

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

**APLICAÇÃO DE MÉTODOS DE GESTÃO NA IMPLEMENTAÇÃO
DE MOCs NA INDÚSTRIA QUÍMICA COMO FORMA DE EVITAR
DESASTRES**

Brenda Ferreira Santana

Trabalho de Graduação apresentado ao
Departamento de Engenharia Química da
Universidade Federal de São Carlos

Orientador: Prof^ª. Alice Medeiros de Lima

São Carlos – SP

2024

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Professora Dra. Alice Medeiros de Lima, DEQ/UFSCar

Convidada: Professora Dra. Adriana Paula Ferreira Palhares, DEQ/UFSCar

Professor da Disciplina: Professor Dr. José Mansur Assaf, DEQ/UFSCar

Trabalho de Graduação apresentado no dia 10 de setembro de 2024, perante a seguinte banca examinadora.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

Primeiramente, agradeço à Professora Dra. Alice Medeiros, pela orientação, paciência e conhecimento compartilhado ao longo do desenvolvimento deste trabalho. Sua dedicação e apoio foram fundamentais para a conclusão desta pesquisa.

Agradeço à Universidade Federal de São Carlos, pela oportunidade e suporte oferecidos durante o curso de Engenharia Química.

Aos meus colegas de classe, pela parceria e troca de conhecimentos que enriqueceram este trabalho, meu muito obrigada. Cada discussão e colaboração foram essenciais para o amadurecimento das ideias aqui apresentadas.

À minha família, pelo amor incondicional e por sempre acreditarem em mim, mesmo nos momentos mais difíceis. Sua compreensão e encorajamento foram vitais para que eu pudesse me dedicar inteiramente a este projeto.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, o meu muito obrigada.

RESUMO

A gestão da mudança, originada entre os séculos XIX e XX, envolve duas abordagens principais: a melhoria de processos e estruturas, inspirada por Taylor (1911), e a adaptação humana, desenvolvida por Bridges (2004). Essas abordagens buscam aplicar processos estruturados para preparar, apoiar e ajudar indivíduos, equipes e organizações a efetuar mudanças bem-sucedidas e sustentáveis. Em outras palavras, esse conceito envolve um conjunto de ferramentas que são aplicadas para gerenciar os aspectos humanos e técnicos da transição de uma situação atual para uma situação desejada, seja em um contexto organizacional, tecnológico ou em processos de trabalho. No contexto da segurança baseada em riscos (RBPS), a gestão da mudança é um elemento do pilar de Gestão de Riscos e garante que qualquer alteração em processos, equipamentos, tecnologias ou estruturas organizacionais seja cuidadosamente avaliada e implementada de forma segura. A partir disso, o presente trabalho tem por objetivo elucidar como empregar métodos de gestão comumente utilizados em áreas corporativas, como PDCA, SWOT e Método Falconi, na indústria química, visando evitar desastres causados pela ausência de uma gestão da mudança estruturada. Utilizou-se uma abordagem de estudo de caso, com uma análise aprofundada do acidente ocorrido em 1984 na planta de pesticida Union Carbide India Limited em Bhopal, na Índia. O acidente de Bhopal trouxe impactos significativos nos âmbitos social, econômico e ambiental, além de mudar a forma como a segurança de processos é tratada globalmente. A integração de metodologias de gestão com práticas de segurança de processos fortalece a capacidade de uma organização em antecipar e responder a possíveis ameaças, proporcionando um ambiente mais seguro para os trabalhadores e reduzindo o impacto ambiental. Os resultados indicam que o uso de métodos de gestão na planta permitiriam a identificação e o tratamento rápido das alterações ocorridas no processo no dia do acidente, impedindo que uma catástrofe do nível apresentado ocorresse. Conclui-se que a incorporação de métodos consolidados de gestão é benéfica, desde que haja a devida adaptação ao seu contexto de uso e a ampla disseminação do conhecimento entre os funcionários e lideranças da indústria.

ABSTRACT

Change management, which originated between the 19th and 20th centuries, involves two main approaches: process and structural improvement, inspired by Taylor (1911), and human adaptation, developed by Bridges (2004). These approaches aim to apply structured processes to prepare, support, and help individuals, teams, and organizations effect successful and sustainable changes. In other words, this concept involves a set of tools that are applied to manage the human and technical aspects of the transition from a current situation to a desired one, whether in an organizational, technological, or work process context. In the context of Risk-Based Process Safety (RBPS), change management is an element of the Risk Management pillar and ensures that any changes in processes, equipment, technologies, or organizational structures are carefully evaluated and implemented safely. Based on this, the present work aims to elucidate how to employ commonly used management methods in corporate areas, such as PDCA, SWOT, and the Falconi Method, in the chemical industry, with the goal of preventing disasters caused by the absence of a structured change management system. A case study approach was used, with an in-depth analysis of the accident that occurred in 1984 at the Union Carbide India Limited pesticide plant in Bhopal, India. The Bhopal accident had significant social, economic, and environmental impacts, in addition to changing the way process safety is addressed globally. The integration of management methodologies with process safety practices strengthens an organization's ability to anticipate and respond to potential threats, providing a safer environment for workers and reducing environmental impact. The results indicate that the use of management methods at the plant would have allowed for the quick identification and handling of changes in the process on the day of the accident, preventing a catastrophe of the magnitude that occurred. It is concluded that the incorporation of established management methods is beneficial, provided that they are properly adapted to their context of use and that knowledge is widely disseminated among the industry's employees and leaders.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1. Gestão da Mudança.....	11
2.2. Metodologias de Gestão.....	15
2.2.1. PDCA.....	15
2.2.2. SWOT.....	19
2.2.3. Método Falconi.....	20
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
3.1. Resumo do acidente.....	23
3.2. Descritivo técnico do acidente.....	23
3.3. Aplicação da Gestão da Mudança ao acidente.....	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
4.1. Impactos do acidente.....	32
4.2. Aplicação das metodologias de gestão ao elemento MOC.....	33
4.3. Aplicação das metodologias de gestão e do fluxo de MOC às falhas de Bhopal.....	35
4.3.1. Falha 1: Sistema de resfriamento.....	35
4.3.2. Falha 2: Lavador de gás.....	38
4.3.3. Falha 3: Torre de Combustão.....	39
4.3.4. Falha 4: Mangueiras.....	40
4.4. Análise de incertezas.....	42
4.5. Alternativas para evitar o acidente de Bhopal por outros autores.....	43
5. CONCLUSÕES.....	45
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	46
7. REFERÊNCIAS.....	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pilares do RBPS

Figura 2 - Conceito de controle de Taylor e os três processos de produção em massa

Figura 3 - Ciclo de Shewhart de 1939

Figura 4 - Ciclo de Shewhart para desenvolvimento de produto

Figura 5 - Ciclo de Shewhart para processos repetitivos de melhoria

Figura 6 - Ciclo PDCA como desenvolvido no Japão

Figura 7 - Ciclo CAPD para correção e ação corretiva

Figura 8 - Matriz SWOT

Figura 9 - Mapa estratégico do GPD em um *software* de gestão estratégica do grupo Falconi

Figura 10 - Planta de pesticida Union Carbide India Limited em Bhopal

Figura 11 - Sistema de Armazenamento de MIC

Figura 12 - Sistema de Tratamento de Gases com Lavador de Gás e Torre de Combustão.

Figura 13.a - Exemplo de fluxograma de trabalho de um procedimento MOC

Figura 13.b - Continuação do exemplo de fluxograma de trabalho de um procedimento MOC

Figura 14 - Infográfico com correlação entre Métodos de Gestão e MOC

Figura 15 - Detalhamento dos eventos iniciadores do acidente de Bhopal

Figura 16 - Aplicação de fluxograma de trabalho do procedimento MOC do sistema de resfriamento

Figura 17.a - Aplicação do CPDA à falha do lavador de gás

Figura 17.b - Continuação da aplicação do CPDA à falha do lavador de gás

Figura 18. Exemplo de SWOT da Produção

NOMENCLATURA

CAPD Check-Action-Plan-Do (Verificar-Agir-Planejar-Executar)

CCPS Center for Chemical Process Safety (Centro para Segurança de Processos Químicos)

EBTDA Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization (Lucro Antes dos Juros, Impostos, Depreciação e Amortização)

FOFA Forças-Oportunidades-Fraquezas-Ameaças

GPD Gerenciamento pelas Diretrizes

MIC Isocianato de Metila

MOC Management of Change (Gerenciamento da Mudança)

PDCA Plan-Do-Check-Act (Planejar-Executar-Verificar-Agir)

PDSA Plan-Do-Study-Action (Planejar-Executar-Estudar-Agir)

PDCL Plan-Do-Check-Learn (Planejar-Executar-Verificar-Aprender)

PSM Process Safety Management (Gerenciamento de Segurança de Processos)

RBPS Risk-Based Process Safety (Segurança de Processo baseada em Risco)

SWOT Strengths-Weaknesses-Opportunities-Threats (Forças-Fraquezas-Oportunidades-Ameaças)

SOFT Satisfatório-Oportunidade-Falha-Ameaça

1. INTRODUÇÃO

A indústria química, com sua complexidade intrínseca e operações de alto risco, exige práticas rigorosas de gerenciamento para garantir a segurança dos processos e a proteção tanto dos trabalhadores quanto do meio ambiente. Ao longo das últimas décadas, tornou-se evidente que mudanças descontroladas ou mal gerenciadas podem levar a consequências catastróficas, como demonstrado em diversos incidentes industriais ao redor do mundo. Além disso, desde a Revolução Industrial, ficou evidente que a capacidade de adaptação a novos métodos e processos apresenta-se como competência vital para a sustentabilidade e o crescimento das empresas. Nesse contexto, a gestão da mudança emerge como um elemento fundamental no arcabouço do gerenciamento de riscos, especialmente em sistemas de segurança baseados em riscos (RBPS) (Less, 2012).

A gestão da mudança, que evoluiu como uma disciplina essencial entre os séculos XIX e XX, busca não apenas melhorar processos e estruturas, mas também assegurar que as mudanças sejam implementadas de forma a minimizar riscos e maximizar a eficiência e segurança organizacional. No setor químico, onde as margens para erro são mínimas, a aplicação de metodologias de gestão estruturadas é essencial para prevenir acidentes. Métodos como PDCA (Plan-Do-Check-Act), SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) e o Método Falconi, amplamente utilizados no ambiente corporativo, são especialmente adequados para o setor químico devido a sua capacidade de identificar rapidamente riscos, estruturar processos de revisão e implementar ações corretivas de forma contínua (AEVO, 2023).

Estes métodos oferecem uma abordagem sistemática e iterativa para a gestão da mudança, permitindo que as organizações respondam proativamente a alterações em processos, tecnologias ou estruturas organizacionais. Ao integrar essas metodologias com as práticas de gerenciamento de riscos, as indústrias químicas podem não apenas melhorar sua eficiência operacional, mas também fortalecer suas defesas contra potenciais desastres (AEVO, 2023).

Este trabalho tem como objetivo analisar a aplicação de metodologias de gestão da mudança na indústria química para prevenir desastres. Especificamente, busca-se: (i) revisar as principais metodologias de gestão da mudança (CCPS, 2007), (ii) avaliar a aplicabilidade dessas metodologias na indústria química, e (iii) propor um modelo adaptado para a gestão da mudança.

Utilizou-se uma abordagem de estudo de caso, analisando o acidente ocorrido na planta de pesticidas da Union Carbide em Bhopal, Índia, em 1984. Este acidente é um exemplo emblemático das consequências trágicas que podem resultar da falta de uma gestão de mudanças estruturada. O vazamento de isocianato de metila (MIC) naquela ocasião causou milhares de mortes e deixou um legado de doenças e contaminação ambiental que persiste até hoje.

O trabalho está estruturado em cinco capítulos. O primeiro capítulo revisa a literatura sobre gestão da mudança. O segundo capítulo descreve a metodologia de estudo de caso. O terceiro capítulo apresenta a análise do caso de Bhopal. O quarto capítulo discute os resultados e, finalmente, o quinto capítulo traz as conclusões e recomendações.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Gestão da Mudança

O conceito “gestão da mudança” surgiu entre os séculos XIX e XX em duas diferentes abordagens: 1) melhoria de processos, sistemas, estruturas e negócios a partir de Taylor (1911) e 2) adaptação humana a partir de Bridges (2004). Ambas as linhas de pensamento buscam aplicar um processo estruturado e um conjunto de ferramentas para gerir mudanças de modo a alcançar os objetivos traçados no meio corporativo ou pessoal (PROSCI, 2018). Vale destacar que abordagens mais recentes, como a Engenharia da Resiliência, unem o campo da engenharia e da psicologia para permitir estruturar um plano de gestão de mudanças que seja mais coeso e abrangente, aplicando modelos de resiliência para identificar vulnerabilidades e implementar estratégias de resposta rápida (HOLLNAGEL, 2006).

Ao longo dos anos, com a criação do gerenciamento de processos baseado em riscos, a gestão da mudança surgiu como elemento fundamental deste sistema. O RBPS (Risk-Based Process Safety) é um sistema hierarquizado composto por quatro pilares: 1) Comprometimento com Segurança de Processo; 2) Entendimento de Perigos e Riscos; 3) Gestão de Riscos e 4) Aprendizado com a Experiência. Cada um destes pilares contém uma série de elementos, sendo a Gestão da Mudança (MOC) um elemento do pilar Gestão de Riscos, conforme indicado na Figura 1.

