

Análise da implementação da metodologia de inspeção baseada em risco em equipamentos estáticos em uma planta química

Implementation analysis of risk-based inspection methodology in static equipment for a chemical plant

Vitor Alves Del Duca^{ab}, Silas Derenzo^{bc}

a Monitoramento Industrial ,GE Digital S.A., São Paulo-SP, Brasil.

b Mestrado Profissional em Processos Industriais do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil

c Laboratório de Processos Químicos e Tecnologia de Partículas, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

E-mail: derenzo@ipt.br

Palavras-chave:

inspeção equipamento estático; gestão de risco; integridade mecânica; ensaio não destrutivo; inspeção baseada em risco.

Keywords:

inspection for static equipment; risk management; mechanical integrity; non-destructive test; risk based inspection.

Resumo

A inspeção em equipamentos estáticos vem ganhando destaque no cenário industrial nacional e internacional. Tendo o objetivo de se garantir a integridade física dos ativos, reduzir o risco de incidentes e acidentes que podem levar a perdas financeiras e de vidas devido a falhas na gestão e controle da integridade/corrosão. No Brasil, a norma regulamentadora NR-13 (MT ,2017) define a frequência de inspeção dos equipamentos pressurizados estáticos, porém ela não aborda temas como a gestão de riscos dos equipamentos. O estudo, aplica a metodologia de inspeção baseada em risco (IBR) baseada na norma API-580 (API(a), 2016), de forma complementar à NR-13, e padrões corporativos de inspeção aos equipamentos não enquadrados na NR-13. Avaliando-se o nível de risco a que os equipamentos estão suscetíveis, e verificando suas estratégias de inspeções de acordo com os potenciais mecanismos de danos a que estão suscetíveis. No estudo, foram selecionados cinco equipamentos, entre vasos, tanques e tubulação. A metodologia avaliou as consequências que uma falha pode ter aos trabalhadores, sociedade e meio ambiente e bem como as consequências econômicas decorrentes de uma parada operacional não programada da unidade de processos. Como resultado, concluiu-se que vasos de pressão devem seguir a frequência de inspeção já definida pela NR13, porém com a atualização do escopo das técnicas de inspeção, mais aderente a detecção dos

mecanismos de danos suscetíveis. Os tanques atmosféricos e a tubulação, tiveram diferentes classificações de riscos, com a possibilidade de modificação da estratégia de inspeção mais aderente aos mecanismos de danos e um aumento dos intervalos de inspeções de pelo menos 25%, quando comparado aos praticados antes da análise.

Abstract

The inspection of static equipment has been gaining prominence in the national and international industrial scene. With the objective of guaranteeing the physical integrity of the assets, reducing the risk of incidents and accidents that can lead to financial losses, and of lives due to failures in the management and control of integrity/corrosion. In Brazil, the regulatory standard NR-13 (MT, 2017) defines the frequency of inspection of static pressurized equipment, but it does not address issues such as risk management of equipment. The study applies the risk-based inspection methodology (IBR) based on the API-580 standard (AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (a), 2016), in a complementary way to NR-13, and corporate inspection standards for equipment not covered by NR-13. Assessing the level of risk to which the equipment is susceptible and verifying their inspection strategies according to the potential mechanisms of damage to which they are susceptible. In the study, five pieces of equipment were selected, among vessels, tanks, and piping. The methodology evaluated the consequences that failure can have on workers, society, and the environment, as well as the economic consequences resulting from an unscheduled operational shutdown of the processing unit. As a result, it was concluded that pressure vessels should follow the inspection frequency already defined by NR13, but with the update of the scope of inspection techniques, more adherent to the detection of the mechanisms of susceptible damage. The atmospheric tanks and the piping had different risk classifications, with the possibility of modifying the inspection strategy more adherent to the damage mechanisms and an increase in the inspection intervals of at least 25% when compared to those practiced before the analysis.

1 Introdução

A corrosão é um dos principais fenômenos de deterioração que afeta a vida dos equipamentos e tubulações em plantas de processos químicos (PERUMAL, 2014). Ela pode acarretar na ocorrência de falhas e ocasionar vazamentos, perdas de produção, acidente aos colaboradores e impactos ao meio ambiente (PERUMAL, 2014). Consequentemente, verificou-se um importante desenvolvimento do tema de gestão do risco e integridade mecânica nas últimas décadas (SANDERS, 2015). Inspetores e engenheiros de integridade mecânica, responsáveis pelas inspeções e gestão dos programas relacionados à área, deixaram de ter um papel coadjuvante nas operações. Suas atividades passaram ter mais representatividade e reconhecimento na indústria. Estes profissionais participam ativamente de decisões estratégicas nas unidades em que trabalham.

Estudos mostram que a corrosão global possui um custo estimado em 2,5 trilhões de dólares americanos, equivalente a 3,4 % do Produto Interno Bruto (PIB) global. Com programas de controle e gestão da corrosão, estima-se a possibilidade de uma economia entre 15 a 35 % nos custos totais, podendo alcançar a economia de 875 bilhões de dólares americanos anualmente (NACE INTERNATIONAL, 2016).

No Brasil, está em vigência a norma regulamentadora NR-13, aplicável aos equipamentos estáticos como por exemplo caldeiras, vasos de pressão, tubulações e tanques atmosféricos. A NR-13 define as frequências de inspeção baseada no tempo, sem uma definição das atividades mínimas para as inspeções internas e externas (MINISTÉRIO DO TRABALHO, 2017). Para empresas que possuem equipe própria de inspeção e de gestão dos programas de manutenção, a própria NR-13 prevê a modalidade Serviço Próprio de Inspeção de Equipamentos (SPIE) (MT, 2017). Isto abre a possibilidade de extensão dos prazos das inspeções internas e externas. Porém, a norma não aborda, em sua avaliação, uma classificação e gestão de risco com a probabilidade e consequência de falha para os equipamentos.

Os custos envolvendo a manutenção podem alcançar 40% do orçamento anual da unidade, devido a fatores tais como a não otimização dos tempos e escopos das inspeções/manutenções, elevado número de equipamentos, idade avançada das unidades fabris, novas de normas e padrões nacionais e internacionais mais restritivas. Busca-se, então, a solução através de estratégias de manutenção otimizadas e com um viés focado em segurança, algo valorizado no mercado (ETI; OGAI; PROBERT, 2006).

Em 1993 a American Petroleum Institute (API) conduziu um projeto envolvendo 21 refinarias de petróleo com o objetivo de desenvolver uma metodologia para inspeções baseadas na avaliação de riscos existentes a casa equipamento. O resultado desse esforço foi a metodologia criada pela norma API-580, que explica e detalha as etapas e padrões para se criar e implantar uma nova estratégia de inspeção baseada nos riscos de falha do equipamento (ROBERGE, 2012). A metodologia tem o potencial de eliminar uma lacuna existente quanto à falta de otimização sobre as frequências de inspeção e das atividades de inspeção que a NR-13 estabelece atualmente, acrescentando uma análise e gestão de riscos nos equipamentos estáticos. A inspeção baseada em risco mostra ser uma forma eficaz de melhorar indicadores de confiabilidade, alavancar o aprimoramento da cultura de segurança de processo e o conhecimento técnico dos riscos associados a falhas na operação e no funcionamento da unidade (ETI; OGAI; PROBERT, 2006).

O presente trabalho aplica a metodologia da norma API-580 em 5 equipamentos de uma planta química. Nesse trabalho é definido e avaliado o risco (consequência e probabilidade de falha) de cada equipamento aos respectivos mecanismos de danos. Após a classificação dos riscos são definidas as técnicas de inspeção mais adequadas e eficientes para detectar e mensurar os mecanismos de danos mapeados na análise de risco (API, 2011). Os resultados são avaliados de forma a evidenciar os benefícios desta técnica na classificação de risco dos equipamentos, definição de estratégia de inspeção, complementação da legislação vigente e normas internas da corporação. Os benefícios avaliados são:

- A melhoria na estratégia de inspeção com atividades de maior aderência técnica aos mecanismos de degradação e corrosão a que os equipamentos estáticos estão sujeitos.
- Os novos intervalos de inspeção dinâmicos quando comparados com a estratégia atual, baseada em intervalos fixos definido via NR-13 ou normas internas da corporação.

