



Engenharia de hibernação e método *bow tie*: melhoria na gestão de riscos para maior integridade de um sistema de *pull in/out*

Juliano Gomes da Silva¹, Carlos Frederico de Oliveira Barros²

¹Prog. Mestrado em Engenharia – ICT/UFF

²Departamento de Engenharia – ICT/UFF

Resumo

Os riscos à integridade estão presentes em todo ciclo de vida de um ativo, inclusive quando em regime temporário de desativação, chamado de hibernação. Neste estudo, verificou-se que durante a hibernação de um guincho pull in/out, usado para conexão/desconexão de linhas marítimas de petróleo, houve falhas na gestão de riscos à integridade, que levaram a lucro cessante, impacto ambiental e lesão. Assim, objetivou-se estruturar, à luz da metodologia *Bow Tie*, barreiras à degradação visando melhorar a integridade para operações futuras. Para tal, adotou-se uma abordagem qualitativa baseada na revisão da literatura, avaliação documental e de campo, dentro da lógica Soft DSR (*Soft Design Science Research*). As técnicas de APR (Análise Preliminar de Riscos), Matriz de Risco e AAF (Árvore de Análise de Falhas) mostraram-se adequadas para organização e análise dos dados, auxiliando a construção do diagrama *Bow Tie*. O resultado foi uma gestão de riscos à degradação mais robusta, a partir de uma solução consolidada em um diagrama *Bow Tie* e um plano de ação, estruturados em 15 barreiras preventivas e 14 mitigatórias/recuperação, com reflexos em segurança e prontidão do equipamento.

Palavras-chave: Engenharia de hibernação; Riscos à integridade; *Bow tie*.

Abstract

Integrity risks are present throughout the life cycle of an asset, including when in a temporary deactivation regime, called hibernation. In this study, it was found that during the hibernation of a pull in/out winch, used for connection/disconnection of offshore oil lines, there were failures in the management of integrity risks, which led to loss of profit, environmental impact and injury. Thus, the objective was to structure, in the light of the Bow Tie methodology, barriers to degradation in order to improve integrity for future operations. To this end, a qualitative approach was adopted based on literature review, documentary and field evaluation, within the logic of Soft DSR (Soft Design Science Research). The techniques of APR (Preliminary Risk Analysis), Risk Matrix and AAF (Failure Analysis Tree) proved to be adequate for data organization and analysis, helping the construction of the Bow Tie diagram. The result was a more robust degradation risk management, based on a solution consolidated in a Bow Tie diagram and an action plan, structured in 15 preventive barriers and 14 mitigation/recovery barriers, with reflections on safety and equipment readiness.

Keywords: Mothballing Engineering; Integrity risk; Bow tie.

1. Contextualização

A gestão de riscos à integridade dos ativos de produção, permeia as organizações que buscam geração de valor e contínuo alcance dos seus objetivos. Leoni et al. (2021) enfatizam que a integridade em todo ciclo de vida dos ativos, tornou-se estratégica para as organizações. Essa integridade consiste na conservação das características funcionais, estruturais e da conformidade com os parâmetros de projeto de um dado equipamento. Vaughen (2020) ratifica que a integridade visa a manutenção das especificações e a função do equipamento durante seu ciclo de vida.

Segundo a NBR ISO 55000 (2024), na gestão de ativos é crucial que o risco à integridade seja controlado em todo ciclo de vida, mesmo quando fora de operação. Para Vaughen (2020), durante o ciclo de vida do ativo, é possível, por razões operacionais, mercadológicas ou tecnológicas, que ele seja colocado em regime de hibernação. Volkman e Dunn (2013), esclarece que a hibernação é a desativação temporária do ativo por longo período, devendo ser acompanhada por intervenções regulares contra os riscos à integridade, para assegurar uma reativação sem falhas ou acidentes.

A razão da hibernação desse sistema de pull in/out deve-se a questões operacionais, pois é usado a cada longo intervalo, quando da intervenção em poços de petróleo. Ademais, para Volkman e Dunn (2013), o custo de hibernação de um ativo, embora oneroso, é menor do que mantê-lo em operação, compensando uma reativação futura. Contudo, Vaughen (2020), alerta que os riscos à integridade na hibernação não são necessariamente menores que os verificados em operação, pois estes tendem a ter maior frequência e menor impacto, enquanto aqueles, menor frequência e maior impacto.

A NBR ISO 31000 (2018) resume o risco como a incerteza sobre o alcance dos objetivos de uma organização, devendo ser identificado, analisado e tratado para o sucesso do negócio e preservação do trabalhador, ambiente e material. Vaughen (2020) descreve o risco como a correlação entre a ocorrência de um evento e a magnitude do seu dano, conforme expressão (1) a seguir:

$$\text{Risco} = \text{ocorrência} \times \text{frequência} \quad (1)$$

Hansler et al. (2021) argumentam que na hibernação, o risco de falha tende a aumentar a taxa de falha, que se manifesta mais claro na reativação, tal como se observou na reativação do equipamento em questão, frente aos problemas de baixa performance, degradação de componentes, vazamentos, entre outros. Isto levou ao aumento dos riscos, inúmeras manutenções corretivas, impactos em prazo, custos e restrições operacionais. Volkman e Dunn (2013), pois, recomendam planejar e gerir medidas contra os riscos na hibernação visando a integridade e segurança.

Diante do exposto, justifica-se a busca de uma solução para gerir eficientemente os riscos e contê-los por meio de barreiras. Zheng e Carvalho (2016) e Mantom et al. (2017), destacam entre as gestões por barreiras, a metodologia *Bow Tie*, pela fácil visualização dos cenários de riscos, via diagrama; definição de responsáveis pela gestão; conscientização acerca dos riscos e a definição de barreiras e mitigações, auxiliando na tomada de decisões e prioridades. Assim, será apresentada neste estudo, uma solução para gestão de riscos de degradação durante a hibernação, estruturada a partir da *Bow Tie*, visando maior integridade, com reflexos em prontidão e segurança do equipamento.

2. Metodologia

Este estudo, de abordagem qualitativa, baseou-se em dados extraídos do contexto do problema através de observações, vivência profissional, documentos e da busca de artigos com as palavras-chave nas bases Web of Science; Scopus e Compendex. O método para o alcance do objetivo, baseou-se no DSR (*Design Science Research*) visando desenvolvimento de uma solução para um problema real com base nas referências. Dresch et al. (2015) enfatiza que o DSR busca aproximar a teoria da prática, identificando e compreendendo problemas e criando soluções.

