

Gerenciamento de riscos operacionais aplicado aos recursos hídricos

As operações do setor de mineração devem ser devidamente gerenciadas de modo a não causar impactos ambientais adversos. Neste sentido, este trabalho evidencia os resultados da aplicação de uma metodologia de gerenciamento de riscos operacionais baseado em 4 camadas, o Operational Risk Management (ORM), na unidade de uma mineradora, tendo uma abordagem focada nos recursos hídricos. Na 1ª camada foi possível, por meio da ferramenta WRAC, identificar 2 Eventos Indesejados Prioritários (PUEs) mediante a hierarquização dos riscos baseada nas matrizes de probabilidade e consequência. Na 2ª camada, por meio do Bow-Tie, foi possível estabelecer 50 controles para estes 2 PUEs, sendo que 86% são preventivos e 14% mitigatórios. Por meio da JRA e da APRD, abrangidas, respectivamente, pelas análises de 3ª e 4ª camada, foi possível implementar uma análise contínua de riscos das tarefas. Os resultados demonstram que, comparando 2017 com 2020, houve uma redução de 78% no número de desvios relacionados aos controles do PUE "Perda de contenção de produtos químicos" e uma redução de 50% quanto ao PUE "Lançamento de efluente industrial fora do parâmetro pelo Emissário Submarino". Portanto, o ORM se mostra viável para sustentar um sistema de gerenciamento de riscos, podendo ser, replicável a outras disciplinas e organizações.

Palavras-chave: ORM; Bow-Tie; WRAC; Camada; Emissário.

Operational risk management applied to water resources

The operations of the mining sector must be properly managed to avoid negative environmental impacts. In this sense, this work shows the results of the application of an operational risk management methodology based on 4 layers, Operational Risk Management (ORM), in a mining unit, with an approach focused on water resources. In the 1st layer, it was possible, through the WRAC tool, to identify 2 Priority Unwanted Events (PUEs) through the risk hierarchy based on probability and consequence matrices. In the 2nd layer, through Bow-Tie, it was possible to establish 50 controls for these 2 PUEs, of which 86% are preventive and 14% mitigatory. Through the JRA and the APRD, covered, respectively, by the 3rd and 4th layer analyses, it was possible to implement a continuous risk analysis of the operational activities. The results show that, comparing 2017 with 2020, there was a 78% reduction in the number of deviations related to the PUE controls "Loss of chemical containment" and a 50% reduction in the PUE "Launch of industrial effluent outside the parameter by the Submarine Emissary". Therefore, the ORM proves viable to support a risk management system, and it can be replicable to other disciplines and organizations.

Keywords: ORM; Bow-Tie; WRAC; Layer; Emissary.

Topic: Planejamento, Gestão e Políticas Públicas Ambientais

Received: 06/08/2021

Approved: 29/08/2021

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Ricardo Parreira Bittencourt 
Instituto Federal Fluminense, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6130839557683211>
<http://orcid.org/0000-0002-1912-2820>
ricardoparreira rp@gmail.com

David de Andrade Costa 
Instituto Federal Fluminense, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0403441577562653>
<http://orcid.org/0000-0003-1814-5892>
david.costa@iff.edu.br

Ariadna Gonçalves Moreira 
University of Miami, Estados Unidos
<http://lattes.cnpq.br/3244317376565167>
<http://orcid.org/0000-0002-4348-9163>
ariadna.moreira@angloamerican.com

Markson Andre Martins de Souza 
Universidade Federal Fluminense, Brasil
<http://orcid.org/0000-0003-4825-5339>
markson.souza@angloamerican.com

Cláudio Luiz Carraro Eduardo 
Universidade Federal Fluminense, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0814852693916565>
<http://orcid.org/0000-0002-4236-1387>
claudio.carraro@globo.com



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.008.0041

Referencing this:

BITTENCOURT, R. P.; COSTA, D. A.; MOREIRA, A. G.; SOUZA, M. A. M.; EDUARDO, C. L. C.. Gerenciamento de riscos operacionais aplicado aos recursos hídricos. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.12, n.8, p.498-511, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.008.0041>

INTRODUÇÃO

A exploração de recursos minerais viabilizou historicamente a manutenção e a melhoria da qualidade de vida humana (WEBER, 2014). Segundo Costa et al. (2020), o Brasil é um país que se destaca neste segmento, possuindo grande potencial de se estabelecer como um dos maiores produtores minerais a nível mundial. Contudo, dadas as características das operações deste setor, há um elevado risco de ocorrência de impactos adversos associados a estas atividades. Freitas et al. (2019) destaca em seu trabalho que, em função de incidentes relacionados ao setor da mineração, foram geradas interrupções no estilo de vida e trabalho da comunidade adjacente aos eventos, inclusive, com efeitos sobre as condições de vida e saúde da sociedade, assim como impactos ambientais, com exposição de contaminantes e impactos no solo e, em especial, nos recursos hídricos.

Em função do disposto as empresas deste setor têm investido recursos consideráveis no desenvolvimento de estratégias de gestão ambiental e hídrica para que os impactos potenciais sobre a indústria circundante e os *stakeholders* da comunidade, perpassando pela preservação do meio ambiente, sejam reduzidos ou evitados (NORTHEY et al., 2019). Neste sentido, o gerenciamento de riscos, parte integrante do conjunto de estratégias anteriormente mencionadas, é visto atualmente como uma ferramenta aplicável a qualquer segmento industrial, sendo de fundamental importância para os tomadores de decisão em uma organização (DOMINGUES et al., 2017).

No segmento de mineração tem-se utilizado o gerenciamento de riscos com foco nas operações industriais. O gerenciamento de riscos operacionais é uma ferramenta de elevada importância, uma vez que aborda a gestão contínua dos riscos decorrentes de ações humanas, processos internos, sistemas e eventos externos (WEESERIK et al., 2018).

Diversos benefícios podem ser obtidos com a sua aplicação, a saber: **i)** aborda o risco de forma holística e não unilateral; **ii)** refere-se holisticamente ao conceito mais amplo de riscos de negócios; **iii)** aborda as duas dimensões do risco: probabilidade e consequência; e **iv)** pode reduzir ou contrabalançar os riscos do negócio, identificando sistematicamente os perigos, bem como avaliando e controlando os riscos associados (KAMENOPOULOS et al., 2015). Além disso, quando conduzido em conjunto com outras ferramentas e métodos de análise de riscos e de gerenciamento de controles operacionais, viabiliza a implantação de um sistema de gestão robusto e capaz de atender aos objetivos de negócio, bem como minimiza a probabilidade de ocorrência de impactos ambientais negativos por meio de uma análise de riscos sistematizada, da hierarquização dos riscos, da priorização daqueles que possuem alto potencial de dano e do estabelecimento de controles preventivos e mitigatórios.

Neste sentido, uma empresa mineradora, objeto de estudo do presente trabalho, tem implementado em sua unidade portuária desde 2012 um sistema de gerenciamento de riscos operacionais baseado na análise em 4 camadas, denominado *Risk and Change Management (RCM)*, que foi aplicado durante a fase de implantação da unidade e durante os primeiros 3 anos de operação. Em 2016 este sistema passou por uma revisão de modo a tornar o gerenciamento ainda mais abrangente, eficaz, sistematizado e adequado à fase

de operação do empreendimento, considerando, para tanto, as variáveis segurança, financeiro/produção, saúde ocupacional, legal/regulatório, social, reputacional e ambiental. A este sistema revisado, que foi devidamente implementado em 2017 e manteve a abordagem em 4 camadas, deu-se o nome *Operational Risk Management* (ORM).