2 Procedimento metodológico

2.1 Descrição do problema

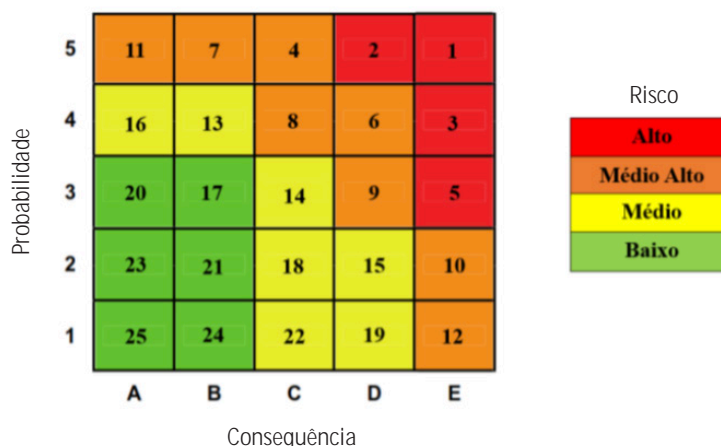
A unidade química no qual o estudo foi realizado possui mais de 40 anos de operação. Os equipamentos dessa unidade podem estar em estado avançado de degradação e corrosão caso um programa efetivo de gestão e inspeção não tenha sido aplicado no passado. Informações críticas para uma gestão de risco e integridade mecânica, como taxa de corrosão dos equipamentos, desenhos de projetos e escopo de inspeções alinhado aos mecanismos de danos são pontos deficitários no cenário atual da unidade. A unidade produtiva se encontra próxima a uma área urbana e com a presença de áreas ambientais e rio em suas proximidades. Este fato corrobora para uma melhor definição e gestão dos riscos dos equipamentos estáticos, a fim de se evitar possíveis falhas e impactos a comunidade e corporação.

2.2 Seleção dos equipamentos e classificação do risco

A unidade química estudada possui mais de 30 anos de operação. O critério de seleção de equipamentos considerou a seleção daqueles com idades distintas (com até 5 anos e com mais de 20 anos) além de trabalharem com fluidos de classes e pressões diferentes. Com isso tem-se uma visão dos resultados da metodologia tanto para equipamento com fluidos perigosos, quanto com fluidos não perigosos e sob baixa pressão. Na aplicação da metodologia de inspeção baseada na norma API-580, foram selecionados quatro equipamentos e uma tubulação: tanque 01, de recebimento de matéria prima; tanque 02 de recebimento de efluentes; vaso de pressão 01 de ar comprimido; vaso de pressão 02 de gás inorgânico e a tubulação 01 de efluentes da planta.

Para a avaliação de risco são necessários dados operacionais e especificações técnicas, tais como o material de fabricação, dimensões de fabricação e projeto, volume, características do fluido principal como pH, temperatura, porcentagem de sólidos, pressão de trabalho, íons livres, etc. A base de dados é composta por documentos auxiliares, tais como análises de riscos anteriores, históricos de manutenção e inspeções, desenhos e memoriais de cálculo do projeto. O risco foi classificado utilizando a matriz da Figura 1, que mostra a relação ente probabilidade de falha e consequência da falha.

Figura 1 - Matriz de Classificação de Risco



Fonte: (API (b), 2016).

A definição da probabilidade conforme descrito nas seções seguintes, irão gerar a classificação final do risco e seu nível. Os equipamentos e tubulação selecionados foram analisados de acordo com os seus potenciais mecanismos de dano, taxas de corrosão e fluidos predominantes.

2.3 Avaliação e classificação da probabilidade de falha

Na avaliação qualitativa da probabilidade de falha os equipamentos foram divididos em componentes e, para cada um deles, foram analisados os mecanismos de danos. Estes foram confirmados através de relatórios de inspeções anteriores e os seus potenciais de risco, segundo referências e a experiência dos especialistas envolvidos.

Todos os mecanismos de danos avaliados foram apresentados de forma individual para cada componente e seu potencial risco de falha, considerando os fatores de histórico de inspeções, frequência, escopo e técnicas adequadas para identificar os mecanismos, taxa de corrosão real (baseada em históricos de medições) ou teórica, efetividade e confiabilidade de inspeções passadas e reparos, e também o histórico de mudanças de processo e condições operacionais. A Tabela 1 apresenta as 5 categorias finais de classificação da probabilidade de falha. O valor final da probabilidade foi selecionado pelo mais crítico. Essa tabela é uma referência fornecida pela API-580, como um padrão para classificação da probabilidade de falha em análise quantitativa e contém adaptações para a taxa de corrosão por ano de acordo com as taxas encontradas na unidade.

Tabela 03 – Resultados das avaliações com os gestores

Categoria		Descrição	Taxa Corrosão (mm/ano)
5	Muito Alto	1 ou mais em 10 casos de falha em uma base anual	Desconhecida ou > 0,254mm/ano
4	Alto	1 ou mais em 100 casos de falha em uma base anual	< 0,254mm/ano ou > 0,127mm/ano
3	Moderado	1 ou mais em 1000 casos de falha em uma base anual	< 0,127mm/ano ou > 0,06 mm/ano
2	Baixo	1 ou mais em 10000 casos de falha em uma base anual	< 0,06 mm/ano
1	Muito Baixo	Menos de 1 em 10000 casos de falha em uma base anual	Inexistente

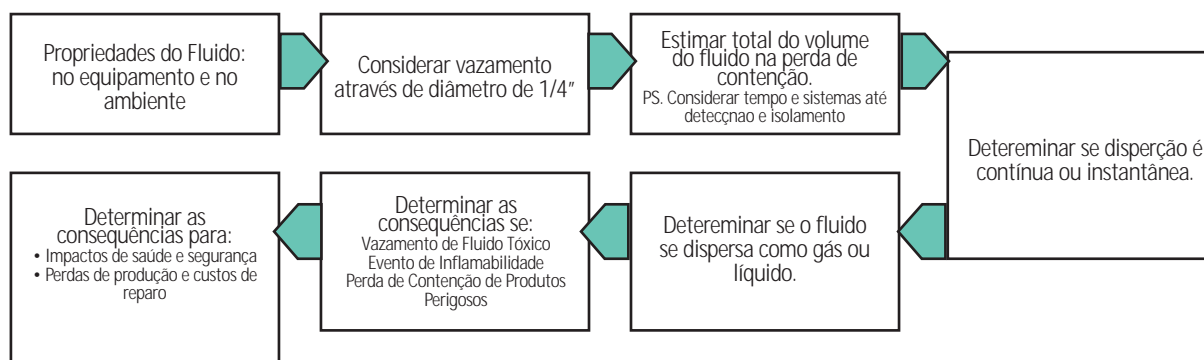
Fonte: adaptado da API (a) (2016)

2.4 Avaliação e classificação das consequências de falha

O processo de definição e classificação das consequências de falha dos equipamentos considera como resultante no cálculo final da consequência os tópicos de saúde e segurança, meio ambiente e custos para o negócio em caso de falha. Os três itens foram analisados de forma individual para cada componente e o valor de maior criticidade foi considerado como resultante da consequência de falha. Documentos e relatórios de avaliações de risco, provenientes de estudos elaborados pela equipe de segurança de pessoas e de processo, como HAZOP, e estudos pontuais de impactos ambientais ou à comunidade, foram considerados como material auxiliar na classificação da consequência.

A avaliação qualitativa da consequência seguiu o fluxo apresentado na Figura 2, que determina as etapas a serem seguidas no processo padrão de avaliação e classificação da consequência da falha para cada um dos componentes.

Figura 2 - Fluxo da Análise de Consequência de Falha



FonteL elaborado pelos autores. Adaptado da API (a) (2016)

2.4.1 Consequências à saúde e segurança

Na Tabela 2 são apresentados os critérios para a classificação final da severidade da consequência da falha, do ponto de vista de saúde e segurança para a unidade. A definição desses critérios foi baseada em guias e classificações internas de saúde e segurança da corporação.