A operacionalização das etapas, baseou-se na metodologia flexível denominada Soft DSR (*Soft Desing Science Research*), proposta por Baskerville et. al. (2009), de abordagem cíclica e articulada com o mundo real e teórico. As etapas desenvolvidas foram as seguintes:

- Contextualização do Problema: Abordaram-se os riscos à integridade, a hibernação e possível solução, à luz da literatura, visando esclarecer conceitos-chave e a situação problema do trabalho;
- Especificação do Problema: Abordou-se o problema de forma detalhada a partir de observações e registros acerca do equipamento, criando uma base para compreensão e discussão;
- Generalização do Problema: Buscou-se situar o problema específico em uma classe de problema teórico, com base na literatura, para verificar-se um possível alinhamento entre o real e o teórico;
- Requisitos Gerais: Buscou-se nas bases referenciadas, uma revisão da literatura para delineamento de requisitos para solução do problema. As técnicas AFF, APR e Matriz de risco, mostraram-se adequadas para organização e análise de dados;
- Problema real vs teórico: Este comparativo trouxe de volta o problema específico para o foco da discussão, ao mostrar seu alinhamento com os problemas conceituais gerais e seus requisitos;
- Solução Específica: Propôs-se uma solução, auxiliada pelas técnicas AFF, APR, Matriz de risco, recomendações da literatura e experiência do autor, para criação do diagrama *Bow Tie*.
- Solução Geral: Estruturou-se a implementação da solução de melhoria da gestão de riscos, elaborando-se um plano de ação para as áreas responsáveis. Após ações, a situação é reavaliada.

3. Resultados e discussões

Nos subtópicos a seguir, serão apresentados o detalhamento do problema, generalização, requisitos, alinhamento do problema com teoria, solução específica e solução geral, baseados na revisão da literatura e na vivência profissional do autor.

3.1 Especificação do problema

O sistema de *pull in/out* é composto basicamente por um sistema principal, dotado de um guincho de grande porte, e um sistema auxiliar composto por guinchos de médio e pequeno porte, suportados por uma HPU (*Hydraulic Power Unit*), conforme simplificado na Figura 1 a seguir:

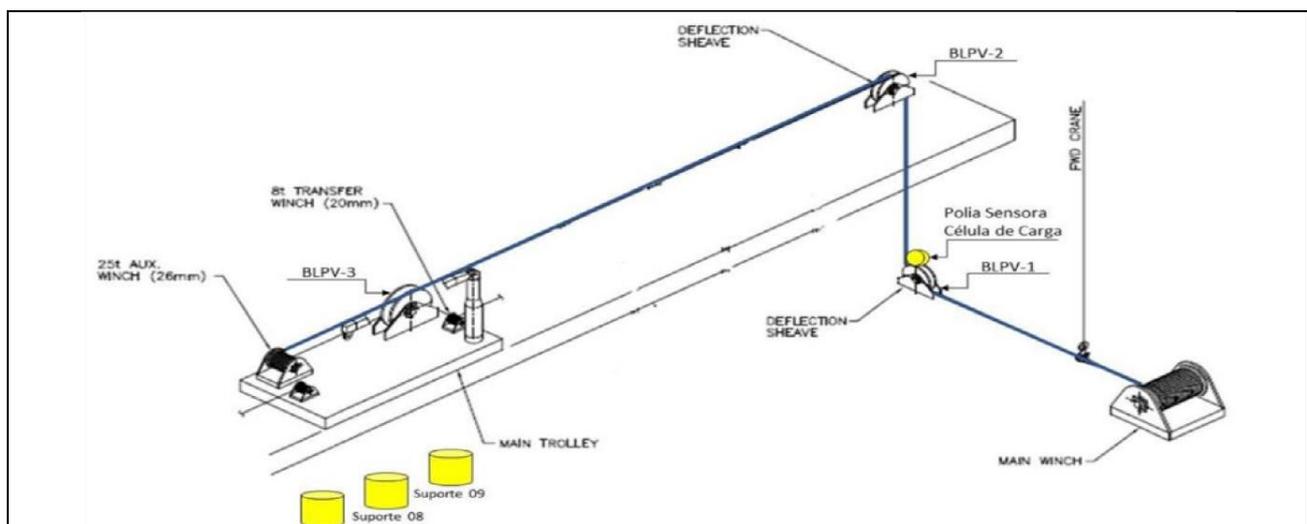


FIGURA 1: Vista simplificada sist. pull in/out. Fonte: (Adaptado Petrobras, 2022)

Este sistema é crucial em operações de conexão/desconexão de dutos submarinos interligados a poços de petróleo. Entretanto, sua gestão de riscos durante a hibernação, mesmo com emprego de procedimentos, inspeções e manutenções, mostrou-se inadequada para preservação da integridade.

Para detalhar o problema, foram observadas, a cerca de um ano, as condições de integridade do equipamento após hibernação, o que revelou lacunas na gestão de riscos conforme mostrado na Figura 2 a seguir. Este detalhamento se alinha com os pensamentos de Volkman e Dunn (2013) sobre levantar pendências de falhas no equipamento, antes da reativação.

Lacuna observada	Barreira prevista	Possível consequência	Mitigação prevista
Requisitos e memória tec. inadequados	Inexistente	Dano humano, ambiental e patrimonial	EPI; Sist. emergência; Isolamento área.
Preservação inadequada da integridade	Inspeção (inadequada)	Perda da condição operacional	Inexistente
	Manutenção (inadequada)	Lucro cessante	
Falta de controle da degradação de barreiras	Inexistente	Dano humano, ambiental e patrimonial	EPI; Sist. emergência; Isolamento área.
Risco da falta suprimento	Compra reativa		Canibalismo

FIGURA 2: Gestão de risco atual e as lacunas observadas. Fonte: Próprio autor

3.2 Generalização do problema

A falta de dados adequadas sobre o equipamento, pode incorrer em riscos e falhas. Os dados devem incluir modificações ocorridas durante a hibernação e comparadas em campo frente aos registros e desenhos. Behari (2018), considera que informações desatualizadas ou desalinhadas com a política de segurança organizacional, pode levar a uma análise falha e perda de controle dos riscos. Hansler et al. (2020), acrescenta o fator dos riscos associados, tais como desligamento de profissionais detentores de conhecimentos específicos, podendo levar a falha na identificação dos riscos e consequentemente a degradação.

Outra problemática refere-se à inspeção e manutenção inadequadas. Vaughen (2020) argumenta que falhas inesperadas podem ocorrer se o planejamento da manutenção estiver desalinhado com as condições atuais do equipamento. Hansler et al. (2020) observa que uma inspeção e manutenção adequadas, requerem análise das possíveis falhas e condições do equipamento e ainda, que as falhas de planejamento e procedimentos podem levar a acidentes, pois impactam na manutenção das barreiras pela inadequação de tarefas e inspeções.

Volkman e Dunn (2013), advertem que as ações na hibernação não devem ser apenas contra a degradação externa, mas também contra a degradação interna, pela falta de uso, e sugere ações como movimentar as partes móveis regularmente. O autor complementa, que o tempo de hibernação influencia na definição dos ciclos de manutenção. Assim, é imprescindível que o planejamento da manutenção esteja alinhado com os riscos, não tarde em tratá-los ou exceda com preventivas sujeitas a inserção de falhas, ou ciclos inadequados às condições do equipamento na hibernação.