A abordagem em 4 camadas permite abordar todos os aspectos do risco, sendo que para o presente trabalho será dado um foco nos aspectos ambientais, especificamente na temática dos recursos hídricos. Para aplicação desta metodologia, procede-se às seguintes etapas: **i)** análise dos processos industriais de maneira macro e identificação dos riscos e eventos indesejados que devem ser tratados prioritariamente (1ª camada); **ii)** análise dos riscos e Eventos Indesejados Prioritários (*Priority Unwanted Events* – PUEs) de um tema específico do processo, com o intuito de identificar causas, consequências e estabelecer controles relacionados a estes eventos (2ª camada); **iii)** gerenciamento de risco de tarefas rotineiras ou não rotineiras, de maneira integrada às duas primeiras camadas (3ª camada); e **iv)** gerenciamento dos riscos de maneira individual e contínua, abrangendo funções hierárquicas desde o nível executivo até o operacional, de modo que os controles sejam exercidos em todos os níveis (4ª camada) (ABRISCO, 2019).

Observa-se, portanto, que as duas primeiras camadas focam na análise de processos, enquanto as duas últimas abordam o gerenciamento com foco nas tarefas, mas que todas são particularmente e de igual modo importantes.

Desta forma, o presente trabalho evidencia os resultados obtidos a partir da aplicação do *Operational Risk Management* (ORM), com base na abordagem em 4 camadas, em uma unidade operacional de uma empresa do segmento de mineração com atuação no norte fluminense, de modo a gerenciar as operações da organização visando à preservação dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos presentes no seu entorno.

METODOLOGIA

A área de estudo compreende as operações e instalações físicas da planta de filtragem de minério de ferro da Anglo American Minério de Ferro Brasil, unidade localizada no Porto do Açu, município de São João da Barra (RJ), conforme Figura 1.

Esta região se encontra sobre o aquífero confinado São Tomé II, que ocorre na parte leste da porção emersa da Bacia de Campos, sendo constituído por sedimentos não aflorantes formados no período terciário (ROCHA et al., 2003).

Na planta de filtragem são realizadas as atividades de filtragem de polpa de minério de ferro, que é transportada desde a usina de beneficiamento, localizada na região de Conceição do Mato Dentro (MG), até o Porto do Açu por meio do maior miniproduto em operação no mundo, com aproximadamente 529 quilômetros de extensão, bem como empilhamento do minério, após processo de filtragem, para posterior embarque em navios visando à comercialização do produto.

Dada a concepção do projeto, nesta unidade há necessidade de se proceder ao armazenamento, transporte e consumo de produtos químicos, em que se destacam o hipoclorito de sódio e o ácido nítrico

dados os perigos intrínsecos a estes reagentes e da quantidade armazenada.

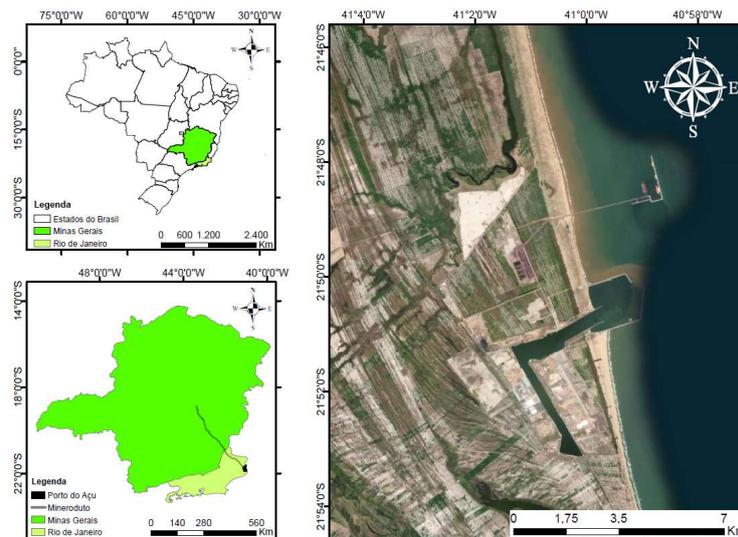


Figura 1: Mapa de localização da planta de filtragem.

Além disso, tem-se, após tratamento, um lançamento contínuo, por meio de um emissário submarino, de uma vazão média de $1.300 \text{ m}^3/\text{h}$ de efluentes industriais no corpo hídrico marinho adjacente à unidade, sendo que este efluente é gerado, majoritariamente, após o processo de separação das fases sólida e líquida da polpa transportada pelo miniproduto. Destaca-se que este emissário submarino é composto por dois difusores submersos, distantes aproximadamente 400 m entre si, cujo objetivo é prover a devida dissipação do efluente já tratado no corpo receptor. Cada sistema difusor é composto por 18 risers, dispostos alternadamente, com um orifício de lançamento cada, sendo que cada orifício possui um diâmetro de 0,0508 m e é espaçado a cada 0,45 m.

Diante do exposto, em que se destaca a forte interface entre as operações industriais realizadas na unidade e os recursos hídricos superficiais e subterrâneos presentes no entorno do empreendimento, é evidente a necessidade de se dispor de um sistema de gerenciamento que viabilize a implementação de controles operacionais que sejam capazes de preservar e, sempre que possível, melhorar a qualidade ambiental, em especial dos recursos hídricos.

Neste sentido, visando à aplicação do ORM, inicialmente é prevista a realização da análise de 1ª camada, que consiste em um estudo abrangente das áreas e processos onde se deseja aplicar a metodologia (ABRISCO, 2019).

Esta primeira etapa compreende a identificação a nível macro das áreas e processos envolvidos nas operações da planta de filtragem, sendo previstas as seguintes ações: **i)** estabelecimento do escopo, considerando limites físicos e organizacionais; **ii)** mapeamento dos processos operacionais; **iii)** identificação dos eventos indesejados, sendo que para este trabalho considerou-se exclusivamente os eventos com potencial de dano aos recursos hídricos; **iv)** condução da análise de riscos utilizando o *Workplace Risk Assessment and Control* (WRAC), conforme premissas também utilizadas por Shriwas et al. (2020) em uma mina de carvão. Destaca-se que a WRAC leva em consideração, principalmente, os eventos indesejados identificados, os respectivos controles já existentes, a probabilidade de ocorrência do evento indesejado

baseada em uma matriz de classificação de probabilidade (Tabela 1) e suas consequências baseadas em uma matriz de classificação de consequências (Tabela 2); **v**) classificação dos riscos por meio de uma matriz de classificação de riscos (

Tabela 3), que leva em consideração a classificação da probabilidade (Tabela 1) e da consequência (Tabela 2) relacionadas à ocorrência de um evento, sendo observado que, tal como abordado por Peeters et al. (2015) e também no presente trabalho, as organizações têm desenvolvido suas próprias matrizes, o que traz benefícios em termos de customização e adequação à realidade de cada empreendimento. Destaca-se que a classificação dos riscos permite determinar quais são os Eventos Indesejados Prioritários (PUEs), que, no contexto do presente trabalho, conforme premissas internas da organização, consistem em eventos cuja consequência na matriz de classificação de riscos (

Tabela 3) é de nível 4 (Alto) ou 5 (Maior); e **vi**) gerenciamento de ações referentes aos PUEs e endereçamento dos mesmos para a análise de 2ª camada.

