

Pós-Graduação

Segurança de Processos



KPIS DE SEGURANÇA DE PROCESSO - ESTUDOS DE CASOS EM GRANDES DESASTRES INDUSTRIAIS

Eduardo Barcelos, Gustavo R. Diederichs, Gustavo Ribeiro, Jacira Souza e Fábio Vieira

RESUMO

A segurança de processos industriais é uma questão crucial na atualidade, considerando os riscos inerentes às atividades industriais e os potenciais negativos para o meio ambiente, funcionários e comunidades circunvizinhas. Neste contexto, a utilização de indicadores de segurança de processo tem se mostrado uma ferramenta eficaz para a avaliação e aprimoramento contínuo dos sistemas de segurança industrial. O presente trabalho teve como objetivo apresentar uma revisão abrangente sobre os indicadores de segurança de processo. Para tanto, inicialmente, foram discutidos os conceitos fundamentais relacionados à temática, destacando os principais desafios e fatores que influenciam a segurança das instalações industriais. Em seguida, foram apresentados os diferentes tipos de indicadores utilizados para mensurar a segurança de processos. Realizou-se a análise dos indicadores reativos (*lagging Indicators*), que se baseiam em dados históricos de acidentes e incidentes, e indicadores proativos (*leading Indicators*), que visam identificar e mitigar riscos potenciais antes que eles se concretizem. Posteriormente, procedeu-se a uma análise detalhada de dois graves acidentes de processo: o colapso da plataforma de produção de petróleo P-36 e a perda de contenção de um tanque de armazenamento de dióxido de cloro. Sendo o objetivo da análise destes eventos, compreender as causas dos acidentes e determinar quais indicadores de segurança de processo poderiam alertar para as condições que culminaram nos referidos incidentes.

Palavras-chave: Segurança de Processos, Indicadores, Gestão de Segurança de Processos (PSM), Gestão de Riscos, Cultura de Segurança.

ABSTRACT

The safety of industrial processes is a crucial issue today, considering the risks inherent to industrial activities and the potential negative effects for the environment, employees and surrounding communities. In this context, the use of process safety indicators has proven to be an effective tool for the assessment and continuous improvement of industrial safety systems. The present work aimed to present a comprehensive review of process safety indicators. To this end, initially, the fundamental concepts related to the topic were discussed, highlighting the main challenges and factors that influence the safety of industrial facilities. Next, the different types of indicators used to measure process safety were presented. An analysis was carried out of reactive indicators (lagging Indicators), which are based on historical data on accidents and incidents, and proactive indicators (leading Indicators), which aim to identify and mitigate potential risks before they materialize. Subsequently, a detailed analysis was carried out of two serious process accidents: the collapse of the P-36 oil production platform and the loss of containment of a chlorine dioxide storage tank. Carrying out this work highlighted process safety indicators that would alert to the conditions that culminated in the aforementioned incidents.

Keywords: Process Safety, Indicators, Process Safety Management (PSM), Risk Management, Safety Culture.

1. INTRODUÇÃO

O principal objetivo da indústria é melhorar a produtividade, maximizar os lucros, atender os prazos e garantir a excelência em qualidade. Neste contexto, com o intuito de intensificar a produtividade e os lucros, muitos acidentes fatais têm acontecido, o que tem gerado grande preocupação à área da segurança industrial, além de elevadas multas impostas por órgãos governamentais. Sendo assim, o tema Segurança de Processos tem se destacado entre os especialistas, que têm discutido sobre os conceitos do setor (Guerra, 2019).

A Segurança de Processos é uma área do conhecimento que contempla os acidentes que ocorrem por falhas dos equipamentos de processo (torres, barragens de contenção, estruturas, tubulações, etc.), caracterizadas por vazamentos e rupturas, que geram a perda de contenção de produtos nocivos ao meio ambiente, à pessoa física e consequências como as explosões, os incêndios e os desmoronamentos (Guerra, 2019).

Os grandes acidentes industriais no mundo indicaram que quando as ações de gerenciamento de riscos são mal implantadas ou mesmo ausentes em uma empresa, resulta-se em perdas significativas, de ordem humana, ambiental e/ou socioeconômica (CCPS, 2014). Em contrapartida, a análise retrospectiva tem apontado que se os avisos ou sinais oriundos dos indicadores de segurança tivessem sido gerenciados em tempo hábil, os acidentes poderiam ter sido evitados (Øien; Utne; Herrera, 2011).

Desta forma, a fim de garantir a segurança de processo, é recomendada a implementação de sistemas de indicadores de performance, a exemplo dos KPIs (*Key Performance Indicators*). Os KPIs de segurança de processo são ferramentas importantes para avaliar o desempenho de segurança de uma empresa e identificar as oportunidades de melhoria (CCPS, 2022).

Estes indicadores são parâmetros importantes que informam se um sistema está operando dentro dos limites de segurança que se espera, sob controle e em níveis aceitáveis. Enfim, visam indicar se as salvaguardas preventivas e mitigadoras, bem como as premissas consideradas para a aceitação dos riscos de processo estão aplicáveis, confiáveis e ativas, o que possibilita evitar ocorrência ou agravamento de acidentes (Almeida, 2013).

Neste contexto, este trabalho teve como objetivo geral analisar os grandes acidentes de segurança de processo do passado e identificar quais os indicadores de segurança que poderiam ter alertado para as condições das unidades, possibilitando a detecção precoce

das causas que levaram à ocorrência destes eventos, podendo até evitá-los, caso esses indicadores fossem monitorados e seus desvios fossem tratados adequadamente. Como objetivos específicos, o artigo buscou explicar sobre a magnitude dos acidentes, bem como caracterizar e destacar a importância dos indicadores de segurança.

Para tanto, procedeu-se a seguinte metodologia: I. Realização do levantamento de dados sobre os principais indicadores de segurança de processos usados na indústria e coleta de informações sobre dois grandes acidentes: o colapso da plataforma de produção de petróleo P-36 e a perda de contenção de um tanque de armazenamento de dióxido de cloro; II. Análise dos dados, com foco em detectar correlação de quais indicadores alertariam para as condições que levaram à ocorrência destes eventos.

Espera-se que este trabalho contribua para a conscientização sobre a importância dos indicadores de segurança de processo na prevenção de acidentes e para a adoção de medidas preventivas em empresas de diversos setores, visando à proteção da vida, do meio ambiente e dos negócios.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Indicadores de Segurança do Processo (KPI)

Diversos KPIs de segurança de processo foram aplicados ao longo dos anos para auxiliar na prevenção de incidentes e no gerenciamento eficaz de riscos. Entre os principais KPIs, destaca-se a taxa de frequência de acidentes, a taxa de gravidade de acidentes, o número de desvios de processo e taxas de liberações não programadas de substâncias perigosas (Nolan; Anderson, 2015). A utilização desses KPIs permite identificar padrões e tendências relacionadas à segurança de processo, possibilitando ações corretivas e preventivas.