Tabela 2 – Categorias Consequências Potenciais de Danos à Saúde e Segurança

Severidade	Uma ou mais consequências a seguir
E	<ul style="list-style-type: none"> · Fatalidades e lesões permanentes dos colaboradores e comunidade externa · Necessidade de atendimentos médicos externo a unidade
D	<ul style="list-style-type: none"> · Lesões permanentes dos colaboradores · Necessidade de atendimentos médicos externo a unidade
C	<ul style="list-style-type: none"> · Atendimentos de primeiros socorros na unidade com necessidade de atendimento externo posteriormente · Lesões de curto e médio prazo provocando afastamento dos colaboradores
B	<ul style="list-style-type: none"> · Atendimentos básicos de primeiros socorros na unidade sem necessidade de atendimento externo posterior
A	<ul style="list-style-type: none"> · Sem consequências significativas (quase acidente) e impacto às pessoas próximas ou envolvidas na ocorrência. · Necessário registro para fins de controle e indicadores.

Fonte: elaborada pelos autores

2.4.2 Consequências ao meio ambiente

Foram consideradas as especificidades das legislações municipal, estadual e federal a que unidade está submetida e as normas internas da empresa relacionadas ao meio ambiente para a classificação de acidentes e incidentes. Para a análise das consequências ao meio ambiente foi utilizada a Tabela 3, sendo apresentados os critérios de classificação para as consequências de meio ambiente. A definição desses critérios fora baseada em guias e classificações internas de meio ambiente da corporação.

Tabela 3 – Categorias Consequências Potenciais relativas ao Meio Ambiente

Severidade	Uma ou mais consequências a seguir
E	<ul style="list-style-type: none"> · Danos permanentes ou longo prazo ao ecossistema externo a unidade produtiva · Evacuação da comunidade · Desligamento e/ou evacuação da unidade · Multas e autuações por órgãos de fiscalização · Repercussão na mídia nacional/internacional
D	<ul style="list-style-type: none"> · Necessidade de remediações fora da unidade produtiva (comunidade externa) · Ameaça a licença operacional · Descumprimento de normas regulatórias · Interrupção parcial da unidade e pequenos impactos na comunidade · Repercussão na mídia local
C	<ul style="list-style-type: none"> · Incidentes reportáveis a autoridades locais · Não atendimento a requerimentos externos – legislações · Necessidade de remediações dentro da unidade produtiva
B	<ul style="list-style-type: none"> · Incidentes reportáveis dentro da corporação com investigação formal e divulgação das causas raiz e ações de correção
A	<ul style="list-style-type: none"> · Sem consequências ambientais (vazamentos de água, ar e vapor) · Incidentes não reportáveis dentro dos padrões da corporação

Fonte: elaborada pelos autores

2.4.3 Consequências financeiras

As consequências financeiras consideram as perdas de produção em função das paradas do sistema produtivo para a realização da manutenção corretiva das suas falhas. Também são considerados os custos envolvidos no reparo e a perda de produto devido à perda de contenção. Para o cálculo das perdas produtivas foram utilizados os valores de referência apresentados na Tabela 4 para a classificação das perdas financeiras para a unidade em específico. Nela, o valor de "X" indica o valor calculado referente as perdas financeiras devido a falha que deve ser utilizado na comparação e classificação da severidade. A definição desses critérios foi baseada na capacidade produtiva e faturamento da unidade produtiva em análise.

Tabela 4 – Categorias consequências financeiras

Consequências financeiras		
Severidade	Custos Perdas de Produção (R\$)	% Impacto no Faturamento
E	$X > R\$10.000.000,00$	$X > 80\%$
D	$R\$2.000.000,00 < X < R\$10.000.000,00$	$60\% < X < 80\%$
C	$R\$500.000,00 < X < R\$2.000.000,00$	$40\% < X < 60\%$
B	$R\$ 50.000,00 < X < R\$500.000,00$	$20\% < X < 40\%$
A	$X < R\$50.000,00$	$0\% < X < 20\%$

Fonte: elaborado pelos autores

2.5 Classificação do risco

O risco (R) resultante da combinação dos resultados obtidos pelo produto entre a probabilidade de falha (POF) e a consequência de falha (COF), conforme a Equação 1.

$$R = POF \times COF \quad (1)$$

Os riscos de cada equipamento foram tabelados, classificados e incluídos na matriz final (**Figura 1**), permitindo visualizar a classificação de todos dos riscos da unidade relacionados à integridade mecânica (perda de contenção).

Para a unidade avaliada o limite de risco aceitável pela empresa é o médio alto. Nenhum dos riscos que estejam classificados nos quadrantes de 1 a 5 da **Figura 1** serão aceitos. Assim, são necessárias ações com investimentos por parte da empresa para reduzir a probabilidade de falha ou consequência. Mudanças tais como redução de volume, sistemas de alarme ou redundâncias são capazes de impactar e reduzir a consequência. A realização de inspeções mais frequentes, com escopos mais abrangentes, em aderência aos mecanismos de dano, pode auxiliar na redução da probabilidade da falha.

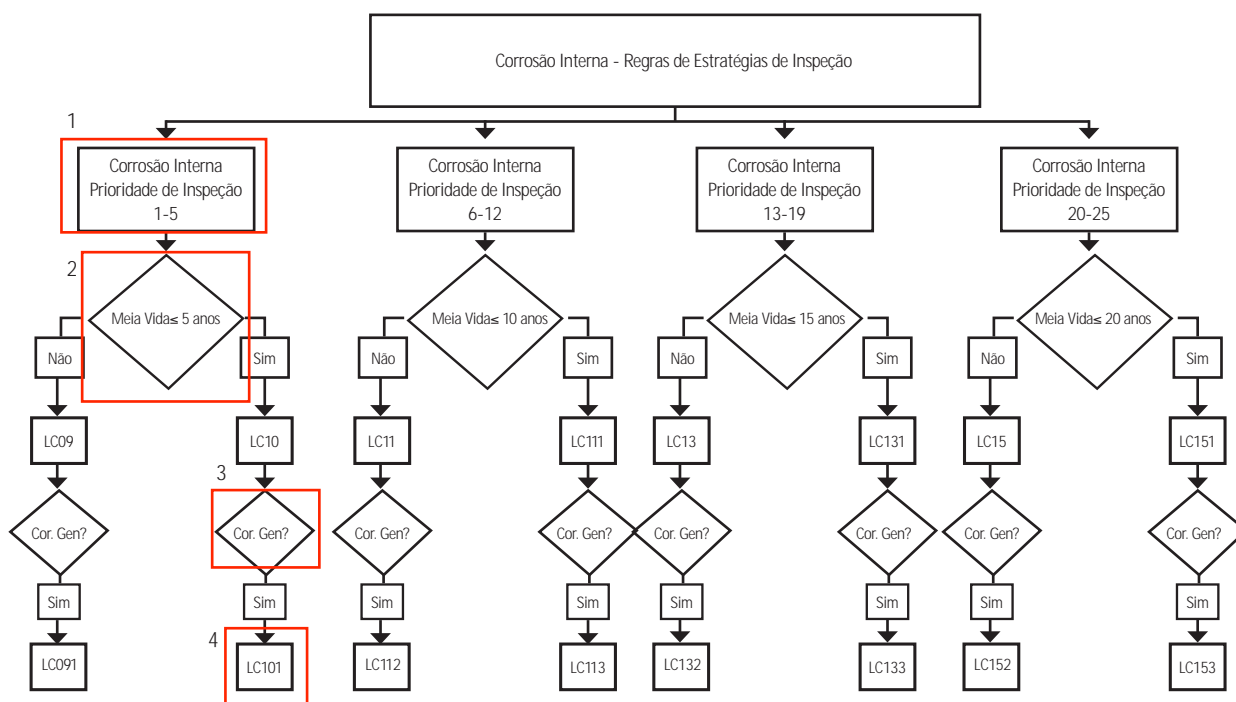
2.6 Definição da estratégia de inspeção e frequências

A estratégia de inspeção para os componentes dos equipamentos, baseada nas recomendações da API-580, foi adequada à realidade da unidade e região. Os intervalos para as inspeções foram definidos de acordo o mecanismo de dano, classificação do risco e tipo de equipamento. A metodologia da API 581 deixa explícito no item 4.4.2-letra F, que a definição do intervalo máximo entre as inspeções está sujeita à legislação local ou ao critério da corporação que está implementando o procedimento. Foi utilizado como referência o documento da GE Meridium – “RBI Inspection Strategies” (GENERAL ELECTRIC COMPANY, 2016), com o escopo e a frequência de inspeção através de lógicas baseadas na classificação do risco de cada componente. A **Figura 3** mostra um exemplo do fluxo decisório para a definição da frequência e escopo de inspeção e a estratégia de inspeção proposta pelo documento para o mecanismo de dano de corrosão interna.