Tabela 1: Matriz de classificação de probabilidade de ocorrência de um evento indesejado.

Nível de Probabilidade	Descrição*
5 (Quase Certo)	O evento indesejado é quase certo que aconteça dentro da Vida Útil da Mina (<i>Life of Mine</i> – LOM). No caso de tarefas repetitivas/frequentes, o evento indesejado ocorrerá na ordem de uma ou mais vezes por ano. Em grandes eventos, como também no caso da saúde (longo prazo), impactos ambientais ou sociais, pode acontecer apenas uma vez na LOM.
4 (Provável)	Existe uma alta probabilidade de o evento indesejado ocorrer dentro da LOM. No caso de tarefas repetitivas/frequentes, o evento indesejado ocorreu ou é provável que ocorra menos de uma vez por ano. Em grandes eventos, como também no caso da saúde (longo prazo), impactos ambientais ou sociais, pode acontecer uma vez na LOM.
3 (Possível)	É possível que o evento indesejado possa ocorrer dentro da LOM. No caso de tarefas repetitivas/frequentes, o evento indesejado ocorreu ou é provável que ocorra uma vez a cada 5 a 10 anos. Em grandes eventos, como também no caso da saúde (longo prazo), impactos ambientais ou sociais, pode eventualmente acontecer uma vez na LOM.
2 (Improável)	Existe uma baixa probabilidade de o evento indesejado ocorrer dentro da LOM. No caso de tarefas repetitivas/frequentes, o evento indesejado ocorreu ou é provável que ocorra uma vez a cada 10 a 20 anos. Em grandes eventos, como também no caso da saúde (longo prazo), impactos ambientais ou sociais, há uma baixa probabilidade de o evento acontecer na LOM.
1 (Raro)	Há uma probabilidade muito baixa de o evento indesejado ocorrer dentro da LOM. No caso de tarefas repetitivas/frequentes, não há registros de ocorrência do evento ou é altamente improvável que ele ocorra dentro dos próximos 20 anos. Em grandes eventos, como também no caso da saúde (longo prazo), impactos ambientais ou sociais, há uma probabilidade muito baixa de o evento acontecer.

*Considera a existência e magnitude da condição perigosa e da exposição ao risco (nº de pessoas e frequência das atividades expondo pessoas), bem como a condição dos controles existente. As premissas para cada nível de probabilidade foram ajustadas considerando as características operacionais da unidade de negócio.

Tabela 2: Matriz de classificação de consequências de um evento indesejado.

Tipo de Impacto*	Nível de Consequência**				
	1 (Menor)	2 (Baixa)	3 (Moderada)	4 (Alta)	5 (Maior)
Meio Ambiente	Efeito reversível em curto prazo, limitado a pequena área (em metros). Meio receptor de baixa significância/ sensibilidade (área industrial)	Efeito por semanas, afetando área reduzida (centena de metros). Não existência de espécie/ habitat sensível ambientalmente	Efeito por meses, afetando áreas extensas (km's). Área com alguma sensibilidade ambiental (ambiente escasso/ valioso)	Efeito por anos, afetando área em escala a sub-bacia. Ambiente ecologicamente sensível/ receptor (espécies/ habitats ameaçados)	Impacto permanente, afetando a área em uma bacia inteira ou escala regional. Ambientes altamente sensíveis (espécies ameaçadas de extinção, zonas úmidas, habitats protegidos)

*Evidenciados apenas os critérios para classificação de consequências com impactos no meio ambiente, não sendo apresentados os critérios para impactos associados à segurança, saúde ocupacional, social/comunidades, requisitos legais, perdas/danos materiais, interrupção do negócio e reputacional.

**As premissas para cada nível de consequência foram ajustadas considerando as características operacionais da unidade de negócio.

A análise de 1ª camada permite a hierarquização e priorização dos riscos, uma vez que viabiliza a distinção entre os Eventos Indesejados Prioritários (PUEs), que serão submetidos à análise de 2ª camada, dos eventos indesejados não prioritários, que serão gerenciados junto ao sistema de gestão integrado da

operação por meio das análises de 3ª e 4ª camadas. Para a análise de 2ª camada podem ser utilizadas distintas técnicas, como o *Hazard and Operability Study* (HAZOP), a *Failure Mode Effect and Criticality Analysis* (FMECA), a *Failure Tree Analysis* (FTA) e o *Bow-Tie*. Contudo, para o presente trabalho utilizou-se o *Bow-Tie* (Figura 2), suportado pelo software *BowtieXP*®, uma vez que consiste em um método amplamente utilizado na indústria (DIANOUS et al., 2006; FERDOUS et al., 2013) e que é flexível e de fácil abordagem.

Tabela 3: Matriz de classificação de riscos de um evento indesejado.

Nível de Risco do Evento Indesejado / Prioridade*					
Consequência Probabilidade	1 (Menor)	2 (Baixa)	3 (Moderada)	4 (Alta)	5 (Maior)
5 (Quase Certo)	11 (Médio)	16 (Significante)	20 (Significante)	23 (Alto)	25 (Alto)
4 (Provável)	7 (Médio)	12 (Médio)	17 (Significante)	21 (Alto)	24 (Alto)
3 (Possível)	4 (Baixo)	8 (Médio)	13 (Significante)	18 (Significante)	22 (Alto)
2 (Improvável)	2 (Baixo)	5 (Baixo)	9 (Médio)	14 (Significante)	19 (Significante)
1 (Raro)	1 (Baixo)	3 (Baixo)	6 (Médio)	10 (Médio)	15 (Significante)

*A classificação de risco não indica a aceitabilidade do mesmo, uma vez que todos devem ser reduzidos para “tão baixos quanto razoavelmente praticável”.

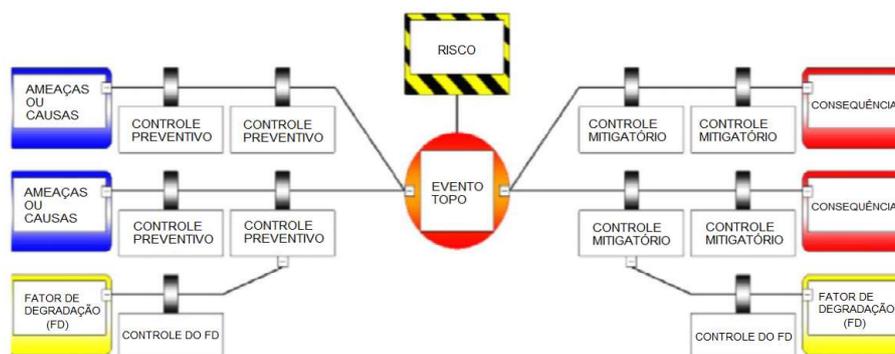


Figura 2: Diagrama para análise *Bow-Tie*. Fonte: Subagyo et al. (2020) - adaptado.

Destaca-se ainda que, conforme mencionado por Cormier et al. (2019), o *Bow-Tie* é uma das técnicas de avaliação de riscos adotadas pela ABNT NBR ISO/IEC 31010:2012 (ABNT, 2012) e permite avaliar e gerenciar controles preventivos e mitigatórios associados a um evento indesejado, denominado evento topo, que para este trabalho será considerado como um dos PUEs previamente mapeados na análise de 1ª camada.

