

GESTÃO DE RISCOS NA INDÚSTRIA QUÍMICA: PRINCÍPIOS, DESAFIOS E CAMINHOS PARA A SUSTENTABILIDADE E SEGURANÇA

FERNANDO APARECIDO DE SIMONI¹

RESUMO

A gestão de riscos na indústria química é essencial para garantir a segurança dos trabalhadores, a proteção ambiental e a sustentabilidade das operações. Este artigo apresenta uma revisão bibliográfica sobre os principais conceitos, metodologias, desafios e tendências na gestão de riscos do setor químico. A pesquisa foi conduzida em bases acadêmicas renomadas, com foco em normas internacionais, ferramentas de análise de risco e inovações tecnológicas. Os resultados evidenciam avanços na implantação de sistemas de gestão baseados na ISO 31000, bem como a importância da cultura organizacional, da capacitação contínua e da integração de princípios de justiça ambiental. Apesar dos progressos, persistem desafios, especialmente em pequenas e médias empresas, relacionados à limitação de recursos e à necessidade de atualização constante. Conclui-se que o fortalecimento da cultura de segurança, o investimento em tecnologia e a promoção da responsabilidade socioambiental são fundamentais para a evolução da gestão de riscos na indústria química.

Palavras-chave: gestão de riscos, indústria química, segurança, sustentabilidade, análise de risco.

¹ Pós-Graduando – IFSP - Instituto Federal de São Paulo - Campus Bragança Paulista.
simonifernando@hotmail.com

RISK MANAGEMENT IN THE CHEMICAL INDUSTRY: PRINCIPLES, CHALLENGES, AND PATHWAYS TO SUSTAINABILITY AND SAFETY

ABSTRACT

Risk management in the chemical industry is essential to ensure worker safety, environmental protection, and operational sustainability. This article presents a literature review on the main concepts, methodologies, challenges, and trends in risk management within the chemical sector. The research was conducted using renowned academic databases, focusing on international standards, risk analysis tools, and technological innovations. The results highlight advances in the implementation of management systems based on ISO 31000, as well as the importance of organizational culture, continuous training, and the integration of environmental justice principles. Despite the progress, challenges remain, especially for small and medium-sized enterprises, related to limited resources and the need for constant updating. It is concluded that strengthening the safety culture, investing in technology, and promoting socio-environmental responsibility are fundamental for the advancement of risk management in the chemical industry.

Keywords: *risk management, chemical industry, safety, sustainability, risk analysis.*

1. INTRODUÇÃO

A indústria química exerce papel fundamental no desenvolvimento econômico e social, fornecendo insumos essenciais para setores como saúde, agricultura, energia e tecnologia. No entanto, a complexidade dos processos produtivos e a manipulação de substâncias perigosas tornam a gestão de riscos um tema central para a sustentabilidade e segurança do setor (Crowl; Louvar, 2019).

O desastre de Bhopal, que aconteceu na Índia em 1984, é visto como um dos mais graves acidentes industriais da história. Ele foi marcado pela liberação acidental de um gás venenoso (isocianato de metila), causando milhares de mortes e deixando a população local com sequelas muito graves. Este episódio destaca as consequências devastadoras de falhas na gestão de riscos, especialmente na indústria química, enfatizando a necessidade de melhorar continuamente as práticas de segurança para evitar desastres semelhantes. (Kletz, 2009).

Lidar com riscos no setor químico significa tomar medidas organizadas para reconhecer, analisar, controlar e vigiar os perigos normais das atividades fabris (Khan; Abbasi, 1998). Esse método segue padrões globais, como a ISO 31000, que oferece instruções para colocar em prática sistemas de gestão de riscos que funcionem bem, incentivando a união entre a prevenção de ocorrências, a defesa do ambiente e o bem-estar no trabalho (ISO, 2018). Ademais, a maior cobrança por atenção social e ambiental precisa de estratégias que levem em conta não só os riscos das operações, mas também os efeitos sobre as populações frágeis e a natureza (Bullard, 2000).