O fluxo começa pela classificação do risco entre as 4 categorias possíveis, conforme mostrado na **Figura 3** (ponto 1). Na próxima etapa (ponto 2) verifica-se a vida remanescente do equipamento, ou seja, pelos cálculos de perda de espessura, em quantos anos o equipamento irá atingir a espessura mínima definida no seu projeto. O mecanismo de dano de corrosão generalizada deve ser analisado (ponto 3); havendo a existência dele, o fluxo deve continuar; na sua ausência deve-se utilizar a estratégia correspondente à pergunta anterior. Caso o mecanismo de dano de corrosão generalizada

esteja presente, a estratégia (ponto 4) deverá ser escolhida. Essa será a estratégia final para o mecanismo de dano em análise. Para cada uma das estratégias apresentadas, há uma frequência e escopo mínimo proposto pelo documento.

Figura 3 – Fluxo de seleção de escopos de inspeção – corrosão interna



Fonte: Adaptado de GENERAL ELECTRIC COMPANY (2016)

2.7 Análise crítica da estratégia de inspeção proposta

A análise crítica entre as estratégias de inspeções atuais (NR-13 ou guias internos) e a novas propostas pela metodologia de inspeção baseada no risco foi realizada para identificar os principais benefícios potencialmente presentes, bem como melhorias de gestão de riscos e as informações sobre os ativos adquiridas durante o processo de implementação. Avalia-se como a implementação da metodologia da inspeção baseada em risco pode auxiliar e complementar as atuais estratégias de inspeção da unidade. Também se discute como a metodologia pode agregar benefícios durante sua implementação, e identificar deficiências relativas à gestão e atualização de informações e documentos dos ativos analisados.

3 Resultados e discussão

3.1 Seleção de ativos

As Tabelas 8, 9, 10, 11 e 12 apresentam os dados técnicos de operação e projeto dos equipamentos 5 equipamentos selecionados para o estudo. Os materiais dos equipamentos seguem a referência da norma ASTM e unidades do Sistema Internacional (SI).

Tabela 8 – Tanque 01 - Tanque de Recebimento Matéria Prima - Especificação

Volume (m ³):	~95
Material fabricação:	ASTM A240-316L
Fluido de Processo:	Matéria Prima inorgânica + Água Quente
Temperatura de Operação (°C):	150
Pressão de Operação (kgf/cm ²):	Atmosférica
Código de Fabricação:	ASME VIII Div I ed. 2007
Máxima Pressão de Trabalho Admissível (kgf/cm ²):	1,05

Fonte: elaborado pelos autores

Tabela 9 Tanque 02 – Tanque de Recebimento de Efluentes- Especificação

Volume (m ³):	~5350
Material fabricação:	ASTM A285 Gr C
Fluido de Processo:	Efluentes
Temperatura de Operação (°C):	42
Pressão de Operação (kgf/cm ²):	Atmosférica
Código de Fabricação:	API- 650 ed. 2007
Máxima Pressão de Trabalho Admissível (kgf/cm ²):	Atmosférica

Fonte: elaborado pelos autores

Tabela 10 – Vaso de Pressão 01 -Vaso para Ar Comprimido- Especificação

Volume (m ³):	13
Material fabricação:	ASTM A283
Fluido de Processo:	Ar Comprimido
Temperatura de Operação (°C):	60
Pressão de Operação (kgf/cm ²):	9,0
Código de Fabricação:	ASME VIII Div I ed. 1986
Máxima Pressão de Trabalho Admissível (kgf/cm ²):	12,9

Fonte: elaborado pelos autores

Tabela 11 – Vaso de Pressão 02- Vaso de Pressão de Gás Inorgânico - Especificação

Volume (m ³):	100
Material fabricação:	ASTM A516 Gr 70
Fluido de Processo:	Gás Tóxico
Temperatura de Operação (°C):	35
Pressão de Operação (kgf/cm ²):	10
Código de Fabricação:	ASME VIII Div I ed. 1998 U-Stamp
Máxima Pressão de Trabalho Admissível (kgf/cm ²):	25,6

Fonte: elaborado pelos autores

Tabela 12 – Tubulação 01 – Tubulação de efluentes da planta - especificação

Volume (m ³):	6
Material fabricação:	ASTM A312 TP304
Fluido de Processo:	Efluentes
Temperatura de Operação (°C):	90
Pressão de Operação (kgf/cm ²):	4
Data fabricação:	2001
Código de Fabricação:	ASME B31.3 – Process Piping
Máxima Pressão de Trabalho Admissível (kgf/cm ²):	40 @ 150 °C

Fonte: elaborado pelos autores

3.2. Análise da probabilidade de falha

As Tabelas 13, 14, 15, 16 e 17 apresentam os resultados das análises dos equipamentos e as discussões que originaram os valores de POF de cada seção, resultando na seleção do POF final pelo maior valor obtido. Para definir cada uma das probabilidades de falhas apresentadas nessas tabelas, foram utilizados os critérios de histórico de falha e taxas de corrosão.

Tabela 13 – Probabilidade de falha – tanque 01 (Tq-01)

Equip.	Componente	Loc. MD	Corrosão	Justificativa	POF	POF final
Tq-01	Calota Sup.	Interno	Generalizada	SS300, pH ácido, vapores, taxa de corrosão inexistente.	1	2
		Externo	Sob Isolamento	SS300, c/ isolamento térmico, 71 °C < TEMP < 107 °C	2	
	Costado/ Calota Inf.	Interno	Generalizada	SS300, pH ácido, fluidos, taxa de corrosão inexistente.	2	3
		Externo	Pitting	SS300, pH ácido, incrustações, dados relatório de inspeção 2017	3	
			Sob Isolamento	SS300, c/ isolamento térmico, 71 °C < TEMP < 107 °C.	2	

Fonte: elaborado pelos autores

Loc. MD - Localização do mecanismo de dano

O tanque 01 é um vaso suspenso (sem partes enterradas) que opera a pressão atmosférica e armazena uma única matéria prima em solução, de modo que o costado e a calota inferior foram considerados em conjunto. A calota superior foi considerada outro componente devido ao fluido predominante ser o vapor da mistura de matéria prima com água quente. Relatórios anteriores mostraram a ocorrência de corrosão por pite nas soldas da calota inferior e costado. A POF para calota superior foi categorizada em 2 e o costado e a calota inferior em 3.

Tabela 14 – Probabilidade de falha – tanque 02 (Tq-02)

Equip.	Componente	Loc. MD	Corrosão	Justificativa	POF	POF final
Tq-02	Fundo	Interno	Generalizada	Carbono, serviço efluentes c/oxigênio, dados relatório inspeção 2010.	1	3
		Externo	Solo	Carbono, fundação concreto, taxa padrão de corrosão < 0,127 mm/ano	3	
	Costado	Interno	Generalizada	Carbono, serviço efluente c/oxigênio, taxa padrão de corrosão < 0,063 mm/ano.	2	2
		Externo	Atmosférica	Carbono, sem isolamento térmico.	1	

Fonte: elaborado pelos autores

No tanque 02 foi identificado que o costado e fundo do tanque possuíam características e formas de degradação distintas, levando a criação de dois componentes, costado e fundo. Os componentes possuem taxas de corrosão distintas devido a uma deficiência no sistema de proteção catódica do equipamento. A classificação da POF foi de 3 para o fundo e para o costado foi de 2.