Estes controles podem ser classificados quanto à sua qualidade por meio de uma estrutura de hierarquização, em que são previstos os seguintes grupos, em ordem decrescente de eficácia, ou seja, de controles de alta hierarquia para controles de baixa hierarquia: **i)** controles de eliminação, que eliminam fisicamente o perigo; **ii)** controles de substituição, que substituem o perigo por um menos perigoso; **iii)** controles de engenharia, que consistem em alteração do projeto de um equipamento ou processo, incluindo barreiras de separação, que viabilizam o isolamento do perigo; **iv)** controles administrativos, que alteram administrativamente a forma de trabalho, por exemplo, por meio de um procedimento; e **v)** controles de Equipamento de Proteção Individual (EPI), que consistem no uso de EPIs adequados visando à proteção do trabalhador (SPIGARELLI, 2020).

Para a aplicação do *Bow-Tie* e, portanto, para continuidade da análise de 2ª camada, são previstas as

seguintes etapas: **i)** seleção do evento topo, neste caso, um dos PUEs definidos na 1ª camada; **ii)** identificação dos perigos que poderão contribuir para a ocorrência do evento topo e das causas potenciais que poderão levar à exposição ao perigo ou ocasionar a sua liberação; **iii)** identificação dos controles preventivos atuais e de quaisquer novos controles preventivos necessários; **iv)** identificação de todas as consequências reais ou potenciais caso o evento principal ocorra; **v)** identificação e desenvolvimento de controles de mitigação, que visam limitar as consequências em caso de ocorrência do evento topo; e **vi)** identificação de fatores de degradação e respectivos controles.

Destaca-se que o lado esquerdo do centro do *Bow-Tie* (Figura 2) consiste em uma representação tanto das ameaças/causas ou fatores que poderão levar a um evento indesejado quanto das medidas em vigor para prevenir, mitigar ou controlar cada uma das ameaças/causas. O lado direito é uma representação tanto das consequências, caso o evento indesejado ocorra, quanto dos controles que visam minimizar os impactos ou prover a recuperação para minimizar as consequências em caso de ocorrência do evento (VAN NUNEN et al., 2018).

No que se refere à análise de 3ª camada, que tem como foco minimizar o risco de que uma tarefa operacional seja realizada sem a devida compreensão das condições perigosas no ambiente de trabalho, o que poderia resultar na ocorrência de eventos indesejados relacionados a questões de saúde ocupacional, segurança no trabalho e meio ambiente, utilizou-se a *Job Risk Analysis* (JRA), cujas premissas também foram utilizadas por Daszuta et al. (2018). A JRA consiste em uma análise de risco de tarefas operacionais rotineiras e não rotineiras com o objetivo de identificar eventos indesejados, prioritários ou não, previamente à execução das atividades mediante a realização das seguintes etapas: **i)** descrição dos objetivos da tarefa e dos recursos necessários; **ii)** definição das etapas da tarefa; **iii)** identificação das condições perigosas, eventos indesejados e controles para cada etapa da tarefa; **iv)** definição da especificação de execução do trabalho.

Por fim, para a análise de 4ª camada, que está relacionada à gestão contínua e condições individuais do executor da atividade, tendo como foco garantir que cada indivíduo reflita sobre as suas condições de trabalho e só prossiga com a atividade se dispor dos recursos necessários, foi estabelecida como ferramenta a Análise Preliminar de Riscos Diária (APRD). Esta ferramenta consiste em uma análise de risco individual, a ser realizada pelo próprio executor da atividade, de modo que ele próprio, antes de iniciar a tarefa, observe os eventuais perigos e condições perigosas que eventualmente se façam presentes no ambiente de trabalho e avalie se os controles estabelecidos são adequados para a atividade, considerando aspectos pessoais, técnicos, operacionais, de saúde, segurança e meio ambiente (ABRISCO, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram mapeados 18 processos na planta de filtragem (Tabela 4), bem como as etapas presentes em cada processo, além de identificadas as condições perigosas e os respectivos eventos indesejados que poderiam vir a ocorrer durante as operações, causando impactos adversos nos recursos hídricos.

Avaliando tanto a probabilidade de ocorrência dos eventos indesejados identificados em cada etapa quanto a consequência dos mesmos, procedeu-se à classificação de riscos com base na matriz apresentada

na

Tabela 3, conforme previsto na análise de 1ª camada.

Tabela 4: Processos identificados na planta de filtragem.

Número	Descrição do Processo	Número	Descrição do Processo
1.	Operação da estação terminal do miniproduto.	10.	Desenvolvimento de novos reagentes.
2.	Recebimento da polpa de minério de ferro.	11.	Deslocamentos com veículos leves.
3.	Operação dos tanques de homogeneização.	12.	Execução e manutenção de pequenas obras.
4.	Filtragem da polpa.	13.	Limpeza industrial.
5.	Operação da planta de reagentes.	14.	Operação do laboratório físico-químico.
6.	Operação da planta de ácido nítrico.	15.	Operação do escritório.
7.	Operação dos compartimentos de emergência.	16.	Limpeza predial.
8.	Operação das estruturas de utilidades e interconexões.	17.	Manutenção de sistemas de refrigeração.
9.	Operação da oficina de manutenção.	18.	Desinsetização e desratização.

A partir da aplicação da WRAC foram constatados na planta de filtragem 3 Eventos Indesejados Prioritários (PUEs) com potencial de causar impactos ambientais representativos nos recursos hídricos subterrâneos ou superficiais localizados na área adjacente ao empreendimento, conforme detalhamento apresentado na Tabela 5. De maneira análoga, Ramesh et al. (2017) procedeu à classificação de riscos com base nesta metodologia, o que permitiu, tal como o presente trabalho, identificar os eventos de maior perigo nos processos e operações estudadas pelo autor.

Tabela 5: Eventos Indesejados Prioritários identificados na planta de filtragem relacionados a recursos hídricos, bem como probabilidade, consequência e classificação de riscos destes eventos.

Processo	Etapa	Evento Indesejado Prioritário (PUE)	Resultados da Análise de Riscos WRAC		Classificação do Risco (Tabela 3)
			Probabilidade (Tabela 1)	Consequência (Tabela 2)	
4. Filtragem da polpa.	Alimentação, operação e drenagem dos filtros.	Perda de contenção de produtos químicos (ácido nítrico e hipoclorito de sódio) nas linhas estacionárias de dosagem.	4 (Provável)	4 (Alta)	21 (Alto)
6. Operação da planta de ácido nítrico.	Recebimento, estocagem e transferência de ácido nítrico concentrado.	Perda de contenção de produtos químicos durante transporte, armazenamento e manuseio de ácido nítrico.	3 (Possível)	4 (Alta)	18 (Significante)
8. Operação das estruturas de utilidades e interconexões.	Lançamento de efluentes industriais via emissário submarino.	Lançamento de efluente industrial fora do parâmetro pelo Emissário Submarino.	3 (Possível)	4 (Alta)	18 (Significante)

Para a análise de 2ª camada procedeu-se à aplicação da técnica *Bow-Tie* para cada um dos PUEs identificados na análise de 1ª camada (Tabela 5). Os resultados das análises de *Bow-Tie* referentes aos PUEs “Perda de contenção de produtos químicos (ácido nítrico e hipoclorito de sódio) nas linhas estacionárias de dosagem” e “Perda de contenção de produtos químicos durante transporte, armazenamento e manuseio de ácido nítrico” foram tratados de maneira unificada dada à similaridade dos eventos, sendo, portanto, identificados como “Perda de contenção de produtos químicos” (Tabela 6). Assim, será considerado que

foram identificados 2 PUEs em vez de um total de 3.

