de Trabalho e Fatores Humanos	✓	✓		
f	Seleção, Controle e Gerenciamento de Empresas Contratadas	✓	✓		✓
g	Melhoria Contínua	✓	✓		
h	Monitoramento	✓	✓		
i	Auditorias	✓	✓		✓
j	Investigação de Incidentes	✓	✓	✓	✓
k	Projeto, Construção, Instalação e Desativação				✓
l	Elementos Críticos de Segurança		✓		
m	Identificação de perigos e análise de riscos	✓	✓	✓	✓
n	Integridade mecânica	✓	✓		✓
o	Planejamento e gerenciamento de grandes emergências	✓	✓	✓	✓
p	Procedimentos Operacionais	✓			✓
q	Gerenciamento de mudanças	✓			✓
r	Práticas de trabalho seguro e procedimentos de controle em atividades especiais	✓	✓		✓

Quadro 8 - Estrutura do Plano de gerenciamento de riscos  
Fonte: Autoria própria

#### a. Gestão de Informações e Documentação

Deve-se definir procedimentos de controle, acesso e disponibilidade das informações. Os documentos importantes para situações de emergências devem ser mantidos prontamente disponíveis no local de armazenamento, como as FISPQ's e o Plano de Resposta e Emergência (PRE);

Ao realizar o inventário de substâncias químicas, informar sobre a capacidade máxima de armazenamento, quantitativo e relação das substâncias armazenadas com informações básicas como:

- Número de identificação: CAS e n° ONU;

- Limites de exposição admissíveis (CL50 e DL50);
- Dados físicos (Pressão de vapor ( $P_{vap}$ ) a 25°C, ponto de fulgor (PF), Limite inferior de inflamabilidade (LII) densidade, teor, pontos de fusão e ebulição (PE), IDLH);
- Características de periculosidade (toxicidade, inflamabilidade, corrosividade, etc.): Para esta classificação, além de se utilizar das informações de acordo com a FISPQ, pode-se realizar a classificação de periculosidade e inflamabilidade de acordo com o que foi feito no capítulo 4.3, em que se utilizou como referência a norma CETESB, P4.261 (CETESB, 2011): tomada de decisão quanto à necessidade ou não de um EAR para o empreendimento pela comparação entre as distâncias em relação a substância: distância de referência (dr) e distância à população de interesse (dp). Pode-se também utilizar como referência a Resolução nº 3.965 (BAHIA, 2009), onde se calcula o índice de risco (IR) para cada substância verificando quais delas apresenta  $IR > 1$ , o que indicaria uma maior necessidade de monitoramento e gerenciamento para tal substância.
- Incompatibilidades químicas e características especiais de armazenamento;

No arranjo geral da instalação e equipamento, incluir: a identificação do empreendimento, os dados climáticos, a localização de pontos de água, a localização dos equipamentos de emergência principais equipamentos e tubulações, o diagrama de classificação elétrica, dados elétricos (diagramas unifilares), a localização do quadro geral de luz, materiais construtivos, a classificação de áreas, os sistemas de segurança e controle (P&ID , intertravamentos, detecção ou sistemas de supressão), ao códigos e normas de projeto, quando aplicáveis.

#### **b. Envolvimento do pessoal**

Garantir a participação da força de trabalho no desenvolvimento, implementação e revisões periódicas programadas do plano de gerenciamento de riscos, assim como promover atividades de conscientização e atualização em segurança. Permitir um ambiente em que todos os envolvidos se sintam parte integrante, tenham acesso à informação e possam trazer suas opiniões e contribuições para o fortalecimento do gerenciamento de segurança, como por exemplo, através de questionários ou reuniões de *feedback*.

#### **c. Cultura de segurança, compromisso e responsabilidade gerencial**

Descrever a estrutura organizacional com definição de responsabilidades e atribuições do pessoal envolvido. Algumas atitudes são importantes neste quesito, como garantir um ambiente de comunicação aberta e efetiva, manter um senso de vulnerabilidade e

sensibilização em questões segurança, revisão de lições aprendidas, reforço das responsabilidades individuais e consequências originada por desvios e condutas irregulares.

**d. Qualificação, treinamento e desempenho do pessoal**

Definir os níveis de treinamento, qualificação, competência, habilidade e conhecimento específicos para realizar certas operações, inspeções, manutenções e outras atividades cabíveis aos locais de armazenamento.

O treinamento deve abordar temas como: segregação e compatibilidade de substâncias, manuseio seguro, vestimenta e EPI's adequados, acondicionamento e destinação de resíduos, procedimentos para perdas de contenção e emergências, entre outros.

Estabelecer medidas para adquirir ou manter a capacitação de pessoal, com reciclagem periódica nos requisitos de segurança e procedimentos operacionais. Garantir o reconhecimento dos riscos envolvidos, mantendo evidência documentada de que a força de trabalho tenha recebido treinamento adequado ao exercício de suas funções.

**e. Ambiente de Trabalho e Fatores Humanos**

Analisar aspectos do ambiente de trabalho passíveis a ocorrência de falha humana, por exemplo: códigos, padrões, ergonomia cognitiva e sinalizações; evitando situações e condições que possam provocar incidentes.

**f. Seleção, Controle e Gerenciamento de Empresas Contratadas**

Garantir que os contratados e terceirizados sejam capacitados quanto às Práticas de Trabalho Seguro, conhecimento dos riscos e perigos existentes, assim como os procedimentos em caso de emergência. Manter evidência documentada de que tenham recebido treinamento adequado.

**g. Melhoria Contínua do Desempenho**

Estabelecer indicadores de desempenho e metas que avaliem a eficácia do sistema de gerenciamento da segurança, de acordo com os objetivos fixados e um sistema de ações corretivas e preventivas quando constatado desempenho insuficiente.

Buscar a melhoria contínua através da redução dos riscos, utilizando-se de medidas como: eliminação de perigos; substituição de processos, substâncias, materiais e equipamentos por outros; controle de engenharia e reorganização do trabalho; controles administrativos e treinamento e por fim, equipamentos de proteção individual.

**h. Monitoramento**

Monitorar e medir, regularmente, as características principais de operações e

atividades que possam causar incidentes com avaliação periódica do atendimento à legislação e regulamentos de segurança pertinentes ao armazenamento de produtos químicos.

**i. Auditorias**

Auditorias tem como benefício identificação de janelas de oportunidade para melhorias, aumento da sensibilização para segurança e maior confiança relacionada ao atendimento da legislação. Quando necessário e aplicável, estabelecer de forma objetiva e imparcial auditorias do sistema de gerenciamento de riscos, incluindo aspectos relacionados à segurança, meio-ambiente e saúde, sejam elas auditorias internas (pessoal da própria organização) ou externas (de segunda ou terceira parte).

**j. Investigação de Incidentes**

Guardar registro dos incidentes e acidentes ocorridos, para posterior implementação de ações que visem impedir ou minimizar a possibilidade de recorrência do mesmo. Informações relevantes: data; metodologia de análise, descrição do tipo de incidente/acidente, instalações, processos, equipamentos e atividades envolvidas; consequências; causas identificadas; fatores contribuintes; ações preventivas e corretivas implementadas; avaliação de tendências das não-conformidades e recomendações.