É vital ter uma visão clara do progresso, dos desafios e das direções na administração de riscos dentro da indústria química, visando estabelecer locais de trabalho mais protegidos e atividades mais ecologicamente corretas. Nesse panorama, a administração de riscos abrange diversos elementos interligados, incluindo o histórico dos métodos aplicados, os regulamentos e as orientações que direcionam as atividades, os métodos empregados para detectar e examinar os riscos, além da mentalidade corporativa e dos elementos humanos. Ainda integram essa conjuntura os preceitos de equidade ambiental, compromisso social e as modernizações tecnológicas que têm transformado o setor. Esta pesquisa estrutura a avaliação desses aspectos, apresentando um panorama abrangente que auxilia a

aprimorar as práticas de administração de riscos e a consolidar uma mentalidade empresarial voltada para a prevenção e para a capacidade de recuperação (Khan; Rathnayaka; Ahmed, 2015).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A gestão de riscos na indústria química é um campo que envolve várias áreas e elementos trabalhando juntos para garantir a segurança, a sustentabilidade e a responsabilidade social.

Serão explorados seis pontos principais que ajudam a entender e aplicar de forma eficaz essa gestão no setor: (i) a evolução histórica, que mostra como grandes acidentes do passado influenciaram as práticas atuais; (ii) os princípios e orientações das normas internacionais, que servem de guia para os sistemas de gestão; (iii) as metodologias técnicas usadas para identificar e analisar riscos, fundamentais para prevenir problemas; (iv) a cultura organizacional e os fatores humanos, que afetam o comportamento e o engajamento das equipes; (v) a justiça ambiental e a responsabilidade social, que ampliam o olhar além da empresa, pensando no impacto na comunidade e no meio ambiente; e (vi) as inovações tecnológicas, que aumentam nossa capacidade de detectar, controlar e responder aos riscos de forma mais eficiente.

Esses aspectos estão profundamente ligados. Ter uma cultura organizacional sólida depende da implementação de normas e métodos adequados, assim como o progresso tecnológico deve estar alinhado com as questões sociais e ambientais. A seguir, vamos explorar cada um desses pontos com mais detalhes, destacando suas contribuições e os desafios que enfrentam na gestão de riscos na indústria química.

2.1. Evolução Histórica da Gestão de Riscos na Indústria Química

A forma como lidamos com riscos no setor químico é fruto de uma longa jornada, moldada por lições amargas aprendidas com graves acidentes. Tragédias como a explosão em Flixborough, no Reino Unido em 1974, a de Bhopal, na Índia, em

1984, e foram cruciais para o desenvolvimento de regras e práticas bem mais rigorosas (Kletz, 2009).

Tais ocorrências deixaram claro que não bastam medidas técnicas; a clareza, o diálogo sobre os perigos e o compromisso social das empresas são essenciais (Khan; Abbasi, 1998). Após esses momentos marcantes, governos e entidades globais começaram a cobrar sistemas de gestão de riscos mais eficazes, a exemplo da Diretiva Seveso na Europa, que definiu critérios para a contenção de riscos associados a produtos químicos nocivos (Oecd, 2021). Dentro das empresas, instrumentos como HAZOP e FMEA ganharam espaço na identificação de pontos vulneráveis nos procedimentos fabris (Crowl; Louvar, 2019).

Ao longo dos anos, a preocupação com os perigos evoluiu, abrangendo não só o âmbito financeiro, mas também a proteção dos empregados, das comunidades vizinhas e da natureza. Tal mudança ganhou força com a pressão da sociedade, o trabalho dos órgãos de fiscalização e a internalização de referências mundiais, a exemplo da ISO 31000 (Iso, 2018). Atualmente, o gerenciamento de perigos é tido como um método ativo e que envolve diversas áreas, crucial para a continuidade do segmento (Khan; Rathnayaka; Ahmed, 2015). A seguir, será apresentado uma linha do tempo que resume os eventos mais marcantes na trajetória da gestão de riscos no setor químico.

Figura 1- Linha do tempo.