Tabela 15 – Probabilidade de Falha – Vaso 01

Equip.	Componente	Loc. MD	Corrosão	Justificativa	POF	POF final
Vaso 1	Calota Sup./ Costado	Interno	Generalizada	Carbono, ar instrumentos, taxa padrão de corrosão < 0,063 mm/ano.	2	2
		Externo	Atmosférica	Carbono, sem isolamento térmico.	1	
	Calota Inf.	Interno	Generalizada	Carbono, ar instrumentos + água, taxa padrão de corrosão > 0,127 mm/ano.	4	4
		Externo	Atmosférica	Carbono, sem isolamento térmico.	1	

Fonte: elaborado pelos autores

O vaso 01 é um tanque pulmão para o ar de instrumentação, localizado na área de utilidades. Relatórios anteriores de inspeção mostraram severa corrosão generalizada (> 0,127mm/ano) na calota inferior devido ao acúmulo de água entre as purgas do vaso, de modo que a POF da calota superior e costado foi classificada em 2 e a calota inferior em 4

Tabela 16 – Probabilidade de falha – vaso 02

Equip.	Componente	Loc. MD	Corrosão	Justificativa	POF	POF final
Vaso 1	Costado/ Calota	Interno	Generalizada	Carbono, amônia anidra, taxa padrão de corrosão <0,063mm/ano.	3	3
			Sob Tensão	Carbono, amônia anidra, CST – Soldas	2	
		Externo	Atmosférica	Carbono, sem isolamento térmico.	1	

Fonte: elaborado pelos autores

O vaso 02 é horizontal e armazena um gás tóxico. Ele não possui histórico de perdas de espessura ou outros danos ativos ao longo da vida, porém, a literatura mostra o risco de alta incidência de corrosão sob tensão em pontos de acúmulo de tensão, como juntas de soldas. Dessa forma, a POF para calotas e costado é 3.

Tabela 17 – Probabilidade de falha – tubulação 01

Equip.	Componente	Loc. MD	Corrosão	Justificativa	POF	POF final
Tub. 1	Tub.	Interno	Generalizada	SS300, pH ácido, taxa de corrosão inexistente.	1	3
			Sob Tensão	SS300, cloretos, TEMP > 60 °C, CST – Soldas (General Electric Company, 2016)	3	
		Externo	Sob Tensão	SS300, cloretos, TEMP > 60 °C, CST – Soldas (General Electric Company, 2016)	3	

Fonte: elaborado pelos autores

A tubulação 01 é de aço inoxidável e transporta os efluentes quentes gerados na planta principal. A tubulação não possui revestimento térmico. Não foram encontradas evidências de inspeções que verificassem os pontos de soldas interna e externas utilizando técnicas efetivas tais como líquido penetrante ou "phased array". A literatura mostra uma alta incidência de corrosão sob tensão em pontos de acúmulo de tensão tais como pontos de soldas, e assim a POF para a tubulação é 3.

3.3 Análises das consequências de falha

A seguir são apresentadas as classificações para os equipamentos considerando as categorias financeiras, saúde e segurança bem como meio ambiente. Na classificação da consequência financeira dos cinco equipamentos considerou-se a capacidade produtiva da unidade de 2.000 kg/dia de produto, com margem financeira de R\$150,00 por kg. Alguns dos equipamentos analisados podem impactar na parada total ou parcial da unidade ou não gerar impacto devido a redundâncias. O cálculo do escopo de reparo no equipamento considerou uma falha padrão com o vazamento através de um furo com diâmetro padrão de 1/4" (~6,3 mm).

- Tanque 01

A consequência financeira apresentada no **Quadro 1** é resultante da criticidade e ausência de um tanque auxiliar ou de reserva e das operações de um conjunto de atividades necessárias para seu reparo e parada da unidade, reparo e partida, que demandam em média 7 dias. Com o tanque parado nesse período é necessário interromper a produção, pois ele recebe todos os efluentes gerados na unidade. Como o tanque não possui sistemas automáticos de detecção de vazamentos, a identificação da falha se dá na ronda dos operadores na área, o que ocorre a cada uma hora, de forma que o tempo de detecção da falha é de 60 minutos. Assim a perda financeira foi estimada em R\$ 2.150.000,00.

Quadro 1 – Cálculo Consequência Financeira Tanque 01

Planta:	Utilidades/Efluentes
Capacidade produtiva	200
Margem (R\$/kg)	R\$ 150,00
Margem (R\$/dia)	R\$ 300.000,00
Tag equipamento	Tanque 1
Descrição equipamento	Tanque Efluentes
Tempo de reparo (dias)	7
Redução Produção (%)	100%
Capacidade (m ³)	5369
Tempo detecção (min)	60
Tempo isolamento (min)	30
Custo Reparo	R\$ 50.000,00
Consequencia financeira	R\$ 2.150.000,00
Classificação Consequencia Financeira	D

Fonte: elaborado pelos autores

Na análise das consequências à saúde, segurança e ao meio ambiente, a avaliação do equipamento foi A e B, respectivamente. A Tabela 16 mostra a classificação dos três componentes e a classificação final D. Os efluentes não possuem classificação tóxica ou inflamável e o tanque opera a pressão atmosférica. Como o tanque possui uma caixa de contenção de concreto que pode reter o efluente emergencialmente, de modo que há um menor risco ao meio ambiente. Pelos critérios internos, uma falha desse porte exige que as causas raiz sejam investigadas, comunicadas à matriz e formalmente divulgadas.

Quadro 1 – Cálculo Consequência Financeira Tanque 01

Equip.	Comp.	Fluido	Saúde	Meio Amb.	Inflamável	Tóxico	Finan.	Final
Tanque - 01	Fundo	Efluente	A	B	N/A	N/A	D	D
Tanque - 01	Costado	Efluente	A	B	N/A	N/A	A	A

Fonte: elaborado pelos autores

- Tanque 02

A análise da consequência financeira do tanque 02 apresentada no **Quadro 2**, mostra que as perdas financeiras são da ordem de R\$932.000,00, considerando a perda de produção e gastos com o reparo, em função da necessidade de 3 dias de parada. Com a parada desse equipamento a unidade deve interromper as operações, pois não há outra opção para o recebimento e preparo inicial da formulação. O tanque não possui sistema automático de detecção de vazamentos e a forma de identificação seria através da ronda dos operadores na área a cada uma hora.

A classificação de saúde e segurança foi definida como B, uma vez que, em caso de contato direto é obrigatório realizar um atendimento padrão no ambulatório da unidade, independentemente da

Quadro 2 – Cálculo consequência financeira tanque 02

Planta:	Utilidades/Efluentes
Capacidade produtiva	200
Margem (R\$/kg)	R\$ 150,00
Margem (R\$/dia)	R\$ 300.000,00
Tag equipamento	Tanque 2
Descrição equipamento	Tanque Mat. Prima
Tempo de reparo (dias)	3
Redução Produção (%)	100%
Capacidade (m ³)	98
Tempo detecção (min)	60
Tempo isolamento (min)	30
Custo Reparo	R\$ 62.000,00
Consequencia financeira	R\$ 932.000,00
Classificação Consequencia Financeira	C

Fonte: elaborado pelos autores

quantidade e local de contato com o colaborador. Quanto à avaliação ao meio ambiente, o vaso está localizado em uma área com diques, de modo que, em caso de vazamento o fluido será direcionado ao tanque de efluentes para o devido tratamento. Após a análise das consequências à saúde e segurança e meio ambiente, o equipamento foi categorizado como risco B para os dois quesitos. A **Tabela 17** mostra a classificação final como C.

Tabela 17 – Cálculo consequência final tanque 02

Equip.	Comp.	Fluido	Saúde	Meio Amb.	Inflamável	Tóxico	Finan.	Final
Tanque - 02	Calota Sup.	Mat.Prima	B	B	N/A	S	C	C
Tanque - 02	Costado / Calota Inf.	Efluente	A	B	N/A	S	C	C

Fonte: elaborado pelos autores

- Vaso de pressão 01

O resultado do vaso de pressão 01 é apresentado no **Quadro 3**. Na falha do equipamento, espera-se um impacto de R\$20.000,00, visto que esse equipamento não apresenta nenhum impacto na produção pois há outros vasos no setor de utilidades que fazem a mesma função de pulmão de ar comprimido. Foi considerado como impacto financeiro apenas os custos de reparo do vaso de pressão, considerando valores disponíveis no histórico de manutenção. Como esse equipamento não possui sistemas automáticos de detecção de vazamentos, a forma de identificação seria através da ronda de hora em hora dos operadores na área.