Tabela 6: Resultados da análise de *Bow-Tie* quanto ao PUE “Perda de contenção de produtos químicos”.

Lado Esquerdo do <i>Bow-Tie</i>		Lado Direito do <i>Bow-Tie</i>	
Ameaças ou Causas	Controles Preventivos	Consequências	Controles Mitigatórios
- Falha no armazenamento de produtos químicos.	- Especificação dos tanques, reservatórios e embalagens de acordo com normas aplicáveis ⁽¹⁾ ; - Especificação dos acessórios (mangote, engate e válvulas) adequado para produtos químicos ⁽¹⁾ ; - Armazenamento adequado de produtos químicos ⁽²⁾ ; - Monitoramento de nível do tanque de armazenamento ⁽²⁾ ; - Inspeção visual de rotina da área de armazenagem ⁽¹⁾ .	- Vazamento de produto químico causando impacto ambiental. - Ferimentos graves a pessoas por contato e/ou inalação de produto químico.	- Plano de Atendimento a Emergências (PAE) ⁽¹⁾ ; - Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) adequados para realização das atividades ⁽³⁾ ; - Dispositivos de detecção ⁽²⁾ ; - Plano de Atendimento a Emergências (PAE) ⁽¹⁾ .
- Falha durante a coleta de amostras de produtos químicos.	- Colaborador apto para a função ⁽¹⁾ ; - Pontos de amostras definidos e sinalizados ⁽¹⁾ .		
- Falha humana / operacional durante manuseio / dosagem de produtos químicos.	- Equipamento de transferência de produtos químicos adequados ⁽²⁾ ; - Colaborador apto para função ⁽¹⁾ ; - Produtos químicos aprovados, conforme procedimento ⁽¹⁾ ; - Disponibilização da lista de produtos químicos do site, conforme procedimento ⁽¹⁾ ; - Disponibilização da matriz de incompatibilidade dos produtos químicos ⁽¹⁾ ; - Disponibilização adequada da Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) ⁽¹⁾ .		
- Falha no bloqueio de energias.	- Dispositivos de bloqueio de energias devidamente aplicados ⁽¹⁾ ; - Colaborador apto para função ⁽¹⁾ ; - Documentação técnica dos sistemas elétricos adequada e devidamente disponível ⁽¹⁾ .		
- Choque de veículos ou equipamentos móveis de superfície com tubulações (pipe rack).	- Concepção do <i>layout</i> adequado do pipe rack e das tubulações ⁽²⁾ ; - Motorista externos habilitados, cadastrados e autorizados pela empresa ⁽¹⁾ ; - Rotograma interno devidamente elaborado e disponibilizado ⁽¹⁾ .		
- Falha durante descarregamento / abastecimento de produtos químicos.	- Especificação das conexões para descarregamento de produtos químicos devidamente realizada e disponibilizada ⁽¹⁾ ; - Colaborador apto para função ⁽¹⁾ ; - Monitoramento de níquel do tanque ⁽²⁾ ; - Utilização de garra antiestática ⁽²⁾ ; - Supervisão das atividades de descarregamento/abastecimento de produto químico ⁽¹⁾ .		
- Sobrepressão da linha de dosagem de produto químico.	- Sistema de intertravamento por sobrepressão ⁽²⁾ ; - Monitoramento de pressão das linhas ⁽²⁾ .		

*Controle crítico. ⁽¹⁾Controle administrativo. / ⁽²⁾Controle de engenharia. / ⁽³⁾Controle de EPI.

Já os resultados da análise de *Bow-Tie* associada ao PUE “Lançamento de efluente industrial fora do parâmetro pelo Emissário Submarino” são apresentados na Tabela 7.

Observa-se que, no âmbito dos 2 PUEs, o ORM viabilizou o estabelecimento de 50 controles preventivos e mitigatórios, fornecendo robustez ao sistema de gestão de riscos da unidade. Um total de 86% (43/50) dos controles é de origem preventiva, ao passo que 14% (7/50) é de cunho mitigatório, o que demonstra o foco no estabelecimento de ações preventivistas, corroborando a cultura proativa da organização.

Além disso, Bansal et al. (2021) destacam que a implementação de controles preventivos robustos

minimiza a probabilidade de acionamento de controles mitigatórios, reduzindo, conseqüentemente, a probabilidade de ocorrência de impactos adversos causados em decorrência de um evento indesejado. Sendo assim, é desejável que as organizações invistam demasiadamente em controles preventivos e que estes sejam robustos, fato observado na planta de filtragem.

Tabela 7: Resultados da análise de *Bow-Tie* quanto ao PUE “Lançamento de efluente industrial fora do parâmetro pelo Emissário Submarino”.

Lado Esquerdo do <i>Bow-Tie</i>		Lado Direito do <i>Bow-Tie</i>	
Ameaças ou Causas	Controles Preventivos	Consequências	Controles Mitigatórios
- Falha no tratamento do efluente.	- Colaborador treinado, capacitado e habilitado para monitoramento e dosagem de reagentes ⁽¹⁾ ; - Dosagem adequada dos produtos químicos ^{*(1)} ; - Monitoramento dos parâmetros operacionais de meio ambiente ⁽¹⁾ ; - Manutenção preventiva dos instrumentos e sistemas de bombeamento ^{*(1)} ; - Funcionamento adequado das plantas de reagentes, do clarificador e do espessador ⁽¹⁾ .	- Contaminação da água superficial, leitos marinhos e danos a organismos aquáticos.	- Modelagem matemática da dispersão do efluente no mar ⁽¹⁾ ; - Monitoramento visual e da qualidade da água marinha ^{*(1)} ; - Plano de Atendimento a Emergências (PAE) ⁽¹⁾ .
- Água do filtrado fora da especificação.	- Manutenção preventiva dos instrumentos de medição de pressão diferencial do filtro de manga ⁽¹⁾ ; - Inspeção periódica dos filtros de manga ⁽¹⁾ ; - Colaborador treinado, capacitado e habilitado para manutenção e inspeção ⁽¹⁾ ; - Funcionamento adequado das plantas de reagentes, do clarificador e do espessador ⁽¹⁾ .		
- Falha no monitoramento do emissário submarino.	- Monitoramento de pH, turbidez e sólidos sedimentáveis ^{*(1)} ; - Direcionamento do efluente para o compartimento de emergências, caso os parâmetros operacionais estejam fora da especificação ^{*(1)} ; - Manutenção preventiva da válvula de controle de vazão de CO ₂ ^{*(1)} ; - Manutenção preventiva dos instrumentos e sistemas de bombeamento ⁽¹⁾ ; - Colaborador apto para a função ^{*(1)} ; - Monitoramento ambiental do efluente do emissário submarino ^{*(1)} .		
- Direcionamento de água de drenagem para o reservatório.	- Bloqueio da tubulação por válvula ^{*(1)} ; - Manutenção preventiva da válvula de drenagem ⁽¹⁾ .		

*Controle crítico. ⁽¹⁾ Controle administrativo.