**k. Projeto, Construção, Instalação e Desativação**

Em todas as etapas, considerar a conformidade com normas, padrões e boas práticas relacionadas à segurança; seja na aquisição de itens, instalação e equipamentos, disposição de materiais, intervenções humanas e alterações de layout.

**l. Elementos Críticos de Segurança**

Consistem em equipamentos, sistemas ou procedimentos essenciais para a prevenção ou mitigação, que em caso de falha podem conduzir a um acidente ou quase-acidente. Desta forma devem ser contabilizados e checados periodicamente. Nesta sessão constam os sistemas de combate a incêndio, sistemas de alarme, iluminação, detecção de fogo e gás, e outros que necessitam de prontidão em caso de emergência.

**m. Identificação de perigos e análise de riscos**

As análises de riscos são parte do principal elemento de gestão do Plano de Gerenciamento de Riscos, pois elas norteiam para os perigos existentes e os riscos que necessitam de gerenciamento. As recomendações geradas podem ser elementos de acompanhamento monitorados através de um plano de ação.

Os perigos podem ser decorrentes de: infraestrutura, equipamentos, materiais,

substâncias, condições físicas do local, manutenção, disposição, fatores humanos, etc. Dentre os métodos cabíveis, descritos brevemente no capítulo 3.3, pode-se utilizar ferramentas qualitativas como: APR, *What-if*, *Checklist* e até o auxílio da representação gráfica do *Bow-tie*. De preferência, utilizar-se inicialmente ao menos a técnica de APR em seguida combiná-la com uma ou mais destas outras ferramentas.

O relatório de identificação e análise de riscos deve incluir: justificativa e descrição da metodologia de análise utilizada, identificação e análise dos riscos, classificação dos riscos, recomendações e conclusões. Este documento deverá estar disponível para consulta durante a realização de auditorias, inspeções ou verificações da instalação.

#### **n. Integridade mecânica**

Definir as inspeções, testes e manutenções necessárias dos sistemas, estruturas, equipamentos e sistemas críticos de segurança; de forma planejada e controlada, buscando a integridade mecânica e adequação ao uso pretendido. Deverão estar incluídos neste item os procedimentos de manutenção, os programas de inspeção, cronogramas de manutenções preventivas e o arquivo dos dados de equipamentos.

#### **o. Planejamento e gerenciamento de grandes emergências**

Após identificar, na etapa de Identificação e Análise de Riscos, as grandes emergências e descrever os cenários acidentais associados; deve-se avaliar a capacidade de resposta à cada cenário acidental e apresentar as ações efetivas de resposta a emergências.

Elaborar o Plano de Resposta e Emergência (PRE) da instalação, contendo os procedimentos de preparação e de resposta, como os recursos disponíveis, equipamentos e estrutura organização de resposta serão acionados e compartilhados, identificação do responsável legais, procedimento de comunicação do acidente, cenários acidentais, sistemas de alerta, etc.

Normalmente, as ferramentas do PRE são: Brigada de Emergência, Sistemas de Prevenção e Combate a Incêndio e de Alarme, Equipamentos de Proteção, Veículo de Emergência, Inspeções Periódicas (*checklist*), Procedimentos de Emergência, Áreas de Riscos Envolvidas, Impactos Ambientais e Informações Técnicas, Estrutura (estrutura de apoio, equipe de combate, equipe socorrista), Análise e Revisões do PRE e outros Planos (PEI, Plano de Comunicação, Plano de Apoio Hospitalar, Pré-planos, Planos Integrados).

Na descrição dos equipamentos e materiais de resposta deve-se apresentar: nome, tipo e características operacionais, quantidade disponível, localização, tempo máximo

estimado de deslocamento para o local de utilização, limitações para o uso e EPIs a serem utilizados pelas equipes de resposta.

**p. Procedimentos Operacionais**

Identificar quais atividades necessitam de protocolos padronizados e seu nível de detalhamento, garantindo que todos tenham conhecimento e acesso ao conteúdo, a fim de utilizá-lo como ferramenta de aumento de performance e treinamento. Revisar os procedimentos operacionais periodicamente, de modo que estejam sempre atualizados e representem práticas operacionais claras, concisas e específicas para realização das tarefas com segurança.

**q. Gerenciamento de mudanças**

Esta etapa é fundamental para reconhecer e avaliar quais situações necessitam de modificações, e que estas não adicionem perigos ou aumentem os riscos existentes no ambiente. Para tal, deve-se efetuar uma avaliação inicial dos possíveis efeitos da implementação da modificação, identificar os perigos e riscos associados e as respectivas medidas de controle e monitoramento. A mudança, seja ela permanente, temporária ou emergencial, deve ser registrada, de ciência de todos os envolvidos, estar em conformidade com os requisitos de segurança e não impactar o desempenho ou acrescentar riscos ao ambiente. Elas podem ser classificadas como em mudanças de: produtos, serviços, processos, padrões, procedimentos, operações, instalações, força de trabalho, tecnologia, requisitos legais, entre outros.

**r. Práticas de trabalho seguro e procedimentos de controle em atividades especiais**

Atividades que necessitam da emissão de permissão de trabalho e outros mecanismos de controle, como as que envolvem trabalho em espaços confinados, à quente, em altura, em redes de alta tensão, entre outros; devem ser planejadas e realizadas em conformidade de acordo com os procedimentos de trabalho e segurança, sob supervisão e anuência expressa de profissional habilitado.

## 5. CONCLUSÃO

Através deste trabalho foi possível construir o passo a passo de um modelo geral de protocolo para gerenciamento de risco contendo 18 requisitos básicos, aplicados ao armazenamento de produtos químicos e levando em conta os conceitos trazidos da área de segurança de processos. Este plano objetivava um maior enriquecimento e rigor técnico ao se considerar os riscos existentes em tais espaços, muitas vezes negligenciados por não estarem inseridos numa ótica industrial ou sob algum tipo de fiscalização compulsória das suas condições ambientais e de saúde e segurança para os que com ele interagem, de forma direta ou indireta.

A pesquisa bibliográfica trouxe um *overview* de pontos importantes para um estudo de risco como as principais ferramentas de análise e identificação, as principais situações de risco envolvidas no armazenamento de produtos químicos e os possíveis cenários acidentais que podem intercorrer nesses espaços.

A partir do histórico de acidentes envolvendo produtos químicos permitiu-se verificar que os mesmos ocorreram principalmente devido a falhas em pontos fundamentais do gerenciamento de segurança. Pontos críticos em comum como violação de procedimentos, análises de risco equivocadas, falta de treinamento e cultura de segurança foram uns dos principais itens apontados como causas-raiz em comum.

O levantamento da legislação e aparato normativo voltado ao armazenamento de produtos químicos e os principais órgãos que tangenciam o tema tanto nacionais quanto internacionais trouxe um referencial tangível quanto ao que é esperado e exigido do projeto, da construção e do gerenciamento destes espaços, saindo de uma área nebulosa quanto a carência de normatização específica quando em instituições de ensino e pesquisa.