Ano/Período	Evento / Desenvolvimento
Antes de 1974	Práticas de segurança pouco formalizadas, período pré-acidentes de grande escala.
1974	Explosão de Flixborough (Reino Unido): acelerou o desenvolvimento de regras e práticas de segurança mais rigorosas.
1984	Desastre de Bhopal (Índia): reforçou a necessidade de aprimoramento contínuo da gestão de riscos devido a falhas devastadoras.
Décadas de 1970 e 1980	Pós-grandes acidentes: surgimento das primeiras regulamentações e metodologias exigindo sistemas de gestão eficazes.
Anos 1980 a 1990	Diretiva Seveso (Europa); adoção de ferramentas como HAZOP, FMEA e Análise Quantitativa de Riscos (AQR).
Anos 1990 a 2000	Ampliação do foco da gestão de riscos para proteção a empregados, comunidades e meio ambiente, impulsionada por pressão social e órgãos reguladores.
Anos 2000 a 2010	Internalização da ISO 31000 (versão original em 2009, atualizada em 2018) e IEC 61511; reconhecimento da cultura organizacional, liderança e fatores humanos essenciais para o sucesso.
Anos 2010 a 2020	Destaque para justiça ambiental, responsabilidade social, equidade e participação social; avanços tecnológicos com sensores inteligentes, automação, IA, machine learning e softwares de simulação.
2020 em diante	Integração crescente entre tecnologia, cultura e responsabilidade social; gestão de riscos proativa, inclusiva, sustentável, transparente e alinhada ao desenvolvimento sustentável.

Fonte: (Autor 2025)

2.2 Princípios e Diretrizes das Normas Internacionais

O controle de perigos na área da química se apoia bastante em normas do mundo todo, com a ISO 31000:2018 sendo uma das mais importantes referências. Essa norma define regras e orientações para a implantação de sistemas de controle de perigos, que servem para qualquer empresa, não importando seu tamanho ou área (Iso, 2018). Entre as regras ressaltadas estão a união do controle de perigos à direção da empresa, o engajamento dos líderes e o alinhamento com a forma de agir da empresa.

No setor químico, além da ISO 31000, existem outras referências importantes, como a IEC 61511, que foca na segurança de sistemas instrumentados, e a Diretiva Seveso, da União Europeia, que estabelece regras para evitar grandes acidentes industriais com materiais perigosos (Oecd, 2021).

Essas normas incentivam as empresas a usar métodos organizados para detectar, analisar e lidar com perigos, buscando sempre melhorar os processos e manter uma comunicação aberta com todos os envolvidos. Seguir essas normas ajuda a uniformizar os procedimentos, simplificar as inspeções e garantir que as empresas sigam as melhores práticas globais.

Porém, para que elas realmente funcionem, é essencial que a liderança esteja engajada e que as exigências das normas façam parte do dia a dia da empresa, criando um ambiente de cuidado e dever (Iso, 2018).

2.3 Metodologias de Identificação e Análise de Riscos

Na indústria química, a identificação e análise de perigos potenciais são fundamentais para uma gestão de riscos eficaz. Para esse fim, métodos como HAZOP (Estudo de Perigos e Operabilidade) e FMEA (Análise de Modos de Falha e Efeitos) são amplamente utilizados, pois são reconhecidos por sua capacidade de antecipar problemas e propor medidas para preveni-los (Crowl; Louvar, 2019). No HAZOP, equipes de diferentes áreas analisam cada etapa do processo em busca de desvios e possíveis consequências.

Por outro lado, o FMEA analisa como equipamentos ou processos podem falhar, classificando essas falhas de acordo com a gravidade, frequência e facilidade de detecção. Além disso, há a Análise Quantitativa de Riscos (AQR), que emprega números e modelos matemáticos para estimar a probabilidade e a magnitude de possíveis acidentes (Khan; Rathnayaka; Ahmed, 2015).

Essa análise é bastante valiosa para determinar onde investir em segurança e quais ações priorizar. Embora sejam eficazes, a implementação dessas ferramentas requer expertise técnica e capacitação contínua das equipes envolvidas. Além disso, a combinação de diversas metodologias aumenta a detecção de riscos e reforça a cultura de prevenção nas empresas (Kletz, 2009).

2.4 Cultura Organizacional e Fatores Humanos

A cultura organizacional é reconhecida como um dos pilares para o sucesso da gestão de riscos na indústria química. Empresas que promovem um ambiente de confiança, transparência e aprendizado contínuo tendem a apresentar menores índices de acidentes e maior resiliência diante de situações críticas (Hudson, 2007). O comprometimento da liderança é fundamental para que políticas e procedimentos de segurança sejam efetivamente implementados e respeitados por todos os colaboradores.