A taxa de frequência de acidentes, por exemplo, é um indicador que expressa a quantidade de acidentes ocorridos em um determinado período, normalmente relacionados ao número de horas trabalhadas. A segregação deste indicador em áreas de uma instalação permite identificar as áreas com maiores ocorrências de acidentes e direcionar esforços para aprimorar a segurança nesses setores (CCPS, 2014).

Os KPIs de segurança de processo podem ser aplicados em diferentes indústrias, como petroquímicas, farmacêuticas e alimentícias, encorajando a aprimorar a cultura de segurança e o desempenho das organizações. Além disso, o uso de KPIs favorece a comunicação entre diferentes áreas e níveis hierárquicos das empresas, facilitando o

entendimento e a colaboração entre os colaboradores para a busca de melhores práticas (Gabčánová, 2012).

Em suma, os indicadores de segurança de processo são fundamentais para o gerenciamento eficiente das operações industriais e para a manutenção de um ambiente de trabalho seguro e sustentável (Mojarad; Atashbari; Tantau, 2018). O uso adequado desses indicadores, aliado a uma cultura de segurança sólida, pode resultar em significativas reduções nos riscos e melhorias contínuas no desempenho das organizações.

A seleção dos KPIs a serem monitorados pode ser um desafio para qualquer organização, pois eles serão utilizados para acompanhar a condição das barreiras de segurança contra grandes acidentes (IOGP, 2023). Para enfrentar esse desafio, a análise de acidentes relevantes e a identificação dos KPIs que poderiam indicar as deficiências que levaram a esses eventos, pode contribuir na identificação de quais indicadores são representativos para a organização.

Os KPIs de segurança de processo podem ser classificados em dois tipos principais: reativos e preventivos (também chamados de proativos). Na seção seguinte, são apresentadas as diferenças entre essas duas categorias e suas aplicações na indústria.

2.2 Indicadores reativos e preventivos

Os indicadores reativos são mensurados em eventos que já ocorreram, como acidentes, incidentes e falhas. Eles servem para avaliar o desempenho da segurança do processo a partir das consequências desses eventos (Sgourou *et al.*, 2010).

Os KPIs reativos são úteis para identificar padrões e tendências nos eventos ocorridos e para determinar áreas onde ações corretivas são necessárias (Vinnem *et al.*, 2006). Além disso, esses indicadores podem ser usados para comparar o desempenho da segurança de processo entre diferentes setores da organização ou entre empresas do mesmo setor (Leite, 2018).

Os indicadores proativos, por outro lado, são medidos em ações e condições que antecedem eventos controlados. Eles servem para identificar riscos e áreas de melhoria antes que incidentes ou acidentes ocorram (Barp; Palma; Locatelli, 2014).

Os KPIs proativos têm um papel importante na prevenção de acidentes e na melhoria contínua da segurança de processo. Ao monitorar esses indicadores, as organizações podem identificar riscos potenciais e medidas preventivas antes que eventos aconteçam. Além disso, os KPIs proativos promovem a conscientização sobre a

segurança de processo e a responsabilidade é compartilhada entre os colaboradores (Sgrourou, 2010).

Em resumo, os KPIs reativos e proativos desempenham papéis complementares na gestão da segurança de processo na indústria. Enquanto os KPIs reativos fornecem informações valiosas sobre eventos que já ocorreram, os KPIs proativos ajudam a identificar e mitigar riscos antes que acidentes ocorram. Ambos os tipos de indicadores são importantes para garantir um ambiente de trabalho seguro e eficiente nas plantas industriais (Elhuni; Ahmad, 2017).

O *American Petroleum Institute* (API, 2016) enfatiza a importância dos indicadores proativos para a prevenção de acidentes e a melhoria contínua da segurança de processo. Esses indicadores proativos, também conhecidos como indicadores antecedentes, fornecem informações valiosas sobre ações e condições que podem levar a eventos. Alguns dos principais indicadores proativos propostos pelo API (2016) incluem:

1 - Excursões fora do limite de segurança: Número absoluto de parâmetros de processo que desviariam do limite aceitável de segurança, podendo também ser calculado a duração dos parâmetros que estiveram em desvio. O aumento deste indicador pode mostrar degradação da instalação ou complacência da equipe de operação para problemas na instalação.

2 - Demanda em sistema de segurança: Número absoluto de demandas ocorridas em sistemas de segurança projetados para evitar ou mitigar as ocorrências de perdas de contenção. Como exemplo, ocorrência de alívio em válvula de alívio de pressão (*Pressure Safety Valve* - PSV), acionamento de desligamento de emergência de sistemas e acionamento de sistema instrumentado de segurança (SIS).

3 - Conclusão de treinamentos críticos dentro do prazo: Percentual de treinamentos críticos para segurança realizados dentro do prazo. Esse indicador proativo pode ser medido pelo número de horas de treinamento por funcionário e pela eficácia dos programas de treinamento, garantindo a conscientização e a capacitação da força de trabalho.

4 - Simulados de respostas à emergência realizados: Representa a taxa de realização de treinamentos simulados de emergência dentro do período programado. Esse indicador tem como objetivo monitorar o treinamento da equipe de resposta a emergências em todos os cenários acidentais previstos. Uma resposta inicial assertiva diante de uma emergência pode fazer toda a diferença, transformando um potencial grande acidente em um evento

de menor gravidade. Portanto, é de extrema importância contar com uma equipe bem treinada e preparada para tais situações.

5 - Gerenciamento do risco de fadiga: Pode ser monitorado através de indicadores como o percentual de horas extras, o número absoluto de trocas de turno e o número absoluto de turnos trabalhados. A fadiga está diretamente relacionada com a quantidade de horas de sono adequadas, portanto, garantir que os trabalhadores tenham o tempo necessário para descansar é essencial para evitar a fadiga. O risco de fadiga é uma preocupação significativa, pois pode impactar diretamente na segurança e no desempenho dos colaboradores. Ao gerenciar adequadamente a fadiga, é possível promover um ambiente de trabalho mais seguro, minimizando os riscos associados e contribuindo para o bem-estar e a produtividade dos funcionários.