Utilizando-se como referência os procedimentos da Resolução nº 3.965 - NT – 01/2009 e Norma CETESB, P4.261, realizou-se um levantamento de risco de uma situação-problema genérica ilustrando um almoxarifado de armazenamento de produtos localizado em uma instituição de ensino e pesquisa. Verificou-se diversas situações de risco, porém devido ao inventário das principais substâncias existentes, não se fazia necessário um EAR (o qual abrangia análises quantitativas, de vulnerabilidade etc.), mas era imprescindível a elaboração de um PGR.

Através da realização de uma revisão sistemática de artigos de acordo com as diretrizes do PRISMA 2020 foi possível determinar quais metodologias de análise de riscos

têm sido relatadas na literatura para o gerenciamento dos riscos no armazenamento de produtos químicos. Foi feito um levantamento do perfil dos artigos selecionados onde observou-se que 84% deles continham metodologias quantitativas de análise de riscos e 58% continham metodologias qualitativas de análise de riscos. As metodologias de análise mais empregadas foram: análise de consequências, árvore de falhas e árvore de eventos. Em relação às técnicas de análises qualitativas; as mais recorrentes foram: HAZOP, APP e APR. Observou-se também que a maior parte dos artigos tratavam de estudos de caso em plantas já em operação, principalmente para estudos de tanques de armazenamento com produtos químicos no estado líquido.

Recomenda-se como pesquisa futura uma validação do plano de gerenciamento de segurança proposto neste trabalho, aplicando-se todos os 18 requisitos em um documento voltado para uma situação real de armazenamento de produtos químicos uma instituição pública de ensino e pesquisa. Recomenda-se também a aplicação das técnicas de análise de riscos contendo também uma análise quantitativa, seja por análise de consequências e/ou vulnerabilidade, a fim de dar maior robustez e demonstrar a aplicabilidade destes estudos fora da escala industrial, trazendo as principais consequências para a população ao redor em caso de acidentes.

## REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10.004:2004 - Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004 xp.

\_\_\_\_\_. NBR 60079-14:2006 – Atmosferas explosivas - Parte 14: Projeto, seleção e montagem de instalações elétricas. Rio de Janeiro, 2006 xp.

\_\_\_\_\_. NBR 31010:2012 - Gestão de Riscos - Técnicas para o processo de avaliação de riscos, 2012 xp.

\_\_\_\_\_. NBR 80079-36:2018 - Atmosferas explosivas - Parte 36: Equipamentos não elétricos para atmosferas explosivas - Métodos e requisitos básicos. Rio de Janeiro, 2018 xp.

\_\_\_\_\_. Quem somos. 2023. Disponível em: <https://www.abnt.org.br/institucional/sobre>. Acesso em: 02 jan 2023.

ACGIH. About ACGIH. 2023. Disponível em: <<https://www.acgih.org/about/about-us/>>. Acesso em: 02 jan 2023.

AHLERS, J. The EU existing chemicals regulation. Environmental Science and Pollution Research, v. 6, n. 3, p. 127–129, 1999.

AEAT. Ministério do Trabalho e Previdência. InfoLogo. Base de Dados Históricos de Acidentes de Trabalho. 2020. Disponível em: <<http://www3.dataprev.gov.br/aeat/inicio.htm>>. Acesso em: 05 nov. 2022.

ALVES, Camille Lelis. UMA APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE ANÁLISE DE CAMADAS DE PROTEÇÃO (LOPA) NA AVALIAÇÃO DE RISCO DE INCÊNDIOS NAS ROTAS DE CABOS DE DESLIGAMENTO DE UM REATOR NUCLEAR. 2007. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências em Engenharia Nuclear, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <[http://antigo.nuclear.ufrj.br/MSc%20Dissertacoes/2007/dissertacao\\_camille\\_alves.pdf](http://antigo.nuclear.ufrj.br/MSc%20Dissertacoes/2007/dissertacao_camille_alves.pdf)>. Acesso em: 31 jan. 2023.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Análise do acidente com a plataforma P-36. 2001. Disponível em: < [https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional-e-meio-ambiente/incidentes/relatorios-de-investigacao-de-incidentes-1/arquivos-relatorios-de-investigacao-de-incidentes/relatorio-do-acidente-com-a-p-36/relatorio\\_p-36.pdf](https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional-e-meio-ambiente/incidentes/relatorios-de-investigacao-de-incidentes-1/arquivos-relatorios-de-investigacao-de-incidentes/relatorio-do-acidente-com-a-p-36/relatorio_p-36.pdf)>. Acesso em: 31 dez. 2022.

\_\_\_\_\_. Investigação do incidente de vazamento de petróleo no campo de frade. 2012. Disponível em: <[https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional-e-meio-ambiente/incidentes/relatorios-de-investigacao-de-incidentes-1/arquivos-relatorios-de-investigacao-de-incidentes/campo-de-frade/relatorio-frade-i\\_final.pdf](https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional-e-meio-ambiente/incidentes/relatorios-de-investigacao-de-incidentes-1/arquivos-relatorios-de-investigacao-de-incidentes/campo-de-frade/relatorio-frade-i_final.pdf)>. Acesso

em: 31 dez. 2022.

\_\_\_\_\_. Informativo sobre o Relatório de investigação do incidente de explosão ocorrido no FPSO Cidade de São Mateus em 11/02/2015. 2015. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional-e-meio-ambiente/incidentes/relatorios-de-investigacao-de-incidentes-1/arquivos-relatorios-de-investigacao-de-incidentes/fpso-cidade-de-sao-mateus/informativo.pdf>>. Acesso em: 31 dez. 2022.

\_\_\_\_\_. Resolução nº 43, de 06/12/2007. Institui o Regime de Segurança Operacional para as Instalações de Perfuração e Produção de Petróleo e Gás Naturale aprova o Regulamento Técnico do Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional (SGSO). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2007.

\_\_\_\_\_. Resolução nº 5 de 29/01/2014. Aprova o Regulamento Técnico ANP nº 2/2014 - Regulamento Técnico do Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional para Refinarias de Petróleo. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2014.

ANTONIASSI, B.; SILVA, M. C. K. A importância do gerenciamento de resíduos perigosos em uma universidade: estudo de caso dos laboratórios de ensino e pesquisa. *Sistemas & Gestão*, v. 12, n. 2, p. 183–91, 2017.

ANSI. About ANSI. 2023. Disponível em: < <https://www.ansi.org/about/introduction>>. Acesso em: 02 jan 2023.

AVEN, T.; ZIO, E. Foundational Issues in Risk Assessment and Risk Management. *Risk Analysis*, v. 34, n. 7, p. 1164–1172, 2014.

BACKHAUS, T.; TRIER, X. Empowering academic research in chemical risk assessment and management. *Integrated Environmental Assessment and Management*, v. 11, n. 2, p. 183–184, 2015.

BAHIA. CEPRAM - CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (Estado). Resolução nº 4.578, de 29 de setembro de 2017. Norma Técnica Nt – 01/2017: ANÁLISE E GERENCIAMENTO DE RISCOS ACIDENTAIS PARA SUBSTÂNCIAS PERIGOSAS. Bahia, BA. 2017.