Além disso, a participação ativa dos trabalhadores, por meio de treinamentos regulares, diálogos abertos e incentivo ao relato de quase-acidentes, contribui para a identificação precoce de falhas e aprimoramento das práticas preventivas (Reason, 1997). A literatura destaca que organizações que valorizam o fator humano e investem em capacitação conseguem criar uma cultura de segurança robusta, onde o erro é visto como oportunidade de aprendizado e não como motivo de punição.

Outro aspecto relevante é a comunicação interna eficiente, que garante que informações sobre riscos, procedimentos e mudanças operacionais cheguem de forma clara a todos os níveis da empresa. Dessa forma, a integração entre fatores humanos e cultura organizacional fortalece a gestão de riscos e promove um ambiente de trabalho mais seguro e saudável.

2.5 Justiça Ambiental e Responsabilidade Social

A justiça ambiental e a responsabilidade social têm ganhado importância crescente na gestão de riscos da indústria química, principalmente devido ao histórico de acidentes que afetaram desproporcionalmente as comunidades vulneráveis. A presença de indústrias químicas próximas a áreas residenciais de baixa renda é amplamente documentada e vinculada a problemas de injustiça ambiental, pois essas comunidades, frequentemente marginalizadas econômica e socialmente, enfrentam sérios problemas de saúde e qualidade de vida por exposição a poluentes químicos e perigos industriais (Bullard, 2000).

Essa localização favorecida para indústrias resulta do menor custo do solo e da limitada capacidade política dessas comunidades para se opor a processos prejudiciais de zoneamento industrial (Mohai; Pasternak, 2017). Pesquisas mostram que a proximidade entre indústrias e populações vulneráveis ocorre em vários contextos, agravando desigualdades socioambientais e exigindo políticas públicas específicas para sua proteção (Diplomata Comercial, 2025).

Assim, integrar princípios de justiça ambiental e responsabilidade social na gestão de riscos é fundamental para garantir a distribuição equitativa dos impactos ambientais, promovendo diálogo transparente com as comunidades, práticas alinhadas à justiça social e ambiental, e políticas de prevenção e resposta que considerem os diferentes grupos sociais. Empresas que adotam diálogo comunitário, transparência e planos de emergência demonstram maior responsabilidade social e fortalecem a confiança mútua (Oecd, 2021).

Ademais, políticas públicas e regulamentações internacionais, como a Lei n.º 9.605/1998 do Brasil e a Diretiva Seveso III (2012/18/EU) da União Europeia, têm exigido que a indústria química crie estratégias inclusivas para a prevenção e resposta a acidentes, levando em conta os efeitos distintos que podem afetar diferentes grupos sociais. A união entre justiça ambiental e gestão de riscos reforça a credibilidade das instituições e promove o desenvolvimento sustentável, diminuindo as desigualdades e garantindo os direitos das comunidades mais vulneráveis (Brasil, 1998; European Parliament, 2012).

2.6 Inovações Tecnológicas na Gestão de Riscos

O avanço tecnológico tem transformado a gestão de riscos na indústria química, trazendo ferramentas inovadoras para prevenção, monitoramento e resposta a incidentes. Sensores inteligentes monitoram em tempo real variáveis críticas dos processos industriais, permitindo detecção precoce de desvios e decisões rápidas (Oecd, 2021). A integração de automação, controle e inteligência artificial amplia a análise de dados operacionais, identifica padrões, prevê riscos e otimiza a manutenção preditiva (Khan; Rathnayaka; Ahmed, 2015). Softwares de modelagem e simulação auxiliam no planejamento de respostas e treinamento de equipes.

Plataformas digitais como SAP EHS, OSIsoft PI System e DNV Synergi Life facilitam o registro de incidentes, monitoramento contínuo, integração de sensores e geração de relatórios, apoiando decisões e conformidade regulatória (SYNERGI LIFE, 2018). Ferramentas colaborativas como Microsoft Teams e Slack promovem comunicação ágil entre equipes de segurança, acelerando o compartilhamento de informações e a resposta a situações críticas (Ey, 2022).