As práticas de RBPS já são utilizadas em empresas globais e a profundidade do seu uso depende da maturidade da organização. Um dos objetivos para adotar tais práticas pode ser gerenciar os riscos em fábricas que envolvem manuseio de substâncias altamente perigosas e processos complexos. Neste contexto, a BASF, por exemplo, possui políticas fortes de gestão de segurança de processos e treinamentos intensivos para suas equipes. Ela implementa os 20 elementos do RBPS para garantir que todas as etapas, desde o design até a operação, mantenham um padrão de segurança rigoroso (BASF, 2022). A Shell, por sua vez, adota um sistema de segurança robusto que inclui monitoramento contínuo de variáveis críticas, como temperatura e pressão nos reatores, além de barreiras de proteção automáticas (sistemas de *shutdown* de emergência). Eles também promovem uma cultura forte de "Segurança em Primeiro Lugar", onde os funcionários são encorajados a relatar quase-incidentes para que sejam investigados e ações preventivas sejam tomadas (SHELL, 2022).

Figura 1 - Pilares do RBPS



Fonte: Adaptado de Moreira, 2017

Todo sistema e elemento de gestão, para ser confiável e de fácil compreensão, precisa abordar questões como: finalidade e âmbito, divisão de funções e responsabilidades, tarefas e procedimentos, informações de entrada necessárias, resultados e produtos de trabalho previstos, qualificações e treinamentos, gatilhos de atividades, cronograma desejado e prazos, recursos e ferramentas necessárias, melhoria contínua, revisão de gerenciamento e auditoria (CCPS, 2007). O nível de rigor que qualquer indústria aplica para estabelecer ou melhorar um sistema MOC deve basear-se nos critérios do RBPS: risco percebido, demanda por recursos e cultura. A estrutura do elemento MOC fornecida pelo CCPS (2007) está organizada da seguinte forma:

- Elemento: Gerenciamento de mudança
- Princípio-chave: Identificar possíveis situações de mudança.
- Recurso essencial: Todas as fontes de mudança são gerenciadas.
- Possível atividade de trabalho: Desenvolver uma lista de áreas para as quais o MOC se aplica.
- Opções de implementação: Lista de cobertura MOC é mantida e comunicada.

De acordo com o CCPS (2007),

O elemento gestão da mudança inclui um processo de revisão e autorização para avaliar ajustes propostos no projeto, operações, organização ou atividades antes da implementação para garantir que

nenhum novo perigo imprevisto seja introduzido e que o risco dos perigos existentes para os funcionários, o público ou o meio ambiente não aumentem inadvertidamente. Isto também inclui etapas para ajudar a garantir que o pessoal potencialmente afetado seja notificado da alteração e que os documentos pertinentes, como procedimentos e conhecimento de segurança de processo, sejam mantidos atualizados.

Assim, as revisões de gestão da mudança fazem-se cruciais ao longo de todo o ciclo de vida de plantas industriais para minimizar o risco de acidentes de segurança no momento de modificações ou ajustes de processos.

O protocolo de gestão da mudança contém informações sobre como as mudanças são identificadas, revisadas e gerenciadas. Quando do desenvolvimento de tal protocolo, é importante atentar-se aos princípios-chave descritos a seguir, bem como às métricas que permitem mensurar a efetividade dos processos aplicados (CCPS, 2007).

a. Manter uma prática confiável

Este princípio depende de uma implementação consistente e detalhada que assegure que todos os tipos de situações de mudanças estão endereçadas, todas as fontes de possíveis mudanças estão monitoradas e que o protocolo é revisado e reajustado periodicamente para garantir sua efetividade. Além disso, faz-se necessário pessoas competentes e bem treinadas para lidar com a condução das revisões, monitoramento dos riscos e implementação das mudanças. Algumas das métricas que contribuem na análise da efetividade deste princípio são: número de MOCs performadas por mês, percentual de requerimentos de trabalho classificados como mudança, variação no número de mudanças executadas em caráter emergencial, percentual de pessoas envolvidas no processo que acreditam que o mesmo é eficiente, média de MOCs ativas e média de tempo entre o pedido e a aprovação da MOC (CCPS, 2007).

b. Identificar potenciais situações de mudanças

Para que as práticas sejam confiáveis, é imperativo que as situações de mudanças com suas origens, duração e local de ocorrência sejam facilmente identificadas de forma antecipada. Para isso, pode-se pesquisar os registros históricos de incidentes, auditorias e revisões dos processos da fábrica, realizar um diagnóstico baseado na observação da operação e entrevistar colaboradores. Este princípio pode ser avaliado a partir do percentual

de requerimentos de trabalho erroneamente classificados como mudança e do volume de mudanças não documentadas (CCPS, 2007).

c. Avaliar possíveis impactos

Neste momento, identifica-se se a mudança avaliada introduz um novo risco à operação ou potencializa um risco existente. Para direcionar esta identificação, cada mudança deve ser acompanhada de uma lista de informações e dados que detalhem o caso estudado. De acordo com o tipo de mudança, o risco atrelado, a duração e o cronograma de implementação da mudança, o tipo de informação necessária e as técnicas a serem adotadas, define-se se o processo de revisão e avaliação de impactos contará com uma ou mais pessoas, qual a expertise de cada uma delas e qual será a ordem e o número de vezes que ocorrerá a revisão. É possível mensurar a efetividade da avaliação dos impactos pela investigação da porcentagem de mudanças revisadas incorretamente (CCPS, 2007).

d. Decidir quando permitir a mudança

Com a mudança revisada e os impactos avaliados, pode-se decidir se a mudança será implementada conforme requisição, ajustada para posterior implementação ou negada. A decisão deve ser feita por uma pessoa diferente daquela que requereu a mudança e considerar o tipo de mudança, seu significado e urgência e a robustez do processo de revisão. Vale mensurar o percentual de mudanças que foram avaliadas apropriadamente, mas não receberam as autorizações para implementação (CCPS, 2007).

e. Completar as atividades de *follow-up*

Uma vez autorizada, a mudança segue para implementação e precisa ser acompanhada e reportada a todos os envolvidos. Cada empresa define a melhor estratégia de comunicação, seja ela via documentação, treinamento, e-mail ou reuniões periódicas, ajustando o conteúdo ao nível de detalhamento requerido por cada grupo. Para assegurar que este processo ocorra adequadamente, recomenda-se acompanhar o percentual de MOCs revisadas que não foram documentadas corretamente e o percentual de MOCs que falharam no treinamento e informe dos colaboradores (CCPS, 2007).

Destaca-se que cada um dos princípios citados deve ser desdobrado em uma série de atividades, de modo a atender o cronograma de mudanças proposto pela indústria em questão. À medida que a empresa adquire experiência no processo, estas atividades podem ser aprimoradas em termos de performance e eficiência. Alguns exemplos de como aumentar a

efetividade do processo de gerenciamento da mudança são: 1) promover treinamentos recorrentes para compartilhar as lições aprendidas; 2) observar periodicamente o processo para garantir que está de acordo com o procedimento documentado e aprovado; 3) usar métodos de amostragem de dados para avaliar a qualidade do processo executado; 4) especificar os problemas essenciais que devem ser endereçados para cada tipo de mudança e 5) garantir que os profissionais envolvidos no processo de revisão e implementação da mudança possuam as expertises necessárias para tal (CCPS, 2007).

2.2. Metodologias de Gestão

Metodologias de gestão são conjuntos de diretrizes, práticas e técnicas estruturadas que uma organização, empresa ou indústria adota para orientar suas operações, tomar decisões e alcançar seus objetivos. Elas possuem natureza sistemática, baseada em processos e são desenvolvidas a partir de teorias de gestão sólidas, princípios comprovados e melhores práticas do setor (AEVO, 2023).

Algumas das práticas de gestão mais conhecidas e aplicadas atualmente são PDCA, SWOT e Método Falconi, cada qual com sua aplicabilidade. O PDCA é um método de gestão iterativo, a matriz SWOT consiste em uma técnica de planejamento estratégico e o método Falconi configura uma prática de gestão baseada em dados e rotina. Vale destacar que estas práticas devem ser adaptadas às necessidades específicas de cada organização, levando em consideração seu setor, tamanho, cultura e objetivos.

2.2.1. PDCA

A sigla PDCA surgiu do inglês Plan-Do-Check-Act, ou seja, Planejar-Fazer-Verificar-Agir. A origem deste conceito se deu a partir do ciclo de Shewhart, engenheiro americano que introduziu o controle estatístico para o controle da qualidade. Os estudos que lhe inspiraram se desenvolveram ao longo de anos de pensamento filosófico sobre a melhor maneira de obter conhecimentos válidos e que substituíssem os dogmas da Igreja Católica sobre o mundo físico. Galileu Galilei, por exemplo, estabeleceu a primeira sequência de passos para a geração de conhecimentos válidos, formada por observação, análise, indução, verificação, generalização e confirmação (ORIBE, 2009).

Uma outra inspiração para a criação do PDCA foi atribuída aos americanos Clarence Irving Lewis (1883-1964) e John Dewey (1859-1952), fundadores do pragmatismo. A ideia de um “ciclo” foi desenvolvida por Dewey ao imaginar como funciona a relação entre a ação humana e o domínio social ao qual pertence. Para ele, a reflexão para a solução de problemas

contém cinco passos: perceber a dificuldade, localizar e definir o problema, sugerir soluções, observar e experimentar (ORIBE, 2009).

Ao longo dos anos, o PDCA assumiu diferentes formas. Taylor, no final do século XIX, recomendava o plan-do-see (planeje, execute e veja) encadeados em uma sequência linear aberta como referência para o planejamento das etapas básicas de um processo produtivo (Figura 2) (MOEN E NORMAN, 2007).

No final da década de 30, Shewhart propõe o modelo de produção visto como um sistema, que representa os mesmos passos, porém de forma cíclica (Figura 3). Neste modelo, os resultados obtidos em um ciclo são considerados no planejamento do ciclo seguinte. Deming introduz esta mesma ideia no Japão em 1950 (MOEN E NORMAN, 2007).

Figura 2 - Conceito de controle de Taylor e os três processos de produção em massa.



Fonte: Adaptado de Moen e Norman (2007)

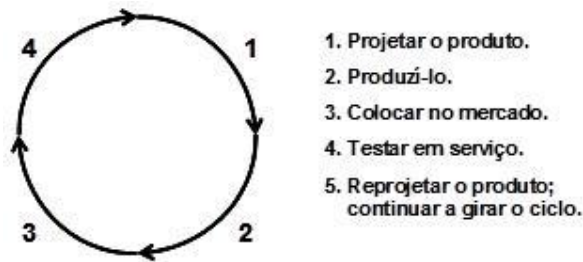
Figura 3 - Ciclo de Shewhart de 1939



Fonte: Moen e Norman (2007)

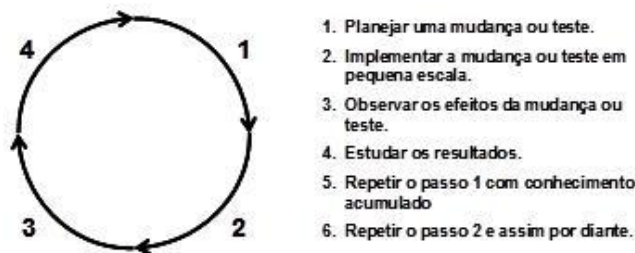
Em 1951, o ciclo de Shewhart ganha mais dois passos: (a) desenho do produto; (b) produção; (c) lançamento no mercado; (d) teste no mercado e (e) ajustes do produto de acordo com o feedback dos consumidores (Figura 4). O mesmo modelo é também aplicável para processos repetitivos de melhoria (Figura 5) (MOEN E NORMAN, 2007).

Figura 4 - Ciclo de Shewhart para desenvolvimento de produto



Fonte: Moen e Norman (2007)

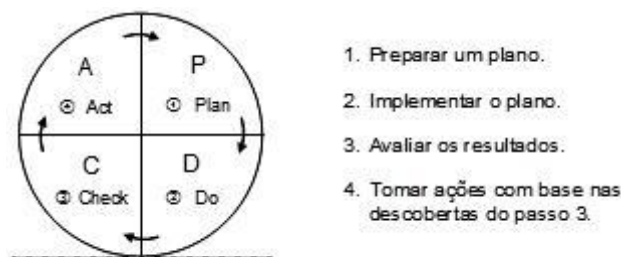
Figura 5 - Ciclo de Shewhart para processos repetitivos de melhoria



Fonte: Moen e Norman (2007)

O primeiro ciclo de Shewhart foi alvo de objeções no Japão, pois, segundo Ishikawa, o verbo “see” propicia a atitude passiva de apenas observar e esperar. O modelo foi então revisado e passou a ser o plan-do-check-action, que é o PDCA conhecido nos dias de hoje (Figura 6), amplamente utilizado na abordagem de projetos (HOSOTANI, 1992).

Figura 6 - Ciclo PDCA como desenvolvido no Japão



Fonte: Hosotani (1992)

Adentrando no modelo atual, o PDCA trata-se de uma técnica de gestão iterativa cuja finalidade é acelerar e aperfeiçoar processos por meio da identificação de problemas, causas e soluções. Como se trata de um ciclo, todo o processo é constituído por atividades que devem ser planejadas e recorrentes, sem que tenham um fim determinado (ORIBE, 2009).

A primeira etapa é o planejamento, no qual se deve desenvolver uma estratégia que se proponha a resolver os problemas levantados. A partir disso, leva-se em consideração: 1) o estabelecimento dos objetivos do ciclo; 2) a escolha do caminho para que estes objetivos sejam atingidos e 3) a definição do método que deverá ser utilizado para isso. Em seguida, parte-se para a execução do plano a partir do treinamento dos envolvidos para prepará-los para o método que será empregado. Na terceira etapa, faz-se a verificação dos resultados alcançados e dos dados coletados. Esta etapa pode se desenvolver paralelamente ou após a execução e tem por objetivo detectar eventuais falhas. Por fim, tem-se a correção, fase em que são tomadas as ações corretivas com base no que foi verificado. Após realizada a investigação das causas destas falhas ou desvios no processo e após agir para solucioná-las, deve-se reiniciar o ciclo (ORIBE, 2009).