\_\_\_\_\_. Resolução nº 3.965, de 11 de agosto de 2009. NORMA TÉCNICA NT – 01/2009: GERENCIAMENTO DE RISCO NO ESTADO DA BAHIA. Bahia, BA. 2009.

BARROS, S.S. Análise de Riscos. Instituto Federal do Paraná. 2013. Curitiba-PR. [s.l: s.n.].

BEHM, M.; VELTRI, A.; KLEINSORGE, I. The Cost of Safety: Cost analysis model helps build business case for safety. *Professional Safety*. v.49. 2004.

BERNARDO, C. E. P. Análise e classificação de indicadores de gestão de riscos ocupacionais sectoriais: laboratórios académicos. p. 101, 2014.

BVS - BIBLIOTECA VIRTUAL EM SAÚDE. Dia Nacional de Luta dos Acidentados por

Fontes Radioativas. [201-?]. Disponível em: <https://bvsmms.saude.gov.br/13-9-dia-nacional-de-luta-dos-acidentados-por-fontes-radioativas/>. Acesso em: 31 out. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução Conama nº 237/1997, de 19 de dezembro de 1997 - " Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente". Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1997. Disponível em:< [http://conama.mma.gov.br/?option=com\\_sisconama&task=arquivo.download&id=237](http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=237)>. Acesso em 01 jan. 2021.

\_\_\_\_\_. Lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1998.

\_\_\_\_\_. Lei nº 9.966, de 28 de abril de 2000. Dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2000.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. (2005) Resolução nº 358, de 29 de abril de 2005. Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2005. Disponível em:< [http://conama.mma.gov.br/?option=com\\_sisconama&task=arquivo.download&id=453](http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=453) >. Acesso em 01 jan. 2021.

\_\_\_\_\_. Decreto nº 6.514, de 22 de julho de 2008. Dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2008. Disponível em:<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2008/decreto/d6514.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/decreto/d6514.htm)>. Acesso em 01 jan. 2021.

\_\_\_\_\_. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2010.

\_\_\_\_\_. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 23 – Proteção contra incêndios, 2011a.

\_\_\_\_\_. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 25 – Resíduos industriais, 2011b.

\_\_\_\_\_. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 26 – Sinalização de segurança, 2015.

\_\_\_\_\_. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 11 – Transporte, movimentação, armazenagem e manuseio de materiais, 2016.

\_\_\_\_\_. Lei nº 13.425, de 30 de março de 2017. Estabelece diretrizes gerais sobre medidas de prevenção e combate a incêndio e a desastres em estabelecimentos, edificações e áreas de reunião de público; altera as Leis nº s 8.078, de 11 de setembro de 1990, e 10.406, de 10 de janeiro de 2002 – Código Civil; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2017.

\_\_\_\_\_. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 3 – Embargo e interdição. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2019a.

\_\_\_\_\_. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 10 – Segurança em instalações e serviços em eletricidade, 2019b.

\_\_\_\_\_. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 15 – Atividades e operações insalubres, 2019c.

\_\_\_\_\_. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 16 – Atividades e operações perigosas, 2019d.

\_\_\_\_\_. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 20 – Segurança e saúde no trabalho com inflamáveis e combustíveis, 2019e.

\_\_\_\_\_. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 32 – Segurança e saúde no trabalho em serviços de saúde, 2019f.

\_\_\_\_\_. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 1 – Disposições gerais e gerenciamento de riscos ocupacionais. Brasília: 2020a.

\_\_\_\_\_. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 9 – Avaliação e controle das exposições ocupacionais a agentes físicos, químicos e biológicos, 2020b.

\_\_\_\_\_. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 12 – Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos, 2022a.

\_\_\_\_\_. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 13 – Caldeiras, vasos de pressão, tubulações e tanques metálicos de armazenamento, 2022b.

BRIAND, A. Reverse onus: An effective and efficient risk management strategy for chemical regulation. *Canadian Public Administration*, v. 53, n. 4, p. 489–508, 2010.

CARDELLA, B. Segurança no Trabalho e Prevenção de Acidentes: abordagem holística. São Paulo, Atlas, 2008.

CARNEIRO, D.A. Gerenciamento de Resíduos Químicos em Instituições de Ensino. *Revista Tecer*, [S.L.], v. 2, n. 2, p. 7-18, 31 maio 2009.

CARVALHO, D.W. Regulação constitucional e risco ambiental. *Revista Brasileira de Direito Constitucional* p. 13–31, 2008.

CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY (CCPS). Guidelines for risk based process safety. 2007. 708p.

\_\_\_\_\_. Guidelines for hazard evaluation procedures. 2008. 549p.

\_\_\_\_\_. Guidelines for Vapor Cloud Explosion, Pressure Vessel Burst, BLEVE and Flash Fire Hazards, 2nd Edition . 2010. 456p.

\_\_\_\_\_. Risked Based Process Safety Overview. American Institute of Chemical Engineers. 2014. 44p.

\_\_\_\_\_. Guidelines for initiating events and independent protection layers in layer of protection analysis. 2015. 365p.

\_\_\_\_\_. Indicadores de segurança de processos. Guia de seleção de indicadores proativos e reativos. Tradução realizada pela RSE CONSULTORIA, 2019. 71p.

\_\_\_\_\_. Process Safety for Engineers: An Introduction. 2022. 560p.

\_\_\_\_\_. CCPS Process Safety Glossary. 2023. Disponível em: < <https://www.aiche.org/ccps/resources/glossary> >. Acesso: 10 jan 2023.

COUTINHO, R. C. Análise e gerenciamento de riscos de processos industriais. Pós-Graduação Em Engenharia De Segurança - UFF, 2011.

COSTA, Pierre. O maior acidente da refinaria Duque de Caxias (RJ) – Brasil: um estudo geográfico-histórico. Revista Geográfica de América Central, [s. l], p. 1-11, 2011. Disponível em: <[http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal13/Procesosambientales/Impacto ambiental/39.pdf](http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal13/Procesosambientales/Impacto%20ambiental/39.pdf)>. Acesso em: 31 dez. 2022.

CROWL, D.A.; LOUVAR, J.F. Chemical process safety: fundamentals with application. 3.ed. Boston, MA: Pearson Education, Inc. 2011. 843p.

CSB. West Pharmaceutical Services Dust Explosion and Fire. 2004. Disponível em: < <https://www.csb.gov/west-pharmaceutical-services-dust-explosion-and-fire/> >. Acesso em: 31 jan. 2023.

\_\_\_\_\_. BP America Refinery Explosion. FINAL REPORT: Final Investigation Report. 2007. Disponível em: < <https://www.csb.gov/bp-america-refinery-explosion/> >. Acesso em: 31 jan. 2023.

DIAMOND, A. The Deadly 1991 Hamlet Fire Exposed the High Cost of “Cheap”. 2017. Disponível em: <https://www.smithsonianmag.com/history/deadly-1991-hamlet-fire-exposed-high-cost-cheap-180964816/>. Acesso em: 31 jan. 2023.

DISCOVERY CHANNEL. 3BM. Zero Hour Ltd. Cineflix Production Inc and NF Inc. 2004. Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=79dRIjtUdzk> >. Acesso em: 10 nov 22.