6 - Conformidade nas permissões de trabalho: Percentual de permissões de trabalho auditadas que atendem ao requerido pela companhia. A Permissão de Trabalho é um sistema de controle formal que visa garantir que o trabalho seja realizado de forma segura e em conformidade com os requisitos e procedimentos aplicáveis. Este indicador promove o acompanhamento da qualidade das permissões de trabalho que estão sendo emitidas dentro da companhia.

7 - Verificação de conformidade de procedimentos: Percentual de procedimentos críticos verificados dentro do prazo estabelecido. A verificação de procedimentos críticos tem como objetivo garantir que os documentos estejam atualizados e alinhados com a instalação. Essa atividade é essencial para assegurar a conformidade operacional e a segurança das operações. Ao verificar regularmente os procedimentos críticos, é possível identificar e corrigir quaisquer desvios, garantindo que os processos sejam executados de acordo com os padrões estabelecidos e contribuindo para a eficiência e a integridade do sistema operacional.

8 - Conformidade de gestão de mudanças: Percentual de gestões de mudanças auditadas que atendem aos requisitos estabelecidos pela companhia. Esse indicador tem como objetivo monitorar a qualidade das gestões de mudanças implementadas na organização. É essencial realizar esse acompanhamento para verificar o controle das gestões de mudança na unidade e identificar a necessidade de revisão das mesmas, assim como suas análises de risco. Essa avaliação contínua é fundamental para assegurar que as mudanças sejam gerenciadas de forma adequada, minimizando riscos e garantindo a conformidade com os procedimentos estabelecidos pela companhia.

9 - Conclusão de análises de risco de processos: Percentual de análises de risco de processos programadas realizadas dentro do prazo. Avaliação e revalidações de análises de risco de processo são fundamentos básicos para gestão de segurança de processo, suas realizações dentro do planejado são essenciais para uma operação segura.

10 - Tarefas de plano de ação de segurança de processos concluídas: Percentual de tarefas originadas de planos de ação de investigações de acidentes, análises de riscos, inspeções de sistemas críticos e auditorias, concluídas dentro do prazo. O atendimento de itens de plano de ação de segurança de processo garante a operação conforme projeto da unidade.

11 - Inspeção em equipamentos críticos de segurança: Indica o percentual de inspeções em equipamentos críticos de segurança realizados dentro do prazo, monitorando se as inspeções estão consistentemente sendo realizadas conforme expectativa.

12 - Manutenção preventiva realizada dentro do prazo: A manutenção preventiva consiste em verificações, ajustes e reparos planejados nos equipamentos e instalações, visando prevenir falhas e garantir a continuidade das operações. Esse indicador proativo é medido pelo percentual de manutenções preventivas realizadas dentro do prazo previsto.

13 - Inspeção ou teste de contenção primária com resultado fora do limite: Número absoluto de pendências encontradas em inspeções ou testes realizados nos sistemas de contenção primária. A identificação de pendências em inspeções ou testes é essencial para garantir a integridade e a eficácia dos sistemas de contenção primária. Ao acompanhar o número de pendências encontradas, é possível identificar áreas que requerem atenção e tomar as medidas corretivas ou mitigatórias necessárias.

Ao monitorar esses indicadores proativos, as organizações podem identificar tendências e padrões relacionados à segurança de processo, permitindo a implementação de ações corretivas e preventivas. Além disso, o uso de indicadores proativos ajuda a promover a conscientização sobre a segurança do processo e a responsabilidade compartilhada entre os colaboradores (Castillo, 2021).

Os indicadores reativos, conforme padrão estabelecido pelo *American Petroleum Institute* (API, 2016), referem-se aos eventos que já ocorreram e são medidos após a ocorrência de um acidente ou incidente. Esses indicadores são importantes para analisar as falhas ocorridas e identificar áreas de melhoria, a fim de prevenir ocorrências futuras. Alguns dos principais indicadores reativos de segurança de processo segundo o API incluem:

14 - Taxa de frequência de acidentes: A taxa de frequência de acidentes mede a quantidade de acidentes ocorridos em um determinado período, geralmente relacionada ao número de horas trabalhadas. Esse indicador reativo é útil para identificar áreas com maior propensão a acidentes e direcionar esforços para melhorar a segurança nesses setores.

15 - Taxa de liberações não programadas de substâncias perigosas: Esse indicador reativo envolve a medição da frequência de gases, derramamentos ou emissões não-introduzidas de produtos químicos perigosos que podem resultar em exposição, jato ambiental e efeitos adversos à saúde dos trabalhadores e do meio ambiente.

Os indicadores reativos são fundamentais para avaliar o desempenho da segurança de processo e identificar áreas que apresentam melhorias (Reiman; Pietikäinen, 2012). No entanto, é importante destacar que os indicadores reativos devem ser complementados com indicadores proativos, uma vez que estes últimos fornecem informações valiosas sobre ações e condições que podem levar a eventos protegidos e ajudar na prevenção de acidentes e na melhoria contínua da segurança de processo.

A aplicação dos indicadores de segurança de processo é fundamental para monitorar e melhorar o desempenho das plantas industriais (LINDBERG *et al.*, 2015). Conforme observado em diversas empresas, a influência natural entre os KPIs de segurança de processo e o desempenho das plantas industriais é evidente em vários aspectos, como:

Redução de incidentes e acidentes: O monitoramento e análise dos KPIs de segurança de processo permitem a identificação e correção de desvios e riscos, resultando na redução de incidentes e acidentes. Isso impacta diretamente no desempenho das plantas industriais, pois diminui os custos associados à recuperação de acidentes e trabalho nas operações.

Melhoria da segurança operativa: A aplicação efetiva dos KPIs de segurança de processo ajuda a garantir que os equipamentos e instalações sejam compatíveis, dentro das condições de operação protegidas. Isso resulta em maior eficiência e produtividade das plantas industriais, garantindo a otimização dos processos e redução de desperdícios.

Melhoria da cultura de segurança: A aplicação sistemática de KPIs de segurança de processo contribui para o desenvolvimento de uma cultura de segurança sólida dentro da organização. Isso aumenta a conscientização e o engajamento dos colaboradores em relação às práticas de segurança.

2.3 Acidente com a plataforma P-36

O Acidente com a plataforma P-36, que ocorreu no ano de 2001, foi um dos maiores desastres na indústria de óleo e gás do Brasil, que resultou na morte de 11 trabalhadores e um prejuízo financeiro de bilhões de reais (Ghanian *et al.*, 2014).

As causas principais desse acidente foram falhas na segurança de processos e no gerenciamento de riscos (Almeida; Vinnem, 2020). A plataforma P-36 era uma das maiores do mundo, com capacidade para produzir 180 mil barris de petróleo por dia. No entanto, apesar disso, ela tinha um histórico de problemas técnicos e falhas de manutenção (Figueiredo; Alvarez; Adams, 2018).