A depender da aplicação, o modelo pode assumir outras formas, como o PDSA (Plan-Do-Study-Action) ou o PDCL (Plan-Do-Check-Learn). Quando o conceito é utilizado para a melhoria de processos, com análise de padrões de falha e ação corretiva, utiliza-se o ciclo CAPD (Check-Action-Plan-Do), seguindo o raciocínio indutivo e não o dedutivo. Ao resolver um problema usando o CAPD, o usuário não gira um ciclo, mas um ciclo e meio (Figura 7), pois precisa avaliar e agir duas vezes: a primeira sobre o efeito e a segunda sobre a causa. A aplicação prática do CAPD acontece nos processos de ação corretiva, popularizados pelo método das 8 Disciplinas (8D), Relatório de Ação Corretiva ou Relatório de Não Conformidade (KONDO, 1995).

Figura 7 - Ciclo CAPD para correção e ação corretiva



Fonte: Kondo (1995)

2.2.2 SWOT

SWOT é uma sigla em inglês derivada dos termos Strengths (Forças), Weaknesses (Fraquezas), Opportunities (Oportunidades) e Threats (Ameaças), que pode ser visto em português como FOFA.

Há uma série de pontos de vista contrastantes e até contraditórios sobre sua origem. No entanto, para a maioria dos pesquisadores, acredita-se que o SWOT tenha começado com o termo SOFT (Satisfatório (bom no presente), Oportunidade (bom no futuro), Falha (ruim no presente), Ameaça (ruim no futuro)). Entende-se que a análise SOFT foi apresentada em um seminário em Zurique em 1964 e Urick e Orr mudaram a letra F para W e o chamaram de análise SWOT (HUMPHREY, 2005), usada como uma ferramenta autônoma.

Weihrich (1982) modificou o formato para a matriz conhecida nos dias de hoje, combinando os fatores internos (pontos fortes e fracos) com os fatores externos (oportunidades e ameaças) para gerar sistematicamente estratégias que deveriam ser empreendidas pela organização. Esta matriz está representada pela Figura 8.

Uma reorientação do SWOT foi oferecida por Panagiotou (2003). Ele introduz uma estrutura estratégica chamada de TELESCOPIC OBSERVATIONS, que mapeia pontos fortes, pontos fracos, oportunidades e ameaças contra o acrônimo sugerido (por exemplo, T = avanços tecnológicos, E = considerações econômicas, L = requisitos legais e regulatórios).

Figura 8 - Matriz SWOT



Fonte: <https://rockcontent.com/br/blog/como-fazer-uma-analise-swot/>

A análise SWOT é uma ferramenta clássica da administração voltada ao planejamento estratégico e à gestão de projetos. Ela é usada para analisar cenários e possibilitar a segurança

na tomada de decisões, o reconhecimento realista do cenário atuante, a compreensão assertiva sobre a concorrência, a antecipação de tendências, o planejamento e a priorização de ações, a identificação da posição estratégica do negócio, a possibilidade de melhorias no portfólio e a oportunidade para novos produtos (Rock Content, 2019).

A análise proporciona um diagnóstico completo da situação da empresa e dos ambientes que estão no seu entorno. As forças e as fraquezas se referem à análise interna, ou seja, os pontos positivos e negativos da empresa ou do projeto que se quer implementar. São fatores que, em sua maioria, estão sob controle da empresa e podem ser modificados por ela. Analisam-se critérios como localização, tempo de mercado, reputação, recursos financeiros, recursos humanos, marketing, gestão, acesso à matéria-prima, capacidade de operação e ativos. Os fatores positivos podem ser reforçados e indicam o que está no caminho certo, ao passo que as fraquezas apontam o que precisa melhorar para que o projeto dê seguimento (Rock Content, 2019).

Nas oportunidades e ameaças, por sua vez, é analisado o ambiente externo, englobando o microambiente do mercado setorial, concorrentes e fornecedores e o macroambiente político, econômico, social e cultural. No microambiente, tem-se: comportamento dos clientes, poder de negociação com fornecedores, quantidade de concorrentes na região e nível de rivalidade, barreiras de entrada no mercado e soluções substitutas. Já no macroambiente, encontram-se: projetos de lei, novos governantes, inflação, níveis de consumo, renda da população e novas tecnologias. A análise das oportunidades gera insights talvez não percebidos antes e as ameaças são ocorrências a serem antecipadas para que não prejudiquem o projeto (Rock Content, 2019).

2.2.3. Método Falconi

A Gestão da Qualidade Total é uma estratégia de administração que tem como objetivo dar ênfase à qualidade dos processos organizacionais. Um dos fundamentos dessa estratégia foi disseminado no Brasil pelo autor e consultor de gestão Vicente Falconi, com a denominação de Gerenciamento pelas Diretrizes (GPD) (Siteware, 2023).

De acordo com Falconi, pouco se falava no Brasil sobre planos de ação e metas na década de 1980. A preocupação com o desempenho da gestão tinha mais enfoque em burocracias governamentais, o que começou a mudar na década de 1990. De 1996 em diante, as empresas passaram a ser melhor gerenciadas, ao começarem a entender a necessidade de se adaptarem e aprimorarem devido às grandes exigências do mercado. Desenvolver

estratégias com foco em desdobramento de metas, melhoria contínua da qualidade e gestão de mudanças se tornaram os pilares para um gerenciamento bem-sucedido (Siteware, 2023).

Falconi (2013) apresenta o GPD como um sistema de gestão empresarial cuja função é alinhar os objetivos estratégicos da organização com as atividades cotidianas, assegurando a integração de todas as áreas da empresa para atingi-los (Figura 9). O método Falconi desenvolve atividades que passam pelos âmbitos estratégicos (alta gestão da empresa), táticos (gestão intermediária) e operacionais (supervisão e coordenações ligadas à produção).

Figura 9 - Mapa estratégico do GPD em um *software* de gestão estratégica do grupo Falconi



Fonte:

<https://actiosoftware.com/2023/12/metodo-falconi-gerenciamento-pelas-diretrizes-gpd/>

Os objetivos do GPD de acordo com Falconi (2013) são:

1) Estabelecimento de metas: definir objetivos claros para a empresa, fundamentados na análise dos contextos interno e externo, nas expectativas dos clientes e demais partes interessadas e na visão de futuro da organização, levando em conta suas forças, fraquezas, oportunidades e ameaças analisadas em uma matriz SWOT.

2) Otimização e gestão de metas: definição de indicadores de desempenho, vigilância e controle das metas e realização de ajustes necessários para assegurar o seu alcance.

3) Aprimoramento contínuo: o GPD almeja fomentar a melhoria contínua da empresa, identificando oportunidades de crescimento em processos, produtos e serviços.

O Gerenciamento pelas Diretrizes constitui uma forma de atingir os objetivos gerais e a longo prazo da organização. Ele é focado em melhorias contínuas dos processos e na qualidade dos mesmos pelo desenvolvimento das diretrizes. Enquanto isso, o PDCA é um método utilizado para solucionar problemas que atrapalham o alcance dos objetivos. Assim, o PDCA se mostra como uma ferramenta complementar para a metodologia GPD.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

No presente trabalho, será discutido o estudo de caso do acidente de Bhopal, que exemplifica como a falta de uma gestão baseada na mudança pode levar a acidentes e desastres dentro de indústrias químicas. Sua escolha foi pautada em: 1) o acidente evidencia falhas multidimensionais na gestão de riscos, como projetos inadequados de engenharia, falta de sistemas de contenção adequados e desligamento de sistemas de segurança; 2) o desastre deixa nítido o impacto de práticas operacionais e cultura organizacional desalinhadas, que resultaram em manutenção inadequada, treinamento deficiente, pressão econômica e cortes de custos; 3) a fábrica de Bhopal é um claro exemplo de organização em que há falta de avaliação e controle de riscos, não havendo conhecimento dos riscos químicos ou preparação para emergências; 4) o caso trouxe consequências devastadoras para a saúde e o meio ambiente e 5) o acidente foi um marco na segurança de processos, tendo levado a uma revisão global das práticas de segurança de processos e à criação de novas regulamentações e normas industriais.

Para a eficiente aplicação da gestão da mudança e a minimização dos riscos, pode-se utilizar dos métodos de gestão anteriormente especificados.

3.1. Resumo do acidente

Em dezembro de 1984, um gás altamente tóxico, o Isocianato de Metila (MIC), foi liberado na atmosfera a partir da planta de pesticida Union Carbide India Limited em Bhopal, na Índia. De acordo com dados fornecidos pelo governo de Madhya Pradesh, 5200 pessoas morreram e mais de 11000 foram lesadas, adquirindo doenças permanentes ou parciais. (UNION CARBIDE CORPORATION, 2019).

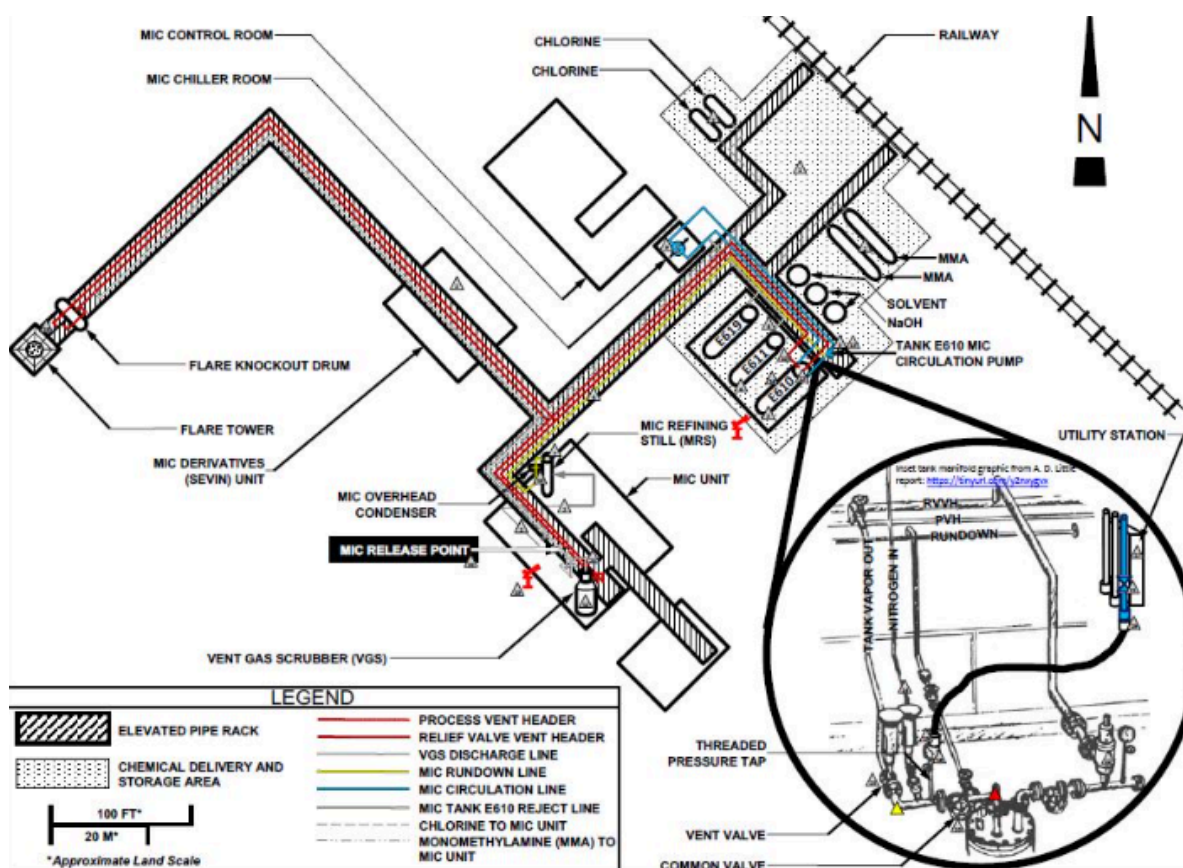
O acidente originou-se em uma reação exotérmica de MIC com água. Um tanque de armazenagem de MIC foi contaminado com uma quantidade significativa de água e a reação química gerou calor e elevação de pressão. Os sistemas de segurança não foram capazes de controlar todo o evento ou foram retirados sem uma avaliação prévia de gestão de mudança. Quando da abertura de uma válvula de alívio, houve o vazamento de 40 toneladas de produto tóxico na atmosfera (Troposfera, 2014). A planta completa está representada na Figura 10.