EDWARDS, J. A. *et al.* Decision Making for Risk Management: A Comparison of Graphical Methods for Presenting Quantitative Uncertainty. Risk Analysis, v. 32, n. 12, p. 2055–2070, 2012.

EPA. Environmental Protection Agency. Our Mission and What We Do. 2022a. Disponível em: <https://www.epa.gov/aboutepa/our-mission-and-what-we-do>. Acesso em: 15 dez. 2022.

\_\_\_\_\_. Risk Management Program (RMP) Rule Overview. 2022b. Disponível em: <<https://www.epa.gov/rmp/risk-management-program-rmp-rule-overview>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

FSAC. Fire Safety Advice Centre. Information about the Fire Triangle/Tetrahedron and Combustion. 2011. Disponível em: <<https://www.csb.gov/bp-america-refinery-explosion/>>. Acesso em: 31 jan. 2023.

FULLER, P. E. *et al.* Chemical network algorithms for the risk assessment and management of chemical threats. *Angewandte Chemie - International Edition*, v. 51, n. 32, p. 7933–7937, 2012.

GERBASE, A.E.; COELHO, F.S.; MACHADO, P.F.L.; FERREIRA, V.F. Gerenciamentos de resíduos químicos em instituições de ensino e pesquisa. *Química Nova*, [S.L.], v. 28, n. 1, p. 3-3, fev. 2005.

HAASTRUP, P. Overview of problems of risk management of accidents with dangerous chemicals in Europe. *European Journal of Operational Research*, v. 75, n. 3, p. 488–498, 1994.

HOPE, B. K. Putting the “Risk” in Chemical Risk Management. *Human and Ecological Risk Assessment*, v. 20, n. 3, p. 595–598, 2014.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Instrução normativa nº 06, de 15 de março de 2013. Brasília, 2013.

IChemE. Learning lessons from major incidents: centenary edition. Centenary edition. 2022. Disponível em: <https://www.icheme.org/media/18415/learning-lessons-from-major-incident-v10.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.

ILO. International Labour Organization. The enormous burden of poor working conditions. 2022. Disponível em: [https://www.ilo.org/moscow/areas-of-work/occupational-safety-and-health/WCMS\\_249278/lang-en/index.htm#:~:text=The%20ILO%20estimates%20that%20some,6000%20deaths%20every%20single%20day.](https://www.ilo.org/moscow/areas-of-work/occupational-safety-and-health/WCMS_249278/lang-en/index.htm#:~:text=The%20ILO%20estimates%20that%20some,6000%20deaths%20every%20single%20day.) . Acesso em: 04 nov. 2022.

INEA. Instituto Estadual do Ambiente. Enfoque no vazamento de óleo na baía de Guanabara. Diagnóstico de acidentes ambientais no estado do Rio de Janeiro, 1983 – 2016. 2018. Disponível em: <[http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2019/11/Relat%C3%B3rio-Diagn%C3%B3stico-de-vazamento-de-%C3%B3leo\\_BAIXA.pdf](http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2019/11/Relat%C3%B3rio-Diagn%C3%B3stico-de-vazamento-de-%C3%B3leo_BAIXA.pdf)>. Acesso em: 24 jan. 2023.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Portaria n.º 206, de 16 de maio de 2011. Rio de Janeiro, 2011

\_\_\_\_\_. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Portaria n.º 179, de 18 de maio de 2010. Rio de Janeiro, 2010.

IEC - International Electrotechnical Commission. IEC 61508. Part 1 to 7: Functional Safety of Electrical, Electronic and Programmable Electronic Safety-Related Systems. 2010. Disponível em: <http://www.iec.ch/functionalsafety>. Acesso em: 12 jan 2023

INTERNATIONAL FIRE PROTECTION. Risk Based Fire Protection Strategy in Crude Oil Storage Facilities. 2015. Disponível em: < <https://ifpmag.mdmpublishing.com/risk-based-fire-protection-strategy-in-crude-oil-storage-facilities/>> Acesso em: 24 jan. 2023.

JARDIM, W. F. Gerenciamento de resíduos químicos em laboratórios de ensino e pesquisa. Química Nova, Vol. 21, No. 15, pp. 671-673, 1998.

KHAKZAD, N. *et al.* Security risk assessment and management in chemical plants: Challenges and new trends. Process Safety Progress, v. 37, n. 2, p. 211–220, 2018.

KLETZ, Trevor. WHAT WENT WRONG? Case Histories of Process Plant Disasters. 4.ed. Houston, TX: Gulf Publishing Company. 1999. 440p.

KORF, E. P.; GOELLNER, C. I. Diretrizes para Elaboração de Programas de Gerenciamento de Riscos de Acidentes Ambientais e Ocupacionais (PGR) Para Aplicação em Instalações Industriais. Revista Gestão Industrial, v. 7, n. 3, p. 60–74, 2011.

LAPES - Laboratório de pesquisa em engenharia de software. stArt - State of the art through systematic review. v.3.3 Beta03. UFSCAR, 2014. Disponível em: <[http://lapes.dc.ufscar.br/tools/start\\_tool](http://lapes.dc.ufscar.br/tools/start_tool)>. Acesso em 04/07/22.

LUCIANO, E. L. *et al.* Gerenciamento de Riscos Ocupacionais: Uma Nova Proposta de Segurança do Trabalho. South American Development Society Journal, v. 6, n. 17, p. 156, 2020.

MARY, O.; RODRIGUES, R. Universidade Estadual Paulista Curso de Higiene e Segurança Normas de Armazenamento de Produtos Químicos. p. 41, 2010.

MARSH & MCLENNAN. The 100 Largest Losses 1974-2013. p.52. 2014. Disponível em: <<https://www.marsh.com/content/dam/marsh/Documents/PDF/UK-en/100%20Largest%20Losses%203rd%20Edition-03-2014.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2022

MELO, C. F. Gerenciamento de risco no setor de transporte de produto perigoso no estado de santa catarina, análise no setor de transporte de cargas perigosas. 2010.

NASCIMENTO, J. E. Programa de Gerenciamento de Segurança de Processo em Plantas Químicas e Petroquímicas com base nas normas API RP 750 e ABNT NBR 15662. p. 1–92, 2012.

NATIONAL GEOGRAPHIC. Seconds From Disaster: Explosion in the North Sea. 2013. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Kk6vBasZe-U>>. Acesso em: 27 out. 2020.

NEVES, E. B. Gerenciamento do risco ocupacional no Exército Brasileiro: aspectos normativos e práticos. Cadernos de Saúde Pública, v. 23, n. 9, p. 2127–2133, 2007.

OHL, C.; MOSER, F. Chemical leasing business models - A contribution to the effective risk management of chemical substances. Risk Analysis, v. 27, n. 4, p. 999–1007, 2007.

OLIVEIRA, S. S. O papel da avaliação de riscos no gerenciamento de produtos agrotóxicos: diretrizes para a formulação de políticas públicas. Tese (Doutorado), p. 236, 2005.

ONU. Acidentes de trabalho e mortes acidentárias voltam a crescer no Brasil em 2021. 2022. Disponível em: <<https://brasil.un.org/index.php/pt-br/178950-acidentes-de-trabalho-e-mortes-acidentarias-voltam-crescer-no-brasil-em-2021>>. Acesso em: 04 nov. 2022.

