



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

ALÍCIA CRUZ MARQUES DOS SANTOS

**IDENTIFICAÇÃO DE FATORES DE INFLUÊNCIA PARA MODELO DE
AMOSTRAGEM PARA ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS EM FEIXES DE TUBOS
DE PERMUTADORES CALOR**

Recife

2024

ALÍCIA CRUZ MARQUES DOS SANTOS

**IDENTIFICAÇÃO DE FATORES DE INFLUÊNCIA PARA MODELO DE
AMOSTRAGEM PARA ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS EM FEIXES DE TUBOS
DE PERMUTADORES CALOR**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia Mecânica da Universidade
Federal de Pernambuco, como requisito
parcial para a obtenção do grau de Bacharel
em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. MSc. Luiz Adeildo da Silva Júnior

Recife
2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Santos, Alícia Cruz Marques dos.

Identificação de fatores de influência para modelo de amostragem para ensaios não destrutivos em feixes de tubos de permutadores calor / Alícia Cruz Marques dos Santos. - Recife, 2024.

125 p. : il., tab.

Orientador(a): Luiz Adeildo da Silva Júnior

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Mecânica - Bacharelado, 2024.

Inclui referências, apêndices, anexos.

1. Permutadores de calor. 2. Amostragem. 3. Ensaios não destrutivos. 4. IRIS. 5. Corrente Parasita. 6. Manutenção. I. Silva Júnior, Luiz Adeildo da. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

ALÍCIA CRUZ MARQUES DOS SANTOS

**IDENTIFICAÇÃO DE FATORES DE INFLUÊNCIA PARA MODELO DE
AMOSTRAGEM PARA ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS EM FEIXES DE TUBOS
DE PERMUTADORES CALOR**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia Mecânica da Universidade Federal
de Pernambuco, como requisito parcial para a
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia
Mecânica.

Aprovado em: 18/12/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. MSc. Luiz Adeildo da Silva Júnior (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Francisco Espedito de Lima (Avaliador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Janaina Moreira de Meneses (Avaliadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Este trabalho é dedicado a Deus, minha família, meu namorado e meus amigos,
pois sem eles eu nada seria.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em princípio a Deus, por me dar a força, paciência e sabedoria necessária para o desenvolvimento deste trabalho e do curso como um todo.

Também agradeço à minha família, por todo o amor, exemplo de caráter, apoio, paciência e ensinamentos que me foram dados durante toda minha vida e formação, em especial aos meus pais, Andréa Cruz e Sérgio Júnior, às minhas avós e avô, Maria José Cruz (avó), Maria José Cruz (tia-avó), Elizabeth Gomes e Sérgio Antônio (*in memorian*), e a meu amado irmão, Andres Cruz.

Da mesma forma, agradeço a Adeilton Junior, meu namorado e companheiro, por toda a cumplicidade, força e amor que sempre me deu, é de suma importância na minha vida como um todo, mas em especial agradeço à forma que me encorajou e me inspirou a continuar durante o nosso curso e durante este trabalho.

Sou muito grata também ao Professor Adeildo por ter me acolhido e confiado no meu potencial para o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço à forma como compartilhou seus conhecimentos comigo, com sua extensa experiência e competência pacientemente me orientou e contribuiu para que eu pudesse realizar este desafio.

Gostaria de agradecer também a todos os meus amigos, que estiveram comigo em algum período da minha vida e se mantêm perto até hoje, mesmo à distância, assim como a todas as pessoas que me ensinaram algo ao longo deste caminho e me ajudaram a me formar quem sou.

Agradeço também aos colegas de trabalho que tive ao longo da minha carreira até então, em especial a quem compartilhou momentos e aprendizados comigo na EIXO Consultoria e na AMBEV, que também se tornaram amigos, pudemos aprender e crescer juntos técnica e pessoalmente.

Agradeço aos professores que contribuíram para a minha formação como um todo, desde o ensino primário até à universidade, que me passaram seus conhecimentos e lutaram para que o aprendizado fosse continuado.

Não menos importante, gostaria de agradecer também a mim, pela determinação e resiliência para conquistar este sonho, apesar de todos os obstáculos e percalços, tudo deu certo.

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê” (Schopenhauer, 2016).

RESUMO

Este presente trabalho aborda a identificação e análise de fatores de influência na definição de um modelo de amostragem para ensaios não destrutivos em feixes de tubos de permutadores de calor. O objetivo geral foi melhorar a precisão na estimativa da vida útil dos feixes de permutadores de calor não sujeitos a chammas, permitindo a análise de um subconjunto representativo de tubos ou definindo, quando necessária, a inspeção total dos mesmos. Para atingir esse objetivo, utilizou-se uma metodologia que combinou análise documental de relatórios de inspeção de IRIS e Corrente Parasita (CP), cálculos direcionados à criticidade dos danos e desenvolvimento de tabelas e indicadores como o “*SCORE*”, integrados a um modelo de amostragem baseado em critérios técnicos e normativos. A pesquisa também incluiu a consolidação de dados obtidos em inspeções anteriores para fundamentar o modelo proposto. Os resultados demonstraram que a metodologia desenvolvida é promissora, proporcionando uma abordagem estruturada para análise crítica dos fatores de influência. A proposta de modelo de amostragem mostrou ter grande potencial para redução do tempo e custo de manutenção, mantendo um elevado nível de segurança operacional e melhorando a assertividade na detecção de falhas. Conclui-se que este trabalho contribui diretamente para a otimização de processos de inspeção e manutenção, reforçando a relevância da padronização na análise de permutadores de calor e promovendo avanços tanto no campo acadêmico quanto na prática industrial. Limitações identificadas, como a dependência de dados futuros para validação completa, indicam oportunidades para a evolução do modelo proposto em estudos posteriores.

Palavras-chave: permutadores de calor; amostragem; ensaios não destrutivos; IRIS; Corrente Parasita; manutenção.

ABSTRACT

This study addresses the identification and analysis of influence factors in defining a sampling model for non-destructive testing (NDT) in heat exchanger tube bundles. The main objective was to improve the accuracy in estimating the service life of flame-free heat exchanger bundles by allowing the analysis of a representative subset of tubes or defining, when necessary, the total inspection of all tubes. To achieve this objective, a methodology was employed that combined a document analysis of inspection reports from IRIS and Eddy Current Testing (ECT), calculations directed at damage criticality, and the development of tables and indicators, such as the "SCORE," integrated into a sampling model based on technical and normative criteria. The research also included the consolidation of data obtained from previous inspections to support the proposed model. The results showed that the developed methodology is promising, providing a structured approach for critical analysis of influence factors. The proposed sampling model demonstrated great potential to reduce maintenance time and costs while maintaining a high level of operational safety and improving accuracy in fault detection. It is concluded that this study contributes directly to the optimization of inspection and maintenance processes, emphasizing the importance of standardization in the analysis of heat exchangers and promoting advances in both academic and industrial practices. Identified limitations, such as the reliance on future data for complete validation, highlight opportunities for further development of the proposed model in subsequent studies.

Keywords: heat exchangers; sampling; non-destructive testing; IRIS; Eddy Current Testing; maintenance.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|------------|---|----|
| Figura 1: | Permutador de calor casco e tubo..... | 20 |
| Figura 2: | Esboço de componentes de permutador de calor casco e tubo..... | 21 |
| Figura 3: | Permutador de calor casco e tubo com espelho fixo..... | 21 |
| Figura 4: | Permutador de calor casco e tubo com espelho flutuante (perfil)..... | 22 |
| Figura 5: | Permutador de calor casco e tubo com tubo em U (perfil)..... | 22 |
| Figura 6: | <i>Air cooler</i> (Resfriador a ar)..... | 23 |
| Figura 7: | Esboço de componentes de permutador de calor <i>air cooler</i> (perfil). | 24 |
| Figura 8: | Esquemático do funcionamento da propagação e reflexão do pulso no IRIS..... | 26 |
| Figura 9: | Representação de sonda utilizada em teste de corrente parasita em tubos metálicos..... | 28 |
| Figura 10: | Presença corrosão por erosão na região da curva em U de permutador de calor..... | 30 |
| Figura 11: | Presença corrosão por <i>pites</i> na região inferior da curva em U de permutador de calor..... | 31 |
| Figura 12: | Corrosão alveolar e incrustação em espelho de tubos de permutador de calor..... | 31 |
| Figura 13: | Trincamento em tubo de permutador de calor submetido a corrosão sob tensão (a) Superfície externa (b) Seção transversal axial..... | 31 |
| Figura 14: | Detalhe de tubos de aço carbono retirados para inspeção que apresentaram perda significativa de espessura por corrosão uniforme. As letras E e I identificam as superfícies externa e interna dos tubos, respectivamente..... | 32 |
| Figura 15: | Exemplificação de limpeza por varetamento de tubos de permutador de calor..... | 36 |
| Figura 16: | Exemplificação de limpeza interna dos tubos de permutador de calor por hidrojateamento..... | 36 |
| Figura 17: | Diagrama metodológico..... | 38 |
| Figura 18: | Depósitos sobre os tubos de permutador de calor..... | 45 |
| Figura 19: | Aparência do tubo de permutador de calor com corrosão uniforme fotografado por microscópio estéreo (a) parede externa; (b) parede interna..... | 45 |
| Figura 20: | Tubos com falha por trincamento por corrosão sob tensão (a) trinca na direção circunferencial e longitudinal e (b) trinca na direção circunferencial..... | 46 |
| Figura 21: | Materiais após 10 ciclos (240 h) de corrosão pura em (a) água deionizada e (b) 1300 ppm de solução de cloretos..... | 47 |
| Figura 22: | Feixe tubular com indicações de corrosão por <i>pit</i> na região inferior da curva em U de permutador de calor (foto de ensaio com líquido penetrante)..... | 48 |

| | | |
|------------|---|----|
| Figura 23: | Erosão em tubos em U..... | 48 |
| Figura 24: | Tipos de chicanas segmentadas e sua alteração de fluxo..... | 49 |
| Figura 25: | Corrosão acelerada sob uma chicana..... | 49 |
| Figura 26: | Corrosão por <i>pit</i> devido cavitação localizada em região das chicanas de um refeedor do tipo <i>kettle</i> | 50 |
| Figura 27: | Desgaste acelerado de região do feixe com impacto do fluido vindo de bocal de entrada do casco..... | 50 |
| Figura 28: | Esquema de permutador com fluxo bifásico e presença de chapa de sacrifício evitando impacto direto de fluxo no feixe..... | 51 |
| Figura 29: | Fatura em curva U em permutador de calor de alta pressão pela cristalização de cloreto de amônio..... | 52 |
| Figura 30: | Incrustações em espelhos e feixes de permutadores de calor..... | 53 |
| Figura 31: | Planta industrial petroquímica com permutadores de calor casco e tubo em paralelo (Imagem gerada artificialmente)..... | 54 |
| Figura 32: | Trecho de modelo de relatório de IRIS e CP contendo informações do feixe..... | 59 |
| Figura 33: | Trecho de modelo de relatório de IRIS e CP contendo informações sobre situação do feixe..... | 60 |
| Figura 34: | Modelos de amostragem de tubos conforme classes de marcação.. | 61 |
| Figura 35: | Giz industrial para marcação em metal..... | 65 |
| Figura 36: | Identificação matricial dos tubos de troca térmica..... | 66 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-----------|---|----|
| Tabela 1: | Modelo de tabela de influências e ocorrências por permutador..... | 57 |
| Tabela 2: | Condições operacionais e construtivas dos permutadores analisados na tabela de influências e ocorrências por permutador.... | 58 |
| Tabela 3: | Relação entre quantidade de tubos e tamanho da amostra..... | 64 |
| Tabela 4: | Relação entre fatores de influência e a quantidade de tubos acometidos e perdidos nos primeiros ensaios..... | 67 |
| Tabela 5: | Resultados de aprovação e reprovação dos feixes nos ensaios IRIS e CP subdividido por técnica de inspeção..... | 69 |