Apesar dos benefícios, desafios como custos, capacitação e integração de sistemas persistem. Empresas que investem em inovação tecnológica apresentam melhores indicadores de segurança, eficiência operacional e adaptação regulatória. Ressalta-se que a tecnologia complementa, mas não substitui, as práticas tradicionais e a cultura organizacional de segurança (Oecd, 2021; Khan; Rathnayaka; Ahmed, 2015).

3. METODOLOGIA

Este artigo foi desenvolvido por meio de uma pesquisa bibliográfica, caracterizada pela análise e síntese de estudos publicados em livros, artigos científicos, normas técnicas e relatórios institucionais sobre gestão de riscos na indústria química. A pesquisa bibliográfica é reconhecida como um método eficaz para mapear o estado da arte de determinado tema, identificar lacunas no conhecimento e fundamentar discussões teóricas e práticas (Gil, 2017).

A busca por referências foi realizada nas bases de dados Scopus, ScienceDirect e Web of Science, utilizando os descritores “gestão de riscos”, “indústria química”, “risk management” e “chemical industry”.

Foram considerados artigos publicados entre 2010 e 2024, em português e inglês, que abordassem metodologias, ferramentas, normas e práticas de gestão de riscos aplicadas ao setor químico.

Além disso, foram consultados documentos oficiais de órgãos reguladores, como a Agência Europeia de Produtos Químicos (ECHA), a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD) e normas internacionais, como a ISO 31000:2018.

A análise dos dados foi realizada de forma qualitativa, buscando identificar padrões, tendências e desafios recorrentes na literatura sobre gestão de riscos na indústria química. Os principais tópicos extraídos dos estudos foram organizados em categorias temáticas para subsidiar a discussão e as recomendações apresentadas neste artigo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

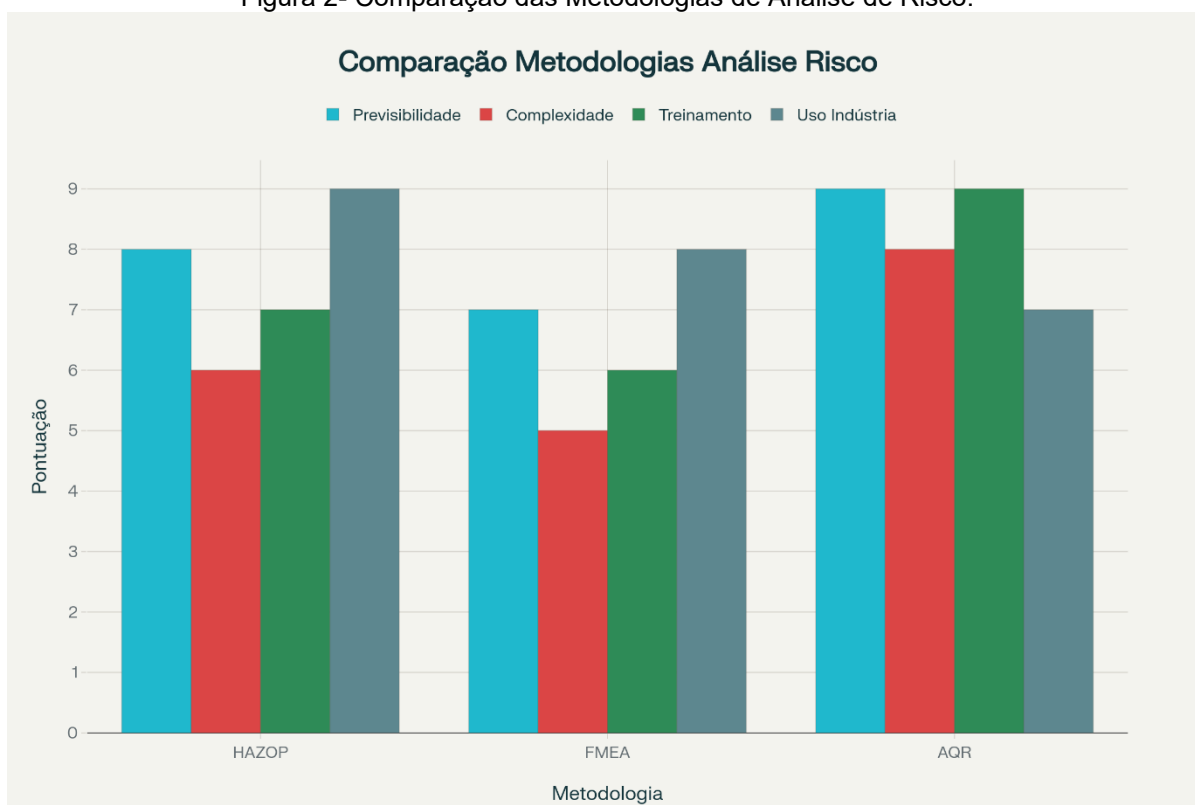
4.1. Avanços e Impactos das Normas e Metodologias