É possível constatar também que grande parte dos controles, sejam eles preventivos ou mitigatórios, apresenta característica administrativa, considerados de baixa hierarquia (LIBERATI et al., 2018). Neste sentido, é importante que a organização avalie a possibilidade de implementação de controles de hierarquias mais elevadas, tais como de eliminação, de substituição ou de engenharia, de modo que se possa minimizar ainda mais a probabilidade de ocorrência de eventos indesejados, conforme preconiza os princípios de melhoria contínua. A própria estrutura do ORM, por dispor de características holísticas, uma vez que avalia todos os processos de uma unidade operacional, que envolve diferentes funções e áreas da empresa e que avalia os riscos de maneira sistêmica, pode facilitar a estruturação do processo que visa ao aumento da hierarquia dos controles associados aos 2 PUEs.

Ainda no contexto da análise de 2ª camada, procedeu-se à elaboração de um *checklist*, denominado Lista de Verificação de Controles Críticos (LVCC), com o intuito de subsidiar o monitoramento em caráter preventivo dos controles críticos mapeados nas análises de *Bow-Tie* (Tabela 6 e Tabela 7). Chacon et al. (2012)

elucida algumas das vantagens da aplicação de *checklists*, em que se destacam o baixo custo de implementação e a rapidez na obtenção de resultados. Destaca-se também que os controles críticos, que correspondem a 40% (20/50) do total de controles apresentados na Tabela 6 e Tabela 7, se diferem dos controles convencionais, uma vez que os primeiros, se eliminados ou degradados, aumentarão consideravelmente a probabilidade de ocorrência ou a consequência de um evento indesejado (MOREIRA, 2020), demandando, portanto, um monitoramento contínuo e robusto.

Diante do exposto, a LVCC foi concebida para, de maneira simples e sistêmica, viabilizar a identificação e o tratamento de desvios relacionados aos controles críticos antes que um evento indesejado prioritário ocorra. Neste sentido, destaca-se que, dentre outros mecanismos, o empreendimento faz uso de sistemas digitais integrados que subsidiam a realização de monitoramentos contínuos e assertivos no contexto dos controles críticos, suportando, portanto, as análises da LVCC. Dentre estes sistemas, destacam-se aqueles que viabilizam a medição em tempo real de parâmetros ambientais, o controle de nível de tanques de produtos químicos, a detecção de emissões atmosféricas e a dosagem de produtos químicos para o tratamento dos efluentes industriais. Desta forma, percebe-se que a empresa aplica em suas operações as premissas da Indústria 4.0 que, segundo Firmino et al. (2020), é um conceito que se baseia na automação dos processos produtivos, bem como na digitalização e integração entre mídias físicas e digitais. Assim, os controles críticos dos PUEs são preventivamente monitorados e avaliados quanto à sua integridade, qualidade e eficácia, minimizando a probabilidade de ocorrência de um PUE.

SEÇÃO A - INFORMAÇÕES GERAIS E PESSOAS
ANÁLISE DE RISCO DE TRABALHO (ART)
 Identificação do Trabalho/Tarefa:
 Objetivo do Trabalho/Tarefa:
 Site:
 Departamento responsável pela ART:
 Área de Negociação:
 Processabilidade:
 Existe disponível um procedimento para a tarefa/trabalho a ser avaliado?
 b) Número e Nome do Procedimento:
 c) Data do Procedimento:
 Data de realização da ART:
 Lista de equipamentos/ ferramentas necessárias para a tarefa:
 As atividades da tarefa impactam em outros setores/trabalhos?
SEÇÃO B - INFORMAÇÃO SOBRE A CONSERVAÇÃO PLANEJADA DA TAREFA (CPT)

#	Etapa da Tarefa/Atividade	Condição de Perigo	Evento Indesejado	Controles a serem utilizados	EPI	CPT
						Sim / Não

 Comentários e observações da IBA:
 Ações corretivas e de reavaliação sugeridas (ex. modificação de tarefas, modificação de ferramentas/equipamentos/tratamento/etc.):
 Comentários e observações da IBA:
SEÇÃO C - APROVAÇÃO E ASSINATURA
 Ocupação/ Destinação:
 Realização de Risco da Tarefa (RTA)
 Líder da Equipe / Supervisor:
 Membros da Equipe:
 IBA:
 Observação Planejada das:
 Líder da Equipe / Supervisor:
 Coordenador:
 Gerente:
 Empregados observados:

Figura 1: Modelo de JRA elaborado para subsidiar o atendimento à análise de 3ª camada.

Nome: _____ Função: _____ Assinatura: _____
 Local: _____ Data: ____/____/____ Hora: ____:____:____
Atividade a ser realizada:
 Sim Não **PRONTIDÃO PARA EXECUÇÃO** Sim Não **DIREITO DE RECUSA**
 Eu já realizei este tarefa antes? Você se sente seguro para executar a atividade?
 Requer acompanhamento de alguém experiente? Todos os riscos estão controlados adequadamente?
 Há uma avaliação de risco ou intrusão de trabalho? Estou em conformidade com as regras de ouro?
 Se marcou NÃO a TODAS as perguntas, avale com cautela o Direito de Recusa e comunique com seu líder imediato. Se marcou NÃO a pelo menos UMA das perguntas, procure seu líder e busque alternativas para tornar a atividade segura.
Passos para a realização do FALAAD
 1) Participe ativamente e conduza o FALAAD;
 2) Analise o ambiente para a realização da tarefa;
 3) Identifique os riscos, medidas de controle e EPI's;
 4) Quando aplicar, discuta e compartilhe com todos;
 5) Mantenha atenção às possíveis mudanças.
PERMISSÃO PARA TRABALHO - INDICAR SE A ATIVIDADE REQUER A ELABORAÇÃO DE PT
 Outros Indicar:
 Espaço Confinado Energia Não Bloqueada Trabalho em Altura Içamento de Carga
ENUNERE AS PRINCIPAIS MEDIDAS DE CONTROLES A SEREM ADOPTADAS DE ACORDO COM OS PRINCIPAIS RISCOS A SEGURANÇA E SAÚDE OCUPACIONAL ENVOLVIDOS NA ATIVIDADE.

PRINCIPAIS RISCOS	MEDIDAS DE CONTROLE
Lamina D'água / Afogamento	1 Respeitar a sinalização de segura
Pressamento de membros	2 Garantir comunicação para emergência
Transbordamento/ Vazamento	3 Não usar adorno
Superfícies aquecidas / Ambiente Aquecido	4 Sinalizar o local
Ruído	5 Realizar revezamento/descanso
Queda - Mesmo nível/ Nível diferente	6 Realizar checklist - Equipam./ Veículo
Queda de objetos/ Carga suspensa	7 Realizar bloqueio das fontes de energia
Projeção - Partículas/ Fragmentos	8 Proteger materiais inflamáveis
Poeiras/ Fumos metálicos / Vapores	9 Proteção contra projeção de materiais
Piso - Irregular/ Escorregadio	10 Não tocar/ricar sob carga suspensa
Esforço físico/ Posição antiergômica	11 Manter distância segura
Cargas Manual - Levantamento/ Transporte	12 Manter a área limpa e organizada
Incêndio/ Explosão	13 Instalar exaustão/ Ventilação
Substâncias químicas - Inalação/ Contato	14 Ferramentas em boas condições
Fluidos Pressurizados - Tubos/ Vasos	15 Escoramento
Ferramentas Inadequadas/ Defeituosas	16 Despressurização - Tubos/ Vasos
Desmoronamento/ Soterramento	17
Condições climáticas desfavoráveis	DEMAIS MEDIDAS DE CONTROLE
Choque elétrico/ Curto circuito	18
Bater Contra/ Atingido por	20
Atolar / Atropelamento/ Colisão	21
Ataque de animais / Insetos	22
	23
	26
	28
	33
	36

Figura 2: Modelo de APRD (frente) elaborado para subsidiar o atendimento à análise de 4ª camada.