LISTA DE ABREVIACÕES

| | |
|--------|--|
| ABENDI | Associao Brasileira de Ensaio Não Destrutivos e Inspeções |
| ASME | <i>American Society of Mechanical Engineers</i> |
| API | <i>American Petroleum Institute</i> |
| CP | Corrente Parasita |
| END's | Ensaio Não Destrutivos |
| IRIS | <i>Internal Rotary Inspection System</i> (Sistema de Inspeção Rotativa Interna) |
| MTE | Ministério do Trabalho e Emprego |
| ODS | Objetivos de Desenvolvimento Sustentável |
| ONU | Organização das Nações Unidas |
| PIM | Planos de Inspeção e Manutenção |
| PLH | Profissional Legalmente Habilitada |

SUMÁRIO

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1. | INTRODUÇÃO | 15 |
| 1.1. | OBJETIVOS | 16 |
| 1.1.1. | Objetivo geral | 16 |
| 1.1.2. | Objetivos específicos..... | 16 |
| 1.2. | JUSTIFICATIVAS | 17 |
| 2. | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 19 |
| 2.1. | PERMUTADORES DE CALOR | 19 |
| 2.1.1. | Classificações e tipologias | 19 |
| 2.1.1.1. | Casco e Tubo | 20 |
| 2.1.1.2. | <i>Air Cooler</i> (resfriador a ar)..... | 23 |
| 2.2. | ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS (END'S)..... | 24 |
| 2.2.1. | Ensaio IRIS..... | 26 |
| 2.2.2. | Ensaio de correntes parasita..... | 27 |
| 2.3. | INTEGRIDADE ESTRUTURAL DE PERMUTADORES DE CALOR | 28 |
| 2.3.1. | Mecanismos de danos | 29 |
| 2.3.2. | Taxa de corrosão e vida residual..... | 33 |
| 2.3.3. | Manutenção de permutadores de calor | 34 |
| 3. | METODOLOGIA | 37 |
| 3.1. | CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA..... | 37 |
| 3.2. | ETAPAS DA PESQUISA..... | 37 |
| 3.3. | INSTRUMENTOS DE Coleta E MÉTODOS..... | 39 |
| 3.4. | IDENTIFICAÇÃO DE FATORES DE INFLUÊNCIA NA DEFINIÇÃO DO PERFIL DE AMOSTRAGEM..... | 39 |
| 3.5. | TABELAMENTO DOS FATORES DE INFLUÊNCIA E OCORRÊNCIAS POR PERMUTADOR | 40 |
| 3.6. | MODELO DE AMOSTRAGEM DE TUBOS DE PERMUTADORES | 41 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 3.7. | CONSOLIDAÇÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS | 42 |
| 4. | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 44 |
| 4.1. | IDENTIFICAÇÃO DE FATORES DE INFLUÊNCIA NA DEFINIÇÃO DO PERFIL DE AMOSTRAGEM | 44 |
| 4.2. | TABELAMENTO DOS FATORES DE INFLUÊNCIA E OCORRÊNCIAS POR PERMUTADOR | 56 |
| 4.3. | MODELO DE RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP E BASE DE DADOS | 59 |
| 4.4. | MODELOS DE AMOSTRAGEM DE TUBOS DE PERMUTADORES | 60 |
| 4.5. | IDENTIFICAÇÃO E MARCAÇÃO PRÉVIA DOS TUBOS NOS ESPELHOS DE FEIXES DE PERMUTADORES | 65 |
| 4.6. | CONSOLIDAÇÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS | 66 |
| 5. | CONCLUSÃO | 70 |
| 5.1. | CONTRIBUIÇÕES | 71 |
| 5.2. | LIMITAÇÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS | 72 |
| | REFERÊNCIAS | 74 |
| | ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP | 81 |
| | APÊNDICE A – EXEMPLAR DE APLICAÇÃO DE TABELA DE INFLUÊNCIAS E OCORRÊNCIAS POR PERMUTADOR | 124 |

1. INTRODUÇÃO

Permutadores ou trocadores de calor são equipamentos que têm a finalidade de realizar transferência de calor entre dois ou mais fluidos em diferentes temperaturas, assim como conceitua Zohuri (2017). Esses dispositivos são fundamentais em uma ampla gama de processos, como na indústria petroquímica e de refino. Esses componentes otimizam a transferência de calor, reduzindo custos operacionais e aumentando a eficiência energética dos processos, sendo imprescindíveis para atender às demandas ambientais e econômicas atuais (Liao *et al.*, 2021).

Assim como qualquer equipamento mecânico, um permutador de calor é propenso a falhas, que consistem em diversas questões que podem afetar o desempenho, a confiabilidade do equipamento e a continuidade do processo. Dentre as tipologias de falhas que podem apresentar um permutador de calor, as mais comuns são relacionadas às obstruções e perda de contenção ocasionados por processos corrosivos (Sabuni, 2023).

A falha prematura por corrosão dos feixes de tubos é notoriamente uma das principais e mais recorrentes causas de paradas não programadas de processos em instalações industriais, causando prejuízo acentuado na produtividade e no lucro de refinarias de petróleo, petroquímicas e demais plantas de processo (Adaptado de Thekkuden *et al.*, 2021).

Os ensaios não destrutivos (ENDs) de IRIS e Corrente Parasita (CP) são essenciais para a detecção precoce de falhas em tubos de permutadores de calor, permitindo acompanhar a espessura remanescente, estimar a vida útil residual e prevenir paradas não planejadas (Ezuber e Hossain, 2023). No entanto, a inspeção total dos tubos nem sempre é viável devido ao tempo e custo envolvidos, especialmente em plantas de processo com grandes quantidades de feixes e tubos, por isso, a inspeção amostral é adotada quando possível.

Entretanto, ainda que seja crucial a assertividade na determinação da vida residual de cada feixe de tubo, a amostragem realizada é frequentemente subjetiva e carece de critérios padronizados baseados em características construtivas e operacionais. Dada a criticidade desses componentes, falhas podem gerar custos elevados, graves riscos à segurança e interrupções operacionais, destacando a importância de otimizar as técnicas de inspeção para maior eficiência e segurança.

Este trabalho tem como objetivo a definição de critérios de amostragem de tubos para aplicação de ensaios não destrutivos, desenvolvendo modelo de amostragem e melhorando a assertividade da definição da vida remanescente de feixes de permutadores.

Neste estudo, foi empregada uma metodologia abrangente que combinou análise documental de relatórios de inspeção, consulta a normas técnicas e cálculos direcionados à criticidade dos danos observados em feixes de permutadores de calor. Por meio de tabelas de influências e ocorrências, consolidaram-se dados obtidos de inspeções anteriores realizadas com as técnicas de IRIS e Corrente Parasita (CP), permitindo o desenvolvimento de um modelo de amostragem estruturado em critérios técnicos e normativos.

Os resultados indicaram que o modelo proposto apresenta grande potencial para otimizar processos de inspeção, reduzindo o tempo e os custos associados, sem comprometer a segurança operacional. Além disso, o modelo foi capaz de definir amostragens mais representativas e, quando necessário, determinar a necessidade de inspeção total. Essas contribuições destacam a aplicabilidade prática do trabalho, reforçando sua relevância tanto para o setor industrial quanto para o desenvolvimento acadêmico.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

Melhorar a precisão na estimativa da vida útil dos feixes de permutadores de calor não sujeitos a chamas, permitindo a análise de um subconjunto representativo de tubos ou definindo, quando necessária, a inspeção total dos mesmos.

1.1.2. Objetivos específicos

Para que objetivo geral seja alcançado, faz-se necessário atingir os seguintes objetivos específicos:

- Identificar os fatores que podem influenciar a análise, localização e proporção tomada pelos mecanismos de corrosão, o que impacta no perfil de amostragem.
- Descrever os fatores de influência na amostragem, apontando seus mecanismos de danos previstos e as regiões mais suscetíveis a falhas.
- Desenvolver modelo de amostragem capaz de melhorar a confiabilidade das previsões de falhas e de manutenção.

1.2. JUSTIFICATIVAS

Pela importância dos permutadores na eficiência e na confiabilidade da operação de processos industriais, torna-se essencial a implementação de métodos que possam melhorar a assertividade na previsão da vida útil de componentes críticos como os feixes de tubos de permutadores de calor, de forma a minimizar as falhas inesperadas nestes componentes (Zhang; Wang, 2022). Desse modo, dado que as práticas atuais muitas vezes são limitadas por grandes custos e longos períodos de inspeção, o desenvolvimento de um modelo aprimorado de amostragem pode minorar essas limitações, estando em consonância com os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) definidos pela Organização das Nações Unidas (ONU), mais precisamente com o ODS nº9, que versa sobre a industrialização inclusiva, juntamente com a modernização tecnológica e inovação sustentável com foco em um setor de alto valor agregado (ONU, [2024]).

De forma complementar, este trabalho dá continuidade às pesquisas desenvolvidas e aos avanços alcançados no trabalho "*Modelos de Amostragem e Representação Estatística para Avaliação de Vida Residual de Feixes de Tubos de Permutadores de Calor*" produzido por Alves (2024), onde foram realizadas análises detalhadas que resultaram na identificação de áreas críticas nos espelhos de feixes, além da introdução de representações estatísticas por meio de gráficos *Boxplot* para avaliação de vida residual. Ampliando essas contribuições, o presente estudo avança na construção de modelos de amostragem aplicáveis a diferentes materiais e condições operacionais, como também explora a robustez das metodologias ao considerar fatores como a natureza dos fluidos e parâmetros operacionais.

