

**A Inspeção Baseada em Risco como Metodologia na Tomada de Decisão Sobre a Postergação de Paradas de Manutenção em uma Refinaria de Petróleo Brasileira**

**JANCLER ADRIANO PEREIRA NICACIO**

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS (CEFET/MG)

**UAJARÁ PESSOA ARAÚJO**

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS (CEFET/MG)

# **A INSPEÇÃO BASEADA EM RISCO COMO METODOLOGIA NA TOMADA DE DECISÃO SOBRE A POSTERGAÇÃO DE PARADAS DE MANUTENÇÃO EM UMA REFINARIA DE PETRÓLEO BRASILEIRA**

## **1. INTRODUÇÃO**

A indústria de óleo e gás é essencial para impulsionar a economia global, mas também enfrenta desafios significativos em termos de segurança e impactos ambientais. Os perigos associados à extração, transporte e refino de petróleo e gás são diversos e incluem vazamentos, explosões, poluição do ar e da água, além de contribuírem para as mudanças climáticas devido às emissões de gases de efeito estufa (Castilho, 2020). A gestão responsável dos riscos é fundamental para mitigar esses impactos e promover práticas sustentáveis na indústria, visando proteger tanto as pessoas, sociedade e meio ambiente, neste cenário destaca-se a metodologia da inspeção baseada em risco.

A Inspeção Baseada em Risco ou Risk-Based Inspection (RBI) é uma abordagem metodológica é sistemática empregada para avaliar e priorizar riscos em um determinado equipamento, componente, sistema, processo ou operação. Em vez de inspecionar todos os aspectos igualmente, a inspeção baseada em risco identifica e concentra esforços nos elementos que representam os maiores riscos ou têm o potencial de causar os maiores danos a planta operacional API-581 (2020).

As normas API RP 580 e API RP 581 são importantes referências na indústria de óleo e gás, que fornecem diretrizes para avaliação de integridade de equipamentos e gestão de riscos em instalações petroquímicas. Essas normas desempenham um papel crucial na indústria de óleo e gás, auxiliando as empresas na identificação e gerenciamento proativo de riscos de integridade de equipamentos, garantindo assim a segurança operacional e a confiabilidade das instalações.

No cenário brasileiro a Norma Regulamentadora NR-13 do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), estabelece requisitos mínimos para a segurança na operação de equipamentos e sistemas utilizados em instalações de processo de inflamáveis e líquidos combustíveis, como refinarias de petróleo. A revisão de 2022 desta referida norma, possibilitou a inserção da metodologia de inspeção baseada em risco para a definição de prazos máximos de inspeções de segurança periódica em equipamentos, permitindo a abertura da possibilidade de postergação da realização de paradas de manutenção (NR-13, 2022).

Para Silva R. F. (2022) as paradas de manutenção, também conhecidas como paradas programadas, referem-se a períodos planejados em que uma instalação industrial, como uma refinaria de petróleo, uma planta petroquímica ou uma fábrica, interrompe suas operações normais para realizar atividades de manutenção, inspeção, reparo e modificação em equipamentos e instalações. Basicamente, são períodos designados durante os quais as operações normais de uma instalação industrial são suspensas temporariamente para realizar uma série de atividades de manutenção preventiva, corretiva e preditiva.

A relação entre o processo de tomada de decisão e a inspeção baseada em risco está intimamente ligada à maneira como as organizações priorizam e gerenciam seus recursos e esforços. A tomada de decisão é um processo fundamental em qualquer organização ou contexto. Envolve identificar problemas, avaliar opções de alternativas de decisão e escolher a melhor opção para alcançar os objetivos desejados. No contexto empresarial, a tomada de decisão pode abranger uma ampla gama de áreas, desde decisões estratégicas de longo prazo até decisões operacionais diárias (Ruschel, et al. 2017).

No contexto geral, a tomada de decisão envolve identificar um problema ou oportunidade, coletar informações pertinentes, analisar as opções disponíveis, avaliar os possíveis resultados e escolher a melhor alternativa para alcançar um objetivo específico. Na indústria de óleo e gás, a tomada de decisão é crucial em todas as fases do ciclo de vida de um projeto, desde a exploração e produção até o refino e distribuição. Na gestão de paradas de manutenção, a tomada de decisão é especialmente crítica devido à complexidade e impacto das atividades realizadas durante esse período. Os gestores de paradas de manutenção precisam tomar decisões estratégicas e táticas para garantir que os objetivos de segurança, qualidade, custo e tempo sejam alcançados de maneira eficaz e eficiente (Panegossi; Silva, 2020).

A postergação da realização de uma parada de manutenção pode ocorrer por uma variedade de motivos, mas geralmente está relacionada a considerações operacionais, financeiras ou logísticas. Com a recente revisão da Norma Regulamentadora NR-13, permitindo-se a aplicação da metodologia da inspeção baseada em risco na avaliação da postergação de paradas de manutenção, torna-se necessário o estudo de impactos e efeitos em organizações, em especial, em refinarias de petróleo (NR-13, 2022).

A tomada de decisão é essencial para implementar efetivamente a inspeção baseada em risco. Ao decidir onde alocar recursos de inspeção e quais equipamentos, áreas ou processos priorizar, as organizações industriais dependem da análise de risco para orientar suas decisões. Por exemplo, uma organização pode usar dados históricos, análise de falhas potenciais e avaliação de impacto para decidir quais áreas exigem inspeções mais frequentes e rigorosas. A tomada de decisão eficaz nesse contexto envolve não apenas a identificação de equipamentos ou áreas de alto risco, mas também a alocação inteligente de recursos para mitigar esses riscos de maneira eficiente API-581 (2020).