OSHA - Occupational Safety and Health Administration. Firefighting Precautions at Facilities with Combustible Dust. 2013. Disponível em: <[https://www.osha.gov/sites/default/files/publications/OSHA\\_3644.pdf](https://www.osha.gov/sites/default/files/publications/OSHA_3644.pdf)>. Acesso em: 15 nov. 2022.

\_\_\_\_\_. Law and Regulations. [202-]. Disponível em: <https://www.osha.gov/laws-regs>. Acesso em: 15 dez. 2022.

\_\_\_\_\_. Process Safety Management. 2022. Disponível em: <<https://www.osha.gov/process-safety-management/sbrefa#:~:text=As%20a%20result%2C%20OSHA%20developed,137%20listed%20highly%20hazardous%20chemicals.>>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

PAGE, M. J. *et al.* The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ Publishing Group, BMJ 2021; 372: n71, 2021.

PATÉ-CORNELL, E.; COX, L. A. Improving Risk Management: From Lame Excuses to Principled Practice. Risk Analysis, v. 34, n. 7, p. 1228–1239, 2014.

PAUMGARTTEN, F. J. R. *et al.* Risk Assessment for Chemical Substances : The Link Between Avaliação de Risco de Substâncias Químicas : O Elo entre a Toxicologia e a Saúde Pública. v. 9, n. 4, p. 439–447, 1993.

PAOLESCHI, B. Almoxarifado e gestão de estoques: do recebimento, guarda e expedição à distribuição do estoque. 2ª Edição. São Paulo: Érica, 2014.

PEARCE, David; TURNER, R. Kerry. Economics of natural resources and the environment. London: London: Harvester Wheatsheaf, 1990.

PERMAN, R., Ma, Y., MCGILVRAY, J., COMMON, M. Natural resource and environmental economics. Third edition. Pearson Education Limited. 2003.

PURDY, G. ISO 31000:2009 - Setting a new standard for risk management: Perspective. Risk Analysis, v. 30, n. 6, p. 881–886, 2010.

REGAN, P. J.; PATÉ-CORNELL, M. E. Normative engineering risk management systems. Reliability Engineering and System Safety, v. 57, n. 2, p. 159–169, 1997.

RIO GRANDE DO SUL. FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental. Manual de Análise de Riscos Industriais. FEPAM N.º01/01. 2016. Disponível em: <[http://ww3.fepam.rs.gov.br/central/formularios/arq/manual\\_risco.pdf](http://ww3.fepam.rs.gov.br/central/formularios/arq/manual_risco.pdf)>. Acesso em: 19 dez 2022.

RUPPENTHAL, J.E. Gerenciamento de riscos. Santa Maria : Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria; Rede e-Tec Brasil, 2013. 120 p.

SANTANA, R.F.; JÚNIOR, W.R.A. EL-DEIR, S.G. Resíduos sólidos: desenvolvimento e sustentabilidade. EDUFRPE e Gampe/UFRPE. 1ª edição. Recife, 2020.

SÃO PAULO. CETESB. P4.261 – Risco de Acidente de Origem Tecnológica – Método para decisão e termos de referência. 2ª ed., p.140, 2011.

\_\_\_\_\_. Análise de Risco Tecnológico: Vila Socó – Cubatão. 2023. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/analise-risco-tecnologico/grandes-acidentes/vila-soco-cubatao/>. Acesso em: 31 jan. 2023.

SCHENK, L.; WESTER, M. Covert chemicals, tangible trust: Risk management of chemicals in the workplace. *Policy and Practice in Health and Safety*, v. 12, n. 1, p. 91–106, 2014.

SCHMIDT, A. C. W. TSCA 2.0 : a new era in chemical risk management: after decades of dysfunction, the Toxic Substances Control Act has been overhauled with provisions that promise better protection against potentially harmful chemicals. *Environmental Health Perspectives*, v.124, n. 10, 2016.

SCHMIDT, A. C. W. TSCA 2.0 : a new era in chemical risk management: after decades of dysfunction, the Toxic Substances Control Act has been overhauled with provisions that promise better protection against potentially harmful chemicals. *Environmental Health Perspectives*, v.124, n. 10, 2016.

SECRETARIA DE ESTADO DE SAÚDE. Governo do Estado de Goiás. História do Césio 137 em Goiânia. 2020. Disponível em: <https://www.saude.go.gov.br/cesio137goiania/historia>. Acesso em: 20 out. 2020.

SERPA, R. R. Gerenciamento de riscos ambientais Risk management of environmental accidents. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, n. 5, p. 101–107, 2002.

SHAO, C. *et al.* Integrated environmental risk assessment and whole-process management system in chemical industry parks. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 10, n. 4, p. 1609–1630, 2013.

SILVA, E. M. *et al.* A systematic review of empirical and normative decision analysis of sustainability-related supplier risk management. *Journal of Cleaner Production*, v. 244, p. 118808, 2020.

SOARES, R. M.; PINTO, J. C.; SECCHI, A. R. An optimal control-based safety system for cost efficient risk management of chemical processes. *Computers and Chemical Engineering*, v. 91, p. 471–484, 2016.

SOUZA NASCIMENTO, E.; TENUTA FILHO, A. Chemical waste risk reduction and environmental impact generated by laboratory activities in research and teaching institutions. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, v. 46, n. 2, p. 187–198, 2010.

SOUZA, F.S.R.N. *et al.* Incorporação de modelos internacionais de gerenciamento de riscos

na normativa federal. *Revista de Administração Pública*, v. 54, n. 1, p. 59–78, 2020.

USDL. United States Department of Labor. Occupational Safety and Health Administration Process Safety Management and Risk Management Plan Regulatory Requirements. [S.I.]2018. Disponível em: < <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.119>>. Acesso em 04/11/22.

WOLFFE, T. A. M. *et al.* Systematic evidence maps as a novel tool to support evidence-based decision-making in chemicals policy and risk management. *Environment International*, v. 130, n. June, p. 104871, 2019.

SCImago, (n.d.). SJR — SCImago Journal & Country Rank [Portal]. Retrieved Date you Retrieve, from <http://www.scimagojr.com>