A Norma Regulamentadora NR-13 (Caldeiras, vasos de pressão, tubulações e tanques metálicos de armazenamento) refere-se à atuação do engenheiro mecânico

como Profissional Legalmente Habilitado (PLH), atribuindo-lhe a responsabilidade técnica pela gestão de equipamentos sujeitos à pressão, como os permutadores de calor. Essa responsabilidade inclui a elaboração de planos de Inspeção e Manutenção (PIM), a supervisão de ensaios não destrutivos e a análise de riscos associados à integridade estrutural desses equipamentos (MTE, 2014). Nesse sentido, a elaboração deste trabalho contribui diretamente para o papel do PLH, ao oferecer uma abordagem metodológica para a identificação eficiente de regiões críticas nos permutadores de calor, otimizando os processos de inspeção e manutenção, como também promovendo maior segurança operacional. Além de alinhar-se aos requisitos da NR-13 e fortalecer a conformidade normativa, o desenvolvimento deste estudo colabora com o aprimoramento das competências técnicas necessárias à prática do engenheiro mecânico, destacando sua relevância na resolução de desafios industriais.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção será desenvolvido o embasamento teórico essencial ao trabalho no tocante à permutadores de calor, ensaios não destrutivos, processos de inspeção e manutenção, mecanismos de danos e avaliação de vida residual. Em cada tópico abordado, serão consideradas e explicitadas as normativas aplicáveis, assegurando o alinhamento com as regulamentações técnicas pertinentes.

2.1. PERMUTADORES DE CALOR

Os permutadores de calor são dispositivos projetados para transferir energia térmica entre dois ou mais fluidos sem permitir sua mistura, sendo amplamente utilizados em setores industriais como o petroquímico (Zohuri, 2017). A transferência de calor ocorre através de superfícies condutoras, como tubos ou placas, construídas com materiais metálicos ou poliméricos adequados às condições operacionais (Macchi; Astolfi, 2016). Esses equipamentos são essenciais para otimizar processos industriais e além atenderem a seus requisitos de projeto, devem permitir dilatações térmicas, ser de fácil limpeza e ter robustez mecânica, também podendo ser projetados para resistir à corrosão e incrustação (Ludwig, 2001; Lieberman e Lieberman, 2008; Sabino, 2008).

2.1.1. Classificações e tipologias

Os permutadores de calor possuem características construtivas específicas que variam de acordo com o tipo de permutador e a aplicação necessária. De forma geral, eles são projetados para maximizar a transferência de calor entre dois ou mais fluidos. A construção de um permutador de calor depende de fatores como o tipo de fluido, a pressão de operação, a temperatura, a eficiência térmica desejada e os requisitos de manutenção (Zohuri, 2017).

Os permutadores podem ser classificados por suas diferenciações em fatores como tipos de serviço, aspectos construtivos, mecanismos de transferência de calor, número de fluidos de troca térmica e tipos de superfície de troca térmica (Sabino, 2008).

2.1.1.1. Casco e Tubo

Permutadores de calor do tipo casco e tubo são os mais comuns em aplicações industriais. Eles consistem basicamente em um casco que envolve um feixe de tubos, pelo qual os fluidos circulam tanto internamente quanto externamente (Çengel; Ghajar, 2012; Silveira, 2008), como pode ser visualizado na Figura 1.

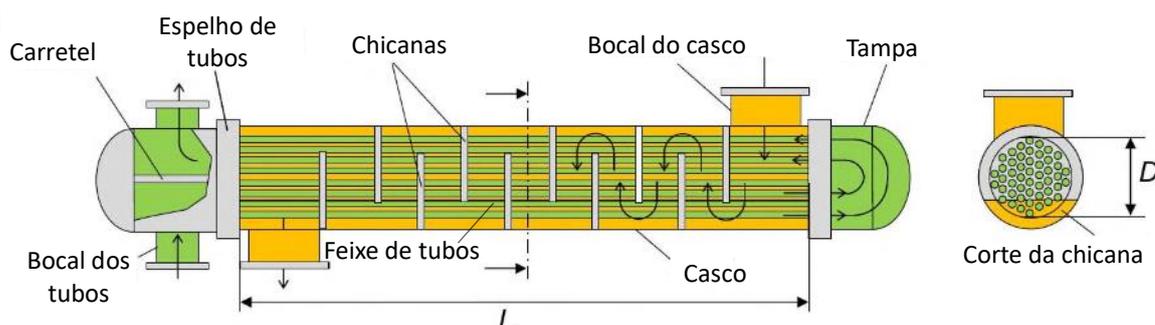
Figura 1: Permutador de calor casco e tubo



Fonte: Alfa Laval (2024a).

Permutadores deste tipo são amplamente aplicados na indústria de petróleo e refino, adequados para suportar condições extremas, como temperaturas muito baixas ou elevadas, altas pressões e vácuos intensos, além de operarem com diversos tipos de fluidos e oferecerem uma área extensa para troca térmica. Contudo, possuem um tamanho significativo e requerem uma estrutura robusta. Esses equipamentos são projetados seguindo normas para vasos de pressão, mas normas adicionais são aplicadas para componentes específicos, como o casco, a tampa e os carretéis (Barboza, 2009), como pode ser visto na Figura 2.

Figura 2: Esboço de componentes de permutador de calor casco e tubo

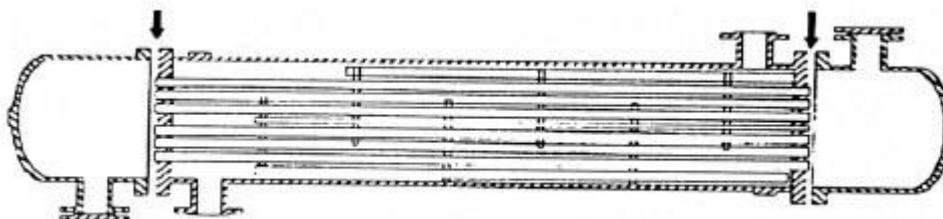


Fonte: Adaptado de Macchi e Astolfi (2016).

De acordo com as características construtivas do feixe de tubos, esses permutadores podem ser divididos em três categorias principais segundo Horta e Sousa (2004):

- Permutadores com espelho fixo: O feixe de tubos é rigidamente fixado ao casco por meio de solda (vide Figura 3).

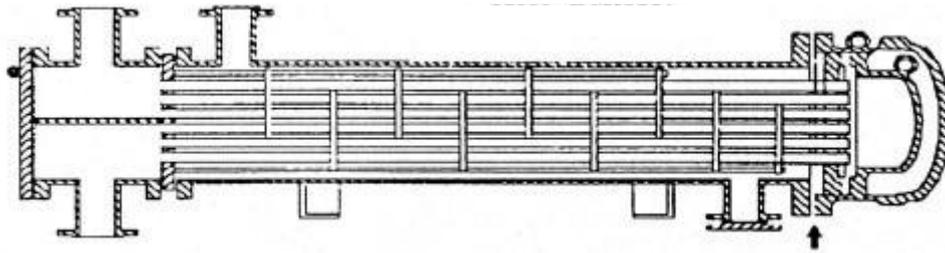
Figura 3: Permutador de calor casco e tubo com espelho fixo



Fonte: Horta & Sousa (2004).

- Permutadores com espelho flutuante: Um dos espelhos é fixo ao casco, ao passo que o outro possui liberdade para se dilatar longitudinalmente, de forma independente do costado (vide Figura 4).

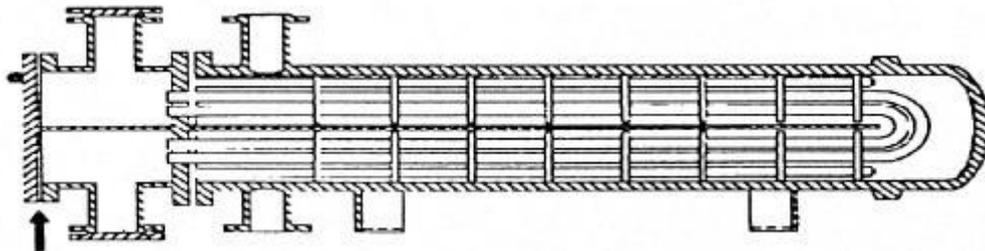
Figura 4: Permutador de calor casco e tubo com espelho flutuante (perfil)



Fonte: Horta & Sousa (2004).

- Permutadores com tubos em U: Possui tubos curvados em formato de "U", que são presos a um espelho solidário ao casco. O feixe de tubos pode se dilatar longitudinalmente sem restrições impostas pelo costado (vide Figura 5).

Figura 5: Permutador de calor casco e tubo com tubo em U (perfil)



Fonte: Horta & Sousa (2004).

Além das classificações descritas acima, esse tipo de permutador possui diversas subcategorias padronizadas pela norma TEMA, que é redigida pela associação de fabricantes líderes de permutadores de calor casco e tubo e desenvolve diretrizes e especificações que garantam confiabilidade, eficiência e segurança na operação desses dispositivos industriais críticos (*Tubular Exchanger Manufacturers Association, 2007*). A norma estabelece padrões para o projeto, fabricação e uso de permutadores de calor tubulares, ela classifica estes equipamentos em três classes:

- **Classe R** – Indicada para situações de processamento exigentes, como petróleo e produtos químicos, onde preza-se pela garantia de segurança e durabilidade;

- **Classe C** – Projetada para operações moderadas, com foco na economia máxima e no menor tamanho, de acordo com as demandas do serviço;
- **Classe B** – Adequada para utilização em processos químicos.