Este trabalho possui o objetivo de demonstrar a aplicação da metodologia da inspeção baseada em risco, na tomada de decisão de postergação de paradas de manutenção em ativos de uma refinaria de petróleo brasileira localizada em Minas Gerais.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. A Indústria de Óleo e Gás**

De forma simplificada, podemos definir petróleo (também chamado de óleo cru) como uma mistura complexa de hidrocarbonetos, contaminantes orgânicos e impurezas inorgânicas como água, sais e sedimentos. Apesar de assemelhar-se a um produto líquido, o petróleo cru é uma emulsão constituída por componentes no estado líquido, no qual estão dispersos componentes gasosos e sólidos (Figueiredo; Barrado, 2023).

O petróleo é um combustível fóssil que corresponde a uma substância oleosa cuja densidade é inferior à da água e é inflamável. É considerado um dos principais recursos naturais utilizados como fonte de energia da atualidade (Gurgel; Neto, 2018). Para Guimarães (2006), o petróleo não é uma substância pura, mas uma mistura de compostos orgânicos e inorgânicos onde predominam os hidrocarbonetos, que, por si só, tem pouquíssimas aplicações práticas, servindo quase que tão somente como óleo combustível.

O petróleo é o resultado de um longo processo natural, decorrente, em grande parte, da decomposição dos restos de seres vivos. Embora pareça uma massa pegajosa simples, na realidade, é uma complexa mistura de compostos químicos, principalmente de hidrocarbonetos gasosos, líquidos e sólidos. O petróleo é uma mistura de hidrocarbonetos de ocorrência natural,

que contém alguns contaminantes, tais como enxofre, nitrogênio, oxigênio, metais e outros elementos. Sua composição elementar varia pouco (Speight, 2019).

Segundo a PricewaterhouseCoopers Brasil (2022) a indústria brasileira de petróleo e gás está passando por um período de grande transformação. Com uma infraestrutura robusta para as atividades de exploração e produção, o país liderou a produção global de hidrocarbonetos em águas profundas e ultraprofundas e expandiu consideravelmente suas oportunidades de crescimento a partir de 2007, com descobertas importantes de petróleo leve na camada do pré-sal. De acordo com a Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP), as reservas comprovadas do Brasil somam quase 14 bilhões de barris de óleo equivalente.

Dados fornecidos pela Agência Nacional do Petróleo (ANP, 2023) mostram que o petróleo ocupa uma posição de destaque na matriz energética brasileira, com aproximadamente 30% da produção de energia primária. No fim de 2022, as reservas totais de petróleo do Brasil foram contabilizadas em 26,9 bilhões de barris, volume 10,6% maior do que em 2021. Por sua vez, as reservas provadas totalizaram 14,9 bilhões de barris, alta de 11,5% em relação a 2021, das quais 460,3 milhões de barris em terra e 14,4 bilhões em mar. As reservas totais de gás natural também aumentaram, em 4,5%, na comparação anual, e somaram 587,9 bilhões de m<sup>3</sup> em 2022.

No Brasil, a indústria do petróleo e gás responde por 11% do Produto Interno Bruto (PIB) e por 33,1% da oferta interna de energia. O setor, visto como estrutura produtiva, pode ser analisado como uma cadeia produtiva com os seguintes elos: i) a exploração e produção de petróleo, que no Brasil, de forma predominante, extrai petróleo offshore (97%); ii) o refino de petróleo; e iii) a distribuição de derivados de petróleo de origem nacional ou importada (Morais; Oliveira, 2022).

## 2.2. A Inspeção Baseada em Risco

Segundo Bhatia et al. (2019) as metodologias de inspeção evoluíram nas últimas décadas visando explorar os intervalos e métodos de inspeção ideais. O Instituto Americano do Petróleo (*American Petroleum Institute*) publicou várias normas, para ajudar a determinar os intervalos de inspeção com base na vida útil do equipamento, nas consequências da falha, na taxa de degradação e no impacto ambiental proporcionado. A abordagem mais recente é a inspeção baseada em risco (*Inspection Based-Risk* ou RBI), API-580 (2023) e API-581 (2020). O pressuposto subjacente a esta abordagem é que o risco permanece aceitável entre dois intervalos de inspeção ou manutenção planejados.

A indústria do petróleo constitui a base de muitas outras indústrias no mundo atual. Em muitos países do mundo, é considerada como um setor estratégico. A gestão do risco é essencial para este tipo de organização, de modo a garantir a implementação de uma estratégia de manutenção adequada. É necessário um plano de inspeção para melhorar a segurança global e obter configurações adequadas para o investimento, a reparos e a manutenção, de modo a minimizar os custos totais (Dabagh, et al. 2022).

Ainda segundo Dabagh, et al. (2022) a inspeção é a prática de examinar e verificar o estado dos equipamentos, componentes, ativos e dispositivos para determinar durante quanto tempo funcionarão como previsto em projeto. A inspeção desempenha um papel fundamental na concepção de medidas preventivas eficazes estabelecidas pelas organizações. A inspeção baseada em risco (RBI) analisa as probabilidades de falha e as respectivas consequências, a fim de determinar um plano adequado para inspeções periódicas dos ativos da organização.

A Figura 1 mostra a fluxo de análise da inspeção baseada em risco, conforme Reis (2022).

Figura 1 - Fluxo da Análise de Inspeção Baseada em Risco.



Fonte: Reis, 2022.

Conforme Reis (2022) riscos são eventos ou condições incertas que, se ocorrerem, podem ter um impacto negativo nos objetivos de um projeto, organização ou atividade. Eles representam a possibilidade de perda, dano, prejuízo ou outro resultado indesejado. Os riscos podem surgir de diversas fontes, incluindo incertezas no ambiente externo, falhas internas nos processos, eventos imprevistos, entre outros fatores. Gerenciar os riscos envolve identificar, avaliar, priorizar e responder a eles de forma a minimizar sua probabilidade de ocorrência e mitigar seu impacto caso aconteçam.