Quadro 3 – Cálculo consequência financeira vaso de pressão 01

Planta:	Utilidades/Efluentes
Capacidade produtiva	200
Margem (R\$/kg)	R\$ 150,00
Margem (R\$/dia)	R\$ 300.000,00
Tag equipamento	Vaso 1
Descrição equipamento	Vaso Ar Comprimido
Tempo de reparo (dias)	4
Redução Produção (%)	0%
Capacidade (m ³)	13
Tempo detecção (min)	60
Tempo isolamento (min)	30
Custo Reparo	R\$ 20.000,00
Consequencia financeira	R\$ 20.000,00
Classificação Consequencia Financeira	A

Fonte: elaborado pelos autores

Na análise das consequências de saúde e segurança e de meio ambiente, a avaliação para o equipamento foi A para os dois quesitos. A **Tabela 18** mostra a classificação final como A, pois nos três critérios o equipamento obteve esta classificação. Como o equipamento armazena ar comprimido não há impactos ao meio ambiente e às pessoas conforme as tabelas de classificação.

Tabela 18 – Cálculo Consequência Final Vaso de Pressão 01

Equip.	Comp.	Fluido	Saúde	Meio Amb.	Inflamável	Tóxico	Finan.	Final
Vaso 01	Calota Sup./ Costado	Ar Comp.	A	A	N/A	N/A	A	A
Vaso 01	Calota Inf.	Ar Comp.	A	A	N/A	N/A	A	A

Fonte: elaborado pelos autores

- Vaso de pressão 02

A análise da consequência financeira do vaso de pressão 02, apresentada no Quadro 4, mostra que as perdas em caso de falha são da ordem de R\$1.550.000,00, considerando a perda de produção e

gastos com o seu reparo. Este valor resulta em uma classificação C, de acordo com a **Tabela 5**. As perdas produtivas são de 50%, pois somente uma parcela dos produtos utiliza esta matéria prima. O tempo de reparo médio foi estimado em 10 dias.

Quadro 4 – Cálculo consequência financeira vaso de pressão O2

Planta:	Utilidades/Efluentes
Capacidade produtiva	200
Margem (R\$/kg)	R\$ 150,00
Margem (R\$/dia)	R\$ 300.000,00
Tag equipamento	Vaso 2
Descrição equipamento	Vaso Gás Tóxico
Tempo de reparo (dias)	10
Redução Produção (%)	50%
Capacidade (m ³)	100
Tempo detecção (min)	10
Tempo isolamento (min)	10
Custo Reparo	R\$ 50.000,00
Consequencia financeira	R\$ 1.550.000,00
Classificação Consequencia Financeira	C

Fonte: elaborado pelos autores

Na análise das consequências à saúde e segurança e meio ambiente, a avaliação do vaso de pressão de armazenamento do gás tóxico foi de D para os dois quesitos. A **Tabela 19** mostra a classificação final como D. Devido à alta toxicidade da matéria prima o sistema da unidade possui sistema de proteção contra falhas, tal como sistema de travamento automático das válvulas em caso de detecção do gás acima de determinada concentração no ar ao redor do tanque. Com isso, o tempo de detecção e isolamento em caso de falha não é superior que 10 minutos. Outro fator considerado na análise foi um estudo indicando que, em caso de vazamento de todo o produto do tanque em sua máxima capacidade, a nuvem do gás não atingiria os limites físicos da planta, porém, poderia atingir prédios de processos produtivos. Os danos ao meio ambiente são significativos, porém não são permanentes, mas a nuvem do gás afetaria de forma significativa a vegetação dentro do raio de alcance.

Tabela 19 – Cálculo consequência final vaso de pressão O2

Equip.	Comp.	Fluido	Saúde	Meio Amb.	Inflamável	Tóxico	Finan.	Final
Vaso O2	Calotas/ Costado	Amônia Anidra	D	D	N/A	S	C	D

Fonte: elaborado pelos autores

- Tubulação 01

A análise da consequência financeira da tubulação de efluentes 01 apresentada no Quadro 5 mostra que as perdas financeiras, em caso de falha, são da ordem de R\$200.000,00, considerando os custos relacionados com perda de 50% de um dia de produção, e os custos de reparo. De acordo com a tabela de consequência financeira, uma classificação B.

Quadro 5 – Cálculo consequência financeira tubulação 01

Planta:	Utilidades/Efluentes
Capacidade produtiva	200
Margem (R\$/kg)	R\$ 150,00
Margem (R\$/dia)	R\$ 300.000,00
Tag equipamento	Tubulação 1
Descrição equipamento	Tub. Efluentes
Tempo de reparo (dias)	1
Redução Produção (%)	50%
Capacidade (m ³)	100
Tempo detecção (min)	10
Tempo isolamento (min)	30
Custo Reparo	R\$ 50.000,00
Consequencia financeira	R\$ 200.000,00
Classificação Consequencia Financeira	B

Fonte: elaborado pelos autores

A avaliação do equipamento foi B para o meio ambiente, visto que em caso de vazamento o fluido irá cair em uma área cimentada e de contenção, sem contato direto com o solo, porém o incidente deverá ser reportado. Para saúde e segurança a classificação foi C, visto que, em função da temperatura de operação dessa tubulação ser superior a 60° C há a possibilidade de contato com algum colaborador na ocorrência de um vazamento, exigindo atendimento de primeiros socorros e tratamento em unidade externa. A Tabela 20 mostra a classificação final C.

Tabela 20 – Cálculo consequência final tubulação 01

Equip.	Comp.	Fluido	Saúde	Meio Amb.	Inflamável	Tóxico	Finan.	Final
Tub.01	Tub.	Efluente	C	B	N/A	N/A	B	C

Fonte: elaborado pelos autores

3.4 Classificação final do risco

Após os cálculos de consequências e probabilidade de falha para cada um dos equipamentos e seus respectivos componentes foi obtida a classificação de risco resultante apresentada no **Quadro 6**, de acordo com a nomenclatura e cores da matriz de risco da **Figura 1**.

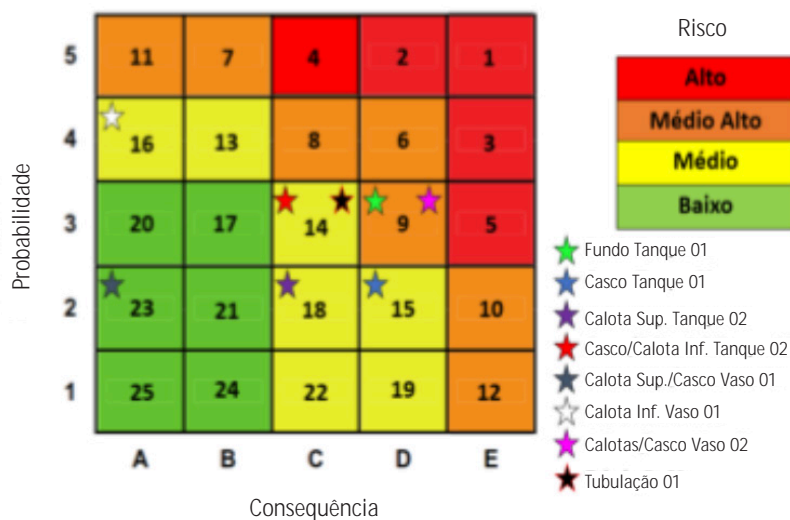
Todos os riscos resultantes nos cinco equipamentos ficaram com classificação abaixo do limite aceitável pela corporação, ou seja, os riscos classificados com valores de 1 a 5, conforme **Figura 1**, não seriam aceitos, e alguma ação de redução deveria ser implementada. Essas ações poderiam compreender desde inspeções imediatas até a alteração das condições operacionais, como a redução de volume ou pressão dos equipamentos, a fim de reduzir a consequência em caso de falha. Porém, o programa de inspeção deve ser seguido a fim de se evitar o aumento da probabilidade de falha que, conseqüentemente, levará ao aumento do risco. Após a classificação final foi constatado que nenhuma ação imediata seria necessária para se reduzir o risco. A **Figura 4** apresenta a estrela do risco final de cada equipamento e seus componentes na matriz de classificação para os equipamentos do estudo.