3.2. Descritivo técnico do acidente

A planta iniciou suas operações em 1978, produzindo o pesticida Sevin. (UNION CARBIDE CORPORATION, 2019). O composto químico responsável pela ação pesticida

deste produto é o 1-naftil-Nmetilcarbamato, conhecido como carbaril, cuja produção envolve metil isocianato e α -naftol. O MIC é um líquido estável em temperaturas baixas, porém se torna extremamente perigoso quando aquecido ou em contato com água. (CAMEO CHEMICALS, 1999). Quanto à toxicidade, a exposição máxima ao MIC gasoso em 8 horas é de 0,02 ppm. Além disso, ele é altamente inflamável e volátil – ponto de ebulição de 39,1°C e pressão de vapor de 38 mmHg a 20°C. (WILLEY; HENDERSHOT; BERGER, 2006)

Figura 10 - Planta de pesticida Union Carbide India Limited em Bhopal



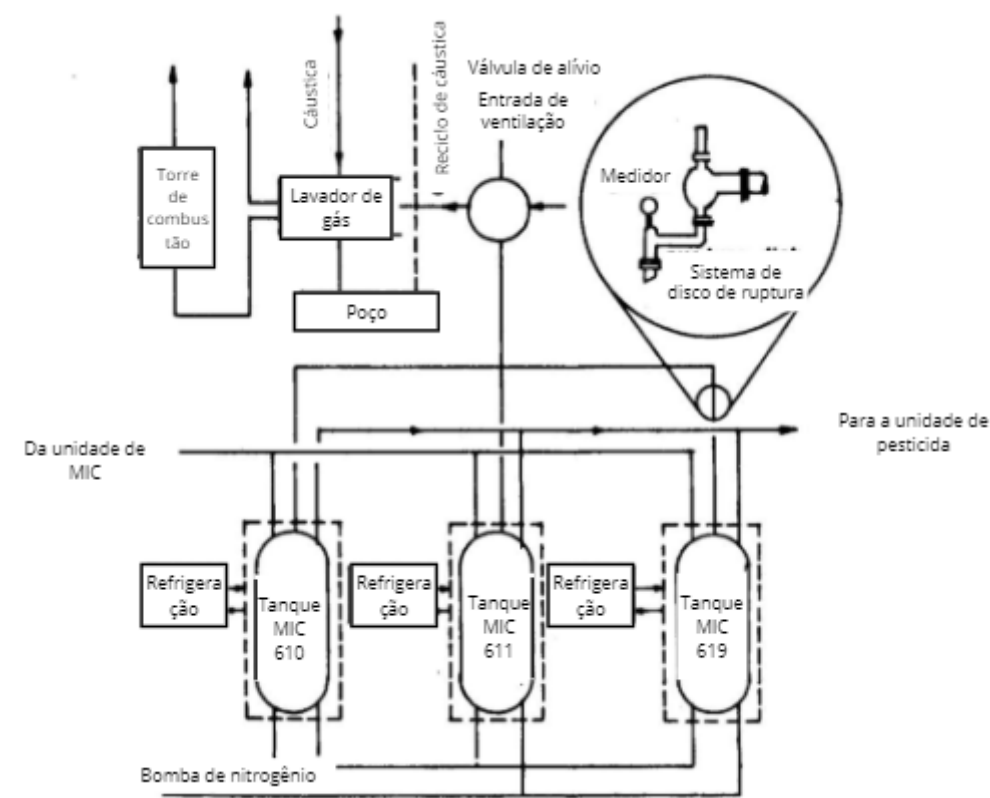
Fonte: Adaptado de The Bhopal Medical Appeal, 2014.

O vazamento de MIC pelo sistema de válvula de alívio presente na planta foi causado pela introdução de água no tanque 610 (Figura 11), que armazenava 40 toneladas deste intermediário químico (BOWONDER, 1987). Inicialmente, houve a reação exotérmica entre o MIC e a água, liberando dióxido de carbono e energia (CAMEO CHEMICALS, 1999). Com o aquecimento do tanque, ocorreu a trimerização de MIC, que gerou trimetil-isocianato e mais calor, vaporizando o intermediário líquido estável em um gás de alta periculosidade (QUÍMICA VIRTUAL, 2010). O dióxido de carbono, junto ao vapor de MIC formado,

aumentou significativamente a pressão do ambiente (de 2 para 55 libras por polegada), rompendo a válvula do tanque e liberando o metil isocianato vaporizado para as tubulações.

Foi observada a formação de uma pluma de densidade 2 vezes maior que a do ar atmosférico, tendo MIC como seu principal componente e uma mistura de fosgênio, cianeto, CO, CO₂ e NO_x, substâncias tóxicas e mortais surgidas a partir da decomposição do componente majoritário. Esta elevada densidade da pluma fez com que o gás se acumulasse no nível do solo, afetando a população local (Troposfera, 2014).

Figura 11. Sistema de Armazenamento de MIC



Fonte: Adaptado de Bowonder, 1987.

Várias investigações foram realizadas para entendimento do evento iniciador da tragédia, mas não houve consenso. Será aqui apresentado o resultado mais aceito atualmente.

Foi descoberto que, em setembro de 1982, um relatório escrito por especialistas da UCC (Union Carbide Corporation) levantou problemas relacionados ao sistema de segurança de processos, como: as operações de limpeza de filtros eram realizadas sem a inserção de slip blind (usado para fechar as extremidades de sistemas de tubulações), potencializando acidentes em casos de vazamentos em válvulas; vazamentos ao longo do processo eram comuns, tendo ocorrido outros seis acidentes antes de 1984; havia a possibilidade de se

contaminar o tanque de armazenamento do intermediário com material proveniente do lavador de gás e o medidor de pressão local do tanque de fosgênio estava defeituoso (AYRES, 1987). Além disso, não existiam planos de emergência junto às autoridades locais para mitigar um possível acidente, ainda que se soubesse dos seus riscos.

Constatou-se que, no dia do acidente, o tanque 610 estava com 75% da sua capacidade preenchida com MIC (as normas recomendavam 50%), os três tanques de armazenamento continham intermediário (pelas normas, um tanque deveria estar vazio como backup) e os medidores de capacidade não estavam com funcionamento adequado, de modo que os operadores não sabiam a quantidade de MIC presente nos tanques (CCPS, 2009).

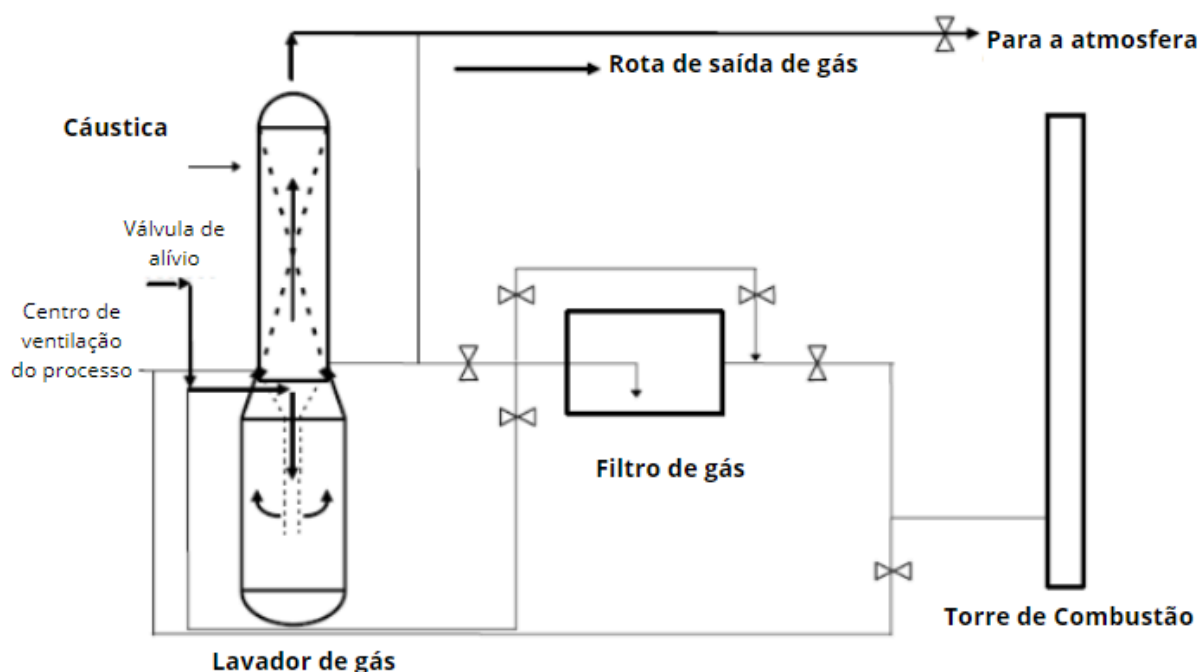
Equipes de investigação calcularam que 500 kg de água com impurezas metálicas entraram no tanque e elevaram a temperatura a mais de 300°C. Na noite do desastre, os trabalhadores lavaram as tubulações rotineiramente com água de alta pressão, levando um certo acúmulo de água a passar para as tubulações. Isso nunca foi um problema, pois a presença de um slip blind nos tubos continha o avanço de água em direção aos tanques. Entretanto, neste dia, não havia instruções de inserir o slip blind, o que aumentou as chances de um acidente, já que as válvulas ao longo das tubulações não eram de confiança, com vazamentos frequentes. Apesar disso, outra barreira deveria impedir a chegada de água no tanque: a inserção de gás nitrogênio inerte, promovendo uma camada de alta pressão entre o MIC líquido no tanque e o restante da planta. Dias antes do acidente, porém, houve uma falha na pressurização com N₂ que não foi reportada (BOWONDER, 1987).

Para além dos problemas relatados, os quatro sistemas de segurança da planta não funcionaram no momento em que deveriam, o que evidencia a falha na gestão da segurança de processos. O primeiro deles seria o sistema de resfriamento ligado aos tanques de armazenagem de MIC (Figura 11), cuja finalidade era manter as temperaturas baixas para conservar o metil isocianato em estado líquido. Sua ação faria com que a temperatura do tanque não aumentasse significativamente, de modo que o calor não vaporizaria o gás tóxico e o tanque não pressurizaria. No entanto, esse sistema estava desligado desde maio de 1984. (WILLEY; HENDERSHOT; BERGER, 2006)

Em seguida, o segundo sistema a ser utilizado seria o lavador de gás (vent gas scrubber), indicado na Figura 12. A partir da adição de uma solução de soda cáustica em alta pressão, esse sistema limparia o gás contaminado, transformando-o em gás inerte. Qualquer tipo de vazamento deveria ser levado ao lavador de gás. Na noite do acidente, porém, este sistema estava em manutenção. (WILLEY; HENDERSHOT; BERGER, 2006)

O terceiro sistema seria a torre de combustão (flare), – Figura 12 – que opera após o lavador de gás. Na Figura 12, também se percebe a existência de um filtro entre a torre de combustão e o lavador de gás cujo intuito é remover e acumular líquidos remanescentes após a passagem da corrente de gás pelo lavador. Assim, chega à torre de combustão apenas os gases para serem queimados, transformando qualquer contaminante orgânico remanescente em água e dióxido de carbono (AIROIL FLAREGAS, 2019). Entretanto, a torre de combustão também não estava operando, uma vez que uma peça da tubulação, que estava corroída, havia sido retirada do processo (WILLEY; HENDERSHOT; BERGER, 2006).

Figura 12 - Sistema de Tratamento de Gases com Lavador de Gás e Torre de Combustão



Fonte: Adaptado de Willey; Hendershot; Berger, 2006.

Ainda havia um quarto mecanismo de proteção composto por mangueiras posicionadas ao redor de uma chaminé de emergência capazes de jogar água em qualquer gás residual que saísse da chaminé, fazendo com que o mesmo fosse para o chão. O problema desse sistema era que o projeto havia sido subdimensionado, de modo que a cortina de água formada pelas mangueiras alcançava uma altura entre 12 e 15 metros, enquanto o vapor de MIC estava a 33 metros do solo. Desse modo, os sprays de água não alcançavam a altura da chaminé, sendo ineficientes para conter o vazamento. (AYRES, 1987).

Assim, o acidente ocorreu como consequência de uma série de ações resumidas em falhas no sistema de gestão do processo, falhas de segurança por parte da empresa e falhas técnicas e operacionais por parte dos funcionários da planta.

3.3. Aplicação da Gestão da Mudança ao acidente

Para aplicar os conceitos do gerenciamento de processos baseado em riscos à indústria, deve-se listar todas as possíveis situações de mudanças na planta em análise, categorizando-as em:

- 1) Sistema de gestão;
- 2) Layout da planta;
- 3) Equipamentos;
- 4) Especificação de produtos químicos;
- 5) Fornecedores;
- 6) *Softwares*;
- 7) Processos;
- 8) Atribuição de funcionários;
- 9) Organização;
- 10) Políticas;
- 11) Localização da planta.