O risco pode ser quantificado como descrito na Equação (1):

$$\text{Risco} = \text{Probabilidade} \times \text{Consequência} \quad \text{Equação (1)}$$

O risco nunca será zero, pois também devem ser levados em consideração: erro humano, desastres naturais, eventos externos, efeitos secundários de plantas ou equipamentos adjacentes, sabotagens, limitações intrínsecas dos processos de inspeção, erros de projeto e mecanismos de deterioração desconhecidos. Em uma planta, usualmente a maior parte do risco está concentrada em uma pequena parte dos equipamentos. Ou seja, para se reduzir o risco global de uma falha estrutural, é necessário aplicar planos de inspeção diferenciados para cada equipamento, devendo-se priorizar esforços naqueles que apresentam o maior risco API-581 (2020).

Conforme Yang e Frangopol (2022) o desenvolvimento inicial da inspeção baseada em risco tem provavelmente origem no domínio da engenharia aeroespacial, em que o custo das inspeções e a confiabilidade estrutural e o risco são integrados para determinar os calendários de manutenção de aeronaves sensíveis ao efeito do mecanismo de dano de fadiga. Evidentemente, um maior número de inspeções pode reduzir o risco de falha estrutural, mas aumenta inevitavelmente os custos totais de manutenção de ativos. Por conseguinte, no planejamento da inspeção baseada em risco, o tempo/técnicas de inspeção e os critérios de manutenção associados (geralmente referidos como um plano de inspeção e manutenção) são otimizados para minimizar o custo total esperado (Ruschel, et al. 2017).

O planejamento da inspeção baseada em riscos conforme diversos autores partilha uma característica semelhante, ou seja, os calendários de inspeção e os critérios de manutenção são invariantes no tempo e nas evidências. Podem ser ditados por normas organizacionais ou sujeitos a otimizações, mas, uma vez determinados, não são afetados pelos resultados da inspeção ou pelas ações de manutenção executadas. Este tipo de RBI é designada por estática. Em contrapartida, a RBI adaptativa foi cunhada desde os primeiros defensores do RBI como uma melhoria da RBI estática (Yang; Frangopol, 2022).

O Instituto Americano do Petróleo (American Petroleum Institute - API) é uma associação comercial que representa a indústria de petróleo e gás natural dos Estados Unidos. Fundado em 1919, o API desempenha um papel crucial no desenvolvimento de padrões técnicos, promoção de boas práticas industriais, defesa dos interesses da indústria perante o governo e fornecimento de informações e pesquisas sobre a indústria de petróleo e gás (Reis, 2022).

O API é composto por empresas líderes do setor de petróleo e gás, incluindo grandes empresas de exploração, produção, refino, transporte e serviços relacionados. A associação é conhecida por desenvolver e publicar padrões técnicos e especificações que são amplamente adotados pela indústria não apenas nos Estados Unidos, mas também internacionalmente. Dentre suas principais publicações, destaca-se a norma API RP 580 e 581, que aborda a metodologia da Inspeção Baseada em Risco.

A Figura 2 mostra a trajetória de passos para a aplicação da metodologia de inspeção baseada em risco, conforme Reis (2022).

Figura 2 – Fluxo do passo a passo de aplicação da inspeção baseada em risco.



Fonte: Reis, 2022.

Para Ogunlana et al (2004) a inspeção baseada em risco é uma metodologia utilizada em diversas indústrias, especialmente em setores como petróleo e gás, petroquímica, química, e outras que operam com equipamentos de alto risco. O objetivo da inspeção baseada em risco é otimizar a alocação de recursos de inspeção, priorizando a inspeção em equipamentos e componentes com maior probabilidade de falha e potencial impacto negativo na segurança, meio ambiente e operações.

A metodologia da inspeção baseada em risco têm por critério em vez de seguir uma abordagem de inspeção regular e uniforme em todos os equipamentos, a inspeção baseada em risco utiliza critérios de risco para identificar e priorizar os componentes mais críticos e suscetíveis a falhas. Esses critérios de risco podem incluir fatores como a probabilidade de falha, as consequências de uma falha, a criticidade do equipamento para o processo, e a eficácia das medidas de mitigação existentes (Oropallo et al, 2024).

Desta forma, ao considerar esses fatores, a inspeção baseada em risco permite que as empresas concentrem seus recursos de inspeção e manutenção nos equipamentos que representam os maiores riscos, garantindo assim uma gestão mais eficiente da integridade dos ativos e a redução do risco de acidentes ou paralisações não planejadas, o que pode comprometer os lucros para os acionistas das organizações, impacto no fornecimento de combustíveis ao mercado, danos ao meio ambiente e aos trabalhadores do planta industrial API-581 (2020).

No contexto brasileiro, tem-se a Norma Regulamentadora 13 (NR-13), sendo uma regulamentação brasileira estabelecida pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), cujo objetivo é estabelecer requisitos mínimos para a gestão da integridade estrutural de caldeiras, vasos de pressão, suas tubulações de interligação e tanques metálicos de armazenamento nos aspectos relacionados à instalação, inspeção, operação e manutenção, visando a segurança e saúde dos trabalhadores (NR-13, 2022).

Já em seu item 13.5.4.5.1 afirma que: “Os estabelecimentos que possuam Serviço Próprio de Inspeção de Equipamentos (SPIE) certificado poderão ampliar os prazos disciplinados na Tabela 1, nos casos de implementação de metodologia documentada de inspeção baseada em risco, observado o limite máximo de 10 (dez) anos para o exame interno de vasos categoria I”.

No entanto, para Castilho (2020) é importante reconhecer a importância da realização oportuna de paradas de manutenção para garantir a segurança, confiabilidade e eficiência operacional das instalações industriais. Adiar a manutenção por muito tempo pode aumentar o risco de falhas de equipamentos, reduzir a vida útil dos ativos e aumentar os custos a longo prazo. Portanto, as empresas devem equilibrar as considerações de curto prazo com a necessidade de manter a integridade e a sustentabilidade de suas operações a longo prazo.