A implementação de sistemas de gestão de riscos fundamentados em padrões internacionais, como a ISO 31000, tem impulsionado progressos consideráveis na indústria química (ISO, 2018). As empresas que adotam essas diretrizes afirmam ter uma maior habilidade para identificar situações de risco, otimizar recursos e responder a emergências. Instrumentos como AQR, HAZOP e FMEA passaram a integrar o cotidiano operacional, diminuindo ocorrências e reforçando a cultura de segurança (Crowl; Louvar, 2019).

A padronização de processos simplifica as auditorias e a conformidade com as regulamentações globais, porém a eficácia desses sistemas depende do engajamento da liderança e da incorporação dos requisitos normativos à cultura da empresa. Para criar ambientes industriais mais seguros e resilientes, é fundamental que os funcionários participem de treinamentos e que haja uma comunicação clara. A Figura

2 mostra uma comparação entre as metodologias de análise de risco HAZOP, FMEA e AQR, destacando aspectos como a capacidade de prever problemas, complexidade de implementação, necessidade de capacitação e aplicação na indústria química.

Figura 2- Comparação das Metodologias de Análise de Risco.



Fonte: (Autor 2025)

4.2 Desafios Persistentes e Barreiras Organizacionais

Apesar dos avanços, a gestão de riscos na indústria química enfrenta desafios, especialmente em pequenas e médias empresas, devido a barreiras financeiras, falta de acesso a tecnologias avançadas e carência de profissionais qualificados (Kletz, 2009). A resistência cultural à mudança pode limitar a adoção de práticas preventivas e o reporte de quase-acidentes (Hudson, 2007).

A necessidade de atualização constante dos procedimentos e de integração entre áreas da empresa é destacada na literatura, assim como a comunicação de riscos com comunidades vizinhas e a inclusão de princípios de justiça ambiental, ainda

frágeis no setor (Bullard, 2000). Superar esses obstáculos exige investimentos em capacitação, inovação e políticas públicas de incentivo à segurança.

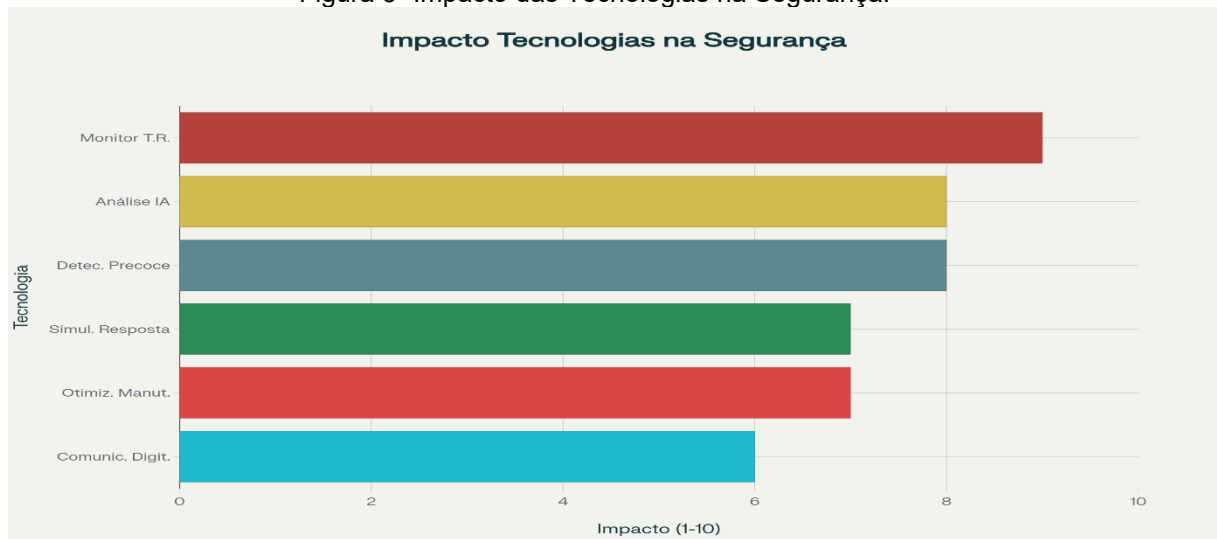
4.3 Inovações Tecnológicas e Tendências Futuras