2.1.1.2. *Air Cooler* (resfriador a ar)

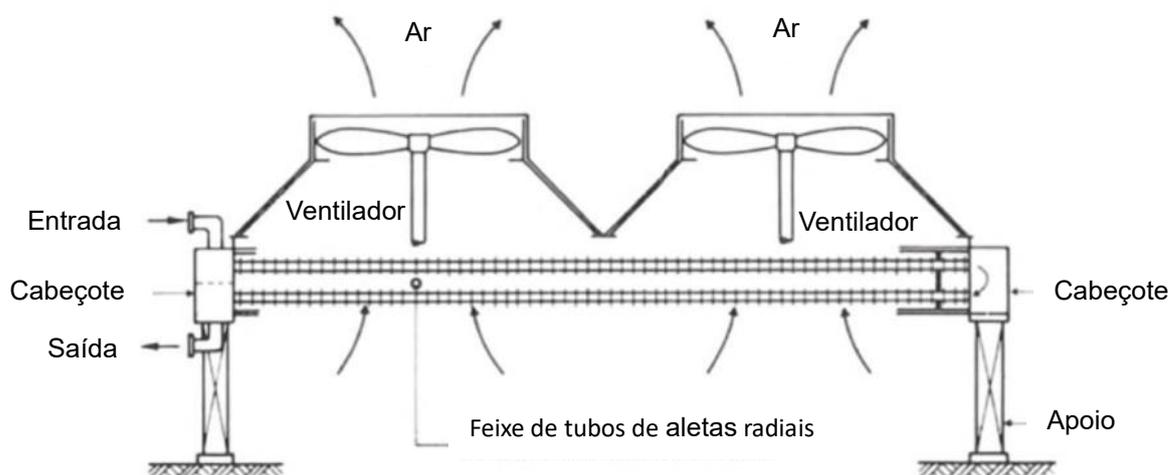
Os *air-coolers* são permutadores de calor que são projetados de forma que o fluido de maior temperatura escoa pelo interior de tubos aletados, enquanto um sistema de ventilação força o escoamento de ar sobre eles (Figuras 6 e 7), permitindo a transferência de calor e dissipando-o na atmosfera. Esta tecnologia, embora não seja a mais eficiente em troca térmica e suas dimensões externas sejam relativamente grandes para aumentar a área e eficiência desta troca, não apresenta restrições de local de operação na planta industrial, é especialmente utilizada em locais com acesso limitado à água ou quando há inviabilidade na utilização de outros fluidos (Passos *et al.*, 2015).

Figura 6: *Air cooler* (Resfriador a ar)



Fonte: Alfa Laval (2024b).

Figura 7: Esboço de componentes de permutador de calor *air cooler* (perfil)



Fonte: Adaptado de Macchi e Astolfi (2016).

Os resfriadores a ar desempenham um papel essencial e são amplamente aplicados nas indústrias petroquímicas, são construídos para suportar ambientes industriais exigentes. Normalmente, instalados no estágio a jusante do processo, esses equipamentos operam continuamente em um ambiente com fluxo multifásico, onde ocorrem transferências de calor e massa, além de enfrentar condições complexas de corrosão. Quando ocorre um vazamento nos tubos do resfriador a ar, paradas inesperadas e interrupções de produção tornam-se frequentes. Destaca-se que, em caso de vazamentos no conjunto de tubos, esse ocorre diretamente para a atmosfera, não apenas impactando as etapas subsequentes de produção, mas também podendo comprometer o funcionamento regular do processo atmosférico e influenciando diretamente em questões de segurança, por envolver perda de contenção (Adaptado de Li *et al.*, 2024).

2.2. ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS (END'S)

Para a detecção de descontinuidade e de defeitos, é necessário dispor de técnicas de inspeção que não comprometam a integridade do componente ou equipamento. Segundo a Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos e Inspeções (ABENDI, 2022) e Leite (2014), os Ensaios Não Destrutivos (END's) são técnicas amplamente utilizadas nas indústrias na inspeção de materiais e

equipamentos para a detecção de defeitos e análise de falhas com o intuito de encontrar características constitutivas das descontinuidades e verificação as propriedades mecânicas, visando manter a efetividade da função do equipamento e evitar acidentes advindos das possíveis anomalias encontradas.

Segundo Leite (2014), os métodos de END's são eficientes no que diz respeito a detecção do teor de defeitos de um determinado material e do monitoramento da degradação em serviço de componentes, equipamentos, peças e estruturas. Por este motivo, são muito utilizados em indústrias do setor petroquímico devido ao nível de segurança exigido nestas instalações.

Como versa a *American Society of Mechanical Engineers* (ASME, 2019), existem diversas opções de END's que podem ser utilizados em caldeiras e vasos de pressão (equipamentos primordiais em petroquímicas), sendo os principais:

- Ensaios/inspeções visuais;
- Ensaio de líquido penetrante;
- Ensaio de partículas magnéticas;
- Ensaio eletromagnético (*Eddy Current*);
- Radiografia;
- Ultrassom

A norma N-2511 (Petrobras, 2024) padroniza os serviços de inspeção em feixes tubulares. Em sua revisão E, a norma primeiramente requer uma inspeção visual dos tubos, sequencialmente a realização de Ensaios Não Destrutivos (END's), assim como recomenda a eventual remoção de ao menos um tubo por passe para complementar os END's ou substituí-los, quando estes não forem possíveis de realização.

A análise dos tubos removidos proporciona alta confiabilidade dos dados, pois envolve inspeção visual direta e análise dimensional precisa com o uso de relógio comparador. Esse processo permite uma avaliação detalhada das perdas de espessura e identifica características morfológicas associadas aos processos de deterioração presentes, porém apresenta um nível elevado de subjetividade e depende substancialmente da experiência do inspetor para uma avaliação precisa da condição do feixe (API, 2001).

Neste trabalho, serão enfatizados os tipos de ensaios eletromagnéticos e de ultrassom por serem objetos de estudo da pesquisa. Nos tópicos a seguir, serão explicados tais métodos bem como suas características.

2.2.1. Ensaio IRIS

O ensaio IRIS (*Internal Rotary Inspection System* – sigla traduzida do inglês: Sistema Interno de Inspeção Rotativa) trata-se de uma técnica pulso-eco de ultrassom por imersão que se baseia no princípio de reflexão de ondas sonoras, no qual se utiliza uma coluna d'água para transmitir o sinal ultrassônico até a peça inspecionada – normalmente tubos metálicos (Santin, 2003).

O princípio de funcionamento deste tipo de ensaio é caracterizado pela transmissão do pulso-eco através da água até a parede interna do tubo, onde a maior porcentagem da energia é refletida de volta ao transdutor. Uma pequena parte dessa energia (cerca de 10%) é transmitida pela parede do tubo e, posteriormente, refletida na parede externa do tubo em direção à parede interna. Novamente, uma pequena parcela do sinal é transmitida para a água e retorna para o transdutor. Os dois pulsos refletidos que retornam ao transdutor geram sinais elétricos que são defasados pelo tempo necessário para o ultrassom percorrer a distância entre as paredes interna e externa (ou seja, 2 vezes a espessura do tubo, considerando a emissão e o retorno do sinal à parede interna). Desse modo, a espessura do tubo pode ser medida através da defasagem entre as duas reflexões (Madureira *et al.*, 2004). O esquemático do princípio de funcionamento da emissão e reflexão do sinal do pulso-eco é mostrado na Figura 8.

Figura 8: Esquemático do funcionamento da propagação e reflexão do pulso no IRIS



Fonte: Ferraresi *et al.* (2021).

Ao passo que a sonda é puxada ao longo do tubo, o movimento rotativo do cabeçote que contém o espelho de reflexão resulta em uma varredura helicoidal, possibilitando o escaneamento por completo do tubo e, conseqüentemente, a detecção de possíveis degradações na superfície interna do tubo (corrosão, abrasão e furos) que são representados em diversos *softwares* e em diversas formas de visualização, sendo o espectro dos ecos sônicos o mais comumente utilizado (Ferraresi *et al.*, 2021).

O IRIS é principalmente utilizado em ensaios de tubos de aço carbono e de outros materiais ferromagnéticos (não excluindo a utilização em materiais não-magnéticos) e, por segurança, adota-se como resposta do procedimento a espessura mínima observada no tubo ensaiado (Al-Qadeeb, 2005).

Todo o procedimento do teste é padronizado e normatizado através da NBR-16342, norma esta que estabelece os requisitos mínimos para a realização do ensaio IRIS, bem como a avaliação dos resultados, detalhamento sobre a calibração e ajustes no sistema de medição e requisitos legais para registros de resultados e padrões de referência (ABNT, 2021).

2.2.2. Ensaio de correntes parasita

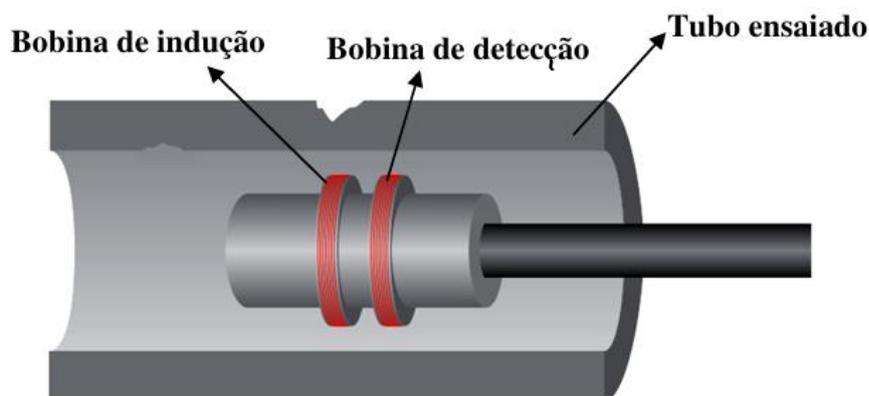
Também conhecido por Teste *Eddy Current* ou Correntes de Foucault, este ensaio baseia-se no princípio da indução de campos magnéticos por meio da passagem de corrente elétrica alternada por uma bobina, gerando um campo na região interna e ao redor desta última. Caso um material metálico seja posicionado próximo a esta bobina, induzirá uma corrente secundária (parasita), alterando as características do campo magnético (ASM International, 2018).

Tal alteração provocará a variação da impedância da bobina e, desse modo, consegue-se obter dados sobre o material inserido no procedimento, como a condutividade elétrica, volume de material, a permeabilidade magnética e a integridade do material (defeitos, descontinuidades, trincas etc). Esta interação relaciona-se com a distância de separação entre a bobina e a peça metálica (distância esta conhecida como *lift-off*), em que se alterando esta distância ocorrerá também a mudança mútua dos circuitos (Olympus, 2022).

Em tubos de permutadores de calor, por exemplo, é utilizado este princípio da variação da impedância da bobina para detectar falhas como variações de espessura

do tubo, trincas, descontinuidades, furos, etc. O ensaio é realizado inserindo no tubo uma sonda composta por duas bobinas (uma de indução e outra de detecção) conforme a Figura 9 (Shull, 2002).

Figura 9: Representação de sonda utilizada em teste de corrente parasita em tubos metálicos



Fonte: Adaptado de Olympus (2022).

A normatização do teste é feita seguindo os preceitos estabelecidos na NBR-15193, que dita sobre a preparação do tubo-padrão de referência de acordo com o material que será ensaiado, bem como outras variáveis e parâmetros necessários para o controle de qualidade e padronização do teste (ABNT, 2020).