Ganhos da inspeção baseada em risco, segundo Reis (2022):

- Aumento da confiabilidade e segurança operacional;
- Gerenciamento/redução do risco global da unidade, através da criação de planos de inspeção diferenciados para equipamentos com níveis de risco distintos,
- Aumento do entendimento e maturidade da equipe sobre o ativo, equipamentos, mecanismos de deterioração e ensaios,
- Auxílio no processo decisório para seleção de equipamentos e ensaios que serão realizados em parada (efetividade da inspeção),
- Possibilidade de realizar simulações de riscos para diferentes condições operacionais e de integridade.

Dificuldades da inspeção baseada em risco, segundo Reis (2022):

- Necessidade de grande número de informações, muitas vezes indisponíveis,
- Possível necessidade de aumento de recursos humanos no período de implantação,
- Necessidade de atualização frequente do software de RBI, muitas vezes diferente do software de gerenciamento de inspeção usado,
- Possibilidade de alimentação de informações imprecisas, podendo levar a decisões equivocadas.

### 2.3. O Contexto dos Processos Decisórios

Desde o surgimento da civilização, o homem vem enfrentando o dilema de tomar decisões, sejam conscientes ou inconscientes, racionais ou irracionais. A tomada de decisão é um processo muito antigo e é estudado constantemente com o objetivo de encontrar algum caminho que permita facilitar a complexidade de um determinado assunto ou problema.

O Processo Decisório está vinculado à função de Planejamento, inserido no corpo maior da Ciência da Administração. Alguns autores da Administração o consideram a essência da gestão, outros o entendem como uma etapa dessa função e ainda pode ser visto como um caminho que induz as pessoas a produzirem decisões, tanto em empresas privadas como em órgãos públicos ou em relação à vida pessoal (Moritz; Pereira, 2012).

Para Chen (2006) processo de tomar decisões está diretamente ligado a todas as funções administrativas: planejamento, organização, direção e controle, sendo um processo inseparável de todas essas funções. A decisão representa uma escolha entre diversas possibilidades ou alternativas disponíveis, ela é tomada para resolver problemas ou aproveitar oportunidades.

Pode-se observar que o comportamento da empresa é diretamente afetado, em termos de eficácia e eficiência, pela qualidade das decisões, as quais, por sua vez, são influenciadas pela qualidade das informações geradas, agindo como um processo integrado e sistêmico (Druzel; Flynn, 2002).

É importante destacar que, segundo Moresi (2000), as informações podem atender a duas finalidades estratégicas: para conhecimento dos ambientes interno e externo de uma empresa e para atuação nesses ambientes. Um processo de decisão inicia-se pela identificação das necessidades, do que é possível fazer, da informação que está disponível e da comunicação que precisa ser efetuada. Esperamos que esses elementos, ordenados numa estrutura lógica, resultem na possibilidade de uma melhor decisão (Dunegam, 1995).

Ao longo de cada um desses processos o gestor defronta-se com decisões, que, segundo Ribeiro (2016), ocorrem quando o tomador de decisões, motivado ou não pela necessidade de prever ou controlar, enfrenta um complexo sistema de componentes, tais como recursos, resultados ou objetivos desejados, pessoas ou grupos. Para Braga (1998) podemos salientar que a decisão é um julgamento, uma escolha feita entre alternativas incluindo todos os “o que”, “quando”, “quem”, “por que” e “como”, que aparecem nos processos de decisão. Com o intuito de evitar problemas futuros, os administradores devem se basear em decisões cuidadosamente formuladas.

Assim sendo, tomar decisões faz parte do cotidiano e está presente em todos os seus aspectos, desde os tópicos pessoais até as decisões mais abrangentes, como no planejamento de grandes projetos que envolvem as organizações privadas e públicas. As decisões têm frequentemente um impacto muito além do resultado imediato. Na realidade, as decisões tomadas hoje se direcionam muito mais para o futuro, que é fruto das idealizações nas quais as decisões são baseadas.

A Teoria das Decisões nasceu de Herbert Simon, que a utilizou para explicar o comportamento humano nas organizações. O autor, no seu livro *O Comportamento Administrativo* (1979), diz que a Teoria Comportamental concebe a organização como um sistema de decisões. Nesse sistema, cada pessoa participa racional e conscientemente, tomando decisões individuais a respeito de alternativas racionais de comportamento. Assim, a organização está permeada de decisões e de ações.



### 3. METODOLOGIA

Este trabalho tem como objetivo de demonstrar a aplicação da metodologia da inspeção baseada em risco, segundo a norma API RP 581, na tomada de decisão de postergação de paradas de manutenção de equipamentos industriais. O estudo foi realizado em uma refinaria de petróleo de médio porte, com 56 de operação, localizada no Estado de Minas Gerais com capacidade atual de processamento mensal de 26.400 m<sup>3</sup>/dia. Os principais produtos refinados são diesel, gasolina, combustível marítimo (bunker), querosene de aviação (QAV), gás liquefeito de petróleo (GLP), asfaltos, coque, óleos combustíveis, enxofre e resíduo aromático (Petrobras, 2024).

Segundo Cristiane (2014) trata-se de uma pesquisa aplicada quanto à sua natureza, pois auxilia a resolução de problemas por meio de teorias e princípios bem conhecidos e aceitos na comunidade acadêmica. Essa pesquisa é de uso prático, citando como exemplo de usos, os estudo casos individuais ou específicos sem o objetivo de generalizar. Quanto aos objetivos trata-se de uma pesquisa descritiva, tendo como objetivo primordial a descrição das características de determinado evento ou fenômeno. Por fim, quanto aos procedimentos este trabalho se classifica como estudo de caso, pois aprofundam sobre um assunto específico, permitindo aprofundar o conhecimento sobre ele e, assim, oferecer subsídios para novas investigações sobre a mesma temática (Gil, 2008).

A coleta de dados foi obtida mediante a consulta a base de dados do plano de inspeção da refinaria, histórico de manutenção-inspeção dos equipamentos, manuais de operação da unidade operacional, desenhos de projeto/fabricação do fabricante dos equipamentos, consulta a registros de segurança e as normas internacionais sobre mecanismos de dano, com destaque para a norma API RP 571 (2011) e a norma de inspeção baseada em risco API RP 581 (2020).