Outro problema é a gestão inadequada das barreiras. Deve-se ter em mente que o desalinhamento das barreiras com o potencial de risco no regime de hibernação, pode levar a consequências de grande monta. Behari (2018), defende que é importante a compreensão dos riscos em equipamentos hibernados cuja falha pode comprometer a segurança, integridade e levar a um acidente.

Hansler et al. (2020) chama atenção para os riscos advindos da falta de conscientização e de conhecimento necessário para evitar que ocorram. Grattan (2018), nos lembra que para a hibernação

manter a integridade do equipamento, é preciso atender alguns requisitos, como profissionais treinados ocupando funções definidas, a fim de analisar riscos, criar barreiras e mantê-las.

Outra questão possível na hibernação, é o risco da falta de fornecimento de peças. Algumas razões para isso, podem ser a obsolescência ou encerramento de atividades do fornecedor. Segundo Dias et al. (2012) a obsolescência de um sistema iniciasse quando, na ocorrência de falhas, se tem uma manutenção dispendiosa em função da dificuldade de se encontrar peças no mercado. Volkman e Dunn (2013) reconhecem a possibilidade da falta de fornecimento para manutenção na hibernação e por isso recomendam uma maior preservação dos itens críticos.

Diante das classes de problemas teóricos acima, verificou-se um alinhamento entre estas classes os problemas observados na prática em campo, o que sinalizou a possibilidade de bons resultados na busca de uma solução para melhoria da gestão de riscos à integridade de equipamentos em hibernação. Volkman e Dunn (2013), recomendam que a hibernação do equipamento deva ser acompanhada por uma metodologia robusta que possa manter atualizada as ameaças e as consequências dos riscos à integridade e segurança, buscando contê-los através de barreiras físicas e/ou administrativas.

Barros et al. (2019), complementa que as análises de risco diante de condições impermanentes (como a degradação), requerem uma abordagem dinâmica para atualizar as condições. O autor destaca três métodos geralmente aplicados na indústria, que são: o método baseado nas técnicas de avaliação de risco; o método de investigação de acidentes e; o método de filosofia de barreiras de segurança.

Dentre as metodologias por barreiras, a *Bow Tie* apresenta vantagens como a facilidade de visualização dos cenários de riscos e das barreiras, para melhor controle e alcance entre os envolvidos. Segundo Mantom et al. (2017), o *Bow Tie* também deixa claro o papel de cada responsável pelo controle e conscientização acerca dos cenários de riscos, fornecendo informações quanto a segurança, mitigações, barreiras e salvaguardas, auxiliando na tomada de decisão e priorizações.

3.3 Requisitos gerais

A identificação de perigos e avaliação de riscos deve ser realizada por técnicas estruturadas, para reduzir o risco de ocorrência. Para Deutsch (2019), a identificação deve considerar as possíveis situações de falha que possa levar ao evento indesejado e; deve descrever o risco considerando o tipo, as consequências e responsabilidades. A ABNT (2021), aponta algumas técnicas de análise e tratamento de riscos, tais como o AAF (Análise de Árvore de Falha), APR (Análise Preliminar de Risco) e a Matriz de Risco, que servirão de apoio neste estudo, conforme mostrado a seguir.

A AAF, é uma técnica que parte do problema (evento topo) e desdobra a sequência de eventos que podem ter gerado o evento topo. Os eventos que têm a causa mais básica, ou seja, que estão em níveis mais baixos na árvore, são considerados a causa básica. A estrutura básica da AAF é composta pelos eventos, descritos geralmente dentro de retângulos; pelos conectores lógicos “E”/“OU” e a causa básica, descrita em um círculo. Deutsch (2019) pondera que deve ser considerado na análise: procedimentos, fatores externos e internos, obsolescência, restrições operacionais, entre outros.

A APR, é uma técnica indutiva, estruturada para identificar perigos e situações acidentais, possíveis causas e consequências, visando avaliar qualitativamente os riscos e as salvaguardas existentes e propor medidas adicionais. Dinizio e Martins (2020), traduzem uma sequência para APR partindo da identificação do perigo, seguido da causa, detecção, consequências e recomendações. É possível ainda categorizar a frequência e severidade do risco baseado na Matriz de Risco.

A Matriz de Risco, fornece uma dimensão dos riscos a partir de uma categorização representada em um plano contendo as regiões toleráveis (baixa severidade e frequência), região moderada, chamada, conforme nos lembra Barros et al. (2019), de conceito ALARP (tão baixo quanto razoavelmente possível), ou seja, categoria dentro das capacidades de manutenção da integridade física, material e do meio ambiente, sem necessidade de medidas adicionais para determinadas

atividades em uma organização; e por último a região intolerável (alta severidade e frequência). Para Deutsch (2019), esta categorização complementa o processo de análise de riscos e auxilia na decisão quanto às medidas a serem tomadas.

3.4 Alinhamento problema real com teórico

A partir dos requisitos acima, foram realizadas análises dos principais problemas observados em campo, no último ano, verificando-se um alinhamento com o referencial teórico, conforme a seguir:

I) Dados inadequados para identificação dos riscos:

Conforme Volkman e Dunn (2013), a identificação eficaz dos riscos é imprescindível para uma boa gestão da integridade de equipamentos. Na hibernação deve-se manter o conhecimento sobre o equipamento, assegurando à disposição desenhos, manuais, procedimentos, relatórios, certificados, entre outros.

Para exemplificar, resume-se um acidente ocorrido com um guincho após sua reativação, quando ocorreu uma falha, levando a perda da linha de produção e do cabo de aço no mar, a projeção de peças a alguns metros do equipamento e um incêndio localizado. Previamente à retomada operacional, havia se constatado falhas em alguns motores hidráulicos, mas diante da limitação de dados sobre o equipamento a época, desconsiderou-se a necessidade da atuação de todo conjunto de motores na pretendida operação, além de não ter sido levado em conta o risco da descida descontrolada do cabo.

As principais causas consideradas na AFF deste exemplo, indicaram falha na identificação de riscos durante a hibernação, por falta de dados adequados. Esse exemplo se alinha com a preocupação de Hansler et al. (2020) acerca de dados inadequados para identificação de riscos, que pode aumentar a tendência da falha e de danos inesperados.

II) Inspeção e manutenção inadequadas:

O planejamento das inspeções deve atender-se para os riscos, sobretudo a inspeção interna cuja degradação não é diretamente visível. Da mesma forma, uma manutenção desalinhada com os riscos, pode tardar em tratá-los ou exceder-se com preventivas e inserir falhas. Além disso, os ciclos de manutenções devem ser planejados e cumpridos com base nos riscos e condições do equipamento ao longo da hibernação (HANSLER et al., 2020; VAUGHEN, 2020; VOLKMAN e DUNN, 2013).