2.3. INTEGRIDADE ESTRUTURAL DE PERMUTADORES DE CALOR

Conforme exposto por Reynolds (1993), a integridade refere-se ao estado de um equipamento que assegura sua capacidade de suportar determinadas condições de operação sem a ocorrência da falha. Equipamentos estáticos frequentemente acumulam uma quantidade significativa de energia nos fluidos que armazenam ou transportam, o que pode resultar em incidentes de diferentes magnitudes. Por isso, é necessário tomar medidas para mantê-los dentro de limites aceitáveis de risco de falha, para tanto, alguns países estabeleceram órgãos reguladores responsáveis por definir requisitos mínimos de segurança para equipamentos que operam sob pressão.

A Norma Regulamentadora NR-13 (MTE, 2014) define requisitos mínimos essenciais para a gestão da integridade estrutural de caldeiras a vapor, vasos de pressão, tubulações e tanques metálicos de armazenamento, abrangendo aspectos

relacionados à instalação, inspeção, operação e manutenção desses equipamentos. As orientações fornecidas por esta norma têm como objetivo não apenas preservar o funcionamento e aumentar a durabilidade dos equipamentos, mas também assegurar a segurança dos trabalhadores, minimizando o risco de acidentes.

He *et al.* (2021), por exemplo, observaram que altas temperaturas concentradas em áreas específicas dos tubos promovem o colapso de bolhas e a corrosão por cavitação, resultando em pontos de perda de massa nessas regiões. Isto, corrobora que a integridade estrutural dos permutadores de calor está diretamente relacionada às condições de operação do equipamento, ademais, conforme Reynolds (2002), esta integridade pode e deve ser mantida por meio da aplicação de procedimentos corretos, treinamento adequado e disciplina dos trabalhadores.

2.3.1. Mecanismos de danos

Os problemas mais comumente encontrados em permutadores de calor de plantas de processo são relacionados à vibração, vazamento térmico, falha prematura do material dos tubos e incrustações (Sabuni, 2023; Shaikh *et al.*, 2023). No entanto, a falha prematura por corrosão dos feixes de tubos destaca-se como uma das principais, críticas e mais frequentes causas de paradas não programadas em processos industriais. Esse tipo de falha impacta significativamente a produtividade e o lucro de instalações como refinarias de petróleo, por exemplo (Thekkuden *et al.*, 2021).

A API RP 581 (API, 2020) destaca a importância de compreender os fenômenos de deterioração, pois, atualmente, não basta basear os planos de inspeção apenas no histórico do equipamento; é essencial conhecer o processo, as condições operacionais e os mecanismos de dano para desenvolver um programa de inspeção eficaz que aumente as chances de identificar danos potenciais. Enquanto isto, A API RP 571 (API, 2003) serve como uma referência valiosa na avaliação de integridade dos permutadores de calor, relacionando os principais mecanismos de danos às condições operacionais desses equipamentos.

Os materiais empregados na engenharia interagem, em diferentes níveis, com o ambiente ao qual estão expostos. Essa interação costuma resultar na deterioração do material, levando à perda de suas propriedades, ao desgaste ou a falhas (Smith;

Hashemi, 2012). Os mecanismos de deterioração variam conforme o tipo de material e as condições do ambiente, mas, em geral, a degradação que resulta da interação entre material e ambiente, com perda das propriedades do material, é denominada corrosão (ASM, 2000).

A corrosão pode ser causada por reações químicas entre as superfícies metálicas e o fluido do processo, levando à degradação do metal ao longo do tempo. Esse processo pode ser acelerado por fatores como altas temperaturas, fluidos agressivos, seleção inadequada de materiais, ou medidas inadequadas de proteção contra corrosão e comprometer a integridade estrutural do componente (Sabuni, 2023).

O fenômeno da corrosão foi classificado por Ali *et al.* (2021) em diferentes categorias, levando em consideração características morfológicas e os fatores que o desencadeiam. Entre essas categorias, estão: corrosão por erosão (Figura 10), corrosão por *pites* (Figura 11), corrosão alveolar (Figura 12), corrosão por frestas, corrosão intergranular (ao longo do contorno de grãos), corrosão galvânica, trincamento por corrosão sob tensão (*Stress corrosion cracking*) (Figura 13), corrosão em ambientes marítimos, corrosão uniforme (Figura 14) e corrosão associada à atividade microbiana.

Figura 10: Presença corrosão por erosão na região da curva em U de permutador de calor



Fonte: Zhang *et al.* (2021b)

Figura 11: Presença corrosão por *pites* na região inferior da curva em U de permutador de calor



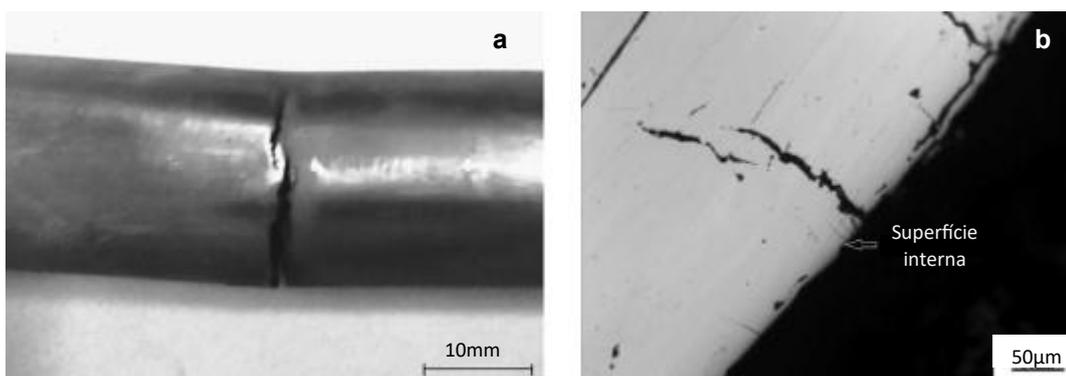
Fonte: Costa *et al.* (2014).

Figura 12: Corrosão alveolar e incrustação em espelho de tubos de permutador de calor



Fonte: Sousa ([2024]).

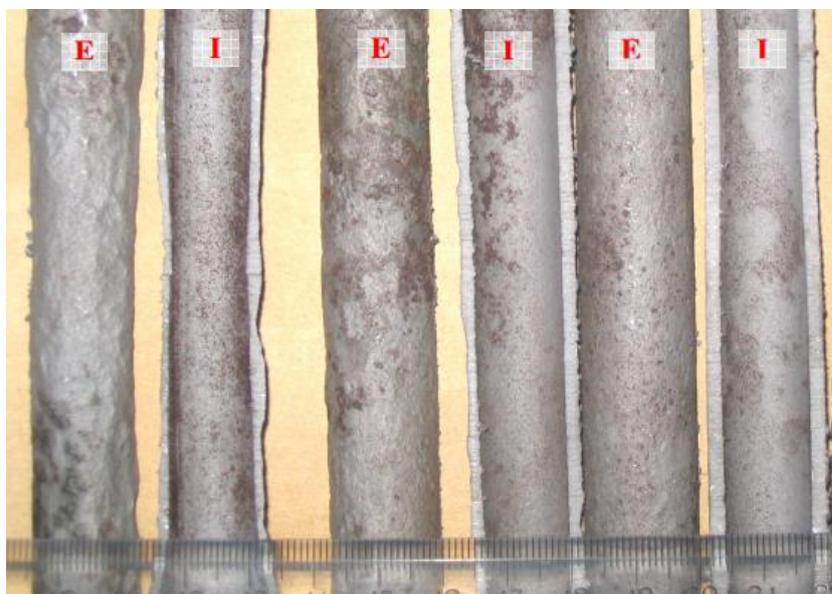
Figura 13: Trincamento em tubo de permutador de calor submetido a corrosão sob tensão (a) Superfície externa (b) Seção transversal axial



Fonte: Adaptado de Xu *et al.* (2015).

O processo de remoção de tubos visto na Figura 14 é geralmente realizado quando é necessário um exame físico detalhado para verificar danos internos, garantir a precisão das medições ou cumprir exigências normativas. Este método, que pode complementar as análises de END's, adiciona maior confiabilidade aos dados, pois a inspeção é realizada tanto por análise visual interna e externa, permitindo identificação das características morfológicas dos processos de corrosão presentes, quanto por análise dimensional com auxílio de relógio comparador, possibilitando a medição precisa de perdas de espessuras (API, 2001).

Figura 14: Detalhe de tubos de aço carbono retirados para inspeção que apresentaram perda significativa de espessura por corrosão uniforme. As letras E e I identificam as superfícies externa e interna dos tubos, respectivamente



Fonte: Sabino (2008).

Dada a relevância deste efeito, testes de corrosão são realizados para verificar a resistência dos materiais dos tubos à corrosão. Geralmente, apenas uma pequena amostra de tubos é submetida a essas avaliações, que podem incluir os seguintes tipos de testes: corrosão uniforme, corrosão intergranular, corrosão sob tensão, corrosão por *pitting*, corrosão em frestas e corrosão por esfoliação (Thulukkanam, 2013).

2.3.2. Taxa de corrosão e vida residual

Para calcular a taxa de corrosão nos tubos de feixes de permutadores, é indispensável realizar a medição de espessura em amostras, seja por ensaios não destrutivos, seja por medição direta em tubos retirados do sistema (Horta & Sousa, 2004). A partir dos dados coletados, é possível avaliar a viabilidade da continuidade da operação do feixe ao calcular sua vida útil residual, estabelecendo uma estimativa estatística de sua duração.

Tipicamente, duas análises matemáticas diferentes são utilizadas para estimar a probabilidade de falha por perda de metal de tubos como consequência do mecanismo de corrosão. De maneira mais adequada ao contexto específico de análise, é possível determinar a taxa de corrosão do feixe de tubos através da fórmula a seguir, adaptada do método padrão API 570 (API, 2023):

$$TC = \frac{e_{nom} - e_{min,atual}}{t} \quad (1)$$

Onde,

TC = Taxa de corrosão do feixe de tubos (mm/ano);

E_{nom} = Espessura nominal dos tubos (mm);

$E_{min,atual}$ = Espessura atual mínima detectada no ensaio do feixe de tubos (mm);

t = Tempo entre as inspeções das espessuras relacionadas (anos).