Um exemplo aplicado a Bhopal seria o risco do não cumprimento das normas em relação ao nível de preenchimento do tanque 610. Esta mudança pode ser categorizada como mudança de processo e, ao ser detalhada nos moldes do sistema MOC, tem-se:

- Elemento: Gerenciamento de mudança
- Princípio-chave: Não cumprimento das normas de segurança com relação ao nível de preenchimento do tanque 610 e ao uso de um tanque vazio como backup.
- Recurso essencial: Falha no equipamento de controle do nível de preenchimento do tanque 610, desconhecimento da norma pelos funcionários e excesso de matéria-prima, exigindo o uso do tanque backup.
- Possível atividade de trabalho: Time de Controle de Operações, Logística e Compras.
- Opções de implementação: Controle de Operações deve avaliar periodicamente o funcionamento dos equipamentos de controle da planta e realizar as trocas dentro do prazo especificado pelo fabricante ou pelas condições de operação. Este mesmo time deve executar o treinamento dos operadores nas normas técnicas do processo e no uso

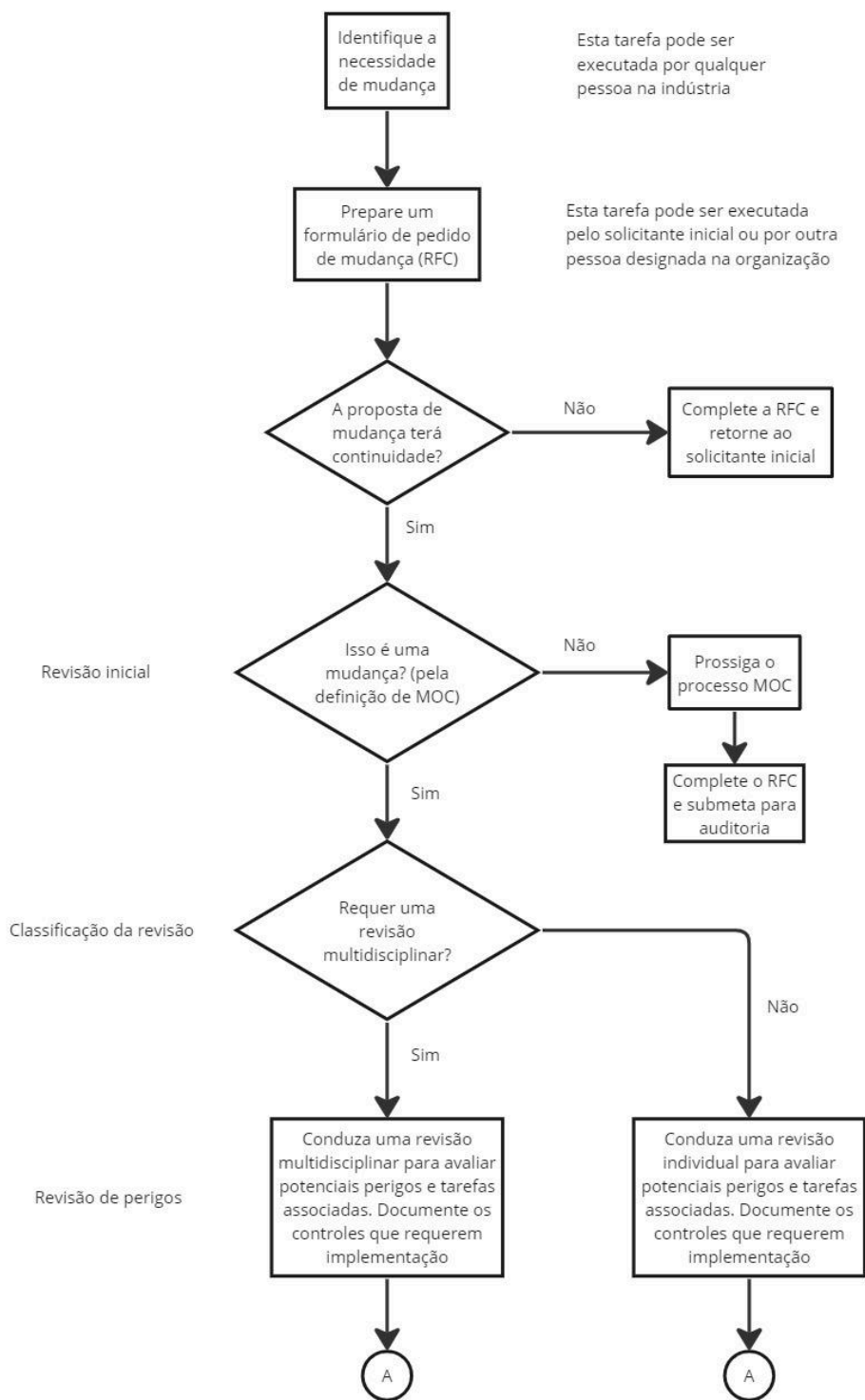
de cada equipamento. Logística e Compras deve garantir que a indústria tenha uma quantidade ótima de matéria-prima para operar, sem faltas ou excessos.

A seguir, deve-se identificar as causas da mudança, endereçar os times responsáveis por garantir que o processo seja cumprido e a lista de procedimentos a serem seguidos para que a potencial mudança não cause danos à operação.

Com este processo bem desenhado e conhecido pelos funcionários da empresa, pode-se marcar avaliações ou revisões periódicas das MOC's, de modo que novas mudanças sejam identificadas e novos processos sejam implementados. Para isso, utiliza-se o fluxograma apresentado nas Figuras 13.a e 13.b.

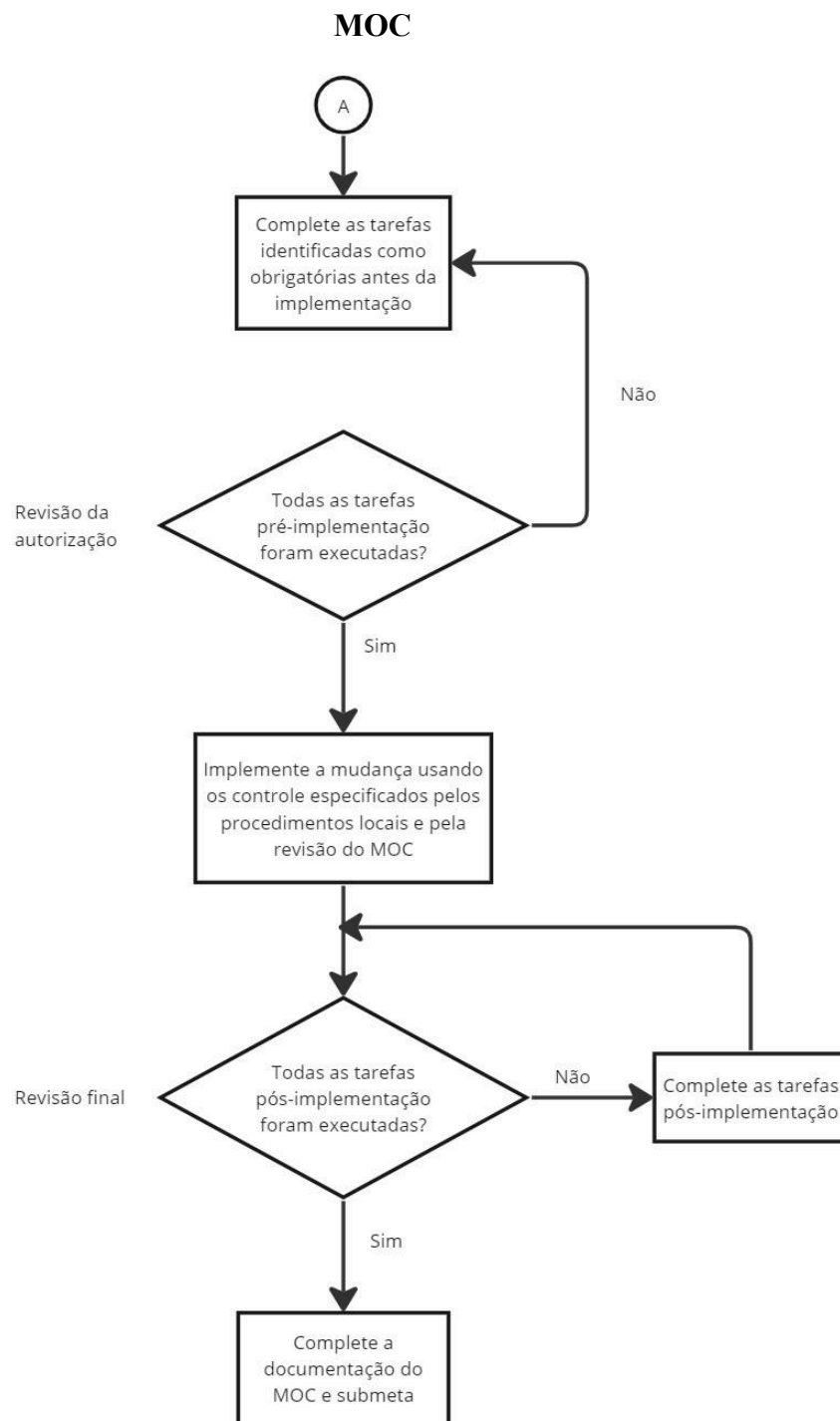
Além da gestão da mudança e dos métodos citados, outras abordagens de análise de risco que poderiam ter sido usadas são a análise de árvore de falhas (FTA), o estudo de perigos e operabilidade (HAZOP), as cadeias de Markov ou ainda a análise Bow-Tie.

Figura 13.a - Exemplo de fluxograma de trabalho de um procedimento MOC



Fonte: Adaptado de CCPS, 2007.

Figura 13.b - Continuação do exemplo de fluxograma de trabalho de um procedimento



Fonte: Adaptado de CCPS, 2007.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Impactos do acidente

O acidente de Bhopal trouxe diferentes impactos, sejam eles diretos e imediatos ou ainda indiretos e de longo prazo. Ele impactou os âmbitos sociais, econômicos e ambientais da população indiana e também a forma de pensar a segurança de processos mundialmente. Primeiramente, do ponto de vista dos impactos diretos, observamos:

a. Impacto Social

Ao menos 2,2 mil pessoas morreram imediatamente após inspirarem a substância tóxica e as gerações seguintes foram profundamente afetadas. A Campanha Internacional por Justiça em Bhopal estima que o total de mortes em decorrência do vazamento já seja superior a 25 mil. A última estatística oficial do governo indiano (2006) reconhece 558 mil vítimas (Brasil de Fato, 2020).

Em 2016, a divisão de pesquisa da clínica Sambhavna constatou que a incidência de câncer entre a população atingida pelo gás é dez vezes maior que em outras regiões. Uma pesquisa de 2017 realizada pelo Comitê Consultivo Científico do Conselho de Pesquisa Médica da Índia mostrou que mulheres que inalaram o gás tóxico em 1984 têm 9% de chances de dar à luz a bebês com má formação genética. A incidência de distúrbios é seis vezes menor entre os filhos de mães não expostas ao MIC (Brasil de Fato, 2020).

b. Impacto Econômico

A empresa Union Carbide perdeu todos os seus ativos em Bhopal e abandonou a operação na região. Além disso, teve a sua imagem profundamente comprometida, o que levou à sua venda para a indústria Dow Chemical em 2001, como forma de fugir da pressão da população por respostas. Apesar disso, ainda existem processos em aberto nos Estados Unidos que buscam comprovar a responsabilidade da empresa pelo incidente e pedir por uma indenização adequada, tratamento da população e limpeza da região (Brasil de Fato, 2020).

Até o momento, a multinacional pagou como indenização, em média, R\$ 2,5 mil por atingido e R\$ 10 mil para cada família de vítimas fatais (Brasil de Fato, 2020).

c. Impacto Ambiental

O Greenpeace documentou a presença de pesticidas tóxicos, resíduos perigosos e materiais poluentes em torno das instalações da antiga fábrica. As águas subterrâneas de poços se encontram com altos níveis de produtos químicos clorados, como clorofórmio e tetracloreto de carbono, além de mercúrio, chumbo, níquel, cobre, cromo, hexaclorociclohexano e clorobenzeno, o que indica uma contaminação de longo prazo (GREENPEACE, 1999).

Em segunda instância, o acidente de Bhopal trouxe impactos indiretos, modificando a forma como a segurança de processos é tratada nas organizações mundialmente. O acidente foi o precursor para a criação de diretrizes de segurança, como a Segurança de Processos Baseada em Riscos – Risk-Based Process Safety (RBPS). A abordagem do RBPS é construída em 4 pilares fundamentais: 1) comprometimento com segurança de processo, 2) compreender perigos e riscos, 3) gerenciar riscos e 4) aprender com a experiência. O foco principal deste sistema é estudar os fatores contribuintes dos acidentes para saber como prevenir e/ou reduzir seus riscos. Em geral, os acidentes em indústrias químicas ocorrem por um ou mais dos motivos a seguir: falhas tecnológicas, falhas humanas, falhas no sistema de gestão, fenômenos naturais e circunstâncias externas (CCPS, 2007).

4.2. Aplicação das metodologias de gestão ao elemento MOC

Para que a gestão de mudança seja aplicada na organização de forma eficiente, algumas metodologias de gestão podem ser utilizadas como suporte. Como dito anteriormente, para estabelecer um sistema MOC, é preciso considerar o risco percebido, a demanda por recursos e a cultura organizacional. A sequência de ações a ser executada em cada um destes elementos está apresentada na Figura 14.

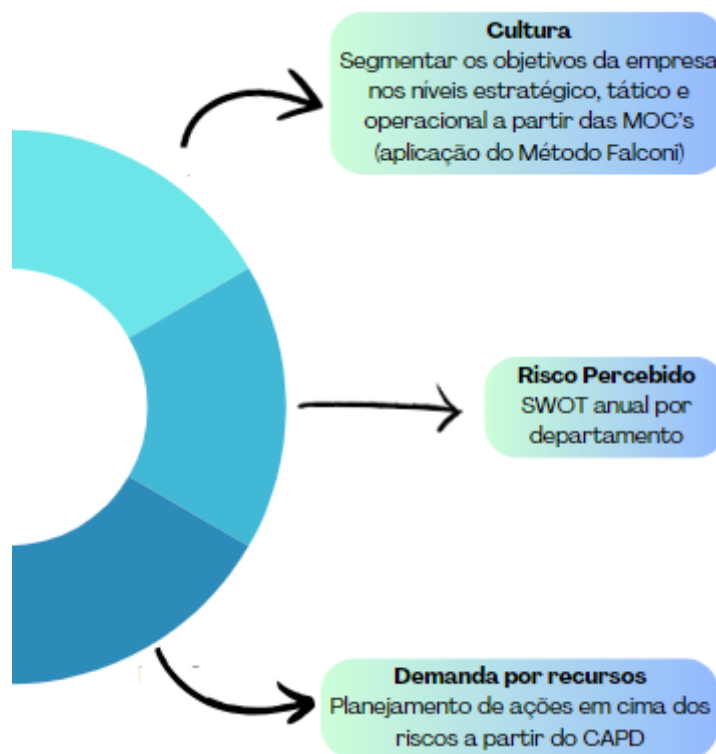
Iniciando pelo nível macro, a cultura organizacional, pode-se desenhar esta estratégia usando o Método Falconi. Ao segmentar os objetivos da empresa nos níveis estratégico, tático e operacional, deve-se contemplar as MOC's criadas em cada camada, disseminando em toda a organização a preocupação para com a segurança dos processos e a forma com que esta será acompanhada.