A unidade operacional no qual a inspeção baseada em risco foi realizada é parte integrante da Carteira de Gasolina. Trata-se da Unidade de Hidrotratamento de Nafta de Coque, sendo projetada para processar uma carga de 3000 m<sup>3</sup>/d, hidrotratando derivados de petróleo da faixa de destilação da nafta (Petrobras, 2011).

As frações de petróleo contêm impurezas que comprometem a sua utilização como combustível por provocarem poluição, corrosão, odor e instabilidade no produto. Essas impurezas variam na sua natureza e quantidade, dependendo da origem do petróleo e da faixa de destilação do produto. As impurezas mais comuns são enxofre e nitrogênio, os metais, embora muito nocivos, são encontrados em quantidades bem menores, pois se concentram em frações mais pesadas. O objetivo do processo de hidrotratamento é, neste caso, eliminar o enxofre, o nitrogênio e os compostos insaturados, conferindo ao produto características que o adequam ao consumo como combustível (Petrobras, 2011).

O processo de hidrotratamento empregado nesta unidade é um processo catalítico de leito fixo empregando um método de hidrogenação seletiva para remover os compostos de enxofre e nitrogênio, além de saturar as cadeias olefinicas e aromáticas, removendo contaminantes oxigenados e combinações organometálicas. Neste trabalho será demonstrada a realização da análise pela inspeção baseada em risco visando a postergação da data de parada de manutenção para o vaso de pressão de identificação V-0007, o vaso de carga de nafta de coque da unidade, classificado como Categoria I pela norma NR-13 (2022).

Trata-se de um vaso de pressão longitudinal construído em aço carbono ASTM SA-516 grau 70 com revestimento interno em aço inoxidável austenítico 316L, com objetivo de melhorar a resistência à corrosão ao meio. O equipamento possui pressão de operação de 42,2 Kgf/cm<sup>2</sup>, e

temperatura de operação de 49°C. Possui um comprimento de 7m e diâmetro interno de 1,8m. Foi construído conforme o código ASME – Seção VIII, divisão I, edição de 2004.

A Figura 3 mostra a imagem do vaso de pressão de carga da unidade de hidrotreatamento de nafta leve de coque, objeto de análise pela metodologia da inspeção baseada em risco.

Figura 3 – Vaso de pressão de carga de nafta leve de coque.



Fonte: Autor, 2024.

A implantação da equipe de análise foi realizada por meio de designação do Gerente Geral da refinaria, ocorrida em 2023. A composição da equipe foi assim descrita: líder da equipe e especialista na metodologia RBI, inspetor de equipamentos da unidade, especialista em corrosão, especialistas em processo, responsável pela operação do equipamento, responsável pela manutenção, equipe de Segurança, Meio-Ambiente e Saúde e pelo gerente da Inspeção de Equipamentos da refinaria.

A análise de inspeção baseada em risco foi realizada através da metodologia com viés qualitativo estabelecida através da Assistência Técnica do Refino ATEC0001752 (2022), sendo que quaisquer ampliações de prazo deverão ser limitadas a 12 meses.

A efetividade das atividades de inspeção foram determinadas segundo a Tabela 1.

Tabela 1 – Efetividade de inspeção.

Categoria de Efetividade de Inspeção	Descrição	
A	Altamente Efetiva	Os métodos de inspeção vão identificar corretamente o estado real de dano quase toda vez (80-100% de confiança).
B	Usualmente Efetiva	Os métodos de inspeção vão identificar corretamente o estado real de dano a maioria das vezes (60-80% de confiança).
C	Regularmente Efetiva	Os métodos de inspeção vão identificar corretamente o estado real de dano em torno de metade das vezes (40-60% de confiança).
D	Pouco Efetiva	Os métodos de inspeção vão fornecer pouca informação para corretamente identificar o estado real de dano (20-40% de confiança).
E	Não Efetiva	Os métodos de inspeção vão fornecer nenhuma ou quase nenhuma informação para corretamente identificar o estado real de dano (menos de 20% de confiança).

Fonte: API RP 581, 2020.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise de inspeção baseada em risco foram coletados, e centralizados em uma planilha disponível na Assistência Técnica do Refino ATEC0001752 (2022). A Tabela 2 mostra a consolidação final dos dados do vaso de pressão V-0007.

Tabela 2 – Planilha de coleta de dados para análise da inspeção baseada em risco.

Planta	REFINARIA	Distrito	CARTEIRA DE GASOLINA		Unidade	NA	
Equipamento	V-0007				Categoria NR-13	I	
Serviço	VASO DE CARGA						
Volume	17,04m <sup>3</sup>	Volume do inventário	20,45m <sup>3</sup>				
Circulação de pessoas	Baixa		Impacto de parada				
Plano de Inspeção		Última	Frequência	Motivação da Programação			
	Externa	2020	36	Limite da Norma NR-13			
	Interna	2017	72	Limite da Norma NR-13			
Dados de Processo		Projeto	Operação	Outras condições			
	Pressão	47,0 kgf/cm <sup>2</sup>	42,2 kgf/cm <sup>2</sup>				
	Temperatura	140°C	49°C				
Fluido	Principal	Nafta		Nafta, H2 + hidrocarbonetos leves + H2S + água e amônia			
	Contaminantes			Para a bota: Água com pequena parcela de contaminantes (amônia, H2 e H2S)			
	Fase (armazenado)	Líquido	Fase (descarga)				
	Toxicidade			Inflamabilidade			
Sistemas de detecção, isolamento e Mitigação	Dispositivos de alívio de pressão	TAG	PSV-0007	Classe N-2368		B	
	Sistema de detecção	A	B		C		
		Instrumentação projetada para detectar perda de contenção		Detectores em posição adequada para identificar vazamentos		Detecção visual, câmeras ou detectores com cobertura mínima	
	Sistema de isolamento	A	B		C		
		Isolamento ou trip automático sem intervenção da operação		Isolamento ou trip ativados pela operação pela sala de controle		Isolamento dependente de operação de bloqueios manuais	
	Sistema de mitigação	Alívio de inventário (blowdown) com um sistema de isolamento B					
		Sistemas de dilúvio de água de incêndio					
Sistema de líquido de espuma							
Canhões de água de incêndio							
Rotas de fuga bem definidas e sinalizadas							
Revestimento a prova de fogo							
Dados dos Componentes							
Componente	Casco e Tampos						
Material	Aço Carbono ASTM SA 516 Grau 70 + Clad em Aço Inoxidável Austenítico Tipo 316L						
Revestimento	Interno						
	Externo	Pintura conforme norma Petrobras N-002, condição 02.					
Mecanismos de Deterioração	Esperados	No casco: Corrosão atmosférica Na bota: Caso ocorra falha no Clad, poderá estar sujeito: trincamento pela corrosão sob tensão + Fragilização por sulfetos.					
Métodos de Controle	Data realizado	2017	Ensaio e Amostragem		ME (pontos de controle)		
	Data realizado	2017	Ensaio e Amostragem		ME (pontos de controle)		
Métodos de Controle	Data realizado	2011	Ensaio e Amostragem		Inspeção Inicial		
	Data realizado	2017	Ensaio e Amostragem		Inspeção Geral de Parada		
	Data realizado	2020	Ensaio e Amostragem		Inspeção Externa		
Janelas Operacionais de	Mecanismo 1	Corrosão atmosférica como dano externo. Formas de controle: inspeção visual e ensaio de medição de espessura por ultrassom (ME).					