As etapas de captura e registro das constatações observadas durante a aplicação da LVCC são centralizadas em uma plataforma *online* de gerenciamento de informações, também em alinhamento às

práticas e tendências da Indústria 4.0, o que reafirma que este conceito permeia, de fato, na organização. Os dados registrados na plataforma são submetidos a análises de consistência, de modo que seja assegurado que as informações inseridas na plataforma estão condizentes com a realidade. Assim, é possível acessar prontamente dados históricos confiáveis, diagnosticar tendências e estabelecer planos de ação, com ações, responsáveis e prazos definidos. Para as análises de 3ª e 4ª camada procedeu-se, respectivamente, à implementação da *Job Risk Analysis* (JRA) e da Análise Preliminar de Riscos Diária (APRD), sendo elaborados pela própria organização os modelos apresentados nas figuras 3, 4 e 5.

MARQUE COM UM "X" OS PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS OU MEDIDAS DE PROTEÇÃO NECESSÁRIOS				
<input type="checkbox"/> Avental de PVC	<input type="checkbox"/> Óculos de proteção			
<input type="checkbox"/> Bota de Borracha	<input type="checkbox"/> Protetor auricular			
<input type="checkbox"/> Calça de motosserrista	<input type="checkbox"/> Respirador para produtos químicos			
<input type="checkbox"/> Cinto de segurança	<input type="checkbox"/> Vestimenta antichama			
<input type="checkbox"/> Colete salva-vidas	<input type="checkbox"/> Perneira de couro			
<input type="checkbox"/> Luvas de segurança	<input type="checkbox"/> Protetor facial			
<input type="checkbox"/> Macacão para produtos químicos	<input type="checkbox"/> Respirador descartável			
<input type="checkbox"/> Avental de raspa	<input type="checkbox"/> Balaclava/Capuz			
<input type="checkbox"/> Botina de Couro	OUTROS EPIs			
<input type="checkbox"/> Capacete com jugular				
<input type="checkbox"/> Colete refletivo				
<input type="checkbox"/> Creme de proteção / Protetor Solar				
<input type="checkbox"/> Luvas anti impacto				
<input type="checkbox"/> Máscara de solda				
MEDIDAS DE PROTEÇÃO COLETIVA				
<input type="checkbox"/> Isolamento de Área				
<input type="checkbox"/> Proteção contra projeção de Materiais				
<input type="checkbox"/> Proteção para prevenção de queda de materiais				
MEDIDAS E CUIDADOS ESPECÍFICOS QUE DEVEM SER ADOTADOS				
Ítem de Carga (se aplicável):				
Informar:	Verificar:			
Carga Máxima a ser movimentada: _____	É Necessário Plano de Rigger: () Sim () Não			
Capacidade do Equipamento de Ítem: _____	Check list dos acessórios: () Sim () Não			
DEMAIS OBSERVAÇÕES				
ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DO AMBIENTE DE TRABALHO E IDENTIFICAR SE PRESENTE				
				
Ponto de Encontro	Sist. Combate Incendio	Nº Ponto de Ambulância	Descarga Atmosférica	Flota de Fuga
Encerramento: _____	Data: ____/____/____	_____	_____	Hora: ____:____
ANÁLISE DE QUALIDADE DO PREENCHIMENTO DA APR				
Nome: _____	Percepção de Risco	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Assinatura: _____	Medidas de Controle	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Data: ____/____/____	Hora: ____:____	Preenchimento em Geral	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Orientações Rápidas para preenchimento e direcionamento da APR				
1) A APR deve ser elaborada individualmente, para cada atividade a ser realizada e repetida diariamente;				
2) Podem ser adotadas mais de uma medida de controle para cada risco identificado;				
3) Campos em Branco para Medida de Controle, Riscos, e EPI's devem ser preenchidos, se for necessário;				
4) A APR que passou por avaliação de qualidade, deve ser direcionadas para o Líder imediato;				
4) Para devida arquivamento, as APR devem ser encaminhadas para a área administrativo para guarda;				

Figura 3: Modelo de APRD (verso) elaborado para subsidiar o atendimento à análise de 4ª camada.

As análises de 3ª e 4ª camada, que tem como foco abordar as tarefas operacionais e a gestão de riscos contínua e individual (ABRISCO, 2019), resultaram no atendimento aos objetivos esperados, uma vez que: **i)** fomentaram continuamente a percepção e a análise crítica dos funcionários quanto aos riscos presentes nas áreas operacionais, em especial no seu próprio local de trabalho; **ii)** viabilizaram a identificação de novos riscos, incorporando-os aos inventários e análises de risco; **iii)** viabilizaram a elaboração e revisão de procedimentos e instruções operacionais, maximizando a segurança dos colaboradores, dos processos, da operação e do meio ambiente, em especial dos recursos hídricos; **iv)** viabilizaram a identificação do não cumprimento dos padrões por parte dos colaboradores, permitindo o mapeamento das causas dos desvios e a implementação de tratativas necessárias para corrigi-los; **v)** permitiram avaliar a efetividade dos treinamentos realizados pelos colaboradores nas atividades operacionais, viabilizando, quando necessário, a adequação da metodologia utilizada nos treinamentos; e **vi)** viabilizaram a análise contínua, por parte dos executores das atividades operacionais, da adequabilidade dos recursos disponíveis frente aos necessários para realizar devidamente as tarefas, resultando na minimização da probabilidade de ocorrência de um evento indesejado.

Comparando o desempenho de 2017, ano de implementação na planta de filtragem do sistema intitulado ORM, com o ano de 2020, último ano decorrido integralmente, observou-se uma redução de 78% no número de desvios relacionados aos controles do PUE “Perda de contenção de produtos químicos”. Além disso, considerando o mesmo período de análise, observou-se uma redução de 50% na quantidade de desvios relacionados aos controles do PUE “Lançamento de efluente industrial fora do parâmetro pelo Emissário Submarino”. Desta forma, observa-se que a implementação do ORM permitiu minimizar consideravelmente o número de desvios relacionados aos controles dos 2 Eventos Indesejados Prioritários mapeados como potenciais causadores de impactos adversos nos recursos hídricos, demonstrando a eficácia da metodologia.

CONCLUSÕES

A implementação do ORM com abordagem em 4 camadas permitiu identificar na análise de 1ª camada, por meio do uso da *Workplace Risk Assessment and Control* (WRAC), 18 processos industriais, além de 2 Eventos Indesejados Prioritários (PUEs) com potencial de impactar os recursos hídricos superficiais e subterrâneos adjacentes à planta de filtragem, a saber: **i)** Perda de contenção de produtos químicos; e **ii)** Lançamento de efluente industrial fora do parâmetro pelo Emissário Submarino.