Para ilustrar descreve-se a ocorrência da falha de um motor de partida, no momento da reativação do guincho *pull in* que inviabilizou a partida do motor diesel do *trolley* e conseqüentemente a prontidão operacional do sistema. O motor foi então desmontado pela manutenção que constatou sinais de desgastes dos componentes internos. As principais causas da falha, apontaram para falta de inspeção interna, bem como a falta de recomendação de manutenção preventiva.

Para Vaughen (2020), a falha inesperada pode vir se a inspeção e manutenção não for executada e manter-se desatualizada sobre as condições do equipamento. Tal como no exemplo acima, em que as inspeções e manutenções do equipamento foram limitadas à documentação técnica do fabricante, sem levar em conta medidas adicionais diante das condições em que se encontrava o motor.

III) Controle inadequado da degradação de barreiras:

Andrade et al. (2022) entende que o risco deve ser controlado considerando a situação atual das barreiras, grau de confiabilidade e o risco de ocorrências indesejáveis, para a partir dessas verificações tratar o cenário atual de riscos. Atualmente a gestão das barreiras do guincho *pull in/out* em questão, não deixa clara a correlação entre riscos, barreiras e conseqüências, o que dificulta o controle.

Nesse sentido, traz-se o exemplo da falha dos pinos hidráulicos do guincho *pull in/out*, no qual se constatou a deformação da bucha e água no interior do pino, devido à ausência da coifa, gerando calço

hidráulico e emperramento. As principais causas na falha, foi o controle inadequado dos fatores externos (infiltração) e das barreiras físicas (coifa e anel vedação), o que levou a uma manutenção dispendiosa e lucro cessante. Hansler et al. (2020), recomendam estabelecer um controle proativo e visão ampliada dos fatores subjacentes que podem degradar as barreiras até o evento indesejável.

IV) Risco da falta de suprimento:

Volkman e Dunn (2013) salientam o risco da falta de suprimento para equipamentos sujeitos a hibernação. Dias et al. (2012) sugerem 6 graus para obsolescência de componentes de um equipamento, correlacionando-os com a condição de comercialização das peças, ou seja, a partir do grau 3 tem-se uma comercialização restrita e ausente a partir do grau 5.

O guincho *pull in/out* desse estudo possui cerca de 20 anos. Após essa última hibernação, cerca de 5 anos, verificou-se que algumas peças sofreram atualizações técnicas pelo mercado, embora ainda se verifique certa compatibilidade com o equipamento. Entretanto, em relação a outros componentes, verificou-se certa dificuldade e falta de fornecimento de sobressalentes, tendo sido encontrado no mercado somente o fornecimento do conjunto completo e a longo prazo.

Este exemplo foi observado a partir dos desdobramentos de um teste com os freios do sistema, que resultou em baixa performance. Assim, analisou-se a causa da redução de frenagem, concluindo-se que era devido à degradação de alguns sobressalentes. Entretanto, tais peças eram comercializadas pelo fabricante que passou por uma reestruturação, encerrando o fornecimento de sobressalentes e passando a ofertar somente o conjunto completo mediante encomenda, com prazos de entrega variando de meses a um ano. Este problema se alinha com as situações exposta pelos dois autores acima.

3.5 Solução específica

Propõe-se a seguir uma solução com base na metodologia *Bow Tie*. Mantom et al. (2017), destaca que o primeiro passo para o diagrama *Bow Tie*, é identificar o evento topo, o perigo, as consequências e as causas. Posteriormente se propõe as barreiras e identificam-se os possíveis fatores de degradação. Assim, inicialmente identificou-se a partir da AAF mostrada na Figura 3 a seguir, o evento topo e as causas básicas das principais falhas de integridade do guincho *pull in/out*.

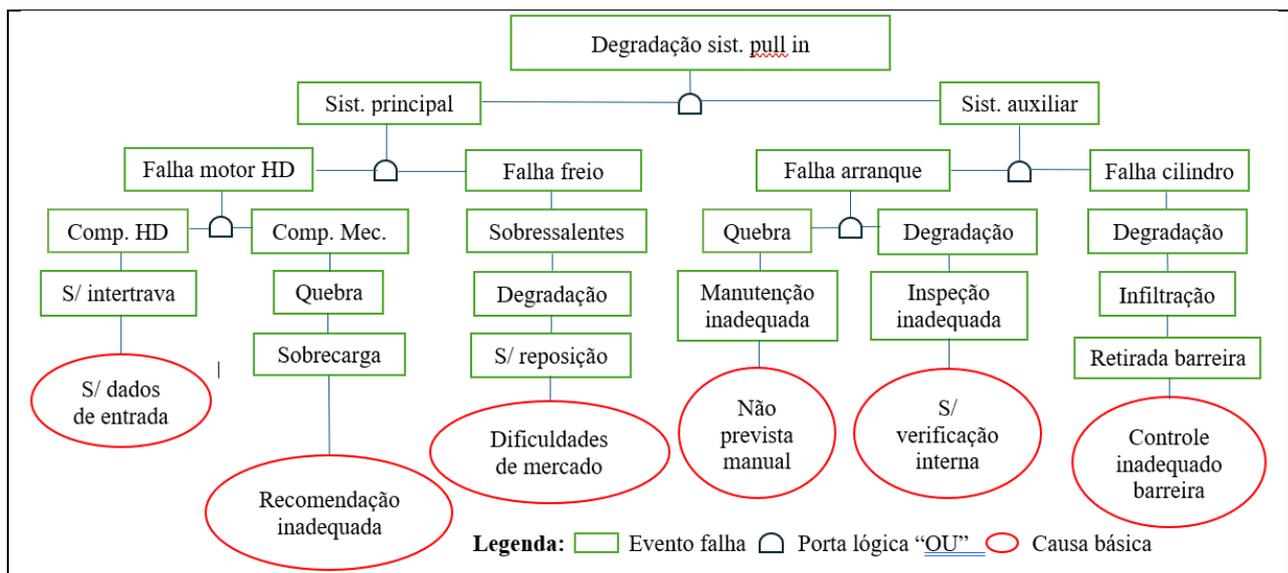


FIGURA 3: AAF - evento topo e as principais causas de falha. Fonte: Próprio autor

De modo complementar foi elaborada uma APR e categorização dos riscos, segundo os conceitos de Matriz de riscos, para as principais falhas verificadas em campo conforme Figura 4 a seguir:

APR	Problema I	Acidente devido a falha do motor HD pela falta de especificação de requisitos								Observações			
Perigo	Causas	Consequencias	Salvaguardas	Freq	Pessoal		Instal		M. A.		Imagem	Recomendação	
					S	R	S	R	S	R			S
Falha do motor hidráulico	Requisitos inadequados	Danos a pessoas, meio ambiente, equipamento e instituição	Sensorial; Monitoramento; Botão de emergência; Alarme geral; Equipe resposta	(D)	III	M	IV	NT	III	M	III	M	Estruturar barreiras preventivas e de mitigação, a partir da metodologia Bow Tie, para melhorias na gestão de riscos e segurança do sistema do guincho pull in/out como um todo.
APR	Problema II	Falha do motor partida devido a inspeção/manutenção inadequadas											
Perigo	Causas	Consequencias	Salvaguardas	Freq	Pessoal		Instal		M. A.		Imagem		
Falha do motor de partida	Inspeção/manutenção inadequada	Perda da condição operacional e lucro cessante	Sensorial e Monitoramento	(E)	I	M	III	NT	I	M	I	M	
APR	Problema III	Falha do pino trava HD, devido a falta de controle da degradação de barreiras											
Perigo	Causas	Consequencias	Salvaguardas	Freq	Pessoal		Instal		M. A.		Imagem		
Falha das barreiras	Controle inadequado barreiras	Perda da condição operacional e lucro cessante	Sensorial e Monitoramento	(D)	I	T	IV	NT	I	T	II	M	
APR	Problema IV	Falha do sistema de freio, devido a falta de fornecimento de sobressalentes											
Perigo	Causas	Consequencias	Salvaguardas	Freq	Pessoal		Instal		M. A.		Imagem		
Falha do freio	Dificuldade de peças juno ao mercado	Danos a pessoas, meio ambiente, equipamento e instituição	Sensorial; Monitoramento; Apoio de terceiros	(D)	III	M	IV	NT	III	M	III	M	
Legenda													
Categorias de Frequência		A - Extremamente Remota		B - Remota		C - Pouco Provável		D - Possível		E - Frequente			
Categorias de Severidade		I - Desprezível		II - Marginal		III - Média		IV - Crítica		V - Catastrófica			
Categoria de Risco		T - Tolerável		M - Médio		NT - Não tolerável							

FIGURA 4: APR com matriz de risco. Fonte: Próprio autor

Considerando os resultados acima, baseados na literatura, técnicas de análise e experiência do autor, permitiu-se elaborar um diagrama *Bow Tie*, seguindo os passos organizados por Mantom et al. (2017) e Andrade et al. (2022), conforme a seguir:

- Identificação do perigo e do evento topo: No centro do diagrama o perigo de determinada atividade. O evento topo em caso de falha das barreiras.
- Identificação das consequências: Usa-se a APR ou Brainstorming. As consequências são devidas ao evento topo e fica no lado direito do diagrama.
- Identificação das causas: Para tal usa-se a APR ou Brainstorming. Ficam no lado esquerdo do diagrama e podem levar ao evento topo, na falha das barreiras.
- Barreiras de prevenção: No lado esquerdo do diagrama, as barreiras posicionam-se logo após as causas, para impedir o evento topo.
- Barreiras de mitigação: Ficam entre o evento topo e as consequências no lado direito do diagrama e servem para recuperar ou reduzir o impacto.
- Fatores de degradação das barreiras: Podem estar presentes tanto no lado esquerdo como o direito, e senão bloqueados, minam a capacidade das barreiras.

- Definição dos responsáveis pelas barreiras e fatores de degradação: Atribuído aos envolvidos com a gestão dos riscos e gestão de processos.
- Revisão do diagrama: Deve-se observar principalmente o seguinte: Nome das barreiras deve estar conciso e objetivo; validação da barreira segundo critério de bloqueio, eficácia e auditável; quantidade de barreiras proporcional a gravidade das consequências.

Assim, foi construído um diagrama *Bow Tie* procurando contemplar todos os cenários de riscos verificados em campo, e criar barreiras eficientes para prevenção (lado esquerdo ao evento central) e mitigação (lado direito ao evento central) dos riscos, conforme apresentado a seguir nas Figura 5 (visão total), e ampliado nas Figura 6 (barreiras preventivas) e Figura 7 (barreiras de mitigação) devido à limitação do formato da folha para o tamanho do diagrama construído:

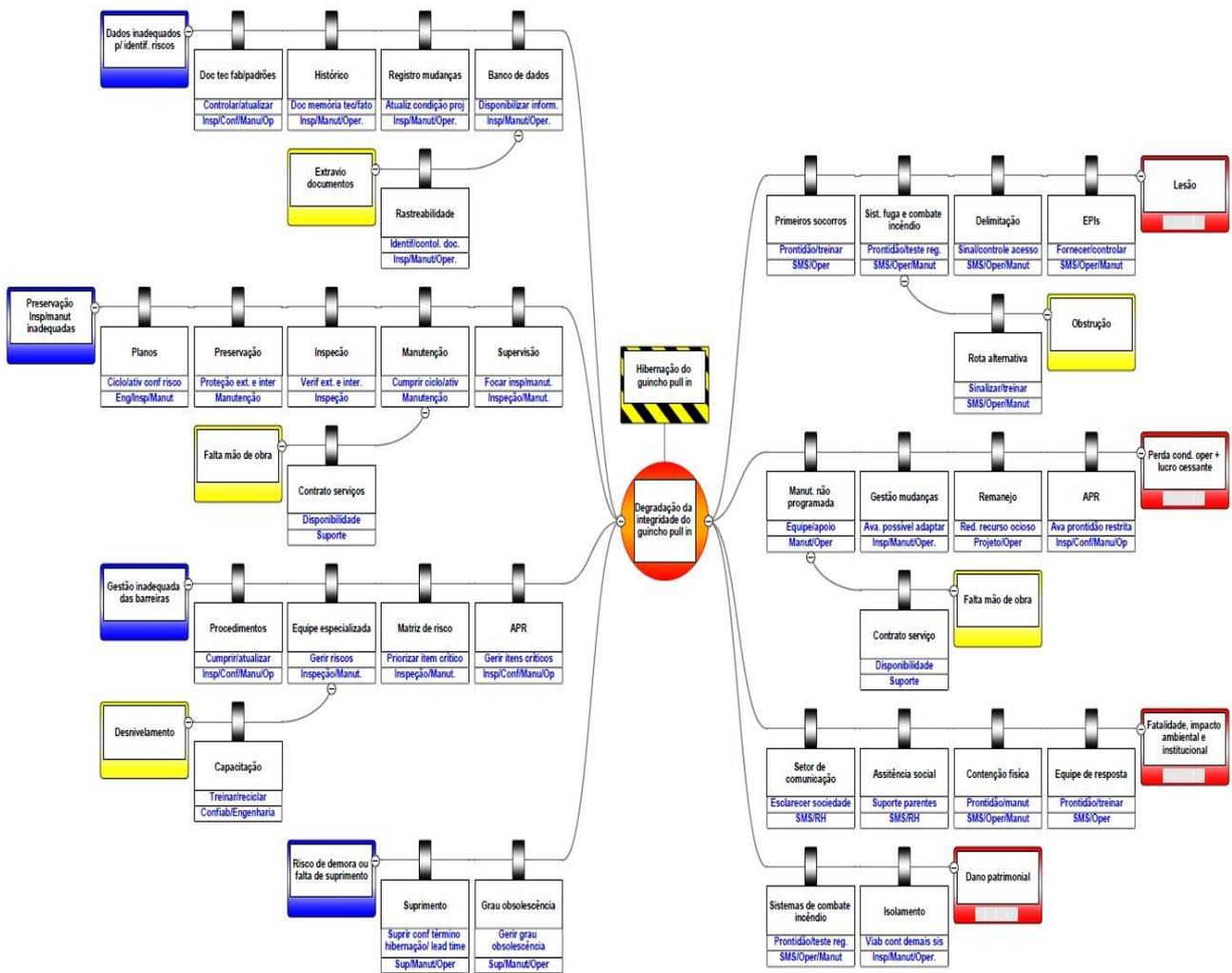


FIGURA 5: Diagrama *Bow Tie* – vista completa. Fonte: Próprio autor

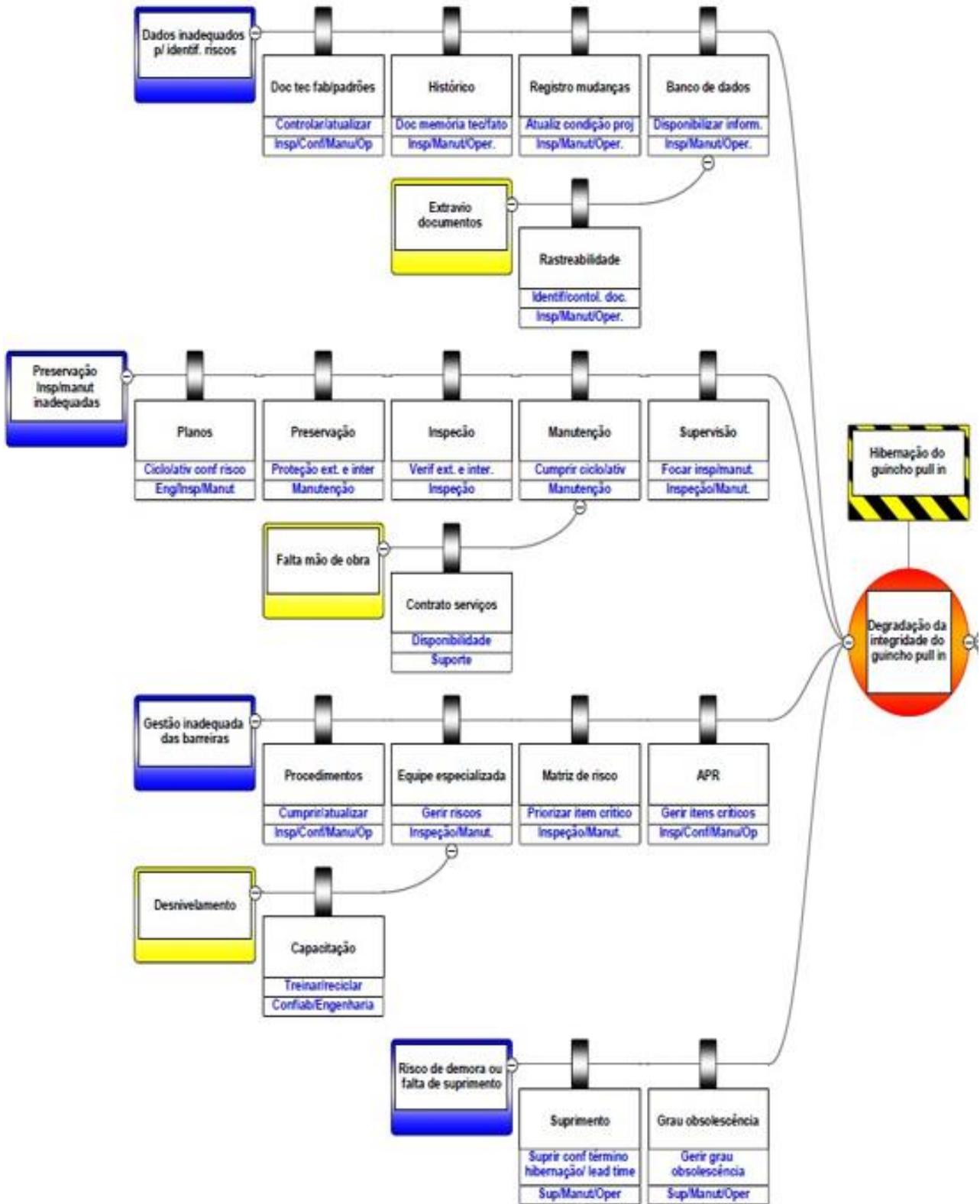


FIGURA 6: Diagrama Bow Tie lado esquerdo - barreiras preventivas. Fonte: Próprio autor