## APÊNDICE A

n°	ID Paper	Título	Trásem	Autores	Prioridade de Leitura	Score	Ano	Journal	Fator de Impacto (ICR) sem autocitação	H-index (Scimago Journal & Country Rank)
1	612	On the application of the window of opportunity and complex network to risk analysis of process plants operations during a pandemic	ACETTO	Sun, H. and Wang, H. and Yang, M. and Reniers, G.	HIGH	23	2020	Journal Of Loss Prevention In The Process Industries	3.2	88
2	623	Research and development of field theory-based three-dimensional risk assessment. Part I: Optimization of risk reduction	ACETTO	Yan, F. and Jin, C. and Li, Z. and Cao, R. and Xu, K.	HIGH	23	2019	Safety Science	5.6	0
3	635	Risk analysis of a fuel storage terminal using HAZOP and FTA	ACETTO	Fuentes-Bargues, J.L. and González-Cruz, M.C. and González-Gaya, C. and Bexauf-PáDorez, M.P.	LOW	16	2017	International Journal Of Environmental Research And Public Health	4.0	138
4	639	Study of dynamic risk management system for flammable and explosive dangerous chemicals storage area	ACETTO	Lu, X. and Li, J. and Li, X.	VERY_HIGH	34	2017	Journal Of Loss Prevention In The Process Industries	3.2	88
5	642	Preliminary hazard identification for qualitative risk assessment on a hybrid gasoline-hydrogen fueling station with an on-site hydrogen production system using organic chemical hydride	ACETTO	Nakayama, J. and Sakamoto, J. and Kashi, N. and Shibutani, T. and Miyake, A.	VERY_LOW	8	2016	International Journal Of Hydrogen Energy	5.2	231

n°	ID Paper	Título	Trigüem	Autores	Prioridade de Letura	Score	Ano	Journal	Fator de Impacto (JCFI) sem autocorção	H-Index (Schrago Journal & Country Rank)
6	643	Chemical tank leakage risk assessment based on set pair analysis and LabVIEW	ACETTO	Oui, Y. and Wu, B.	VERY_HIGH	44	2016	Open Fuels And Energy Science Journal	0.0	11
7	649	Regional environmental risk assessment for the Nanjing Chemical Industry Park: an analysis based on information-diffusion theory	ACETTO	Meng, X. and Zhang, Y. and Yu, X. and Bai, J. and Chai, Y. and Li, Y.	LOW	14	2014	Stochastic Environmental Research And Risk Assessment	3.4	73
8	655	A model for estimating the impact of the domino effect on accident frequencies in quantitative risk assessments of storage facilities	ACETTO	Bernetea, E.J. and Vázquez, J.A. and Arnaldos, J	LOW	19	2013	Process Safety And Environmental Protection	6.7	87
9	659	Risk assessment of a propane storage sphere: Maintain or decommission ?	ACETTO	Carpenter, A.R. and Ogle, R.A. and Ramirez, J.C.	HIGH	25	2013	Process Safety Progress	1.2	41
10	661	New risk assessment method for a reprocessing plant: Quantitative safety assessment	ACETTO	Tamauchi, Y. and Miyata, T. and Takebe, K. and Hayashi, Y. and Matsuo, S. and Hayashi, K. and Kurosu, K.	LOW	11	2013	Nuclear Technology	1.5	54
11	676	Dynamic risk assessment using failure assessment and Bayesian theory	ACETTO	Kalantaria, M. and Khan, F. and Hawboldt, K.	LOW	11	2009	Journal Of Loss Prevention In The Process Industries	3.2	88

n°	ID Paper	Título	Trigrem	Autores	Prioridade de Lettura	Score	Ano	Journal	Fator de Impacto (ICR) sem autocitação	H-index (Scimago Journal & Country Rank)
12	680	Preliminary risk assessment of ecotoxic substances accidental releases in major risk installations through fuzzy logic	ACEITTO	Darbra, R.M. and Demicheila, M. and MurĀ, S.	LOW	11	2008	Process Safety And Environmental Protection	6.7	87
13	684	Risk analysis on a fuel cell in electric vehicle using the MADS/MOSAR methodology	ACEITTO	Bultel, Y. and Aurousseau, M. and Ozil, P. and Perrin, L. Talasidis, D.G. and Manolis, G.D. and Paraskevopoulos, E. and Panagiotopoulos, C. and Pelekasis, N. and Tsanopoulos, J.A.	LOW	11	2007	Process Safety And Environmental Protection	6.7	87
14	688	Risk analysis of industrial structures under extreme transient loads	ACEITTO	Paraskevopoulos, E. and Panagiotopoulos, C. and Pelekasis, N. and Tsanopoulos, J.A.	VERY_LOW	8	2004	Soil Dynamics And Earthquake Engineering	3.6	109
15	691	Quantitative risk assessment for accidental release of titanium tetrachloride in a titanium sponge production plant	ACEITTO	Roy, P.K. and Bhatt, A. and Rajagopal, C.	LOW	17	2003	Journal Of Hazardous Materials	12510.0	307
16	695	Risk analysis of a typical chemical industry using ORA procedure	ACEITTO	Khan, F.I. and Abbasi, S.A.	HIGH	29	2001	Journal Of Loss Prevention In The Process Industries	3.2	88
17	703	Risk analysis of an epichlorohydrin manufacturing industry using the new computer automated tool MAXCRED	ACEITTO	Khan, F.I. and Abbasi, S.A.	VERY_HIGH	35	1997	Journal Of Loss Prevention In The Process Industries	3.2	88

n°	ID Paper	Título	Tráigem	Autores	Prioridade de Leitura	Score	Ano	Journal	Fator de Impacto (JCR) sem autocitação	H-Index (SciMag Journal & Country Rank)
18	706	Risk assessment and the safety of large cryogenic systems and plant in the UK and Europe	ACEITO	Cassidy, K.	LOW	14	1993	Cryogenics	1890.0	63
19	710	Uncertainties in chemical risk assessment: Results of a European benchmark exercise	ACEITO	Amendola, A. and Conti, S. and Ziomas, I.	LOW	17	1992	Journal Of Hazardous Materials	12510.0	307
20	711	Risk analysis using simulation for a chemical storage problem	ACEITO	Boykin, R.F. and Levary, R.R.	HIGH	25	1989	Journal Of Loss Prevention In The Process Industries	3.2	88
21	714	Risk assessment in a chemical storage facility	ACEITO	Boykin, R.F. and Freeman, R.A. and Levary, R.R.	HIGH	25	1984	Management Science	5.7	264
22	715	LNG risk management	ACEITO	Levary, R.R. Martino, P. Korkmaz, Kasim A. and Sari, Ali and Carhoglu, Asuman I.	VERY_LOW	8	1980	Environmental Science & Technology	10.3	425
23	860	Seismic risk assessment of storage tanks in Turkish industrial facilities	ACEITO	Kasim A. and Sari, Ali and Carhoglu, Asuman I.	VERY_HIGH	31	2011	Journal Of Loss Prevention In The Process Industries	3.2	88
24	875	Research on Safety Spacing of Chemical Storage Tanks Based on Accident Consequence and Risk Analysis	ACEITO	Li, Zhenping and Wang, Samming and Sun, Dongliang	HIGH	22	2020	E3S Web Of Conferences	0.0	28
25	1823	Fuzzy bayesian network based on an improved similarity aggregation method for risk assessment of storage tank accident	ACEITO	Guo, Xiaoxue and Ji, Jie and Khan, Faisal and Ding, Long	HIGH	28	2021	Process Safety And Environmental Protection	6.7	87