Quadro 6 – Classificação do Risco Equipamentos

TAG	Componente	Consequencia de falha	Probabilidade de falha	Prizificação Risco - Final	Risco
Tanque 1	Fundo	D	3	9	Médio Alto
Tanque 1	Costado	D	2	15	Médio
Tanque 2	Calota Sup.	C	2	18	Médio
Tanque 2	Costado/Calota Inf.	C	3	14	Médio
Vaso 1	Calota Sup./Costado	A	2	23	Baixo
Vaso 1	Calota Inf.	A	4	16	Médio
Vaso 2	Calotas/Costado	D	3	9	Médio Alto
Tub. 1	Tubulação	C	3	14	Médio

Fonte: elaborado pelos autores

Figura 4 – Matriz de risco resultante



Fonte: elaborado pelos autores

3.5 Estratégias de inspeção

Utilizando o documento GE Meridium – “RBI Inspection Strategies” (GENERAL ELECTRIC COMPANY, 2016), que segue a norma API 580, os escopos de inspeção foram definidos utilizando-se os fluxos decisórios para cada mecanismo de dano em função do risco final do componente. A norma API 580 possibilita a flexibilização nas escolhas dos escopos e frequências, desde que sejam efetivas aos mecanismos de dano.

Para cada mecanismo de danos identificados e classificados foram obtidos os escopos de inspeção de acordo com os fluxos similares ao da Figura 3. Na Tabela 21 são apresentadas as frequências das inspeções, grau de confiança sugerido ao escopo e o código do escopo proposto com base no referido documento para os equipamentos.

Tabela 21 – Escopos de inspeção via RBI

Equipamento	Componente	Interna / Externa	Frequencia/anos	Grau de confiança	Escopo:
Tanque 1	Costado	Interna	15	Alto	LC132
Tanque 1	Costado	Externa	7	Muito alto / Médio	LC38
Tanque 1	Fundo	Interna	10	Alto	LC112
Tanque 1	Fundo	Externa	N/A	N/A	N/A
Tanque 2	Calota Sup.	Interna	15	Alto	LC132
Tanque 2	Calota Sup.	Externa	15	Médio	LC391
Tanque 2	Costado/Calota Inf	Interna	15	Alto	LC132
Tanque 2	Costado/Calota Inf	Externa	15	Médio	LC391
Vaso de pressão 1	Calota Sup./Costado	Interna	20	Médio	LC152
Vaso de pressão 1	Calota Sup./Costado	Externa	10	Muito alto / Médio	LC41
Vaso de pressão 1	Calota Inf.	Interna	15	Alto	LC133
Vaso de pressão 1	Calota Inf.	Externa	7	Muito alto / Médio	LC381
Vaso de pressão 2	Calota/Costado	Interna	10	Muito alto	LC112
Vaso de pressão 2	Calota/Costado	Interna/CST	5	Médio	LC51
Vaso de pressão 2	Calota/Costado	Externa	5	Muito alto / Médio	LC35
Tubulação 1	Tubulação	Interna	10	Médio	LC29
Tubulação 1	Tubulação	Externa	15	Muito alto / Médio	LC38

Fonte: elaborado pelos autores

3.6 Análise crítica das novas estratégias de inspeção e implementação da metodologia

A análise crítica dos resultados é apresentada em duas partes: a primeira foca nos intervalos das inspeções internas e externas para os cinco equipamentos analisados e como se comparam com as frequências atuais; a segunda parte foca na análise das novas estratégias, ou seja, nos ensaios a serem realizados em cada inspeção com as devidas técnicas e abrangências. Também é analisada como a implementação da metodologia auxilia no aumento do conhecimento da unidade, não apenas sobre o processo, mas principalmente sobre os ativos que estão sendo avaliados.

3.6.1 Prazos das inspeções

Com a definição das probabilidades e consequências de cada um dos componentes dos equipamentos e subsequente definição do risco final e estratégia de inspeção, foi possível notar que os prazos propostos para as inspeções internas e externas são relativamente superiores ao proposto pela norma

NR-13. Para essa unidade os prazos máximos que a norma possibilita para inspeções internas são 10 anos e externas 5 anos. Esse é o caso dos vasos de pressão 01 e 02, que devem seguir a frequência de inspeção imposta pela a NR-13, pois a proposição de extensão dos prazos de inspeção resultaria na infração da norma em questão e, conseqüentemente, à legislação nacional.

Os tanques 01 e 02 e a tubulação 01, que operam a pressão atmosférica, não são enquadrados pela norma NR-13, de modo que podem ser aplicados os novos prazos propostos pela inspeção baseada em risco. A Tabela 22 mostra a diferença entre a frequência atual praticada pela unidade e a proposta pela metodologia após o estudo. No caso da tubulação 01 não havia antes da análise planos de inspeção preventivos com uma frequência definida.

Tabela 21 – Escopos de inspeção via RBI

Equipamento	Interna / Externa	Frequência Atual (anos):	Frequência Proposta (anos):	Diferença (%):
Tanque 1	Interna	8	10	+25%
	Externa	4	7	+75%
Tanque 2	Interna	4	15	+375%
	Externa	4	15	+375%
Tubulação 1	Interna	N/A	10	-
	Externa	N/A	15	-

Fonte: elaborado pelos autores

O aumento do prazo entre as inspeções é substancial nos equipamentos não pressurizados, que possuíam suas estratégias de inspeção definidas através normas internas da corporação. Como a implementação da metodologia de inspeção foi uma decisão corporativa, os ganhos nesses casos

poderão ser capturados e as novas frequências de inspeção implementadas. Os equipamentos vaso de pressão 01 e vaso de pressão 02, são legalmente obrigados a seguirem as frequências de inspeção definidas através da NR-13 e não sofreram alterações nos prazos de inspeções, apenas nos escopos, seguindo as recomendações da metodologia.

3.6.2 Escopo das inspeções

Com a definição dos escopos de inspeção de forma individualizada aos componentes dos equipamentos é possível verificar que alguns riscos atuais ou potenciais aos quais os equipamentos estão sujeitos não foram considerados no escopo de inspeção original, o que pode representar um risco às operações da unidade. O contrário também foi constatado, ou seja, estavam sendo aplicadas técnicas de inspeção para mecanismos de dano específicos quando não havia a sua necessidade.

Também não havia um plano de inspeção para a tubulação 01, somente registros de inspeções esporádicas. Os novos escopos se mostraram mais completos e aderentes aos riscos e mecanismos de danos a que cada um dos equipamentos está sujeito, quando comparados aos escopos atuais, que são bastante genéricos e pouco focados em técnicas de alta eficiência. Outro benefício foi a introdução do detalhamento de cada escopo de inspeção, com a indicação da área mínima a ser inspecionada, os locais de maior risco (ex: bocais de entrada e saída), as técnicas a serem aplicadas, o padrão de registro nos relatórios e o nível mínimo de certificação dos inspetores, que não eram explícitos na estratégia anterior. A metodologia trouxe padronização ao processo de inspeção.

A metodologia anterior era genérica e não apresentava um nível de detalhamento de descrição de tarefas como a proposta no documento GE Meridium – "RBI Inspection Strategies" (GENERAL ELECTRIC COMPANY, 2016). A aplicação desta metodologia resulta em um novo padrão de inspeção, auxiliando na repetibilidade das inspeções, independente do inspetor que estiver executando o trabalho. Os escopos atuais, definidos através da NR13, que não detalha a formas de se selecionar o melhor escopo de inspeção para os equipamentos, deixando essa definição a cargo do profissional habilitado. Essa deficiência pode ser suprida com a aplicação da NR-13 junto com a API-580. A Tabela 23 apresenta a comparação entre o escopo atual e o proposto para o tanque 02 com a metodologia de inspeção baseada em risco. Os itens com o "X" representam as atividades que estão no escopo atual ou propostas, de acordo com a respectiva coluna.

Tabela 23 – Comparação escopo de inspeção para tanque 02

Atividade:	Escopo Atual:	Escopo Proposto:
Líquido Penetrante	X	X
Inspeção Visual	X	X
Medição Espessura (Costado)	X	
Retirada Isolamento Térmico		X
Medição Espessura (Bocais)		X
Taxa de Corrosão - Pites		X
Certificação Mínima Inspetores		X
Definição de % de área a ser inspecionada		X

Fonte: elaborado pelos autores

Para todos os equipamentos os novos escopos de inspeção foram mais aderentes aos mecanismos de danos presentes e potenciais que os equipamentos estão sujeitos. Os novos escopos possuem requisitos mínimos e definições claras das atividades que devem ser realizadas durante a inspeção e como os registros devem ser feitos, para serem consultados nas próximas inspeções. Essas definições e estudos de mecanismos de danos não estão presentes como requisitos obrigatórios na NR-13

e guias da corporação, mostrando que o estudo dos potenciais danos, como também, potenciais consequências em caso de falha gerou um aumento no nível das inspeções, com maior assertividade e controle na qualidade.