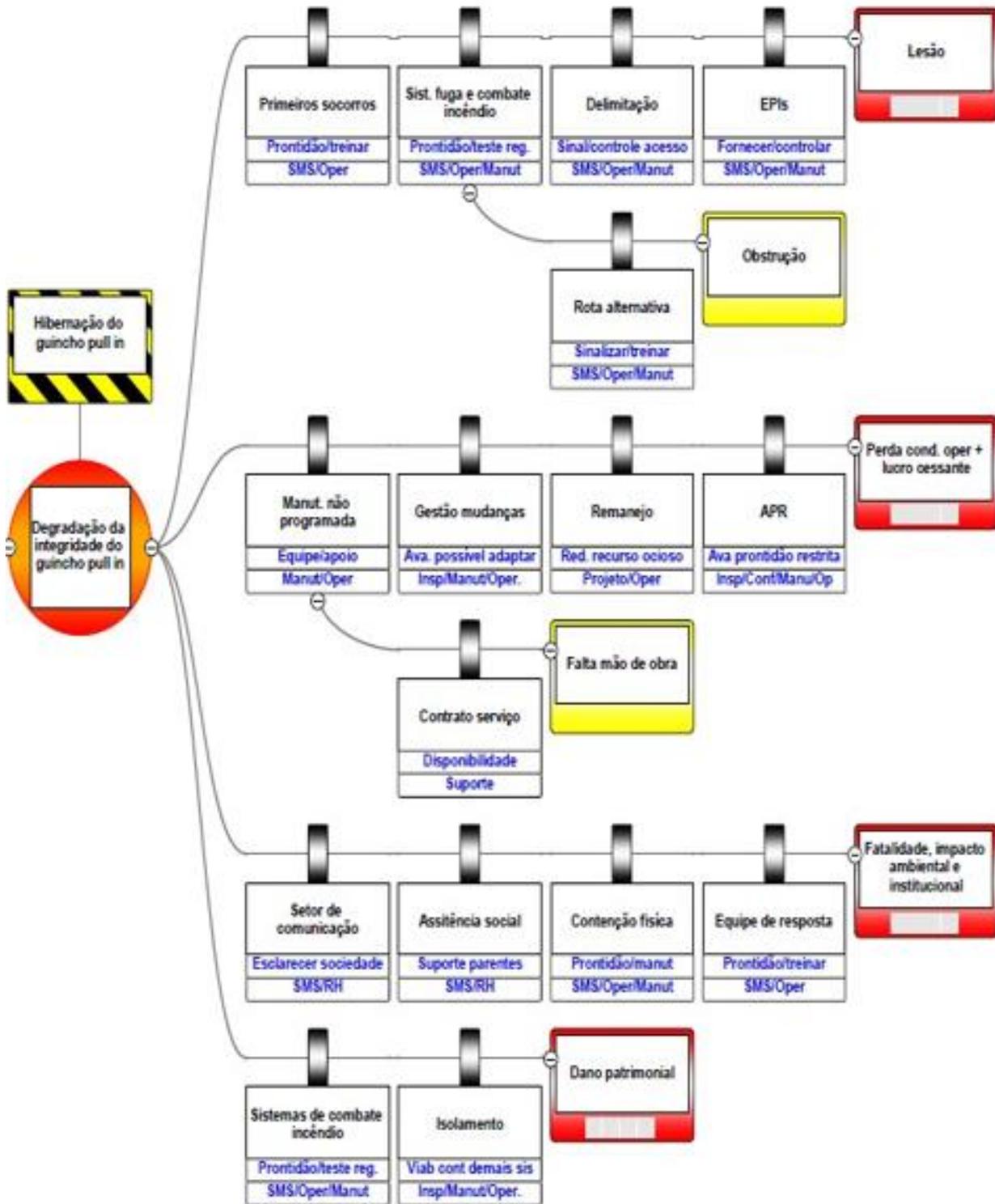


FIGURA 7: Diagrama *Bow Tie* lado direito - barreiras de mitigação. Fonte: Próprio autor

3.5 Solução geral

Alinhado com Andrade et al. (2022) e Mantom et al. (2017), após diagrama, criou-se um plano de ação para implementação da solução pelos responsáveis da gestão de riscos. Figura 8 a seguir:

PLANO DE AÇÃO		
BARREIRAS DE PREVENÇÃO		
Ameaça - Dados inadequados para identificação riscos	Responsável	Prazo
Barreira 1 (Doc. Técnica): Controlar doc. técnica, atualizando e alimentando um banco de dados	Inspeção; Confiabilidade; Manutenção e Oepração	Antes da desativação para próxima hibernação
Barreira 2 (Histórico): Manter registros do histórico de intervenções do equipamento, incluindo a memória técnica dos profissionais que detenham conhecimentos específicos acerca do equipamento	Inspeção; Manutenção e Oepração	
Barreira 3 (Registro mudanças): Integrar os registros de mudanças de projeto do equipamento, junto ao sistema de planejamento de inspeção e manutenção e manter disponível em um banco de dados.		
Barreira 4 (Banco de dados): Estabelecer um banco de dados central para todas informações que envolve o equipamento como doc. técnica, certificados, manuais, mudanças, memória técnica.		
Ameaça - Inspeção/manutenção inadequadas	Responsável	Prazo
Barreira 5 (Planos): Dimensionar os períodos de manutenção de acordo com o período em que o equipamento irá permanecer hibernado e com a situação atual verificada nas barreiras.	Engenharia, Inspeção e Manutenção	Antes da desativação para próxima hibernação
Barreira 6 (Preservação): Incluir no procedimento de preparação para hibernação, as medidas de preservação das partes internas, como lubrificação, tamponamento.	Manutenção	
Barreira 7 (Inspeção): Adequar o plano de inspeção prevendo verificar os componentes críticos, ainda que não contemplados nos manuais do fabricante.	Inspeção	
Barreira 8 (Manutenção): Assegurar o cumprimento das manutenções em seus devidos ciclos.	Manutenção	
Barreira 9 (Supervisão): Focar na supervisão das atividades de inspeção e manutenção do equipamento	Inspeção e Manutenção	
Ameaça - Gestão inadequada de barreiras	Responsável	Prazo
Barreira 10 (Procedimentos): Assegurar o cumprimento dos procedimentos atualizados.	Inspeção; Confiabilidade; Manutenção e Oepração	Antes da desativação para próxima hibernação
Barreira 11 (Equipe Especializada): Estabelecer e manter uma equipe especializada para gestão de riscos.	Inspeção e Manutenção	
Barreira 12 (Matriz de risco): Estabelecer e manter atualizada uma matriz de riscos para itens críticos.		
Barreira 13 (APR): Aplicar a cada inspeção uma APR a partir da matriz de riscos para itens críticos	Inspeção; Confiabilidade; Manutenção e Oepração	
Ameaça - Risco de demora ou falta de suprimento	Responsável	Prazo
Barreira 14 (Suprimento): Startar o processo de compra, conforme criticidade do componente e lead time do fornecedor, considerando a previsão da reativação do equipamento.	Suprimento; Manutenção; Operação	Antes da desativação para próxima hibernação
Barreira 15 (Grau de obsolescência): Mapear o grau de obsolescência dos componentes, baseado no histórico e a dificuldade das últimas aquisições.		
BARREIRAS DE MITIGAÇÃO		
Consequência - Lesão	Responsável	Prazo
Barreira 16 (Primeiros socorros): Assegurar treinamento e prontidão da equipe de primeiros socorros.	SMS e Oepração	OK
Barreira 17 (Sist. fuga combate incêndio): Assegurar testes regularmente e prontidão do sistema de combate.	SMS; Oepração e Manutenção	
Barreira 18 (Delimitação) : Assegurar que a área entorno do equipamento, esteja devidamente delimitada, sinalizada e com acesso controlado.		
Barreira 19 (EPIs): Fornecer e controlar Equipamentos de Proteção Individual para equipes de manutenção e operação.		
Consequência - Perda prontidão e lucro cessante	Responsável	Prazo
Barreira 20 (Manutenção não programada): Manter equipe de manutenção corretiva para falhas inesperadas, a fim de reduzir o tempo da recuperação.	Manutenção e Operação	OK
Barreira 21 (Gestão de mudanças): Empregar a gestão de mudança possível, como adapatações, visando a prontidão.	Inspeção; Oepração e Manutenção	
Barreira 22 (Remanejamento): Remanejar recursos de apoio operacional para outras frentes, visando minimizar a ociosidade.	Projeto e Operação	
Barreira 23 (APR): Empregar a APR para recuperação da condição operacional parcial.	Inspeção; Confiabilidade; Manutenção e Oepração	
Consequência - Lesão, dano ambiental, institucional	Responsável	Prazo
Barreira 24 (Setor de Comunicação): Manter uma estrutura de comunicação de situações junto à sociedade, a fim de minimizar o impacto institucional.	SMS e RH	Ok
Barreira 25 (Assistência social): Manter uma estrutura para assintência para casos de lesão a pessoas, além de apoio aos parentes das vítimas.		
Barreira 26 (Contenção física): Assegurar e manter os kits de contenção para vazamentos de produto.		
Barreira 27 (Equipe de resposta): Assegurar treinamento e prontidão da equipe de resposta.		
Consequência - Dano patrimonial	Responsável	Prazo
Barreira 28 (Sist. combate incêndio): Assegurar prontidão e testes regulares do sistema.	SMS; Oepração e Manutenção	Ok
Barreira 29 (Isolamento): Manter meios de isolamento e comunicação das áreas atingidas, a fim de impedir o acesso de pessoas não autorizadas.	Inspeção; Oepração e Manutenção	