Neste contexto, em 15 de março de 2001, a plataforma sofreu uma explosão seguida de um incêndio, que durou quatro dias. As causas do acidente foram investigadas e apontaram para uma série de erros e negligências por parte da empresa responsável, a Petrobras (Figueiredo; Alvarez; Adams, 2018).

A análise detalhada das causas apresentadas pela comissão de investigação da ANP e DPC (2001), revelou que o evento crítico ocorreu durante a operação de esgotamento de água do tanque de drenagem de emergência da coluna de popa bombordo.

Essa operação, que teve início na noite de 14 de março de 2001, levou a dificuldades operacionais na partida da bomba de esgotamento do tanque, resultando em um fluxo reverso de óleo e gás através das linhas de escoamento. Esse fluxo inesperado entrou em outro tanque, no tanque de drenagem de emergência da coluna de popa boreste, devido a uma válvula possivelmente danificada ou parcialmente aberta. Após a partida da bomba, houve a entrada de água no tanque de popa boreste, que resultou em sua pressurização contínua (ANP; DPC, 2001).

A pressurização constante do tanque de popa boreste culminou em seu rompimento mecânico, ocorrido cerca de duas horas após o início da operação de esgotamento do tanque de popa bombordo. Esse rompimento foi identificado como a primeira explosão, ocorrida às 0 hora e 22 minutos do dia 15 de março de 2001. O fluido liberado do tanque danificado, juntamente com os fluidos de outras linhas e equipamentos danificados, ocupou o compartimento do quarto nível da coluna (ANP; DPC, 2001). Gases escaparam para os conveses superiores através de aberturas nesse compartimento e linhas de suspiro e ventilação rompidas.

Em torno de 20 minutos após o rompimento do tanque, ocorreu a segunda explosão, causada pelo gás que havia atingido o convés do tank top e o segundo convés perto da

coluna. Nesta ocorrência, 11 pessoas da brigada de incêndio da plataforma foram vítimas dessa explosão. A análise das causas identificou não conformidades em relação aos procedimentos regulamentares de operação, manutenção e projeto. A movimentação frequente de água nos tanques de drenagem de emergência, a operação de esgotamento inadequada e a classificação inadequada da área de risco ao redor desses tanques foram algumas das falhas destacadas (ANP; DPC, 2001).

Em síntese, o evento foi desencadeado pela combinação de múltiplos fatores, sendo que a operação de esgotamento inadequada desencadeou um fluxo reverso de fluidos, que somado à pressurização do tanque de popa boreste e outras deficiências operacionais, culminou nas explosões e no subsequente afundamento da plataforma.

A investigação do acidente ainda revelou que a plataforma P-36 não tinha um sistema adequado de detecção e combate a incêndios, além de problemas na gestão de riscos e na comunicação entre os trabalhadores. Também foi constatado que a Petrobras não havia feito as manutenções necessárias para garantir a segurança da plataforma. Foram identificadas várias não conformidades relativas a procedimentos regulamentares de operação, manutenção e projeto (ANP; DPC, 2001).

Esse acidente foi um alerta para a indústria de óleo e gás, que passou a investir mais em segurança de processos e gerenciamento de riscos, reforçando a informação que investir em prevenção de acidentes é essencial para garantir a segurança dos trabalhadores e a continuidade das operações.

Desta forma, a Comissão de Investigação ANP/DPC recomendou diversas medidas para evitar desastres como o da P-36, como aprimorar o sistema de gestão operacional, revisar critérios de projeto, estabelecer classificação de áreas de risco, limitar atividades simultâneas de comissionamento, reavaliar dimensionamento e capacitação de pessoal, implementar regras de gerenciamento de projetos de conversão, avaliar adoção do Código Internacional de Gerenciamento de Segurança e elaborar o plano de emergência (Meira; Andrade; Silva, 2017). Vale ressaltar que diversas dessas recomendações podem ser devidamente avaliadas e monitoradas com a implementação de KPIs específicos.

É importante estudar e entender as causas e efeitos dos acidentes, principalmente para profissionais que atuam no setor de petróleo no Brasil, pois mesmo com as normas, com os marcos regulatórios e com sistemas de controle mais rígidos, a exploração de petróleo sempre traz novos desafios tecnológicos, o que exige a busca contínua por melhorias nos processos para evitar novos eventos dessa magnitude (Meira; Andrade; Silva, 2017).

2.3.1 Cronologia do evento

- Transbordamento de água contaminada para os tanques de drenagem de emergência (TDE), resultando em grande volume de água nos TDEs de bombordo e boreste.

- Movimentação frequente de água contaminada nos TDEs.

- 10/02/2001 - Retirada para manutenção da bomba de esgotamento do TDE de boreste.

- 14/03/2001 às 19h - Abertura e manutenção das elipses abertas de tanques de lastro na coluna do TDE de boreste.

- 14/03/2001 às 22h21 - Início da operação de esgotamento do TDE de bombordo, com abertura da válvula do manifold de produção e tentativa de partir a bomba de esgotamento.

- 14/03/2001 às 23h15 - Início do funcionamento da bomba de esgotamento do TDE de bombordo.

- 15/03/2001 às 00h22 - Primeira explosão relatada, com detecção imediata de gás no convés e alagamento no compartimento do quarto nível da coluna de popa boreste.

- Alarme de alagamento em salas do flutuador de popa boreste, rompimento da linha de recalque de água salgada com despressurização do anel de incêndio, detecção de adernamento da plataforma e admissão deliberada de água de lastro nos tanques de proa bombordo.

- Inspeção do local do acidente por técnicos de segurança com a equipe da brigada de incêndio, abertura da escotilha de acesso do terceiro para o quarto nível e detecção de fumaça/névoa branca sem presença de calor e chama na coluna de popa boreste.

- 15/03/2001 às 00h39 - Segunda explosão causada por ignição de gás natural liberado da coluna atingindo áreas do convés do tank top e segundo convés.

- Submersão contínua da plataforma devido a alagamento da coluna, tanque de lastro, caixa de estabilidade e salas do flutuador de popa boreste, além da admissão de água de lastro nos tanques de proa bombordo.

- 15/03/2001 às 06h03 - Abandono final da plataforma.

- 15/03/2001 às 08h15 - Início do processo de alagamento progressivo da plataforma devido ao nível do mar atingir as aberturas do paiol de amarras e suspiros de compartimentos ainda vazios.