A vida residual ou vida remanescente, como bem expressada na NR-13 (MTE, 2014), é uma estimativa do tempo de vida útil restante do um equipamento, baseada em dados obtidos por meio de ensaios e testes direcionados ao monitoramento dos efeitos dos mecanismos de dano presentes. Para o caso em estudo, ela pode ser calculada a partir da seguinte fórmula, também adaptada da norma API 570 (API, 2023):

$$VR = \frac{e_{min,atual} - e_{min,adm}}{TC} \quad (2)$$

Onde,

- VR = Vida residual do feixe de tubos (ano);
- $e_{min,adm}$ = Espessura mínima admissível calculada de acordo com os critérios de projeto, com base apenas na pressão interna (mm).

Esses indicadores permitem prever e monitorar a deterioração ao longo do tempo, evitando interrupções imprevistas e assegurando a continuidade do funcionamento do equipamento. Além disso, possibilitam a otimização de custos de manutenção por meio de planos de inspeção e de manutenção, ajustados conforme a intensidade dos processos corrosivos, assim como facilitam a aquisição planejada de peças de reposição e garantem a segurança dos trabalhadores (Velázquez, 2015).

Esses dados podem ser melhor analisados através do gráfico *Boxplot*, que permite uma avaliação visual das vidas residuais de feixes de permutadores de calor, facilitando decisões fundamentadas sobre manutenção e operação. Essa ferramenta estatística reduz incertezas, aumenta a confiança nas recomendações e, ao ser comparada em condições similares, ajuda a identificar variabilidades de desempenho, otimizar operações e melhorar a eficiência e a confiabilidade dos equipamentos (Alves, 2024).

2.3.3. Manutenção de permutadores de calor

Durante as paradas programadas de uma unidade em uma planta de processo, os equipamentos são liberados simultaneamente para inspeção e manutenção. Nessas situações, a questão de perda de lucro demanda que o tempo de inatividade seja otimizado, de modo que todas as tarefas programadas sejam executadas com a qualidade desejada no menor tempo possível. Portanto, a realização desses ensaios tem como principal objetivo aumentar a agilidade na coleta de dados, que servirão de base para avaliar a condição física real dos tubos do feixe, resultando em uma diminuição do tempo necessário para determinar a necessidade de reparos nos tubos e, assim, reduzir o tempo de manutenção desses componentes (SABINO, 2008).

As estratégias de manutenção para equipamentos frequentemente variam conforme a maturidade da organização, em operações mais maduras, há uma combinação entre as abordagens preventiva, preditiva, detectiva e corretiva — para corrigir falhas ou melhorar o desempenho de equipamentos que não estão atingindo

os níveis esperados. Tais práticas incluem monitoramento contínuo e análise de dados para adaptar o planejamento e reduzir o risco de falhas (Morais, 2024).

Em empresas onde essas metodologias são menos aplicadas, predomina uma manutenção corretiva ou preventiva básica, sem um diagnóstico detalhado, o que pode impactar a eficiência do planejamento e aumentar o risco operacional devido à falta de previsibilidade das condições dos ativos. Essas abordagens mais sofisticadas de manutenção são especialmente eficazes em ambientes industriais, permitindo ajustes que evitam falhas inesperadas, prolongam a vida útil do equipamento e contribuem para a segurança e economia em longo prazo (Costa, 2024).

Visando então a redução das manutenções corretivas, a manutenção da eficiência dos permutadores de calor e assim a manutenção da qualidade de funcionamento do equipamento na produção, são efetuadas as paradas de produção citadas para a realização de manutenções. Sendo os principais procedimentos de manutenção executados para que sejam garantidos esses critérios (DOI, 2015):

- **Raqueteamento e desraqueteamento:** são instaladas e desinstaladas raquetes (acessório que bloqueia fluxo de tubulação ou equipamento) para fechamento estanque nas linhas e para testes de um equipamento ou sistema operacional;
- **Aperto de flanges:** deve ser realizado até a tensão recomendada seguindo procedimento correto;
- **Troca de juntas:** manutenção corretiva realizada para série de possíveis defeitos observados em juntas;
- **Mandrilhamento:** O mandrilhamento é o processo de expandir a extremidade do tubo contra a parede interna do furo do espelho, criando uma vedação que impede vazamentos sob pressão operacional e assegura que o tubo permaneça fixo em condições de operação.
- **Limpeza por hidrojateamento:** limpeza com água pressurizada que objetiva retirar as obstruções e incrustações externas decorrentes da operação do equipamento;
- **Varetamento:** limpeza geralmente realizada com água e uma escova rotativa que tem a função de retirar as incrustações localizadas internamente aos tubos do permutador de calor.

Em especial, a realização dos procedimentos de varetamento (Figura 15) e de hidrojateamento (Figura 16) nos feixes de tubos são de suma importância para a posterior realização dos ensaios IRIS e CP, pois, justamente reduz as incrustações e obstruções internas aos tubos.

Figura 15: Exemplificação de limpeza por varetamento de tubos de permutador de calor



Fonte: CHILLER Peças ([2024]).

Figura 16: Exemplificação de limpeza interna dos tubos de permutador de calor por hidrojateamento



Fonte: Serck ([2024]).

Porém, como não há padrões claramente definidos para a limpeza de componentes de permutadores de calor, é essencial que esses critérios sejam discutidos e acordados previamente entre a Manutenção e a Operação e definido um padrão de limpeza, considerando fatores pertinentes ao bom funcionamento da opção e seus custos (DOI, 2015).

3. METODOLOGIA

Neste capítulo, serão identificados o método, as ferramentas e as etapas desta pesquisa.

3.1. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

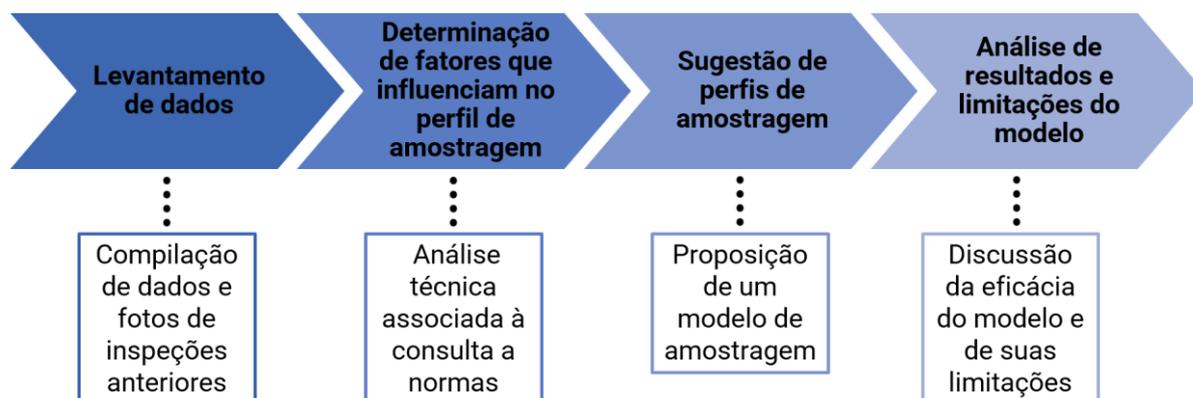
Este trabalho, de acordo com a explanação trazida por Gil (2017), Prodanov e de Freitas (2013), trata-se de uma pesquisa qualificada como desenvolvimento experimental quanto à sua finalidade, por sistematicamente utilizar conhecimentos derivados da pesquisa e experiência visando a melhoria do método de amostragem dos tubos de permutadores de calor. Quanto aos seus objetivos, é uma pesquisa descritiva com características exploratórias, por descrever e organizar dados de inspeções de permutadores de calor, detalhando características e identificando padrões e relações nos dados, e além disso, por explorar novas abordagens para análises e modelos de amostragem ainda não aplicados, buscando estruturar e compreender melhor os fatores de influência e ocorrências.

A pesquisa é caracterizada como combinada ou qualitativa e quantitativa quanto à sua abordagem, objetivando criar pontos de relação e de convergência, e assim, melhor compreender os fenômenos em estudo a partir da conjunção complementar dos dados. Do mesmo modo, estes dados serão obtidos através de documentação fornecida para estudo (fotos, resultados de ensaios não destrutivos, entre outros materiais), o que caracteriza a pesquisa como documental. O método científico utilizado será o indutivo.

3.2. ETAPAS DA PESQUISA

O diagrama da Figura 17 apresenta uma visão ampliada das etapas estruturais deste trabalho:

Figura 17: Diagrama metodológico



Fonte: A autora (2024).

Cada etapa do trabalho está descrita a seguir:

- **Levantamento de dados:** essas etapas presaram por reunir e compilar dados e fotos de inspeções anteriores dos permutadores de calor em estudo, com o foco em regiões que apresentaram falhas críticas, especialmente por corrosão.
- **Determinação de fatores de influência:** foi realizada uma análise exploratória e descritiva baseada em abordagens teóricas, que combinaram análise técnica com a consulta a normas para identificar e descrever os fatores de influência e seus danos associados. Além disso, com essa abordagem foram compreendidos os padrões de degradação e apontadas as regiões com maior incidência de danos relacionados aos fatores identificados.
- **Proposição de Modelo de Amostragem:** A partir dos dados e definições anteriores, foi proposto um modelo de amostragem capaz de priorizar e abranger as áreas críticas evidenciadas, assim como determinar a necessidade de inspeção total ou não.
- **Análise de resultados e limitações do modelo:** foram apresentados os resultados obtidos com o desenvolvimento da pesquisa, assim como a compilação dos resultados das inspeções anteriores. Foi discutida a eficácia do modelo, e apontadas as suas limitações, partindo da comparação entre os achados do estudo e as limitações impostas pela falta de dados adicionais para validação empírica completa.

3.3. INSTRUMENTOS DE COLETA E MÉTODOS

Neste trabalho, a coleta de dados será realizada a partir de documentação pré-existente, de literatura específica. Estes dados incluem:

- **Inspecção visual:** Fotografias de tubos inspecionados, que puderam revelar a extensão de corrosão, desgaste e possíveis falhas em regiões específicas. A análise destas fotos foi fundamental para identificar as regiões críticas e padrões de degradação nos feixes de tubos.
- **Relatórios dos ensaios não destrutivos (END's):** os dados de ensaios por Corrente Parasita e IRIS foram utilizados para verificar a integridade estrutural dos tubos, fornecendo uma visão detalhada sobre a ocorrência de defeitos internos, características dos permutadores e espessuras residuais. As documentações das inspeções passadas forneceram informações sobre a vida útil calculada dos tubos de diferentes permutadores em diferentes condições de operação. Esses dados ajudaram a relacionar o nível de degradação com os parâmetros operacionais e materiais dos tubos.

Por conseguinte, esses dados foram tratados e analisados com o auxílio das seguintes ferramentas e métodos:

- **Análise Comparativa e exploratória:** Utilizando técnicas de análise visual, de dados e pesquisa, as regiões críticas foram identificadas com base nas informações de falhas prévias. Esta análise permitiu correlacionar as áreas de maior incidência de corrosão com características específicas dos permutadores de calor.