A gestão de riscos tem sido transformada pelo progresso das tecnologias digitais, com o uso de sensores inteligentes, sistemas de monitoramento em tempo real e inteligência artificial possibilitando a identificação antecipada de desvios e tomadas de decisão ágeis (Oecd, 2021). Programas de modelagem e simulação ajudam na análise de possíveis cenários de acidentes, ao passo que plataformas digitais tornam mais fácil a comunicação interna e a coordenação de medidas preventivas. Exemplos como SAP EHS, OSIsoft PI System e DNV Synergi Life oferecem integração de sensores, geração de relatórios, apoio à tomada de decisões e conformidade com regulamentações (Synergi Life, 2018).

Recursos colaborativos como Microsoft Teams e Slack facilitam uma comunicação eficiente entre as equipes de segurança (Ey, 2022). As empresas que apostam em inovação tecnológica exibem índices superiores de segurança e eficiência operacional (Khan; Rathnayaka; Ahmed, 2015).

A tendência é que a tecnologia, a cultura organizacional e a responsabilidade social se integrem cada vez mais, tornando a gestão de riscos mais proativa, inclusiva e em sintonia com as necessidades de sustentabilidade e transparência. A Figura 3 ilustra o efeito relativo de tecnologias como monitoramento em tempo real, identificação antecipada de desvios, análise preditiva, otimização da manutenção, simulação, planejamento de respostas e comunicação digital.

Figura 3- Impacto das Tecnologias na Segurança.



Fonte: (Autor 2025)

4.4 Cultura Organizacional, Justiça Ambiental e Perspectivas

A cultura da empresa e o envolvimento da liderança são essenciais para superar desafios, influenciando diretamente o comportamento dos colaboradores e promovendo práticas de prevenção (Hudson, 2007; Reason, 1997). Para estabelecer uma cultura de segurança robusta, é fundamental investir em treinamento, fomentar uma comunicação transparente e assegurar o envolvimento ativo dos colaboradores. A gestão de riscos deve ser vista como um processo dinâmico que envolve aspectos técnicos, organizacionais e humanos, com ênfase na resiliência operacional e na melhoria contínua.

A valorização da justiça ambiental e da responsabilidade social expande o escopo da gestão de riscos, incorporando princípios de equidade e inclusão social, fundamentais para fortalecer a credibilidade das instituições e assegurar a continuidade das operações (Oecd, 2021; Bullard, 2000). O futuro da indústria química depende da integração dos avanços tecnológicos com uma cultura corporativa que priorize os aspectos socioambientais (Khan; Rathnayaka; Ahmed, 2015). Isso permitirá uma gestão de riscos que seja proativa, inclusiva e em conformidade com os princípios de sustentabilidade e transparência.

5. CONCLUSÃO

A gestão de riscos na indústria química é uma área dinâmica e de várias disciplinas, que requer a combinação de elementos técnicos, humanos e organizacionais. O artigo demonstrou como os grandes desastres industriais do passado influenciaram o desenvolvimento de práticas e normas rigorosas, como a ISO 31000, que atualmente orientam as operações do setor. O levantamento bibliográfico destacou as metodologias mais eficazes para identificação e análise de riscos, como HAZOP, FMEA e AQR, além de ressaltar a relevância da liderança e do envolvimento dos funcionários para fortalecer uma cultura organizacional focada na prevenção.