- 20/03/2001 às 11h40 - Afundamento da plataforma.

Este evento ficou restrito a planta de dióxido de cloro, mais especificamente a área de estocagem de solução aquosa de ClO_2 , não havendo impacto sobre as unidades de

eletrólise de clorato de sódio e de síntese de ácido clorídrico, mesmo sendo plantas integradas (RIAC, 2010).

Em relação à abrangência física, os gases ficaram restritos as cercanias da área de plantas químicas, como previsto em todas as avaliações de risco realizadas ao longo dos anos de operação.

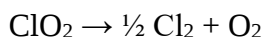
A solução aquosa de ClO_2 contém cerca de 8 gramas de ClO_2 por litro de solução sendo, portanto, uma massa relativamente baixa de produto químico estocado.

Em situações em que temos o tanque preso ao piso, como é o caso do tanque de estocagem de dióxido de cloro, a tendência de seu deslocamento é para cima, se não existe um sistema de alívio em sua parte superior (RIAC, 2010).

2.4.2 Análise de causas possíveis para o evento de decomposição

Não houve explosão na fase líquida dentro do tanque, pois não houve desconcentração da solução. É extremamente difícil entrar algum contaminante no processo e chegar na estocagem de produto e, se fosse o caso, qualquer ocorrência neste sentido levaria a decomposição e seria identificada em fases anteriores do processo, principalmente no gerador de gás dióxido de cloro, torres de absorção e/ou ainda tanques de bombeamento de solução para os tanques de estocagem (RIAC, 2010).

O fato das plantas de dióxido de cloro, síntese de ácido clorídrico e eletrólise de clorato de sódio fazerem parte de um circuito fechado, garante que há outra razão para a decomposição no tanque de estocagem. Os únicos insumos que entram neste sistema integrado são o gás cloro e a água desmineralizada, a mesma usada nas caldeiras de alta pressão e, portanto, com alto grau de pureza. O gás dióxido de cloro é instável até mesmo em condições atmosféricas (LAPOLLI *et al.*, 2005). Na fase gasosa, a decomposição se dá com aumento de volume, conforme a reação:



A solução de ClO_2 deve ser absorvida e estocada preferencialmente em temperatura ao redor de 6 a 12 °C para que a concentração seja estável e haja a menor evolução possível para a fase gasosa. São aceitáveis temperaturas até 18 °C sem comprometimento da segurança do processo. Quando a temperatura fica acima destes valores, não há como dominar o processo de evolução e concentração do gás na parte superior vazia dos tanques de armazenamento (RIAC, 2010). E por outro lado, as

temperaturas mais baixas estariam próximas ao ponto de congelamento da solução, o que evidentemente seria um problema para o adequado bombeamento e integridade das bombas e do próprio tanque.

É importante destacar que o dia do acidente, em particular, foi um dia muito quente, sendo necessária a instalação de ventiladores auxiliares em diversos sistemas elétricos (RIAC, 2010). A temperatura ambiente no momento do evento era de 37 °C, enquanto a temperatura da água de captação já passava de 30 °C e o tanque de bombeamento de solução de dióxido de cloro operava a 24 °C.

Pode-se constatar que esta temperatura atingida na solução aquosa de ClO_2 do tanque de bombeamento para estocagem deve-se a uma provável soma de causas como:

- Problemas de capacidade na unidade de produção de água gelada: Estes vasos estão em vácuo e, portanto, parte da água aspergida nos mesmos evapora e reduz a temperatura da água remanescente, operando desta maneira em três estágios. A temperatura da água do rio e da água tratada admitida na unidade de resfriamento de água já estava demasiadamente alta em função das condições climáticas deste dia e dos anteriores e, portanto, impactou na capacidade da planta existente;

- Com a água de resfriamento, tinha-se um menor resfriamento de condensados do sistema que são adicionados ao tanque de bombeamento de dióxido de cloro. Este condensado tem um pequeno impacto sobre a temperatura de tanque, aumenta ao redor de 1 °C, o que não é significativo em condições normais, principalmente em meses fora da estação do verão;

- Índices de produção e continuidade operacional da fábrica estavam acima da capacidade nominal, quando então se vinha mantendo as plantas químicas em produção plena sob condições climáticas diferenciadas;

- Os trocadores de calor de hipoclorito de sódio e ácido clorídrico, que originalmente foram especificados para operar com água mecanicamente tratada, na ocasião do evento utilizavam água gelada para manter estes compostos mais resfriados e, assim, evitar decomposição da solução de hipoclorito de sódio e evolução do HCl da solução de ácido clorídrico.

Frente a este cenário, o relatório sobre o referido acidente apontou que, o evento de decomposição dentro do tanque de estocagem pode ter sido um aumento na concentração dióxido de cloro, sendo evidenciado uma taxa maior de vaporização dos gases ClO_2 desde a solução para a fase gasosa no topo dos tanques, potencializada pelas condições climáticas adversas, com temperatura ambiente próxima aos 40 °C.

Como parte da água resfriada era utilizada em operações de resfriamento dentro da área de plantas químicas e retornavam ao sistema de água gelada, estas estavam mais quentes devido às temperaturas mais altas do ambiente, passando a ter menor eficiência em manter absorvido o gás ClO₂.

Além disso, o tanque em que ocorreu a decomposição dos gases é o último tanque do circuito de estocagem e, portanto, poderia estar recebendo menor vazão de ar de diluição e numa condição menos turbulenta, devido à distância desde o soprador e perda de carga no trajeto até este tanque, entre outras razões (RIAC, 2010). Isto provavelmente fez com que houvesse um menor arraste do gás ClO₂ volatilizado no interior do tanque.

Aponta-se que os motivos que favoreceram e levaram à decomposição, com maior importância, foram a temperatura da solução de ClO₂ estocada nos tanques de armazenamento e uma provável insuficiência de ar de diluição em virtude da alta taxa de volatilização e a posição física do tanque (RIAC, 2010).

3 METODOLOGIA

Para a realização do presente estudo, procedeu-se a realização das seguintes etapas:

3.1 Levantamento de dados

Nesta primeira etapa foi realizado o levantamento de dados sobre os acidentes selecionados e sobre os KPIs relevantes para a indústria.

A coleta de dados foi realizada por meio de um levantamento de publicações científicas nas principais plataformas de base de dados, como na Scielo (*Scientific Electronic Library Online*), no Google Acadêmico e em livros que tratam acerca do objeto de pesquisa deste artigo.

3.2 Análise dos dados

Uma vez coletados os dados, cada acidente foi revisado, identificado as suas causas e as barreiras de segurança que falharam. Os KPIs coletados foram avaliados, tendo foco em determinar como cada indicador contribuiu para a prevenção de acidentes.