n°	ID Paper	Titulo	Trigagem	Autores	Prioridade de Leitura	Score	Ano	Journal	Fator de Impacto (JCR) sem autocitacao	H-index (Scimago Journal & Country Rank)
26	1826	A MILP approach for optimal storage vessels layout based on the quantitative risk analysis methodology	ACETTO	de Lira-Flores, Julio A. and Gutierrez-Antonio, Claudia and Vazquez-Roman, Ricardo Sanejani, Kazem and Ahmadi, Omid and Mortazavi, Seyed Begher and Mahabadi, Hasan Asilian	HIGH	25	2018	Process Safety And Environmental Protection	6.7	87
27	1827	Development of a predictive accident model for dynamic risk assessment of propane storage tanks	ACETTO	Moore, M. and Willday, A. J. and Warden, M. J.	HIGH	22	2021	Process Safety And Environmental Protection	6.7	87
28	1828	Semi-quantitative risk assessment of commercial scale supply chain of hydrogen fuel and implications for industry and society	ACETTO	Miazzo, Maria Francesca and Aven, Terje Ahmadi, Omid and Mortazavi, Seyed Begher and Mahabadi, Hasan Asilian and Hosseinpour, Mehdi	HIGH	29	2010	Process Safety And Environmental Protection	6.7	87
29	1866	An extended risk assessment approach for chemical plants applied to a study related to pipe ruptures	ACETTO	Miazzo, Maria Francesca and Aven, Terje Ahmadi, Omid and Mortazavi, Seyed Begher and Mahabadi, Hasan Asilian and Hosseinpour, Mehdi	LOW	14	2012	Reliability Engineering And System Safety	4.7	157
30	1869	Development of a dynamic quantitative risk assessment methodology using fuzzy DEMATEL-BN and leading indicators	ACETTO	Miazzo, Maria Francesca and Aven, Terje Ahmadi, Omid and Mortazavi, Seyed Begher and Mahabadi, Hasan Asilian and Hosseinpour, Mehdi	VERY_LOW	8	2020	Process Safety And Environmental Protection	6.7	87

n°	ID Paper	Título	Trilegem	Autores	Prioridade de Leitura	Score	Ano	Journal	Fator de Impacto (JCR) sem autocitação	H-Index (Schrago Journal & Country Rank)
31	1894	An international comparison of four quantitative risk assessment approaches- A benchmark study based on a fictitious LPG plant	ACETTO	Goolier, L. and Corri, N. and Lenoble, C. L.	LOW	17	2012	Process Safety And Environmental Protection	6.7	87
32	1896	A generalized equipment vulnerability model for the quantitative risk assessment of horizontal vessels involved in Natlech scenarios triggered by floods	ACETTO	Caratozzolo, Vincenzo and Misuri, Alessio and Ozzani, Valerio	LOW	14	2022	Reliability Engineering And System Safety	4.7	157
33	1897	Application of dynamic Bayesian network to risk analysis of dominoeffects in chemical infrastructures	ACETTO	Khalzad, Nima	VERY_LOW	8	2015	Reliability Engineering And System Safety	4.7	157
34	1899	Contribution of a systemic modeling approach applied to support riskanalysis of a storage unit of chemical products in Morocco	ACETTO	Boulotz, Harida and Garbino, Emmanuel and Tiouat, Mohamed Dan, Seungyu and Lee, Chang Jun and Park, Jeongpil and Shin, Dongil andYoon, En Sup Kim, H and Koh, JS and Kim, Y and Theodorous, TG	LOW	11	2010	Journal Of Loss Prevention In The Process Industries	3.2	88
35	1902	Quantitative risk analysis of fire and explosion on the top-side LNG-liquefaction process of LNG-FPSO	ACETTO	Seungyu and Lee, Chang Jun and Park, Jeongpil and Shin, Dongil andYoon, En Sup Kim, H and Koh, JS and Kim, Y and Theodorous, TG	LOW	11	2014	Process Safety And Environmental Protection	6.7	87
36	2844	Risk assessment of membrane type LNG storage tanks in Korea-based on fault tree analysis	ACETTO	Kim, H and Koh, JS and Kim, Y and Theodorous, TG	HIGH	25	2005	The Korean Journal Of Chemical Engineering	0.0	0

n°	ID Paper	Título	Trigem	Autores	Prioridade de Leitura	Score	Ano	Journal	Fator de Impacto (JCFI) sem autocitacao	H-Index (Schmago Journal & Country Rank)
37	2849	Probabilistic risk analysis of process plants under seismic loading based on Monte Carlo simulations	ACETTO	Alessandrì, S. and Caputo, A.C. and Corriere, D. and Garrihi, R. and Paolacci, F. and Pham, H.N. Fabbrocino, Giovanni and Iervolino, Iuri and Iurlo and Orlando, Francesca and Salzano, Ernesto	LOW	14	2018	Journal Of Loss Prevention In The Process Industries	3.2	88
38	2853	Quantitative risk analysis of oil storage facilities in seismic areas	ACETTO	Marras, M.R. and Pestana, M.A. and Souza, G.F.M. and Schieder, A.M. Abuswer, Meftah and Anyoke, Paul and Khan, Faissal and Intiaz, Syed	LOW	19	2005	Journal Of Hazardous Materials	12510.0	307
39	2854	Quantitative risk analysis of loading and offloading liquefied natural gas (LNG) on a floating storage and regasification unit (FSRU)	ACETTO	Marras, M.R. and Pestana, M.A. and Souza, G.F.M. and Schieder, A.M. Abuswer, Meftah and Anyoke, Paul and Khan, Faissal and Intiaz, Syed	LOW	19	2016	Journal Of Loss Prevention In The Process Industries	3.2	88
40	2855	Retrospective risk analysis and controls for Sembla grain storage hybrid mixture explosion	ACETTO	Marras, M.R. and Pestana, M.A. and Souza, G.F.M. and Schieder, A.M. Abuswer, Meftah and Anyoke, Paul and Khan, Faissal and Intiaz, Syed	LOW	16	2016	Process Safety And Environmental Protection	6.7	87
41	2860	The development of a 3D risk analysis method	ACETTO	Marras, M.R. and Pestana, M.A. and Souza, G.F.M. and Schieder, A.M. Abuswer, Meftah and Anyoke, Paul and Khan, Faissal and Intiaz, Syed	LOW	11	2008	Journal Of Hazardous Materials	12510.0	307
42	2861	Seismic risk of atmospheric storage tanks in the framework of quantitative risk analysis	ACETTO	Marras, M.R. and Pestana, M.A. and Souza, G.F.M. and Schieder, A.M. Abuswer, Meftah and Anyoke, Paul and Khan, Faissal and Intiaz, Syed	LOW	19	2003	Journal Of Loss Prevention In The Process Industries	3.2	88

n°	ID Paper	Título	Trásem	Autores	Prioridade de Leitura	Score	Ano	Journal	Fator de Impacto (ICR) (Scimago Journal & autoclápio Country Rank)	H-Index (Scimago Journal & Country Rank)
43	2862	A quantitative risk analysis for the vegetable oil industry in Mexico	ACETTO	Valencia- Barragán, Lizeth and Martínez- Gómez, Juan and Ponce- Ortega, José@ María	LOW	17	2015	Clean Technologies And Environmental Policy	4213.0	62
44	2866	Fire risk management system for safe operation of large atmospheric storage tanks	ACETTO	Orppa, C. and Florentini, L. and Rossini, V. and Stefanelli, R. and Tadaro, S. and Mardi, M.	HIGH	22	2009	Journal Of Loss Prevention In The Process Industries	3.2	88
45	2875	Risk analysis of an LPG storage facility in India	ACETTO	Khan, A.A.	LOW	16	1990	Journal Of Loss Prevention In The Process Industries	3.2	88