FIGURA 8: Plano de ação. Fonte: Próprio autor

4. Considerações Finais

A metodologia *Bow Tie*, como base para a solução desenvolvida acima para lacunas na gestão de riscos à integridade durante a hibernação, trouxe melhorias, pois possibilitou melhor visualização e controle dos cenários de riscos e barreiras. Além de acompanhamento da condição do equipamento e tomada de decisão quanto a sua condição operacional e avaliação da necessidade de revisão de barreiras. Estas melhorias refletiram em segurança e redução de intervenções corretivas.

Destaca-se ainda, a contribuição para o entendimento de que a gestão de riscos à integridade faz-se necessária em todo ciclo de vida do ativo, incluindo a hibernação, que conforme se verificou é passível de riscos que podem levar a consequências de grande monta para a organização, o trabalhador e meio ambiente.

Além do ativo em questão, este estudo pode ser aplicado em outros setores e atividades em que a hibernação de ativos se faz necessária, como no descomissionamento de ativos de produção, estratégia para a sazonalidade no agronegócio, instalações alternativas de geração de energia como termoelétricas, instalações para projetos como setor aeroespacial, entre outras.

Somado a isso, este estudo possui relativo ineditismo para o tema, que pode contribuir com o meio acadêmico, tendo em vista a pouca representatividade de estudos voltados para o tema e a falta de tratativas da integridade durante a hibernação, a partir de um método abrangente e sistêmico, baseado na metodologia *Bow Tie*.

O limite deste estudo é de cunho temporal, pois algumas barreiras somente poderão ser implementadas após o término das operações em curso com o sistema de guincho *pull in/out*, ou seja, no momento da sua hibernação. Entretanto, foi possível verificar a eficácia do método para melhoria da gestão de riscos, bem como a implantação de algumas barreiras como as de mitigação e recuperação, conforme apresentadas neste estudo.

Para trabalhos futuros, sugere-se o aprofundamento do tema visando mensurar a confiabilidade do equipamento durante a hibernação, bem como a criação de indicadores que possam contribuir para o controle de barreiras e a integridade dos ativos.

Por fim, ressalta-se a importância do conhecimento adquirido no decorrer deste estudo, tanto dos artigos dos autores referenciados, quanto das observações verificadas em campo. Um percurso decisivo para busca de melhorias na gestão de risco, em especial para ativos hibernados cujo estado da arte não demonstra grande representatividade. Assim, espera-se ter contribuído a partir deste estudo e ampliado os caminhos para busca da melhoria na gestão de riscos durante a hibernação.

5. Referências

- [1] ANDRADE, Rafaela R. D.; GIMENES, Felipe A. G. P.; GIMENES, Arijuna M. C.; HONÓRIO, Charles S.; PEREIRA, Adonias G. A utilização de *Bow Tie* como ferramenta para avaliação da continuidade operacional de ativos maduros. *Brazilian Journal of Development*. Curitiba, 2022.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 31000. Gestão de Riscos – Diretrizes. Rio de Janeiro, 2018.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 55000: Gestão de Ativos – Terminologia, visão geral e princípios. Rio de Janeiro, 2024.
- [4] BARROS, Carlos. F., RODRIGUES, Vitor., COLOMBO, Danilo., CARDOSO, Rodolfo., TAMMELA, Iara. Análise de riscos para reduzir a ocorrência de blowouts na perfuração de poços de petróleo: Integrando o CBM e o *Bow Tie*. ABRISCO, RJ, 2019.

- [5] BASKERVILLE, R.; PRIES-HEJE, J.; VENABLE, J. *Soft design Science methodology. In: 4th international conference on service-oriented perspective in design science research, 4, 2009, Malvem Proceedings: ACM 2009.*
- [6] BEHARI, Niresh. *Growing role of human-machine interaction in risk management. Control Engineering, v 65, n. 11, Canada, 2018.*
- [7] DEUTSCH, Leopoldo. Avaliação do ciclo de vida de um sistema de geração de energia, incorporando gestão de riscos: Estudo de caso aplicado ao reservatório de vinhaça de uma refinaria sucroenergética. 227 f. Tese (Doutorado Ciências Mecânicas). Universidade de Brasília (UNB). Brasília, 2018.
- [8] DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JR., J. A. V. *Design science research: A method for science and technology advancement. Spring Springer international publishing switzerland. Porto Alegre, 2015.*
- [9] DIAS, Alexandre H. Farah; BERNADES, Evandro Soares; FONSECA, Luiz R. Oliveira. Metodologia de gestão de obsolescência nos sistemas de automação da APERAM. ABM, v 16, n. 16, Belo Horizonte, 2012.
- [10] DINIZIO, Maria Conceição. D.; MARTINS, Paulo Eduardo S. Ferramentas de gerenciamento de riscos na engenharia de segurança do trabalho: Um estudo de revisão bibliográfica. Ideias e Inovação, v 5, n. 3, SE, 2020.
- [11] GRATTAN, David J. Improving barrier effectiveness using human factors method. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, v 55, USA, 2018.
- [12] HANSLER, Rikkert J; BELLAMY, Linda J; AKKERMANS, Henk A. Ageing assets at major hazard chemical sites - Dutch experience. Safety Science, v 153, Netherlands, 2020.
- [13] LEONI, L.; CARLO, F.; PALTRINIERI, N.; SGARBOSSA, F.; TOROODY, A. B. On risk-based maintenance: A comprehensive review of three approaches to track the impact of consequence modelling for predicting maintenance actions. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, v 72, USA, 2021.
- [14] MANTOM, M.; JOHNSON, M.; PITBLADO, R.; COWLEY, C.; KRISHNA, K. Standardisation of Bow Tie Methodology and Terminology via a CCPS/EI Book. Hazards, v 27, n. 162, 2017.
- [15] VAUGHEN, Bruce K. Understanding and managing the risk during transient operations. Process Safety, v 39, Nova York, 2020.
- [16] VOLKMAN, Gregrey T; DUNNB, Steven. Guidance on the Stand Down, Mothball, and Reactivation of Ground Test Facilities. American Institute of Aeronautics and Astronautics. USA, 2013.
- [17] ZHENG, Esther H.; CARVALHO, Marly. M. Armadilhas no gerenciamento de riscos de cima para baixo: Uma pesquisa ação em uma empresa de engenharia. Produção On-Line, v 16, São Paulo, 2016.