Com os acidentes e KPIs analisados, foram correlacionadas às causas dos eventos com as KPIs, com o intuito de determinar quais KPIs poderiam ter sido usados para identificar as deficiências nas barreiras de segurança que levaram a ocorrência dos acidentes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresenta-se a seguir a análise dos indicadores de segurança de processo que estão correlacionados com o tipo de falha que originou as causas dos acidentes abordados nos tópicos 2.3 e 2.4.

4.1 Correlação de causas x indicadores

4.1.1 – Acidente da P-36

Após analisar o incidente da P-36, percebe-se que houve uma série de eventos e circunstâncias que por si só não teriam levado ao naufrágio da plataforma, e que essas falhas não foram as causas diretas do acidente, mas sim os fatores contribuintes. Por outro lado, é evidente que algumas destas falhas se devem à inadequação ou descumprimento de normas, manuais e procedimentos, o que obriga a empresa a rever determinadas rotinas e procedimentos, bem como estabelecer mecanismos de controle para evitar a sua reincidência. Análises semelhantes foram apontadas por diversos especialistas (ANP; DPC, 2001;).

Analisando a correlação das causas da explosão com os KPIs de segurança de processos, podem-se identificar diversas oportunidades em que os KPIs teriam atuado como indicadores efetivos de possíveis falhas/lacunas no processo que, uma vez tratados, poderiam reduzir de forma significativa os eventos que causaram a explosão.

Embora, o acidente da P-36 tenha ocorrido por diversas falhas, podemos apontar como a principal a falta de um processo robusto para revisão da análise de risco da unidade, que se feita antecipadamente, apontaria as falhas de projeto que levaram à ocorrência do evento. Assim, o KPI de Conclusão de análises de risco de processos, pode ser considerado o indicador mais relevante deste acidente. Neste sentido, a Tabela 1 abaixo identifica a correlação das causas da explosão da P-36 com KPIs de segurança de processo, mencionados na página 7, e como esses indicadores poderiam evitar a tragédia.

Tabela 1 – Correlação de indicadores com acidente da P-36.

Principais falhas	Causas	Indicadores	Detalhamento
Falha de Operação	Movimentação frequente de água nos tanques de drenagem de emergência que deveriam ser normalmente isolados, conforme manual de operação.	3 - Conclusão de treinamentos críticos dentro do prazo. 7 - Verificação de conformidade de procedimentos.	Treinamento adequado da equipe de operação é essencial para uma operação segura, devendo a equipe ter conhecimento do funcionamento de todos os sistemas críticos da unidade. As unidades operacionais devem ter listados todos os treinamentos críticos para cada função. A verificação de conformidade de procedimentos críticos poderia apontar operações ocorrendo fora de procedimento, levando a equipe a realizar a operação conforme esperado.
	Tanques de lastros abertos para inspeção por longo período sem medidas contingenciais.	13 - Inspeção ou teste de contenção fora do limite. 6 - Conformidade nas permissões de trabalho.	A inspeção de barreiras de contenção indicaria os tanques abertos por período além do normal, sendo um alerta para tal situação. Assim como a verificação das permissões de trabalho indicaria a situação dos tanques.
Falha de Projeto	Inadequação da classificação da área em torno do tanque de drenagem de emergência.	11 - Inspeção em equipamentos críticos de segurança.	A execução da revisão das análises de risco da unidade poderia indicar deficiências e pontos de melhoria que não foram verificadas no projeto inicial da unidade.
	Vulnerabilidade do esquema de ligação dos tanques de drenagem de emergência com o manifold de produção por não apresentar nenhuma proteção adicional ou redundância no caso de falha simples de uma das válvulas de admissão dos tanques.	9 - Conclusão de análises de risco de processos.	

Falha de Manutenção	Isolamento da linha de suspiro do tanque de drenagem de emergência de popa boreste, sem drenar o tanque e isolar rede de admissão, levando a pressurização do tanque.	8 - Conformidade de gestão de mudanças.	Uma gestão de mudança corretamente realizada poderia indicar que linha de suspiro não deveria ser isolada com o tanque cheio.
	Existência de duas bombas de água salgada fora de operação por problemas de manutenção.	12 - Manutenção realizada dentro do prazo. 11 - Inspeção em equipamentos críticos de segurança. 10 - Tarefas de plano de ação de segurança de processos concluídas.	O atraso na execução das manutenções e inspeções pode ser um alerta para degradação dos equipamentos da unidade. Assim como, o acompanhamento das tarefas de plano de ação, que se em atraso, indicam que há deficiências já apontadas e que não foram tratadas dentro do prazo esperado, deixando a unidade em condição de risco.
	Falha mecânica ou fechamento incompleto da válvula de admissão do tanque de boreste.		
	Inoperância dos indicadores de nível dos tanques de drenagem de emergência.		
	Falha nos dampers dos dutos de ventilação. Equipe para substituir os dampers estava a bordo no dia do acidente planejando a substituição.		
Falha na resposta a emergência	Atendimento da emergência por equipe de brigada supostamente não detectou / suspeitou do vazamento de gás, abrindo escotilhas para o convés superior. Acarretou que 11 pessoas da brigada de incêndio foram vitimizadas no evento da segunda explosão. Equipe da Brigada possuía inconsistências quanto a seu treinamento/reciclagem e capacitação.	3 - Conclusão de treinamentos críticos dentro do prazo. 4 - Simulado de resposta à emergência. 5 - Gerenciamento do Risco de Fadiga Humana.	A execução de treinamentos críticos leva a equipe conhecer melhor os sistemas da unidade, podendo encontrar a melhor ação durante emergências. Assim como a execução dos simulados de emergências em todos os cenários acidentais previstos para a unidade. O gerenciamento do risco de fadiga também é essencial para garantir que a equipe esteja em condições de tomar decisões corretas em uma condição de estresse, como em uma resposta à emergência.
	Coordenação e treinamento deficientes de pessoal nas ações de controle de estabilidade em emergência.		

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

4.1.2 Acidente com tanque de estocagem de Dióxido de Cloro

Como apontado anteriormente, a causa raiz do evento de explosão do tanque de estocagem de dióxido de cloro foi o aumento da temperatura da solução. Por se tratar de um parâmetro crítico para a segurança desse processo, é inegável que o monitoramento dessa variável deveria estar sendo acompanhado por um indicador de segurança de processo, para auxiliar na tomada de decisões e antecipar tendências de falha.