3.4. IDENTIFICAÇÃO DE FATORES DE INFLUÊNCIA NA DEFINIÇÃO DO PERFIL DE AMOSTRAGEM

Para identificar os fatores que influenciam na definição do perfil de amostragem para ensaios não destrutivos em feixes de tubos de permutadores de calor, foram realizadas abordagens teóricas, combinando análise técnica e consulta a normas. Essa pesquisa, apoiada por uma consulta da literatura normativa, incluindo normas técnicas aplicáveis, como ASME e API, forneceu diretrizes específicas para construção, inspeção e manutenção de permutadores de calor.

Dentro da análise técnica, a caracterização destes fatores foi também analisada e constituída através de:

- **Inspeção visual preliminar:** na qual foram observadas áreas com sinais de corrosão externa, vazamentos ou outros danos visíveis.
- **Avaliação de condições de trabalho:** que consistiu na análise dos parâmetros operacionais, identificando potenciais desvios que poderiam acelerar o desgaste dos componentes.
- **Pesquisa de casos de falhas:** por meio da análise de registros disponíveis sobre paradas por ocorrências de falhas nesses componentes.

Com essas abordagens, foi possível identificar os fatores mais relevantes que orientaram, de forma precisa e fundamentada, a definição do perfil de amostragem. Constatou-se, assim, que esse processo pode ser influenciado por uma variedade de fatores. O entendimento detalhado dessas influências é fundamental para garantir a precisão e a eficiência dos ensaios, bem como para otimizar os recursos empregados e a confiabilidade na estimativa da vida útil dos equipamentos

3.5. TABELAMENTO DOS FATORES DE INFLUÊNCIA E OCORRÊNCIAS POR PERMUTADOR

Para realizar o tabelamento dos fatores de influência e ocorrências por permutador, foram adotadas abordagens específicas, combinando análise dos dados de inspeção, aplicação de critérios definidos e cálculos direcionados à quantificação das condições dos feixes de tubos. Esse processo assegurou uma visão ampla da interferência dos fatores de influência na integridade dos permutadores.

A construção da tabela baseou-se nos seguintes procedimentos:

- **Centralização dos fatores de influência:** os fatores descritos no trabalho foram organizados na tabela considerando os seus piores cenários possíveis em relação ao tamanho amostral (mais próximo da inspeção 100%), com o objetivo de permitir uma análise da criticidade geral dos danos em cada permutador. Esses fatores serão classificados como "esperados", "detectados" ou "não esperados ou não detectados", para possibilitar uma visão abrangente e criteriosa das condições observadas.

- **Registro de ocorrências:** para cada fator detectado, foi determinado que deverá ser contabilizado o número de ocorrências em cada inspeção, possibilitando uma visão quantitativa e específica do impacto de cada fator no feixe de tubos do permutador analisado.
- **Cálculo do Indicador “SCORE”:** Esse indicador foi definido como o somatório total dos tubos impactados por todos os fatores de influência identificados no feixe, dividida pela quantidade total de tubos do permutador, refletindo a condição geral do equipamento e permitindo uma análise cumulativa dos danos

3.6. MODELO DE AMOSTRAGEM DE TUBOS DE PERMUTADORES

Para estabelecer e refinar os modelos de amostragem para inspeções de IRIS e Corrente Parasita (CP) em feixes de tubos de permutadores de calor foi utilizada uma abordagem fundamentada no trabalho de Alves (2024), que propõe três classes de amostragem baseadas em fatores como condições operacionais, histórico de manutenção e características dos fluidos e equipamentos. Essa abordagem foi refinada associada à definição dos fatores de Influência de amostra realizada no presente trabalho.

A metodologia de desenvolvimento do modelo seguiu os seguintes passos:

- **Classificação de amostragens por classes (A, B e C):** foram definidas três classes de amostragem que determinam a distribuição das amostras e se especificam em amostragem uniforme, amostragem direcionada ou inspeção completa (100% dos tubos), respectivamente. O arranjo dos fatores que descrevem cada classe foi ajustado de acordo com características específicas relacionada à criticidade e localização dos fatores de influência, como a uniformidade dos danos (Classe A), a localização de regiões críticas previamente identificadas (Classe B) e a necessidade de avaliação completa devido à criticidade operacional ou características dos fluidos (Classe C).
- **Integração com o indicador “SCORE” e tabela de influências:** o “SCORE”, criado com base nos fatores de influência descritos na Tabela de influências e ocorrências por permutador (Tabela 1), foi elaborado para correlacionar diretamente a condição geral do equipamento com a classe de amostragem mais apropriada. Esse indicador quantifica a severidade dos danos e orienta a definição da classe.

- **Definição de tamanhos de amostras:** um modelo foi indicado como diretriz inicial para determinação dos tamanhos das amostras, havendo sido previamente aplicado durante as inspeções iniciais dos permutadores em estudo, devendo ser refinado nas inspeções futuras. Ele explora a relação entre o número de tubos e a quantidade de amostras e foi documentado em tabela. Essa relação não foi considerada absoluta, visto que cada permutador deve ser avaliado individualmente, levando em conta os fatores de influência e as condições específicas do equipamento. Para tanto, também foram apontados os fatores que influenciam na determinação e variação do tamanho amostral, devendo ser analisados a partir da Tabela de Influências e Ocorrências por Permutador (Tabela 1).

Essa metodologia visa assegurar maior precisão na análise das condições dos feixes de tubos, otimiza os recursos aplicados nas inspeções e contribui para a elaboração de estratégias mais direcionadas, garantindo segurança operacional e confiabilidade no planejamento de manutenção. A abordagem é dinâmica, requerendo ajustes conforme novos dados de inspeções futuras e alterações em condições operacionais forem integrados ao processo.

3.7. CONSOLIDAÇÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

Foi realizada a consolidação dos dados obtidos por meio da execução das técnicas de inspeção IRIS e CP durante as primeiras inspeções realizadas nos feixes de tubos de permutadores de calor em estudo, analisando e agrupando os resultados de maneira concisa. Esta consolidação se constitui como base para comparações futuras, identificação de oportunidades de melhoria e orientação de decisões estratégicas no planejamento de manutenção e otimização dos equipamentos. Além disso, será possível identificar padrões de falhas, avaliar a eficiência dos métodos de inspeção, e fornecer subsídios para decisões.

As etapas metodológicas se descrevem como:

- **Organização dos dados:** os dados de inspeção foram organizados em tabelas que relacionam fatores de influência identificados durante os ensaios, quantidade de tubos acometidos por cada fator de influência, percentual de tubos acometidos em relação ao total inspecionado, quantidade de tubos

classificados como “perdidos” (vida residual inferior a 6 anos) e seu impacto percentual. Essa estrutura objetivou a identificação precisa das principais falhas e da gravidade das mesmas, além de destacar as interações entre diferentes fatores de influência.

- **Análise dos fatores de influência:** foi realizado um cruzamento dos dados dos ensaios para avaliar a interferência dos fatores de influência (como corrosão, obstrução e outros danos) sobre a integridade dos tubos e sua recorrência. Uma análise secundária foi conduzida para identificar casos em que um mesmo tubo estava associado a múltiplos fatores, evitando somas cumulativas que pudessem distorcer os resultados. Essa abordagem garante uma visão holística dos impactos dos danos sobre os feixes.
- **Crterios para aprovaço e reprovaço dos feixes:** para avaliar a condiço dos feixes inspecionados, foi definido um critrio principal de reprovaço baseado no impacto na eficiêcia térmica do equipamento. O critrio estabelece que feixes com 20% ou mais de tubos classificados como "perdidos" são considerados reprovados, entretanto, em situaçoes emergenciais pode-se flexibilizar esse limite, desde que a segurana operacional não seja comprometida.
- **Comparaço entre as técnicas de inspeço (CP e IRIS):** os dados foram organizados para comparar os índices de aprovaço e reprovaço entre as duas técnicas de inspeço, avaliando a similaridade das metodologias aplicadas e verificando o cenário geral das condiçoes dos feixes.

A análise integrada visa não apenas melhorar a representatividade dos dados de inspeço, mas também embasar decisões operacionais mais eficientes, reforçando a relevância do modelo de amostragem e otimizando os recursos aplicados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na presente seção serão apresentados e interpretados os dados obtidos na pesquisa. Os resultados, serão descritos de forma objetiva, para a formação de análises qualitativas e quantitativas. Em seguida, após a análise dos dados, serão então identificados possíveis padrões, convergências, discrepâncias e a relevância dos achados.

4.1. IDENTIFICAÇÃO DE FATORES DE INFLUÊNCIA NA DEFINIÇÃO DO PERFIL DE AMOSTRAGEM

Os fatores de influência na definição do perfil de amostragem abrangem desde características intrínsecas do equipamento, como o tipo de material e a quantidade de tubos, até aspectos relacionados às condições operacionais e ao histórico de manutenção. Além disso, as limitações práticas, como o tempo disponível para a inspeção, também desempenham um papel significativo na escolha do perfil de amostragem.

Com as metodologias de pesquisa descritas na seção anterior, foi possível detalhar os fatores que devem ser considerados para a definição do perfil de amostragem como possíveis influentes nos mecanismos de corrosão abordados. Esses fatores supracitados são descritos a seguir segmentados de acordo com o conjunto de aspectos dos permutadores aos quais fazem referência, entretanto, na prática, os fatores não se limitam a estes considerados inicialmente e poderão ser implementados em inspeções futura, inclusive com retirada de fatores inicialmente considerados:

Segundo as condições de integridade estrutural atual:

- a) **Aspectos de acúmulo de resíduos ao longo do feixe:** Identificar pontos de maior deposição é crucial para definir áreas críticas que devem ser priorizadas na amostragem, pois esses locais podem favorecer processos corrosivos localizados (Figura 18);

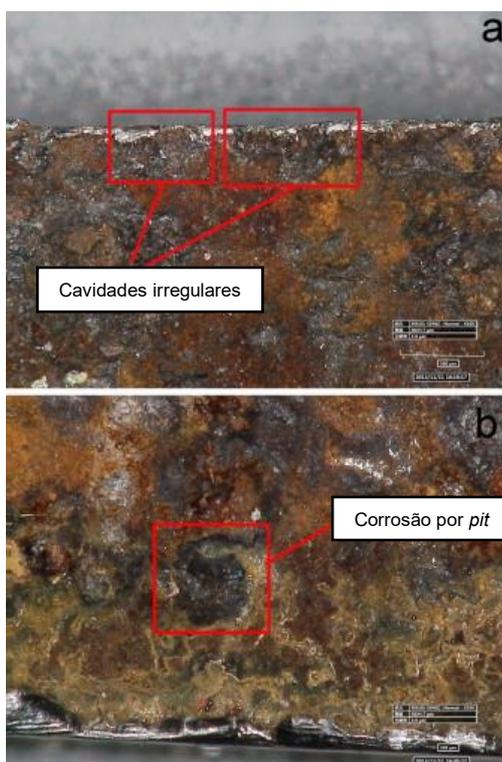
Figura 18: Depósitos sobre os tubos de permutador de calor



Fonte: Costa *et al.* (2014).