Com a cultura alinhada e as normas sendo cumpridas, segue-se para o risco percebido e a demanda por recursos, princípios que devem ser geridos de modo contínuo e repetitivo. Para isso, deve-se realizar a investigação nos níveis macro e micro. No nível macro, a ferramenta SWOT pode ser bastante valiosa para indicar todas as ameaças, oportunidades,

forças e fraquezas da organização nos mais diversos âmbitos. Recomenda-se refazer a SWOT anualmente e subdividi-la por departamentos, ou seja, faz-se um diagrama para Logística, outro para Segurança, outro para Produção e assim sucessivamente, até que todas as áreas da empresa tenham sido mapeadas. Ao final, pode-se compilar as principais conclusões em uma única SWOT que deverá ser compartilhada com toda a empresa e funcionará como guia das ações e planos que a diretoria desenhará para o período que se segue.

Por outro lado, na investigação micro, deve-se fazer uma análise de riscos detalhada, na qual levanta-se todos os riscos potenciais por equipamento, setor e processo. Para que cada risco seja devidamente endereçado utiliza-se o CAPD (PDCA que roda um ciclo e meio). Assim, para cada risco, o primeiro passo é avaliar a situação. Se for um risco iminente, deve-se fazer a correção sobre os efeitos imediatos, planejar uma ação definitiva e tomar ações corretivas sobre as causas do risco. Após um tempo determinado, avalia-se os resultados e age sobre o que não funcionou. Em casos de riscos futuros, aplica-se a ação definitiva de planejamento para minimização do risco e segue avaliando os resultados e novos riscos correlacionados periodicamente.

Figura 14 - Infográfico com correlação entre Métodos de Gestão e MOC



Fonte: elaborado pelo autor com base em CCPS, 2007.

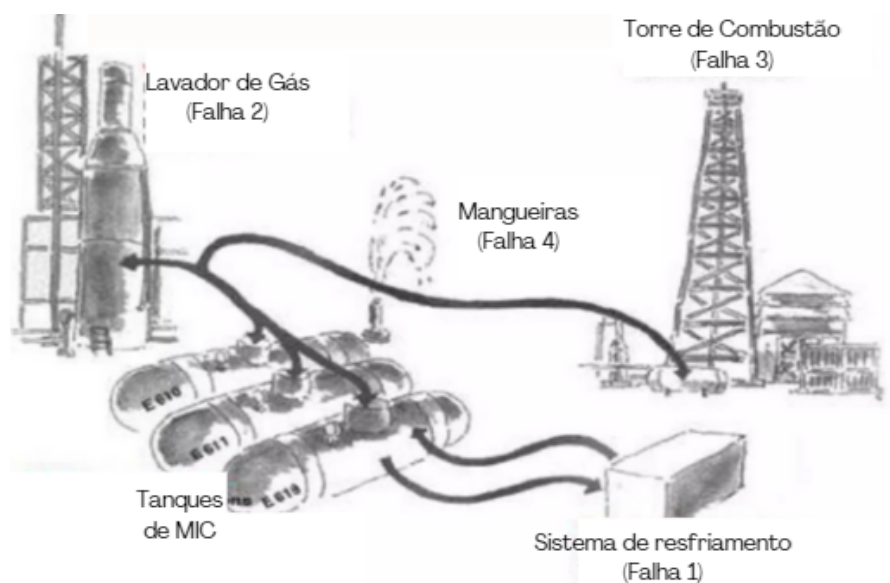
4.3. Aplicação das metodologias de gestão e do fluxo de MOC às falhas de Bhopal

A partir do conhecimento das metodologias de gestão (PDCA, SWOT e Método Falconi) e sabendo-se os desdobramentos do acidente de Bhopal, pode-se levantar alternativas de gestão que, caso aplicadas no dia a dia da companhia, teriam evitado a ocorrência das falhas. Dentre estas falhas (Figura 15), tem-se: 1) o sistema de resfriamento ligado aos tanques de armazenagem de MIC, que controlaria a temperatura do tanque, estava desligado; 2) o lavador de gás (VGS), que limpava o gás contaminado, não estava operando devido a uma manutenção; 3) a torre de combustão, responsável pela queima de gases contaminados remanescentes, não estava operando, uma vez que uma peça corroída da tubulação havia sido retirada do processo e 4) as mangueiras ao redor da chaminé de emergência, capazes de jogar água em qualquer gás residual, possuíam sprays de água que não alcançavam a altura da chaminé, sendo ineficientes para conter o vazamento.

4.3.1. Falha 1: Sistema de resfriamento

A falha no sistema de resfriamento ocorreu pelo fato do mesmo estar desligado. Neste exemplo, fica evidente a falta de conhecimento dos riscos da planta, impactos de potenciais acidentes e formas de evitá-los. Caso este conhecimento fosse claro e difundido, o desligamento de um equipamento que assegura a segurança do processo jamais seria autorizado sem uma outra alternativa definida. Para que a abordagem fosse diferente, seria necessária a implementação de um rigoroso sistema de gestão de mudança.

Figura 15. Detalhamento dos eventos iniciadores do acidente de Bhopal



Fonte: Adaptado de EL KHOURY, 2018.

Inicialmente, é requerido o desenho do MOC:

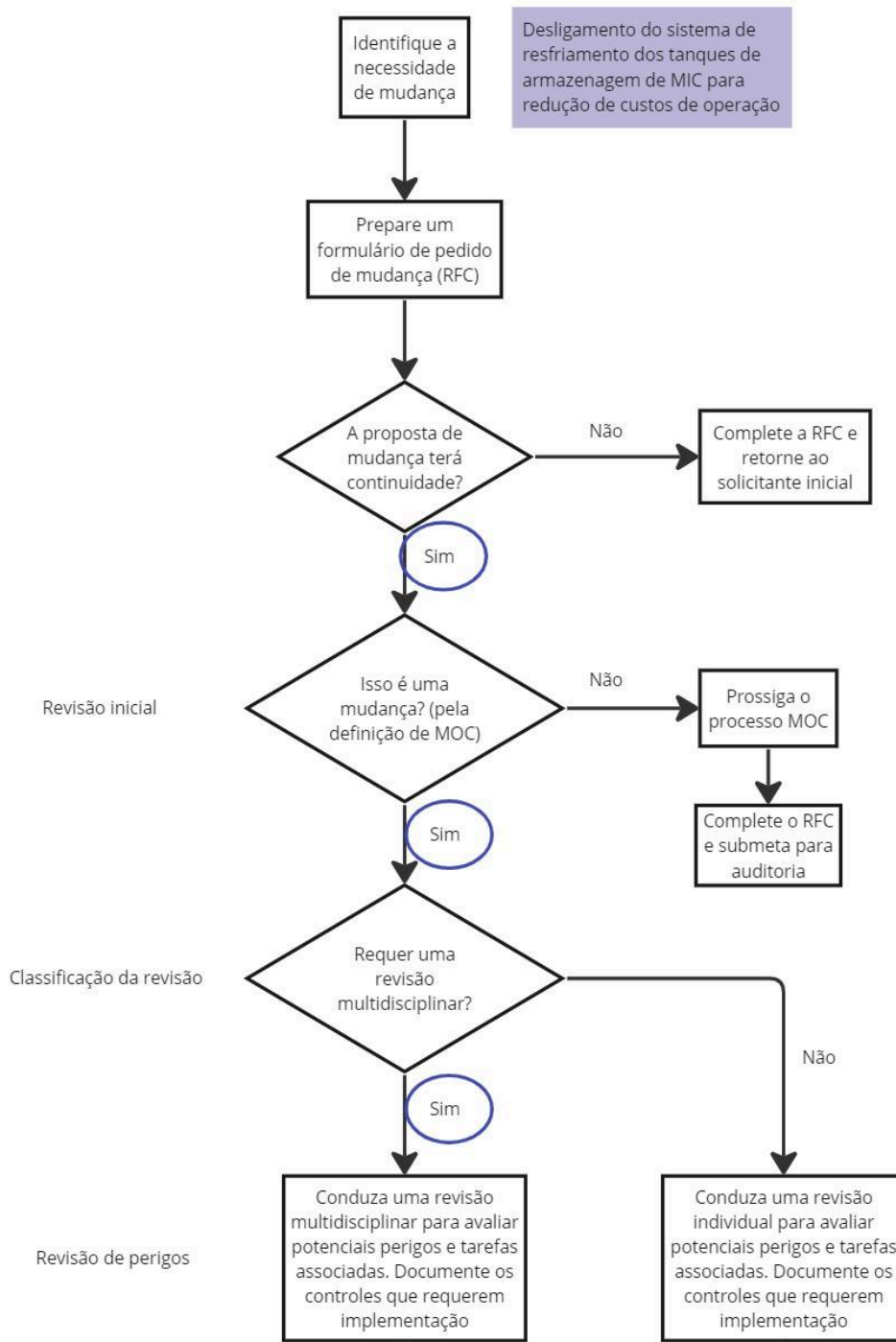
- Elemento: Gerenciamento de mudança
- Princípio-chave: Paralisação temporária ou permanente do sistema de resfriamento ligado aos tanques de armazenagem de MIC
- Recurso essencial: Falhas no equipamento, retirada de peças
- Possível atividade de trabalho: Manutenção Industrial
- Opções de implementação: O time de Manutenção Industrial deve inspecionar o sistema de resfriamento diariamente e reportar mudanças no seu funcionamento padrão. Em casos de comprometimento parcial ou total da operação, deve-se seguir para um acompanhamento ininterrupto da temperatura dos tanques de MIC até que se resolva o problema do sistema de resfriamento. Caso haja oscilações inesperadas na temperatura dos tanques, a operação deve ser paralisada imediatamente.

Suponha-se que, em uma das reuniões da diretoria, é levantada a necessidade de redução de custos na operação. Uma das propostas discutidas refere-se ao desligamento do sistema de resfriamento e manutenção apenas do controle de temperatura manual e periódico nos tanques de armazenagem. Se a indústria tem o processo de MOC implementado, este é levado para avaliação com auxílio do fluxograma de trabalho do sistema de gestão da mudança (Figura 16). O time de Manutenção, responsável por esta MOC, deve participar do processo de avaliação para que possam contribuir com os conhecimentos técnico e empírico.

A partir da revisão de riscos e perigos associados já se identificaria o risco de explosões caso a temperatura sofresse mudanças drásticas e seria desenhada uma alternativa de minimização deste risco ou optaria-se por não seguir com a proposta. Como não houve esse cuidado em Bhopal, o desligamento ocorreu sem que os riscos fossem considerados.

Lees (2012) traz uma abordagem semelhante à deste trabalho para o caso de Bhopal. Embora este desastre seja mais frequentemente associado a falhas sistêmicas gerais, ele discute como mudanças mal gerenciadas nos processos e procedimentos contribuíram para a tragédia. Modificações no processo, manutenção inadequada e a falta de treinamento adequado dos operadores foram fatores críticos que contribuíram para o vazamento catastrófico de gás. O autor usa este exemplo para ilustrar a importância vital de uma gestão de mudanças rigorosa e abrangente.

Figura 16. Aplicação de fluxograma de trabalho do procedimento MOC do sistema de resfriamento



Fonte: Adaptado de CCPS, 2007.

Outros autores, como Kletz (2009), também descrevem acidentes na indústria de processos, detalhando como a gestão inadequada de mudanças (Management of Change - MOC) contribuiu para essas tragédias. Um caso trazido por este autor refere-se à planta de

caprolactama em Flixborough, Inglaterra, que sofreu uma explosão massiva em 1974 após uma modificação improvisada no sistema de tubulação. A mudança não foi adequadamente projetada ou analisada, e a tubulação improvisada falhou, levando a uma explosão de vapor catastrófica. A falta de uma análise de segurança formal para a modificação temporária demonstrou a importância de um processo rigoroso de MOC para todas as mudanças em sistemas críticos.

4.3.2. Falha 2: Lavador de gás

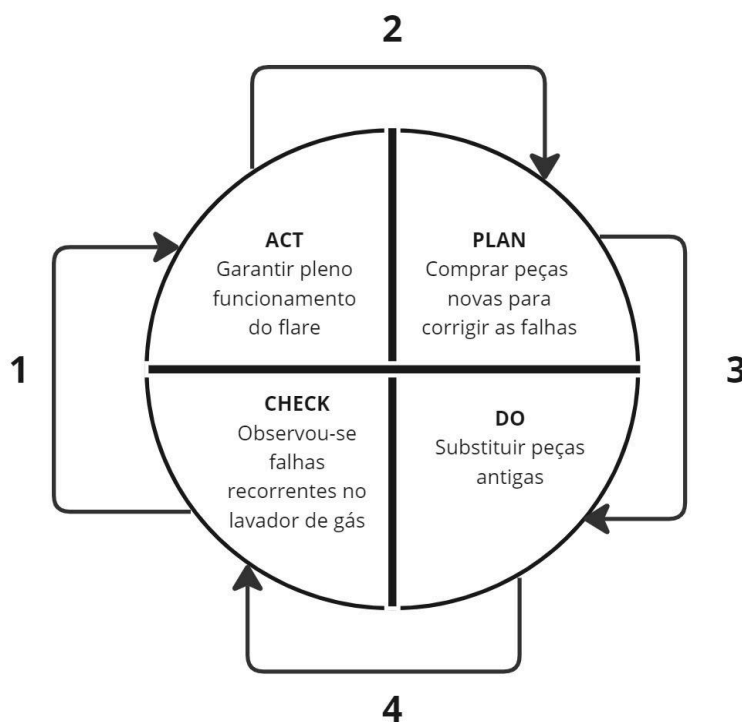
O lavador de gás estava em manutenção, sendo incapaz de executar seu papel na operação. Manutenções com duração de dias, como esta, poderiam ser evitadas se a indústria rodasse o ciclo CAPD para melhoria de processos contínua e análise de padrões de falha.