Na 2ª camada foi possível, a partir da análise de *Bow-Tie*, estabelecer 50 controles preventivos e mitigatórios relacionados a estes 2 PUEs, sendo que 86% (43/50) dos controles são de origem preventiva e 14% (7/50) de cunho mitigatório, o que demonstra o foco da organização em implementar ações preventivas. Constatou-se também que 60% (30/50) dos controles estabelecidos para os 2 PUEs não são críticos, ao passo que 40% (20/50) dos controles são críticos, sendo que estes últimos consistem nos controles que, se eliminados ou degradados, aumentarão consideravelmente a probabilidade de ocorrência ou a consequência de um evento indesejado.

Por meio da *Job Risk Analysis* (JRA) e da Análise Preliminar de Riscos Diária (APRD), foi possível implementar, respectivamente, no âmbito das análises de 3ª e 4ª camadas, uma rotina de gestão de riscos contínua e individual com foco nas tarefas operacionais.

Comparando o desempenho de 2017 com o ano de 2020 constatou-se uma redução de 78% no número de desvios relacionados aos controles do PUE “Perda de contenção de produtos químicos” e uma redução de 50% na quantidade de desvios relacionados aos controles do PUE “Lançamento de efluente industrial fora do parâmetro pelo Emissário Submarino”.

Portanto, o ORM se mostrou uma metodologia capaz de sustentar um sistema de gestão de riscos operacionais robusto, abordando desde a identificação do perigo, passando pela classificação de risco e culminando no estabelecimento de controles adequados, se mostrando eficaz na minimização da probabilidade de ocorrência de impactos ambientais adversos, em especial no que se refere aos recursos hídricos, podendo ser, inclusive, replicável a outras disciplinas e organizações.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR ISO/IEC 31010:2012**: Gestão de riscos - Técnicas para o

processo de avaliação de riscos. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ABRISCO. Congresso da Associação Brasileira de Análise de Risco, Segurança de Processo e Confiabilidade. **Análise de Risco Operacional**. Rio de Janeiro: ABRISCO, 2019.

BANSAL, S.; SELVIK, J. T.. Investigating the implementation of the safety-diagnosability principle to support defence-in-depth in the nuclear industry: A Fukushima Daiichi accident case study. **Engineering Failure Analysis**, v.123, p.105315, 2021.

CHACON, E. P.; BORGES, M. N.; SILVA, C. R. C.; CLUA, E.. Check-list: um formulário para avaliação de Softwares Educativos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE E DO AMBIENTE, 3. **Anais**. Niterói, 2012.

CORMIER, R.; ELLIOTT, M.; RICE, J.. Putting on a bow-tie to sort out who does what and why in the complex arena of marine policy and management. **Science of the Total Environment**, v.648, p.293-305, 2019.

COSTA, S. S.; DESCOVI FILHO, L. L. V.; OLIVEIRA JUNIOR, J. M. B.. Esforços da pesquisa brasileira sobre mineração e impactos ambientais: uma visão geral de cinco décadas (1967-2017). **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, Aracaju, v.11, n.2, p.296-313, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.002.0029>

DASZUTA, W.; GHOSH, S.. Seafarers' perceptions of competency in risk assessment and management: an empirical study. **WMU Journal of Maritime Affairs**, v.17, n.4, p.543-564, 2018.

DIANOUS, V.; FIEVEZ, C.. ARAMIS project: A more explicit demonstration of risk control through the use of bow-tie diagrams and the evaluation of safety barrier performance. **Journal of Hazardous Materials**, v.130, n.3, p.220-233, 2006.

DOMINGUES, M. S. Q.; BAPTISTA, A. L. F.; DIOGO, M. T.. Engineering complex systems applied to risk management in the mining industry. **International journal of mining science and technology**, v.27, n.4, p.611-616, 2017.

FERDOUS, R.; KHAN, F.; SADIQ, R.; AMYOTTE, P.; VEITCH, B.. Analyzing system safety and risks under uncertainty using a bow-tie diagram: An innovative approach. **Process Safety and Environmental Protection**, v.91, n.1-2, p.1-18, 2013.

FIRMINO, A. S.; PERLES, G. X.; MENDES, J. V.; SILVA, J. E. A. R.; SILVA, D. A. L.. Rumo à Indústria 4.0: uma análise SWOT para empresas situadas na Região Metropolitana de Sorocaba (SP, Brasil). **Gestão & Produção**, v.27, n.3, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1590/0104-530X5622-20>

FREITAS, C. M.; BARCELLOS, C.; ASMUS, C. I. R. F.; SILVA, M. A.; XAVIER, D. R.. Da Samarco em Mariana à Vale em Brumadinho: desastres em barragens de mineração e Saúde Coletiva. **Cadernos de Saúde Pública**, v.35, p.e00052519, 2019.

KAMENOPOULOS, S. N.; TSOUTSOS, T.. Assessment of the safe operation and maintenance of fotovoltaic

systems. **Energy**, v.93, p.1633-1638, 2015.

LIBERATI, E. G.; PEERALLY, M. F.; DIXON-WOODS, M.. Learning from high risk industries may not be straightforward: a qualitative study of the hierarchy of risk controls approach in healthcare. **International Journal for Quality in Health Care**, v.30, n.1, p.39-43, 2018.

MOREIRA, A. G.. **Avaliação de Riscos do Paio de Explosivos: Depósito de Nitrato de Amônio da Mina da Anglo American - Minério de Ferro Brasil**. Tese (Doutorado em Gestão de Riscos e Prevenção de Desastres) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.

NORTHEY, S. A.; MUDD, G. M.; WERNER, T. T.; HAQUE, N.; YELLISHETTY, M.. Sustainable water management and improved corporate reporting in mining. **Water Resources and Industry**, v.21, p.100104, 2019.

PEETERS, W.; PENG, Z.. An approach towards global standardization of the risk matrix. **Journal of Space Safety Engineering**, v.2, n.1, p.31-38, 2015.

RAMESH, R.; PRABU, M.; MAGIBALAN, S.; SENTHILKUMAR, P.. Hazard identification and risk assessment in automotive industry. **International Journal of ChemTech Research**, v.10, n.4, p.352-358, 2017.

ROCHA, S. F.; ALVES, M. G.; ALMEIDA, F. T.. Estudo preliminar da vulnerabilidade dos aquíferos em campos dos Goytacazes—Rio De Janeiro. In: SBSR, 11. **Anais**. Belo Horizonte, 2003.

SHRIWAS, M.; PRITCHARD, C.. Workplace risk assessment and control of fires and explosions in underground coalmines. **International Journal of Mining and Mineral Engineering**, v.11, n.3, p.228-239, 2020.

SPIGARELLI, C.. Understanding the hierarchy of controls THROUGH A PANDEMIC. **Professional Safety**, v.65, n.5, p.20-21, 2020.

SUBAGYO, E.; KHOLIL, K.; RAMLI, S.. Risk assessment using bowtie analysis: A case study at gas exploration industry PT XYZ Gresik East Java Indonesia. **Process Safety Progress**, p.e12190, 2020.

VAN NUNEN, K.; SWUSTE, P.; RENIERS, G.; PALTRINIERI, N.; ANEZIRIS, O.; PONNET, K.. Improving pallet mover safety in the manufacturing industry: A bow-tie analysis of accident scenarios. **Materials**, v.11, n.10, p.1955, 2018.

WEBER, C. C.. **A mineração Mineral de carvão mineral no Rio Grande do Sul e a recuperação ambiental das áreas degradadas**. Monografia (Especialização em Direito Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

WEESERIK, B. P.; SPRUIT, M.. Improving operational risk management using business performance management technologies. **Sustainability**, v.10, n.3, p.640, 2018.