3.7 Discussão dos resultados

Com os resultados das classificações dos riscos para os equipamentos analisados é possível observar que não são apenas os equipamentos de armazenamento de produtos perigosos que oferecem os maiores riscos à unidade. Os tanques atmosféricos e a tubulação selecionada tiveram diferentes classificações de riscos, mostrando a possibilidade de modificação da estratégia de inspeção a uma mais aderente aos potenciais riscos. Equipamentos que não possuíam uma estratégia de inspeção, como a tubulação 01, podem apresentar um risco considerável à unidade. O vaso de pressão 02 apresenta o mesmo nível de risco que o tanque de tratamento de efluentes (tanque 01), sendo o primeiro por questões de saúde/segurança e meio ambiente e o segundo por questões financeiras devido à necessidade de parada total da unidade em caso de falha.

Os resultados mostram que a metodologia pode ser uma forma de classificar e dar visibilidade a equipamentos não priorizados em uma primeira análise de risco na unidade, revelando equipamentos de maior periculosidade que expõem e fragilizam a operação da fábrica. A implementação da metodologia na unidade resultou em um gerenciamento dos riscos da unidade quanto à falha de equipamentos que poderiam levar a um vazamento, provocando perdas financeiras. Como consequência, estes danos poderiam gerar impactos na comunidade, meio ambiente e colaboradores da unidade, que resultariam diretamente na degradação da imagem da companhia perante a sociedade.

No processo de identificação, classificação e definição das estratégias de inspeções baseadas nos mecanismos de danos via API-580 observou-se que esta norma pode ser utilizada como uma ferramenta complementar à norma NR-13 e aos guias internos das corporações. Uma sugestão de melhoria para a aplicação no Brasil seria uma atualização da NR-13, envolvendo a disciplina de gestão de risco com probabilidade de falhas e suas consequências. Tais mudanças tornariam a NR-13 uma norma mais alinhada com as melhores práticas mundiais de gestão de integridade de equipamentos.

A NR-13 não apresenta orientações sobre detalhamento e orientações para uma definição da estratégia de inspeção, criação de modelos de corrosão, avaliação individualizada dos componentes dos equipamentos e modelo de reavaliação que constate os resultados de cada inspeção. Essas deficiências podem ser amenizadas e até suprimidas caso a metodologia seja aplicada em conjunto com a norma. Com planos de inspeção mais aderentes aos potenciais riscos, é possível um aumento na qualidade das inspeções e gestão.

Outro benefício advindo dos equipamentos não enquadrados pela NR-13 é a possibilidade de intervalos de inspeções mais longos, reduzindo o número de paradas dos equipamentos, como o tanque 02 que teve seu intervalo de inspeção alterado de 4 para 15 anos. Mudança que pode

gerar uma economia com gastos em manutenções e menor exposição ao risco dos inspetores. Em contrapartida ao maior intervalo entre inspeções, obteve-se uma estratégia de inspeção mais robusta e assertiva para se detectar potenciais falhas a que os equipamentos estão sujeitos. Isso foi possível graças às técnicas de ensaios não destrutivos adequados e com escopos claros e padronizados das áreas a serem inspecionadas e seus respectivos relatórios, condição que não existia antes da aplicação da metodologia da API-580.

O processo de implementação da metodologia de inspeção baseada em risco demonstrou ser capaz de trazer benefícios finais como já citados, além de melhorias e adequações resultantes do processo de gestão das informações técnicas dos equipamentos (desenhos, memoriais, históricos de manutenção e operação) para a avaliação das probabilidades e consequências.

Durante o processo de implementação foram identificadas fragilidades no sistema, como falta de desenhos, isométricos, históricos de manutenção, memoriais de projeto e gestão de mudanças que ocorreram ao longo da vida da planta, como modificações em tubulações que não estavam adequadamente representadas na documentação. Durante a implementação foram necessários ajustes e atualizações de documentos para garantir uma confiabilidade dos dados e, conseqüentemente, das

análises. Esta condição também pode representar outra forma de risco à unidade, visto que há registros de acidentes dentro da indústria química pela falta de documentação atualizada.

4 Conclusões

A metodologia estabelecida pela norma API-580 é de fácil aplicação, desde que as informações mínimas necessárias estejam disponíveis para as análises técnicas e classificação das probabilidades de falha e consequência. As estratégias finais de inspeção resultaram em proposições diferentes das obtidas apenas com a NR-13, no tocante a escopo e frequência das inspeções. Foram obtidos aumentos entre os intervalos de inspeções de até 300% (Tabela 22) para o caso de equipamentos que não fazem parte da NR-13.

A API-580 deve ser aplicada como uma ferramenta complementar às normas brasileiras, tais como NR-13, e concomitantemente às normativas internas das corporações na definição das estratégias de inspeção para equipamentos estáticos. A metodologia implementa um processo cíclico e contínuo de inspeção, resultando no aumento do nível de conhecimento técnico da unidade sobre seus equipamentos, melhoria contínua das estratégias de inspeção e gerenciamento dos riscos relacionados a falhas que gerem vazamentos e potenciais danos a corporação.

A implementação propicia melhoria na qualidade da informação e documentação dos equipamentos contemplados, pois existe a necessidade de informações técnicas (desenhos, históricos de manutenção e operação e parâmetros operacionais) no processo de avaliação do risco. Os resultados podem gerar benefícios econômicos para as empresas e para a gestão dos riscos por parte dos empregados. Há

uma redução na exposição aos riscos durante a inspeção em função dos períodos entre inspeções consecutivas serem maiores, como no caso do tanque 2 que teve um intervalo de inspeção modificado de 4 anos para 15 anos. Com a redução das paradas programadas dos equipamentos, gera-se uma economia quanto aos custos de manutenção em material e de pessoas, e uma maior disponibilidade e estabilidade operacional devido à redução em parada de equipamentos para inspeções.

Assim, a metodologia proposta deve complementar (e não substituir) os requisitos normativos legais vigentes, elevando conseqüentemente o nível de conhecimento e gerenciamento sobre a integridade dos ativos da unidade e reduzindo os potenciais riscos associados à falha (vazamentos) em operação. O incremento de conhecimento sobre os ativos e processo operacional ocorre ao longo de todo o processo de implementação, sendo atualizado a cada ciclo de inspeção de forma contínua. A metodologia pode ser aplicada em unidades industriais em conjunto aos requisitos legais de cada região e corporação.

5 Referências

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API-571: Damage mechanisms affecting fixed equipment in the refining industry. 2 ed. Washington: API Publishing Services, 2011. 372 p.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE . API-580: Risk-based inspection. 3 ed. Washington: API Publishing Services, 2016. 94 p.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API-581: Risk-based Inspection Methodology. 3 ed. Washington: API Publishing Services, 2016.

ETI, M.C.; OGAJI, S.O.T.; PROBERT, S.D. Reducing the cost of preventive maintenance (PM) through adopting a proactive reliability-focused culture. **Applied Energy**, [s.l.], v. 83, n. 11, p.1235-1248, nov. 2006. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.apenergy.2006.01.002.

GENERAL ELECTRIC COMPANY- (United State of America-USA). GE Digital APM - RBI 580 Inspection strategies. 5. ed. Chicago: Ge, 2016. 161 p.

MINISTÉRIO DO TRABALHO. NR13: **NR-13 Caldeiras, vasos de pressão e tubulação**. 7 ed. Brasília: Ministério do Trabalho. 2017.23p.Disponível em:<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR13.pdf>..Acesso em: 16 out. 2018.

NACE INTERNATIONAL-(United State of America-USA). **International measures of prevention, application, and economics of corrosion technologies study**. Houston: Nace International, 2016. 216 p. Disponível em: <http://impact.nace.org/documents/Nace-International-Report.pdf>. Acesso em: 26 maio 2019.

PERUMAL, K. E. Corrosion risk analysis, risk based inspection and a case study concerning a condensate pipeline. *Procedia Engineering*, [s.l.], v. 86, p.597-605, 2014. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.085>.

SANDERS, R. E. The role of mechanical integrity in chemical process safety. *Chemical Process Safety*, [s.l.], p.297-352, 2015. Elsevier. DOI: 10.1016/b978-0-12-801425-7.00012-1.

DOI 10.34033/2526-5830-v4n15-1