Integridade Existentes	Mecanismo 2	Trincamento por corrosão sob tensão como dano interno. Formas de controle: inspeção visual, medição de pH, medição de teor de H <sub>2</sub> S, ensaio de ultrassom (US), ensaios de medição magnética (ACFM) e injeção de água de lavagem.		
	Mecanismo 3	Fragilização por sulfetos como dano interno. Formas de controle: inspeção visual, medição de pH, medição de teor de H <sub>2</sub> S, ensaio de ultrassom (US), ensaios de medição magnética (ACFM) e injeção de água de lavagem.		
Mecanismo de Deterioração	Morfologia de dano esperada	Efetividade de Inspeção	Modo de falha	Probabilidade de Falha
Corrosão Atmosférica	Corrosão localizada	B	Vazamento por furo pequeno	Remota
HIC/SOHIC/H <sub>2</sub> S	Trincas associadas ou não a regiões soldadas	B	Ruptura frágil	Pouco provável
Fragilização por sulfetos	Trincas associadas ou não a regiões soldadas	B	Ruptura frágil	Pouco provável

Fonte: ACET-Banco de dados de inspeção da organização, 2024.

A norma API RP-571 (2011), que trata dos mecanismos de dano atuantes em equipamentos estáticos de refinarias de petróleo, afirma que o mecanismo de dano atuante no vaso de pressão V-0007 em sua região externa é a corrosão atmosférica. No ambiente interno do vaso a susceptibilidade a dois tipos de danos, o primeiro, a fragilização por sulfetos, e o segundo tipo de dano, o trincamento devido a corrosão sob tensão, caso ocorra falha no revestimento interno do vaso, em aço inoxidável 316L.

A matriz de risco é a forma mais usual de exibição dos resultados de uma análise de inspeção baseada em risco. A Tabela 3 mostra a matriz de risco elaborada para a aplicação da metodologia da inspeção baseada em risco.

Tabela 3 – Matriz de tolerabilidade usada na aplicação da metodologia de inspeção baseada em risco.  
Legenda: T-Tolerável, M-Moderado e NT-Não Tolerável.

Consequência de Falha					Probabilidade de Falha					
					Extremamente Remota	Remota	Pouco Provável	Provável	Frequente	
	Impacto às pessoas	Impacto ao meio ambiente	Impacto na área afetada	Impacto na produção	A	B	C	D	E	
Catastrófica	Múltiplas fatalidades	Vazamento de gás tóxico, ou T > 200°C	Acima de 10.000m <sup>2</sup>	Parada geral da planta	A	M	M	NT	NT	NT
Crítica	Fatalidade	Grande vazamento de gás não tóxico, ou T ≤ 200°C	Entre 1.000 e 10.000m <sup>2</sup>	Parada de uma ou mais unidades	B	T	M	M	NT	NT
Média	Lesões graves	Pequeno vazamento de gás não tóxico ou hidrocarboneto contido no local	Entre 100 e 1.000m <sup>2</sup>	Redução de carga	C	T	T	M	M	NT
Marginal	Lesões leves	Pequenas emissões gasosas de hidrocarboneto e poluentes	Entre 10 e 100m <sup>2</sup>	Instabilidade operacional	D	T	T	T	M	M
Desprezível	Primeiros socorros	Pequenas emissões de hidrocarbonetos e poluentes líquidos	Abaixo de 10m <sup>2</sup>	Baixa otimização do processo	E	T	T	T	T	M

Fonte: Norma Petrobras N-2782, 2015.

Já a Tabela 4 mostra as categorias de risco em relação ao nível de controle necessário a ser implementado pela organização.

Tabela 3 – Níveis de controle necessários para cada categoria de risco.

<b>Categoria de risco</b>	<b>Descrição do nível de controle necessário</b>
Tolerável (T)	Não há necessidade de medidas adicionais. A monitoração é necessária para assegurar que os controles sejam mantidos.
Moderado (M)	Medidas adicionais devem ser avaliadas com o objetivo de obter-se uma redução dos riscos e implementadas aquelas consideradas praticáveis.
Não Tolerável (NT)	Os controles existentes são insuficientes. Métodos alternativos devem ser considerados para reduzir a probabilidade de ocorrência ou a severidade das consequências, de forma a trazer os riscos para regiões de menor magnitude de riscos.

Fonte: Norma Petrobras N-2782, 2015.