O KPI mais indicado para auxiliar no controle da variável de temperatura em um tanque, seria a taxa de desvio da temperatura alvo que é uma derivação do indicador de excursões fora do limite de segurança, sendo mais específico para o caso em questão. Esse indicador deve ser monitorado por um sistema de controle de temperatura confiável e os dados devem ser registrados e analisados regularmente. A tratativa dos dados encontrados deve envolver ações corretivas quando a taxa de desvio exceder limites pré-determinados.

A taxa de desvio da temperatura alvo é um indicador que mede o quão próximo a temperatura real do tanque está da temperatura desejada. Isso pode ser expresso como uma porcentagem ou em °C / °F, dependendo da preferência da empresa.

A tratativa para os dados encontrados dependerá do objetivo estabelecido para o KPI de temperatura. Se a taxa de desvio da temperatura alvo estiver dentro de limites aceitáveis, nenhuma ação corretiva seria necessária. No entanto, se a taxa de desvio exceder um limite pré-determinado, um alerta seria acionado para que a equipe de operação possa investigar e tomar medidas para corrigir o desvio.

Além disso, a análise dos dados coletados ao longo do tempo pode ser realizada para identificar tendências e padrões. Por exemplo, se houver um aumento gradual na taxa de desvio da temperatura alvo, isso pode indicar a necessidade de ajustar os parâmetros do controle de temperatura ou realizar a manutenção do sistema. Desta forma, sabendo-se da relevância de analisar esse evento correlacionado aos KPIs de segurança, destaca-se o resumo de informações dispostas na Tabela 2.

Tabela 2 - Correlação de indicadores com acidente em tanque de dióxido de cloro.

Principais Falhas	Causas	Indicadores	Detalhamento
Falha de Operação	Aumento da temperatura da solução.	1 - Excursões fora do limite de segurança (Taxa de desvio da temperatura alvo).	A temperatura ambiente pode ter um impacto significativo nas condições de segurança do tanque. Monitorar a temperatura ambiente e estabelecer limites seguros poderiam evitar a explosão. Temperaturas muito altas podem aumentar o risco de aumento da pressão interna do tanque. Se a temperatura ambiente exceder os limites estabelecidos, medidas de resfriamento ou ventilação deveriam ser tomadas.
	Produção e continuidade operacional da fábrica acima da capacidade nominal.	9 - Conclusão de análises de risco de processos. 8 - Conformidade de gestão de mudanças.	Revisões de análise de risco poderiam indicar a insuficiência do sistema da fábrica para suportar a produção da unidade. Caso uma adequada gestão de mudança fosse realizada, poderiam ser apontadas medidas mitigatórias para produção acima da capacidade nominal da fábrica.
	Insuficiência do sistema de resfriamento da solução.	11 - Inspeção em equipamentos críticos de segurança.	Uma rotina robusta de testes no sistema de resfriamento da solução poderia indicar previamente a condição desse sistema não conseguir manter a temperatura da solução em dias quentes ou com o volume de produção alto. Ao acompanhar o número de pendências encontradas, seria possível identificar que o sistema requeria atenção para operar em condições extremas e poderiam ser tomadas as medidas corretivas ou mitigatórias necessárias.
Falha de Projeto	Insuficiência do sistema de resfriamento da solução.	9 - Conclusão de análises de risco de processos. 8 - Conformidade de gestão de mudanças.	A revisão da análise de risco da unidade poderia indicar deficiências e pontos de melhoria que não foram verificadas no projeto inicial da unidade.
	Problemas de capacidade na unidade de produção de água gelada.	8 - Conformidade de gestão de mudanças.	Uma condição de operação fora dos limites de projeto deve ser avaliada por gestão de mudança. A avaliação de conformidade de gestão de mudança indicaria a falta de criação de gestão de mudanças para operação com problemas na produção de água gelada.

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

5 CONCLUSÃO

A segurança de processos industriais é um aspecto essencial para garantir o bem-estar do trabalhador, das comunidades vizinhas e do meio ambiente. Neste trabalho foi realizada uma análise detalhada sobre os indicadores de segurança de processo e sua importância na avaliação e aprimoramento da segurança industrial.

Através da revisão abrangente dos diferentes tipos de indicadores, ficou claro que a combinação de indicadores de desempenho reativos (*Lagging Indicators*) e indicadores de desempenho proativos (*Leading Indicators*) fornecem uma visão holística e equilibrada da segurança de processos. Enquanto os primeiros permitem aprender com o passado e evitar repetições de incidentes, os últimos desempenham um papel crucial na identificação e mitigação de riscos antes que se transformem em acidentes.

A implementação efetiva dos indicadores de segurança de processo exige um forte comprometimento da alta administração e integração dos indicadores com sistemas de gestão de segurança existentes. Por meio dessa integração, as organizações podem obter uma compreensão mais abrangente de sua segurança industrial e identificar áreas para aprimoramento contínuo.

Além disso, ao enfatizar a importância de uma cultura de segurança sólida, foi ressaltado que os indicadores de segurança de processo não devem ser vistos apenas como compreendidos, mas como parte de um esforço mais amplo para promover a conscientização e o comprometimento de todos os trabalhadores com a segurança.

É importante enfatizar que os indicadores de segurança de processo são uma ferramenta valiosa, mas não podem substituir a expertise humana e a adoção de boas práticas de engenharia e gerenciamento de riscos. O uso inteligente desses indicadores requer uma interpretação cuidadosa dos resultados e aplicação de medidas corretivas e preventivas adequadas.

Em síntese, os indicadores de segurança de processo são instrumentos fundamentais para alcançar a excelência em segurança industrial. Estudos sobre os grandes acidentes podem fornecer insights valiosos para orientar decisões estratégicas e na determinação de quais KPI devem ser acompanhados, visando evitar a recorrência de eventos semelhantes, monitorando que as condições que levaram aos acidentes não voltem a ocorrer.

Como foi apontado, analisando o acidente da P-36, pode-se perceber uma gestão de risco da unidade deficiente e com o acompanhamento dos seguintes indicadores, poderia haver um alerta para condição de risco da unidade:

- 3 - Conclusão de treinamentos críticos dentro do prazo.
- 4 - Simulado de resposta à emergência.
- 5 - Gerenciamento do Risco de Fadiga Humana.
- 6 - Conformidade nas permissões de trabalho.
- 7 - Verificação de conformidade de procedimentos.
- 8 - Conformidade de gestão de mudanças.
- 9 - Conclusão de análises de risco de processos.
- 10 - Tarefas de plano de ação de segurança de processos concluídas.
- 11 - Inspeção em equipamentos críticos de segurança.
- 12 - Manutenção realizada dentro do prazo.
- 13 - Inspeção ou teste de contenção fora do limite.