Possivelmente o lavador de gás já apresentava um padrão de falhas e, por isso, seguiu para a manutenção. Com a implementação do ciclo CAPD e a avaliação periódica da situação de cada equipamento, o padrão de falha seria identificado antes. Assim, seguiria-se para duas ações: 1) sobre o efeito da falha e 2) sobre a causa da falha.

O efeito desta falha é a passagem de gases contaminantes, o que seria contornado pelo pleno funcionamento do equipamento posterior, a torre de combustão, que faria a queima destes gases. A causa das falhas deveria ser investigada, considerando prazos curtos e rigorosos para evitar a ocorrência de acidentes, e uma ação corretiva definitiva precisaria ser tomada. Por fim, o acompanhamento frequente do equipamento permitiria avaliar os resultados das ações aplicadas e corrigir pontos que ainda se mantivessem críticos. Este ciclo está apresentado nas Figuras 17.a. e 17.b.

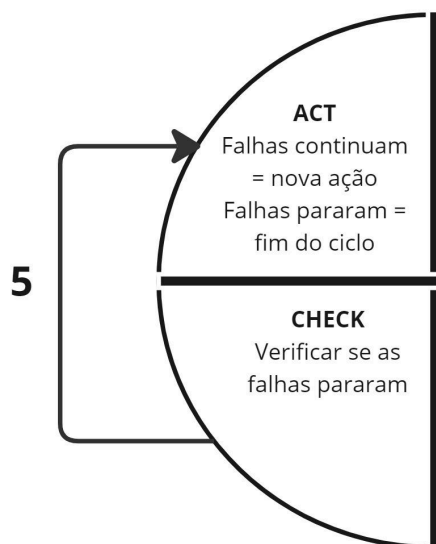
Complementar ao que foi trazido anteriormente, Hendershot (2016) discute a aplicação de metodologias iterativas, como o CAPD, para a identificação e mitigação de riscos em diferentes estudos de caso. Ele enfatiza a importância de ações corretivas iniciais para prevenir falhas futuras no processo industrial. Um dos exemplos apresentados pelo autor é um incidente ocorrido devido a um vazamento de gás tóxico em uma planta química. Via CAPD, sugere-se os passos: 1) Checar - Identificação da origem do vazamento através de inspeção detalhada e monitoramento contínuo dos níveis de gás; 2) Agir - Imediata contenção do vazamento e evacuação da área afetada; 3) Planejar - Desenvolvimento de um plano de manutenção e inspeção regular dos equipamentos envolvidos para evitar futuros vazamentos e 4) Fazer - Implementação do plano de manutenção e realização de treinamentos para os operadores sobre procedimentos de emergência.

Figura 17.a - Aplicação de do CPDA à falha do lavador de gás



Fonte: elaborado pelo autor com base em KONDO, 1995.

Figura 17.b - Continuação da aplicação de do CPDA à falha do lavador de gás



Fonte: elaborado pelo autor com base em KONDO, 1995.

4.3.3. Falha 3: Torre de Combustão

A falha na torre de combustão ocorreu pela ausência de uma peça no processo. Uma forma de evitar acidentes causados pelo não funcionamento de um equipamento decorrente de peças faltantes é através da construção de um sistema de gestão por diretrizes e rotina

baseado no Método Falconi. Neste método, faz-se necessário um claro alinhamento entre os três níveis da companhia (estratégico, tático e operacional), com diretrizes e marcos a serem alcançados por cada um deles. Um exemplo de metas e indicadores para acompanhamento deste caso seria:

- Nível estratégico: Garantir que a companhia tenha todos os recursos financeiros, técnicos e operacionais para manter os equipamentos em pleno funcionamento. Neste nível, pode-se avaliar métricas relacionadas ao percentual em caixa disponível para investimentos em infraestrutura e manutenção e número de funcionários técnicos e operacionais em cada setor da indústria.
- Nível tático: Avaliar periodicamente o funcionamento dos equipamentos, analisar os impactos de falhas ou repentinas paradas em equipamentos e assegurar que trocas e manutenções ocorram sempre que necessário. Pode-se mensurar o número de auditorias realizadas e o nível de conformidade alcançado.
- Nível operacional: Realizar ajustes e calibrações diárias nos equipamentos. É possível inferir a quantidade de ajustes e calibrações realizadas diariamente e o percentual de equipamentos da planta que foram contemplados por tais ajustes.

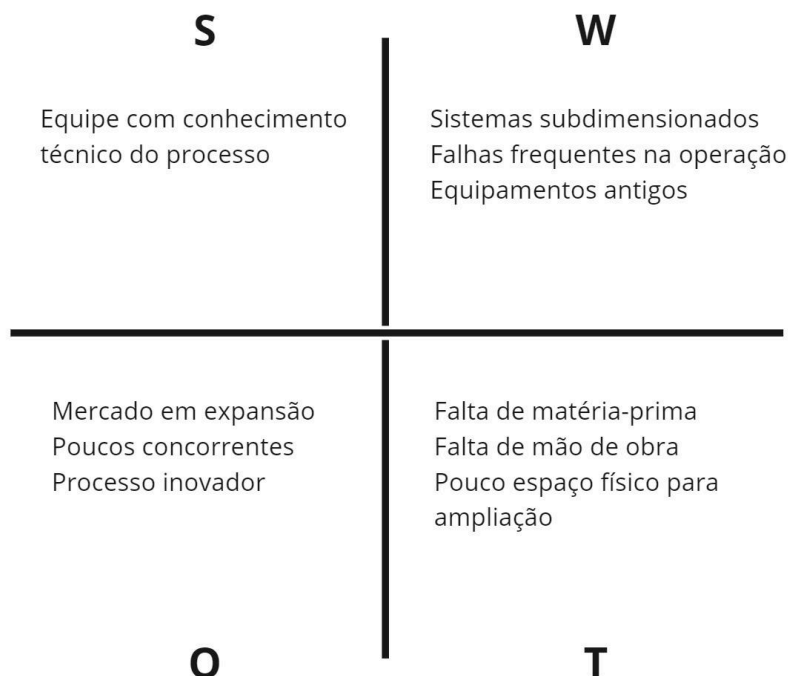
Nesta mesma temática, Salerno (2010) discute a aplicação do Método Falconi na indústria química, destacando a importância da gestão do conhecimento e da melhoria contínua para a segurança de processos. Salerno destaca a importância de definir metas claras e planos de ação detalhados para todos os níveis da organização. Ele enfatiza que o envolvimento de colaboradores, gerentes e supervisores é essencial para garantir que todos compreendam suas responsabilidades e o impacto de suas tarefas no resultado final da empresa. Além disso, ele correlaciona o método com a análise SWOT e o ciclo PDCA.

4.3.4. Falha 4: Mangueiras

As mangueiras, apesar de não terem falhado em seu funcionamento, falharam em sua eficiência, como consequência do seu subdimensionamento. Caso a construção da empresa e o alinhamento anual de sua visão e objetivos estivessem pautados em uma SWOT, esta falha teria sido endereçada antes da ocorrência do acidente. Um exemplo de SWOT específico da área de Operações ou Produção seria o apresentado na Figura 18. O foco dessas áreas é avaliar forças, fraquezas, oportunidades e ameaças referentes aos equipamentos, equipe de operação, processo de produção e mercado. Assim, o subdimensionamento de alguns

sistemas, como o de mangueiras, sendo conhecido, seria logo apontado como uma das fraquezas a ser priorizada e tratada.

Figura 18 - Exemplo de SWOT da Produção



Fonte: elaborado pelo autor com base em Rock Content, 2019.

Nolan (2014) utiliza a análise SWOT para avaliar riscos de incêndio e explosão em instalações industriais. Ele traz o contexto de uma planta química que processa hidrocarbonetos líquidos voláteis e está realizando uma revisão completa de suas práticas de segurança via SWOT para identificar áreas de vulnerabilidade e oportunidades de melhoria na segurança contra explosões. Ao aplicar este método, identifica-se, por exemplo, que a infraestrutura robusta da indústria (a planta foi construída com materiais resistentes ao fogo) é uma força, porém tem-se atrasos na manutenção preventiva de válvulas e sensores de pressão como fraqueza. A partir disso, constroi-se os planos de ação para mitigar os riscos identificados, como a implementação de um programa de manutenção preventiva.

Vale destacar que um dos objetivos de se ter vários sistemas de segurança sequenciais é justamente permitir que um deles eventualmente falhe. Assim tem-se margem de segurança para manutenções e ajustes em equipamentos defeituosos, sabendo-se que os demais estarão funcionando e cumprindo com o papel de evitar o acidente. O problema em Bhopal não foi a falha de um equipamento, mas a falha de todos eles, o que somente acontece devido a uma

grande negligência de vários processos, que seriam facilmente corrigidos com a implementação dos métodos acima apresentados.

4.4. Análise de incertezas

Ainda que todos os métodos estudados sejam de fácil aplicação, é importante considerar que a implementação de metodologias de gestão e análise de riscos em uma indústria tradicional do século XX enfrenta vários desafios práticos. Um dos principais obstáculos é a resistência à mudança, uma vez que muitas dessas indústrias têm uma cultura profundamente enraizada e são relutantes em adotar novos métodos, especialmente se os processos existentes já são considerados eficientes. Pode haver também falta de uma cultura de segurança e prevenção, onde a resposta a problemas só ocorre após sua manifestação, ao invés de preveni-los de maneira proativa.

Outro grande desafio é a infraestrutura antiga, que dificulta a implementação de metodologias modernas devido à falta de dados precisos ou à ausência de mecanismos de monitoramento adequados. A dificuldade em integrar novas tecnologias também surge, já que muitas dessas indústrias operam com sistemas legados e processos manuais. Isso requer um investimento considerável de tempo e recursos para atualizar os sistemas e tecnologias necessários.

Além disso, a falta de recursos humanos qualificados é um obstáculo significativo. As indústrias tradicionais podem não ter pessoal treinado em metodologias modernas de análise de riscos, e os funcionários existentes podem estar acostumados a formas mais informais de gerenciar riscos. Há ainda a questão dos silos organizacionais, em que os departamentos operam de maneira isolada, dificultando a colaboração e a comunicação necessárias para uma gestão de riscos eficaz.

As indústrias tradicionais também podem estar em conformidade com regulamentações antigas, que não exigem metodologias avançadas de análise de riscos, o que pode reduzir o incentivo para adotar novas abordagens. Além disso, muitas empresas estão focadas em lucros de curto prazo e podem não ver a gestão de riscos como um investimento que trará benefícios a longo prazo, o que cria resistência à adoção dessas práticas.

A complexidade e personalização dos processos em indústrias tradicionais também dificultam a implementação de metodologias genéricas de gestão de riscos, exigindo adaptações específicas para cada realidade organizacional. Por fim, a falta de apoio da alta gestão pode ser um grande entrave, já que sem o comprometimento dos líderes, a

implementação de metodologias de gestão de riscos pode não receber os recursos necessários para ser eficaz.

Esses desafios podem ser superados através de uma abordagem gradual, focada na conscientização, treinamento, modernização tecnológica e no comprometimento da alta gestão. Ao demonstrar os benefícios da gestão de riscos em termos de segurança, eficiência e redução de custos a longo prazo, é possível implementar essas metodologias de maneira eficaz, mesmo em indústrias tradicionais.

4.5. Alternativas para evitar o acidente de Bhopal por outros autores

Centenas de estudos e artigos foram publicados desde a ocorrência do acidente de Bhopal. Alguns abordam possíveis causas do acidente, outros trazem o impacto do acidente sob o ponto de vista de diferentes agentes e stakeholders, mas a grande maioria aponta práticas que, se executadas, poderiam ter evitado o desastre.

Morone e Woodhouse (1998) sugerem que o problema moral levantado por Bhopal pode ser traduzido no questionamento: as empresas têm obrigação de garantir a igualdade de proteção contra os riscos através das fronteiras nacionais ou apenas fornecer a proteção que for exigida pela lei do país receptor da tecnologia? Sabe-se que as transferências de tecnologias de risco para outros países ocorrem frequentemente, mas os receptores impõem sanções de segurança, as quais são tipicamente mínimas ou inexistentes. Portanto, os riscos decorrentes das tecnologias devem ser investigados, avaliados e geridos, considerando-se sua probabilidade e magnitude de causar graves danos ambientais (WITTCKIND, 2017, p.211-233). A análise dos riscos deve ser incorporada aos processos de desenvolvimento que logicamente podem trazer desvantagem para alguns setores da sociedade. Neste sentido, é essencial, ao fazer um balanço de prós e contras, que o governo considere adequadamente os interesses desses afetados por projetos de desenvolvimento, além de expandir e fortalecer o escopo da avaliação de impacto humano e ambiental. O Estado não deve abdicar do seu dever de proteção em prol apenas dos interesses do setor empresarial (DEVA, 2012).