A análise da consequência de falha é realizada para estimar a consequência que ocorre devido a um modo de falha de perda de contenção esperado no equipamento, de acordo com os mecanismos de dano ativos. As consequências são normalmente categorizadas em impactos de segurança, saúde, meio ambiente e econômico (incluindo custos de perda de produção e manutenção). Unidades de medida típicas: área afetada (m<sup>2</sup>) e custo (R\$).

De forma simplificada, podemos dizer que a consequência de falha é estabelecida através das características do fluido armazenado, do volume disponível para vazar e dos sistemas de segurança de detecção, isolamento e mitigação do vazamento. Todos estes exemplos citados devem ser de acordo com o projeto do equipamento e de instalação da unidade e, a menos que haja eventuais modificações, permanecem constantes ao longo do tempo.

Nesta análise a consequência de falha para o vaso de pressão V-0007 (vaso de carga) da unidade de hidrotreatamento de nafta leve de coque foi considerado “Média”.

A determinação da probabilidade de falha é realizada levando-se em consideração os mecanismos e taxas de dano e o histórico e efetividade das inspeções. A taxa de progressão do dano pode ser substituída na análise pela suscetibilidade ao mecanismo onde a referida taxa seja desconhecida ou imensurável (como, por exemplo, em corrosão sob tensão).

A probabilidade de falha é tipicamente expressa em termos de frequência, ou seja, o número de eventos durante o espaço de tempo específico (ex.: 0,0001 falha/ano). A probabilidade de falha depende do tipo de equipamento, da criticidade dos danos e do nível de inspeção realizado. Desta forma, fica claro que, devido à probabilidade de falha, o risco varia com o tempo. A avaliação da probabilidade de falha, geralmente envolve a análise dos seguintes fatores: material, processo, nível de inspeção, efetividade da inspeção e taxas de deterioração.

Nesta análise a probabilidade de falha para o vaso de pressão V-0007 (vaso de carga) da unidade de hidrotreatamento de nafta leve de coque foi considerada “Pouco Provável”.

A classificação do vaso V-0007 perante a matriz de risco da metodologia de inspeção baseada em risco foi considerado como sendo um risco de nível Moderado”. Desta forma, baseado nos resultados obtidos através da metodologia de Inspeção Baseada em Risco, apresentada neste estudo, onde o risco máximo está no nível “Moderado”, desta forma é possível estender o prazo de inspeção interna deste equipamento em até 12 meses. Estando de acordo com a limitações estabelecidas na NR-13 no item 13.5.4.5.1 (limitado a 10 anos para vasos categoria I).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação da metodologia de inspeção baseada em risco, para a tomada de decisão sobre a postergação de paradas de manutenção de vasos de pressão em uma unidade de hidrotreatamento de gasolina em uma refinaria de petróleo demonstrou ser altamente benéfica. A inspeção baseada em risco desempenha um papel crucial nos processos decisórios de uma organização que refina petróleo, pois oferece uma abordagem sistemática para avaliar a probabilidade de falha e as consequências associadas a equipamentos críticos, como vasos de pressão. Ao integrar dados operacionais, históricos de manutenção e conhecimento especializado, a inspeção baseada em risco fornece informações fundamentais para determinar a necessidade e o momento adequado para a realização de manutenção.

A inspeção baseada em risco proporcionou uma avaliação mais precisa dos riscos associados aos vasos de pressão, considerando diversos fatores, como integridade estrutural, potencial de corrosão e consequências operacionais e de segurança. Isso permitiu uma compreensão mais completa da condição dos equipamentos, levando a decisões mais informadas.

A abordagem da inspeção baseada em risco permitiu identificar os vasos de pressão de menor risco, que poderiam ter suas paradas de manutenção postergadas com segurança. Isso resultou em uma redução significativa dos custos operacionais, minimizando o tempo de inatividade e otimizando o uso dos recursos de manutenção. Além disso, a utilização da inspeção baseada em risco proporcionou uma maior confiabilidade operacional, uma vez que as paradas de manutenção foram agendadas com base em critérios de risco bem fundamentados, em vez de intervalos de tempo fixos ou sinais de desgaste.

Em resumo, a aplicação da metodologia da inspeção baseada em risco na tomada de decisão sobre a postergação de paradas de manutenção de vasos de pressão em uma unidade de hidrotreatamento de gasolina em uma refinaria de petróleo demonstrou ser uma estratégia eficaz para melhorar a gestão da integridade dos equipamentos. Isso não apenas resultou em economias significativas de custos, mas também contribuiu para a segurança operacional e a eficiência dos processos industriais.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis**: 2023. Rio de Janeiro: ANP, 2023. Acesso em mai. 2024.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **API RP-571**. Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining and Petrochemical Industries. Second Edition, Conshohocken: API, 2011.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **API RP-580**. Elements of a Risk-Based Inspection Program. Fourth Edition, Conshohocken: API, 2023.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **API RP-581**. Risk-Based Inspection Methodology. Third Edition, Addendum 2, Conshohocken: API, 2020.

BHATIA, K.; KHAN, F.; PATEL, H.; ABBSSI, R. Dynamic risk-based inspection methodology. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, 62, p. 103-974, 2019.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2019.103974>

BRAGA, N. O processo decisório em organizações brasileiras. **Comportamentos Comunicativos**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 4, p. 34-51, 1988. Disponível em: <https://periodicos.fgv.br/rap/article/view/9383>

BRASIL, Norma Regulamentadora 01 (NR-01). Disposições gerais e gerenciamento de riscos ocupacionais. Rio de Janeiro: Ministério do Trabalho e Emprego, 2022. Acesso em abr. 2024.

BRASIL, Norma Regulamentadora 13 (NR-13). Caldeiras, vasos de pressão, tubulações e tanques metálicos de armazenamento. Rio de Janeiro: **Ministério do Trabalho e Emprego**, 2022. Acesso em abr. 2024.