Assim como no acidente de perda de contenção de tanque de armazenamento de dióxido de cloro, onde os indicadores apontados foram:

- 1 - Excursões fora do limite de segurança (Taxa de desvio da temperatura alvo).
- 9 - Conclusão de análises de risco de processos.
- 8 - Conformidade de gestão de mudanças.
- 11 - Inspeção em equipamentos críticos de segurança.

Observa-se que a influência dos KPIs é expressa tanto nos recursos humanos, por contemplar, por exemplo, as decisões da gestão, o treinamento de pessoas, o respeito aos prazos e a fadiga humana, assim como contempla um olhar aos recursos materiais, com a realização de manutenções, inspeção de equipamento de trabalho e aos fatores de risco e segurança da unidade/instituição.

Portanto, investir na aplicação e aprimorar continuamente os indicadores de segurança de processo é um passo crucial na direção de um ambiente de trabalho mais seguro e confiável, ao mesmo tempo em que promove a sustentabilidade e a responsabilidade social das empresas industriais.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. G. **Identificação de indicadores globais para o monitoramento da segurança de processos de plataformas de produção de petróleo e gás natural: estudo de caso da indústria brasileira.** 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2013.

ALMEIDA, A. G.; VINNEM, J. E. **Major accident prevention illustrated by hydrocarbon leak case studies: A comparison between Brazilian and Norwegian offshore functional petroleum safety regulatory approaches.** Safety Science, [s.l.] v. 121, p. 652-665, 2020.

ANP; DPC. Agência Nacional do Petróleo e Delegacia de Portos e Costas. **Análise do acidente com a plataforma P-36.** Rio de Janeiro: Agência Nacional do Petróleo, 2001. 24 p.

API. American Petroleum Institute. **Process Safety Performance Indicators for the Refining and Petrochemical Industries,** Washington: API, 2016.

BARP, F. L.; PALMA, D. L.; LOCATTELI, D. R. S. **Indicadores de desempenho pró-ativo em segurança e saúde no trabalho.** Revista Científica Tecnológica, São Luís, v. 1, n. 1, 2014.

CASTILLO, C. S. **Priorização de indicadores pró-ativos operacionais em segurança e saúde ocupacionais.** 2021. Tese (Doutorado em Engenharia Industrial e de Sistemas) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2021.

CCPS; **Diretrizes para Segurança de Processo Baseada em Risco.** Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2014.

CCPS. **Process Safety Metrics Guide for Leading and Lagging Indicators.** New York: Center for Chemical Process Safety, 2022.

ELHUNI, R. M.; AHMAD, M. M. **Key Performance Indicators for Sustainable Production Evaluation in Oil and Gas Sector.** Procedia Manufacturing, [s.l.], v. 11, n. 2, p. 718-724, 2017.

FIGUEIREDO, M. G.; ALVAREZ, D.; ADAMS, R. N. **O acidente da plataforma de petróleo P-36 revisitado 15 anos depois: da gestão de situações incidentais e acidentais aos fatores organizacionais.** Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, v. 34, n. 4, p. e00034617, 2018.

GABČANOVÁ, I. **Human resources key performance indicators.** Journal of Competitiveness, [s.l.] v. 4, n. 1, p. 117-128, 2012.

GHANIA, O. A. A.; KAMRUZAMANB, M. Z.; SULAIMAC, M. F.; OTHMAND, M. N. **An Engineering Ethics Case Study Review: Petrobras P-36 Accident.** The International Journal Of Engineering And Science, [s.l.] v. 3, n. 6, p. 46-50, 2014.

GUERRA, C. S.; KAWAMURA, D. B.; FIRMINO, G.; GIACOMINI, R. S.; AMARANTE, M. S. **Segurança de processo**. Pesquisa e Ação, Mogi das Cruzes, v. 5, n. 3, p.10, 2019.

IOGP. **Recommended practice on Key Performance Indicators - Report 456**. Londres: IG Library, 2023.

LAPOLLI, F. R.; HASSEMER, M. R N.; CAMARGO, J. G.; DAMÁSIO, D. L. RÉCIO, M. A. **Desinfecção de efluentes através de dióxido de cloro**. Engenharia Sanitaria e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 10, n. 3, p. 200–208, jul. 2005.

LEITE, F. S. L. **Sistema de gestão de segurança de processo baseada em risco na indústria do petróleo**. 2018. 81 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Petróleo) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

LINDBERG, C. F.; TAN, S. T.; YAN, J.; STARFELT, F. **Key Performance Indicators Improve Industrial Performance**. Energy Procedia, [s.l.]v. 75, p. 1785-1790, 2015.

MEIRA, L. S.; ANDRADE, S. S. S.; SILVA, L. D. **Os Impactos Ambientais e as Melhorias Ocorridas Após o Acidente da Plataforma P-36**. Blucher Chemical Engineering Proceedings, [s.l.], v. 12, p. 1321, 2017.

MOJARAD, S. A. ATASHBARI, A. TANTAU, A. **Challenges for Sustainable Development Strategies in Oil and Gas Industries**, p. 626-638, 2018.

NOLAN, D. O.; ANDERSON, E. T. **OE/SHE Key Performance Indicators (KPIs) Applied Operational Excellence for the Oil, Gas, and Process Industries**, [s.l.] p. 147-163, 2015.

ØIEN, K.; UTNE, I.B.; HERRERA, I.A. **Building Safety indicators: Part 1 – Theoretical foundation**. Safety Science, [s.l.], v. 49, n. 2, p. 148, 2011.

REIMAN, T.; PIETIKÄINEN, E. **Leading indicators of system safety–monitoring and driving the organizational safety potential**. Safety science, [s.l.], v. 50, n. 10, p. 19932000, 2012.

RIAC. **Relatório de investigação de acidente de perda de contenção de ClO₂**. Rio de Janeiro, [s.l.: s.n.], 2010.

SGOUROU, E.; KATSAKIORI, P.; GOUTSOS, S.; MANATAKIS, E.M. **Assessment of selected safety performance evaluation methods in regards to their conceptual, methodological and practical characteristics**. Safety Science, [s.l.], v. 48, n 8, p. 1019-1025, 2010.

VINNEM, J. E.; AVEN, T.; HUSEBØ, T.; SELJELID, J.; TVEIT, O. J. **Major hazard risk indicators for monitoring of trends in the Norwegian offshore petroleum sector**. Reliability Engineering & System Safety, [s.l.], v. 91, n. 7, p. 778-791, 2006.