A ampliação da perspectiva em relação à justiça ambiental e responsabilidade social destaca que a gestão de riscos vai além das fronteiras da empresa, demandando um diálogo transparente e estratégias inclusivas para proteger as comunidades mais vulneráveis. O progresso das inovações tecnológicas como sensores em tempo real, inteligência artificial e plataformas digitais torna o processo mais eficaz e proativo, porém não elimina a necessidade de investir em capacitação, motivação e comunicação clara entre todos os participantes.

Com essa análise, o artigo ajuda a compreender os desafios e as tendências atuais, oferecendo direções para a melhoria contínua das práticas de gestão de riscos na indústria química. O principal legado deste estudo é destacar que o futuro do setor depende de uma gestão que una rigor técnico, cultura de segurança e responsabilidade social, com o objetivo de garantir operações resilientes e desenvolvimento sustentável.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se que pesquisadores e profissionais compartilhem estudos de caso sobre a implementação de sistemas de gestão de riscos em empresas químicas de pequeno e médio porte. Investigações desse tipo permitiriam avaliar, na prática, como as barreiras identificadas podem ser superadas, oferecendo insights valiosos para o aperfeiçoamento das políticas e estratégias do setor.

REFERÊNCIAS

BULLARD, Robert D. **Dumping in Dixie: Race, Class, and Environmental Quality**. Boulder: Westview Press, 2000.

BRASIL. **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. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm. Acesso em: 09 out. 2025.

CROWL, Daniel A.; LOUVAR, Joseph F. **Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications**. 4. ed. Boston: Pearson, 2019.

DIPLOMATA COMERCIAL. **O que é impactos sociais da indústria química e suas consequências**. 2025. Disponível em: <https://diplomatacomercial.com/glossario/o-que-e-impactos-sociais-da-industria-quimica-e-suas-consequencias/>. Acesso em: 09 out. 2025.

EUROPEAN PARLIAMENT; **COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION**. Directive 2012/18/EU of 4 July 2012 on the control of major-accident hazards involving dangerous substances, amending and subsequently repealing Council Directive 96/82/EC. Official Journal of the European Union, L197/1, 24.07.2012. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0018>. Acesso em: 09 out. 2025.

EY. **Digitalização está transformando a indústria química**. 2022. Disponível em: https://www.ey.com/pt_br/insights/advanced-manufacturing/why-the-chemical-industry-is-prioritizing-digitalization. Acesso em: 09 out. 2025.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

HUDSON, Patrick. Implementing a safety culture in a major multi-national. **Safety Science**, v. 45, n. 6, p. 697-722, 2007.

ISO. ISO 31000:2018 – **Gestão de riscos – Diretrizes**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018. Disponível em: <https://dinteg.cgcin.saude.gov.br/attachments/download/23201820-20Diretrizes20-20GestC3A3o20de20RiscosABNT20NBR20ISO2031000.pdf>. Acesso em: 25 maio 2025.

KHAN, Faisal I.; RATHNAYAKA, S.; AHMED, S. Methods and models in process safety and risk management: Past, present and future. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 98, p. 116-147, 2015.

KLETZ, Trevor A. **What Went Wrong? Case Histories of Process Plant Disasters and How They Could Have Been Avoided**. 6. ed. Oxford: Elsevier, 2009.

MOHAI, Lama; PASTERNAK, Alejandra. Examining the Environmental Justice Movement in the United States. In: **Environmental Justice**. Nova York: Oxford University Press, 2017.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT – OECD. **Guidance on Chemical Accident Prevention, Preparedness and Response**. Paris: OECD Publishing, 2021. Disponível em: <https://www.oecd.org/chemicalsafety/chemical-accidents/guidance-on-chemical-accident-prevention-preparedness-and-response.htm>. Acesso em: 09 out. 2025.

REASON, James. **Managing the Risks of Organizational Accidents**. Aldershot: Ashgate, 1997.

SYNERGI LIFE. Synergi Life: **HSE and Quality, Risk Management and ESG Software**. DNV, 2018. Disponível em: <https://www.dnv.com/software/services/synergi-life/>. Acesso em: 09 out. 2025.