CASTILHO, M. H. **Fundamentos de gestão de ativos aplicados à inspeção não intrusiva de equipamentos NR-13 em um terminal de derivados de petróleo**. Universidade tecnológica Federal do Paraná, Curitiba: 2020, 72p. Disponível em: <https://riut.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/28598>

CHEN, Y. **Multiple criteria decision analysis: classification problems and solutions** (Tese de doutorado). University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada. 2006. Acesso em mai. 2024. Disponível em <http://uwspace.uwaterloo.ca/bitstream/10012/2892/1/y3chen2006.pdf>

CRISTIANE, M. M. **Abordagens e Procedimentos Qualitativos: implicações para pesquisas em organizações**. Revista Alcance. v. 21, n. 2, p. 324-349, 2014.

DABAGH, Sh.; JAVID, Y.; SOBHANI, F. M.; SAGHAIEE, A.; PARSA, K. Self-Adaptive Risk-Based Inspection Planning in Petrochemical industry by evolutionary algorithms. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, 77, p. 104-762, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2022.104762>

DRUZDEL, M. J., & FLYNN, R. R. **Decision support systems**. In A. Kent (Ed.), Encyclopedia of Library and Information Science (pp. 1-15). New York: Marcel Dekker, 2002. Disponível em: <https://sites.pitt.edu/~druzdzel/psfiles/dss.pdf>

DUNEGAN, K. J. Image theory: testing the role of image compability in progress decisions. **Organizational Behavior and Human Decision Processes**, n. 62, v. 1, p. 79-86, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1006/obhd.1995.1033>

FIGUEIREDO, A. T.; BARRADO, C. M. **Petróleo**. In: Processos da Indústria Química. 1. ed. Curitiba: InterSaber, 2023. 264 p. ISBN 978-65-551-71-97-6.

GIL, A. C. **Metodologia do Ensino Superior**. 4ª ed. São Paulo: Editora Atlas, 2008.

GURGEL, A.; NETO, A. A. D. **Refino de petróleo e petroquímica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, p. 244, 2018.

MORAIS, J. M.; OLIVEIRA, J. M. **O setor de petróleo no Brasil e os impactos do projeto de Lei nº 3.178/2019 no Pré-Sal**. Nota Técnica. Diset-Diretoria de Estudos e Políticas Setoriais de Inovação e Infraestrutura, IPEA, n. 98, junho de 2022, 22 p. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/11218>

MORESI, E. A. D. **Delineando o valor do sistema de informação de uma organização**. Ciência da Informação, Brasília, v. 29, n. 1, jan./abr. 2000. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ci/a/pzj7MLqJc6jX5zHLxH5PFwq/?format=pdf>

MORITZ, G. O.; PEREIRA, M. F. **Processo Decisório**. 2 ed., Departamento de Ciências da Administração, Universidade Federal de Santa Catarina, AD/CSE/UFSC, 158 p., 2012.

OGUNLANA, S. O.; DEY, P. K.; NAKSUKSAKUL, S. Risk-based maintenance model for offshore oil and gas pipelines: a case study. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 10, n. 3, p. 169-183, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1108/13552510410553226>

OROPALLO, E.; PISCOPO, P.; CENTOBELLI, P.; CERCHIONE, R.; NUEVO, E.; PRIETO, A. R. A decision support system to assess the operational safety and economic benefits of risk-based inspection implementation strategies. **Safety Science**, v. 177, p. 106-570, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2024.106570>

PANEGOSSO, A. C. G.; SILVA, E. C. C. **Evolução das normas de gestão de ativos**. X Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção-ConBRepro, Dez. 2020, 12p.

PETROBRAS, **Refino**. Portal Petrobras, Nossos Negócios. Acesso em mai. 2024.

PETROBRAS, **Manual de Operação da Unidade de Hidrotratamento de Nafta Leve de Coque**. Engenharia-IEBAST/IERG/REGAP, 82p, 2011.

PETROBRAS, NORTEC. **N-2782**. Técnicas Aplicáveis à Análise de Riscos Industriais. Norma Técnica do Sistema Petrobras. Revisão D, PETROBRAS/NORTEC, 20p, 2015.

PETROBRAS, **ACET**. *Asset Condition Evaluation Tool* – Sistema de Gerenciamento de Inspeção de Equipamentos. PETROBRAS/CITRIX, 2023.

Programa de Banco de Dados de Gerenciamento de Condições NORTEC. **N-2782**. Técnicas Aplicáveis à Análise de Riscos Industriais. Norma Técnica do Sistema Petrobras. 20p, 2015.

REIS, R. A. G. Aplicação da Metodologia de Inspeção Baseada em Risco em Equipamentos controlados pelo SPIE, In: **Assistência Técnica Refino**, PETROBRAS, Revisão 02, N° ATEC0001752, 31p, nov. 2022.

RIBEIRO, Antonio de Lima. **Teorias da Administração**. 3 ed., São Paulo: Saraiva, 180 p., 2016.

RUSCHEL, D., SANTOS, E. A. P., LOURES, E. F. R. **Industrial maintenance decision-making: A systematic literature review**. Journal of Manufacturing Systems, 45, 2017, p.180-194. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2017.09.003>

SILVA, R. F. Estrutura de gerenciamento para a gestão de ativos físicos. Universidade de São Paulo, USP, São Paulo: 2022, 190p.

SIMON, H. A. **Comportamento Administrativo**: estudo dos processos decisórios nas organizações administrativas. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 278 p., 1979.

SPEIGHT, J. G. **Handbook of Industrial Hydrocarbon Processes**. 2. ed. Houston: Gulf Professional Publishing, 2019. 787 p. ISBN 978-0128099230.

PRINCEWATERHOUSE COOPERS Brasil Ltda-PWC. **A indústria brasileira de petróleo e gás**. 20p. Acesso em mai. 2024, Disponível em [www.pwc.com.br](http://www.pwc.com.br)

YANG, D. Y.; FRANGOPOL, D. M. Risk-based inspection planning of deteriorating structures, **Structure and Infrastructure Engineering**, 18, p. 109-128, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/15732479.2021.1907600>