Seguindo a mesma linha, Farber (2012) aponta que “desastres são frequentemente o resultado de uma falha regulatória de longo prazo”. Uma vez que os desastres são cada vez mais comuns, deve haver uma orientação jurídica adequada, que possa garantir que os desastres sejam regulados e previstos, assim como devem ser abrangidos em ações de comando e controle os mais variados riscos, isto é, a legislação deve ser extensiva e abrangente. O Direito (Ambiental) exige um processo complexo, multifacetado, que demanda

uma abordagem sistemática. Além disso, segundo o autor, os desastres representam um problema global, de modo que as soluções devem ser igualmente transnacionais.

Um dos estudos sobre o caso de Bhopal (SANTI, 2019) aborda o desastre sob a ótica da confiabilidade humana, indicando que “a falta de compromisso com as normas e os cortes de recursos financeiros e humanos, em operação e manutenção, conduziu ao funcionamento crítico da planta”. Santi (2019) propõe como alternativa o uso de ferramentas com princípios similares ao sistema de gestão de mudança, como o HAZOP. Esta técnica analisa os perigos no processo produtivo baseado no estudo das variações operacionais possíveis (NOLAN, 1994). Sua principal característica é a revisão de processos em reuniões coordenadas por um especialista e composta por equipe multidisciplinar para avaliar possíveis desvios que podem ocorrer no novo projeto ou modificação de processo. A revisão se baseia em modificações de parâmetros (vazão, temperatura, pressão, mistura e/ou nível) no processo, provocando ao grupo do estudo a avaliação das suas possíveis causas, consequências e recomendações que eliminem, minimizem ou controlem o risco. Aqui o Estado não é apontado como responsável pela análise dos riscos, mas sim a própria empresa dona da tecnologia.

Com diferentes ferramentas e direcionando a responsabilidade para diferentes agentes, todos os autores reforçam a necessidade de avaliar e mitigar os riscos de cada mudança antes da sua implementação, o que não foi realizado na planta de Bhopal.

5. CONCLUSÕES

A partir da revisão das principais metodologias de gestão da mudança, da análise de sua aplicabilidade na indústria química e da proposição de um modelo adaptado, conclui-se que a gestão da mudança é essencial para a segurança e a sustentabilidade das operações no setor químico. As metodologias propostas pelo CCPS (2007), que estruturam o processo de mudança, oferecem uma base sólida para prevenir acidentes ao identificar, avaliar e mitigar riscos associados às modificações nos processos, estruturas e operações.

Ao avaliar a aplicabilidade dessas metodologias, constatou-se que o setor químico, devido à sua alta complexidade e riscos inerentes, demanda uma aplicação rigorosa e sistemática de práticas de gestão da mudança. A análise do caso de Bhopal demonstra claramente como a falta de uma gestão eficaz pode ter consequências catastróficas. A ausência de revisões adequadas, falhas de segurança e gestão ineficaz contribuíram significativamente para o acidente.

Com base nessas observações, foi proposto um modelo adaptado que combina práticas tradicionais, como o ciclo PDCA, com metodologias específicas do setor químico, como o RBPS. Esse modelo integra a análise de riscos contínua, a comunicação interna eficiente e a capacitação de todos os níveis da organização para garantir que as mudanças sejam implementadas de maneira controlada e segura. O modelo proposto visa assegurar que todos os potenciais riscos sejam avaliados antes de qualquer modificação, minimizando a probabilidade de falhas operacionais ou de segurança.

Em síntese, a gestão da mudança, quando bem implementada, é uma ferramenta poderosa para a prevenção de acidentes e a promoção de uma cultura de segurança robusta nas indústrias químicas. O modelo adaptado proposto se alinha às melhores práticas globais e pode ser a chave para mitigar riscos e promover operações mais seguras e eficientes no setor.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Em pesquisas futuras, pode-se 1) comparar a aplicação e a eficácia de diferentes metodologias de gestão de mudanças, como PDCA, SWOT e Método Falconi, em diferentes regiões e setores industriais e 2) realizar uma análise longitudinal para medir os benefícios a longo prazo da implementação de sistemas robustos de gestão de mudanças na redução de acidentes industriais. Essas sugestões visam não apenas aprofundar o conhecimento existente, mas também proporcionar novas perspectivas e soluções práticas para os desafios enfrentados pela indústria química na gestão de mudanças e prevenção de acidentes. Além disso, sugere-se incluir o estudo da segurança em processos industriais na matriz curricular curso de Engenharia Química, visando tornar sua formação cada vez mais ampla

7. REFERÊNCIAS

A Tragédia de Bhopal - 25 Anos Atrás, CCPS, 2009. Disponível em: <<http://www.aiche.org/CCPS/Publications/Beacon/index.aspx>>. Acesso em: 20 de fev. de 2024.

AIROIL FLAREGAS. Knock Out Drums. 2019. Disponível em: <<https://www.airoilflaregas.com/pdf/KnockOutDrums.pdf>>. Acesso em: 22 de fev. de 2024.

AYRES, R. U. Industrial Metabolism: Theory and Policy. Tokyo: United Nations University, 1987.

BASF. *Relatório de Sustentabilidade 2022*. Disponível em: <https://www.basf.com/global/en/sustainability>. Acesso em: 29 set. 2024.

BERWIG, Juliane Altmann. Direito dos desastres na exploração off shore do petróleo. Curitiba: Juruá, 2015.

Bhopal, história de um desastre humanitário e ambiental. Troposfera, 2014. Disponível em: <<http://www.troposfera-brasil.org/conceptos/tropoestudios/bhopal-historia-de-un-desastre-humanitario-y-medioambiental/>> . Acesso em 06 de abr. de 2024

BOWONDER, B. An analysis of the Bhopal accident. Project Appraisal, [S.L.], v. 2, n. 3, p. 157-168, set. 1987. Informa UK Limited.

BRIDGES, William. Transitions: Making Sense of Life's Changes. 2nd ed. Cambridge, MA: Da Capo Press, 2004.

CASAROTTO, Camila. Aprenda o que é análise SWOT, ou análise FOFA, e saiba como fazer uma análise estratégica do seu negócio. Rock Content, 2019. Disponível em: <<https://rockcontent.com/br/blog/como-fazer-uma-analise-swot/>>. Acesso em 05 de fev. de 2024.

CCPS (Center for Chemical Process Safety). Guidelines for Risk Based Process Safety. 1.ed. Nova Jersey: Wiley-AIChE, 2007.

DEVA, Surya. Access to Justice: Human Rights Abuses Involving Corporations – India. International Commission of Jurists, 2012. Disponível em: <<https://ssrn.com/abstract=2034813>>. Acesso em: 07 jul. 2024.

EL KHOURY, Rita, et.al. Analysis of Bhopal Plant Gas Tragedy. Tese - Faculty of Engineering, Holy Spirit University of Kaslik (USEK). Líbano, p.9. 2018.

EMILIANO CHEMELLO. Acidentes Explicados pela Ciência: Desastre em Bhopal. Setembro de 2010. Disponível em:

<<http://www.quimica.net/emiliano/artigos/2010setembrobhophal.pdf>>. Acesso em 20 fev. 2024.

FALCONI, Vicente. Gerenciamento pelas Diretrizes: O que todo membro da alta administração precisa saber para vencer os desafios do novo milênio. 5ª ed. Belo Horizonte: Editora Falconi, 2013.

FARBER, Daniel. Disaster law and emerging issues in Brazil. In Revista de Estudos Constitucionais, Hermenêutica e Teoria do Direito (RECHTD), jan./jun./2012, São Leopoldo: UNISINOS, 2012.

GIOVANAZ, Daniel. Maior crime industrial da história soma 600 mil vítimas e afeta 3ª geração na Índia. Brasil de Fato, 2020. Disponível em: <<https://www.brasildefato.com.br/2020/03/19/maior-crime-industrial-da-historia-soma-600-mil-vitimas-e-afeta-3-geracao-na-india>>. Acesso em: 06 de abr. de 2024

GREENPEACE. The Bhopal Legacy. Greenpeace International, 1999. Disponível em: <<https://www.greenpeace.org/international/publication/6993/the-bhopal-legacy/>>. Acesso em: 28 jul. 2024.

HENDERSHOT, Dennis C. Layer of Protection Analysis Simplified Process Risk Assessment. New York: CCPS, 2016.

História da Gestão de Mudanças, Prosci, 2018. Disponível em: <<https://gestaodemudanca.com.br/gestao-de-mudancas/historia-da-gestao-de-mudancas/>>. Acesso em: 26 de dez. de 2023.

HOLLNAGEL, E.; WOODS, D. D.; LEVESON, N. Resilience engineering: Concepts and precepts. Aldershot: Ashgate, 2006.

HOSOTANI, Katsuya. The QC problem solving approach: solving workspace problems the japanese way. Tokio: 3A Corporation, 1992.

HUMPHREY, A. (2005) SWOT Analysis for Management Consulting. SRI Alumni Newsletter. SRI International, United States.

KONDO, Yoshio. Companywide Quality Control: it's background and development. Tokio: 3A Corporation, 1995.

KLETZ, Trevor. What Went Wrong?: Case Histories of Process Plant Disasters and How They Could Have Been Avoided. 5th ed. Oxford: Gulf Professional Publishing, 2009.

LEES, Frank P. Lees' Loss Prevention in the Process Industries. 4th ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2012.

Método Falconi: O que é gerenciamento pelas diretrizes? Siteware, 2023. Disponível em: <<https://www.siteware.com.br/blog/metodologias/metodo-falconi/>>. Acesso em: 05 de fev. de 2024.

MOEN, Ron; NORMAN, Cliff. Evolution of the PDSA Cycle. Disponível em <http://deming.ces.clemson.edu>. Acesso em 23 de janeiro de 2024.

MOREIRA, A. S. PRÁTICAS DE GESTÃO ORIENTADAS PARA A MELHORIA DA SEGURANÇA DE PROCESSOS NA ATIVIDADE DE CONSTRUÇÃO DE POÇOS MARÍTIMOS DE UMA EMPRESA PETROLÍFERA BRASILEIRA: UMA PROPOSTA. Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Sistemas de Gestão da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre em Sistemas de Gestão, Niterói, 2017. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/5466/Dissert%20Alinne%20S%20Moreira.pdf>. Acesso em 12 de junho de 2024.

MORONE, Joseph G.; WOODHOUSE, Edward J.. Averting Catastrophe Strategies for Regulating Risky Technologies. Berkeley: University Of California Press, 1988.

NOAA. U.S Department Of Commerce. Methyl Isocyanate. 1999. Disponível em: <<https://cameochemicals.noaa.gov/chris/MIS.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2024.

NOLAN, Dennis P. Application of HAZOP and What-If safety reviews to the petroleum, petrochemical & chemical industries. New Jersey, U.S.A.: Noyes Publications, 1994.

NOLAN, Dennis P. Handbook of Fire and Explosion Protection Engineering Principles for Oil, Gas, Chemical, and Related Facilities. 3rd ed. Oxford: Elsevier, 2014.

NONATO, Livia. Quais são as principais metodologias de gestão? Aevo, 2023. Disponível em: <<https://blog.aevo.com.br/metodologias-de-gestao/>>. Acesso em: 06 de abr. de 2024.

ORIBE, Claudemir. PDCA: origem, conceitos e variantes dessa ideia de 70 anos. Belo Horizonte: Qualypro, 2009.

PANAGIOTOU, G. (2003) Bringing SWOT into Focus, Business Strategy Review, Vol 14, Issue 2, pp8-10.

SALERNO, Mario Sergio. A Gestão do Conhecimento e o Método Falconi na Indústria Química. Revista de Administração, v.45, n.2, p. 32-48, 2010.

SANTI, Anderson, et al. Análise do desastre de Bhopal sob a ótica da Confiabilidade Humana. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2019.

SHELL. *Relatório de Sustentabilidade 2022*. Disponível em: <https://www.shell.com/sustainability>. Acesso em: 29 set. 2024.

TAGLIAMENTO, Leticia. Método Falconi: Gerenciamento pelas Diretrizes (GPD). Actio, 2023. Disponível em <https://actiosoftware.com/2023/12/metodo-falconi-gerenciamento-pelas-diretrizes-gpd/>. Acesso em 06 de fev. de 2024.

TAYLOR, Frederick Winslow. *The Principles of Scientific Management*. New York: Harper & Brothers, 1911.

THE BHOPAL MEDICAL APPEAL. *Rethinking Bhopal – A process safety analysis of the Union Carbide Bhopal Plant*. 2014. Disponível em: <https://www.bhopal.org/rethinking-bhopal-a-process-saefty-analysis-of-the-union-carbide-bhopal-plant%20/>. Acesso em: 07 jul. 2024.

UNION CARBIDE CORPORATION. *Bhopal Gas Tragedy Information*. 2019. Disponível em: <http://www.bhopal.com/>. Acesso em: 20 fev. 2024.

WEIHRICH, H. (1982). *The Tows Matrix – a Tool for Situational Analysis, Long Range Planning*, April (60).

WILLEY, Ronald J.; HENDERSHOT, Dennis C. *The Accident in Bhopal: Observations 20 Years Later*. In: ANNUAL LOSS PREVENTION SYMPOSIUM, 40., 2006, New York. Anais [...]. Orlando: Aiche, 2006. p. 3-14. Disponível em: <https://repository.library.northeastern.edu/files/neu:378468/fulltext.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2024.

WITTCKIND, E. V.; BERWIG, J. A.; ENGELMANN, W. O DESASTRE DE BHOPAL: RISCOS E VULNERABILIDADES NA TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIAS E O DIREITO DE SABER. *Veredas do Direito, Belo Horizonte*, v. 14, n. 30, p. 293-316, set./dez. 2017. Disponível em: <http://www.domhelder.edu.br/revista/index.php/veredas/article/view/1185>. Acesso em: 07 jul. 2024.