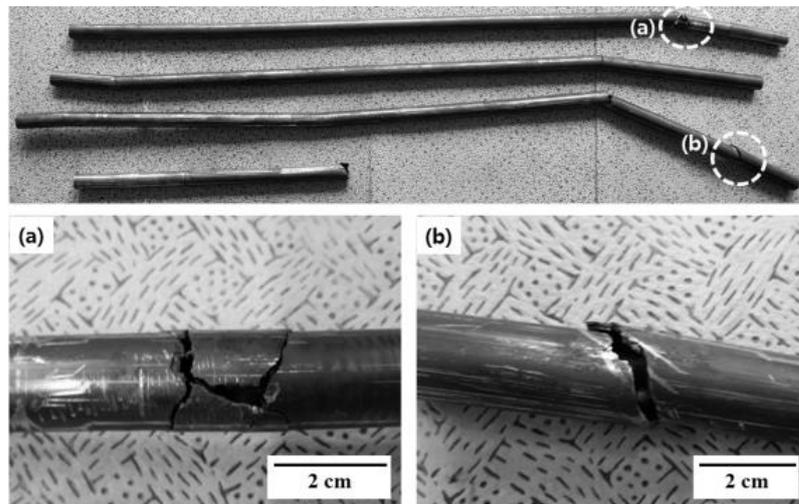
- b) **Tipos de danos ocasionados pelo fluido:** O fluido pode causar corrosão por perda de massa (como *pitting* ou corrosão generalizada), como pode ser visto na Figura 19, ou trincamento por corrosão sob tensão, como visto nas Figura 20. Cada tipo de dano possui padrões específicos de ocorrência, guiando a amostragem para áreas mais propensas a falhas;

Figura 19: Aparência do tubo de permutador de calor com corrosão uniforme fotografado por microscópio estéreo (a) parede externa; (b) parede interna



Fonte: Hu *et al.* (2015).

Figura 20: Tubos com falha por trincamento por corrosão sob tensão (a) trinca na direção circunferencial e longitudinal e (b) trinca na direção circunferencial



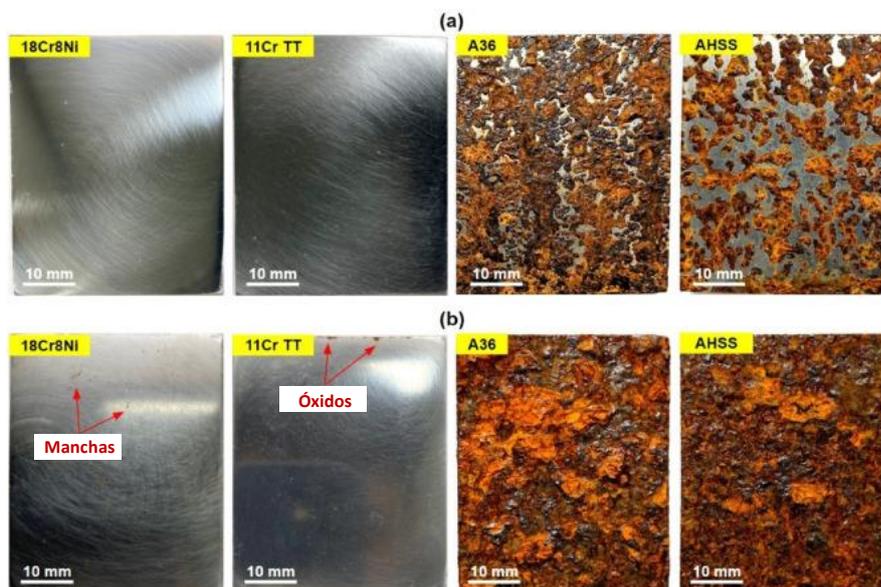
Fonte: Cho *et al.* (2019).

Segundo aspectos construtivos:

- c) **Tipo de permutador:** O tipo de permutador afeta o risco associado a vazamentos e corrosão;
- *Air Coolers:* Um vazamento em *air coolers* expõe o fluido diretamente ao ambiente, podendo causar impactos ambientais ou riscos à segurança, dependendo da toxicidade, inflamabilidade ou reatividade do fluido. Isso exige maior atenção em áreas expostas a condições climáticas (como chuva e salinidade), onde corrosão atmosférica é mais intensa. Devido à esta característica de perda de contenção diretamente para o ambiente externo ao equipamento, indica-se que a amostragem dos tubos dos *air coolers* seja 100%.
 - Casco e Tubo: Vazamentos em permutadores casco e tubo normalmente resultam na interação entre os dois fluidos de troca térmica. Isso pode comprometer a eficiência do processo, causar danos a equipamentos adjacentes ou riscos à segurança. A inspeção deve priorizar áreas sujeitas a ataques corrosivos internos, especialmente em fluidos incompatíveis. Nessa configuração de permutador, vazamentos ocorrem para dentro do casco, diferentemente dos *air coolers*.
- d) **Material dos tubos:** Materiais menos resistentes à corrosão como aço carbono, alumínio e ligas de cobre, por exemplo, exigem maior atenção na

inspeção de áreas propensas a ataque químico ou eletroquímico, como pode ser diferenciado na Figura 21;

Figura 21: Materiais após 10 ciclos (240 h) de corrosão pura em (a) água deionizada e (b) 1300 ppm de solução de cloretos



Fonte: Souza *et al.* (2024).

- e) **Quantidade de tubos:** Um maior número de tubos dificulta a inspeção completa, tornando necessário priorizar amostragem em regiões críticas quando possível. Já uma quantidade pequena de tubos facilita a inspeção total;
- f) **Feixes com curvas (tubos em “U”):** As curvas aumentam o risco de corrosão e erosão devido à mudança na direção do fluxo, que causa maior turbulência e desgaste mecânico. Essas áreas devem ser amostradas prioritariamente, pois concentram tensões mecânicas e químicas. Inclusive, essas são regiões onde os ensaios de IRIS e CP não são realizados, por não serem trechos retos de tubos, sendo uma limitação dessas técnicas de inspeção. Pode-se realizar ensaios de líquido penetrante juntamente com inspeção visual e retirada de tubos de amostra para contornar essa limitação, conforme Figuras 22 e 23, abaixo.

Figura 22: Feixe tubular com indicações de corrosão por *pit* na região inferior da curva em U de permutador de calor (foto de ensaio com líquido penetrante)



Fonte: Costa *et al.* (2014).

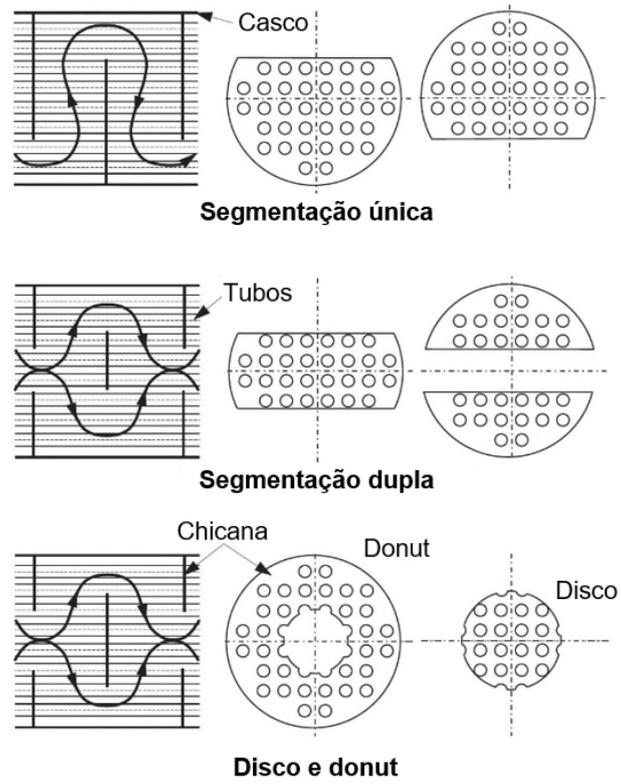
Figura 23: Erosão em tubos em U



Fonte: Fluid Dynamics ([2024])

- g) **Existência e formato das chicanas:** Chicanas direcionam o fluxo do fluido no lado do casco, mas causam áreas de turbulência ou estagnação (Figura 24). Isso pode acelerar corrosão localizada nas regiões dos tubos próximos às chicanas (Figura 25 e 26);

Figura 24: Tipos de chicanas segmentadas e sua alteração de fluxo



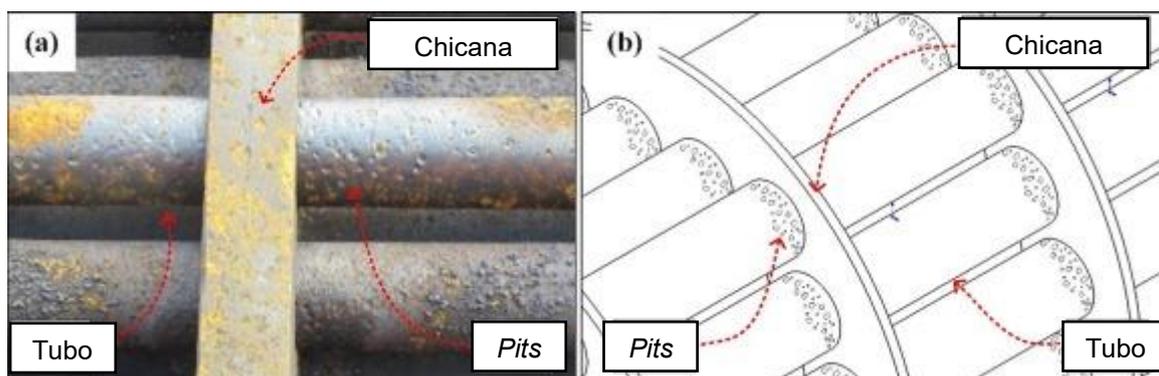
Fonte: Adaptado de Macchi e Astolfi (2016).

Figura 25: Corrosão acelerada sob uma chicana



Fonte: API (2003).

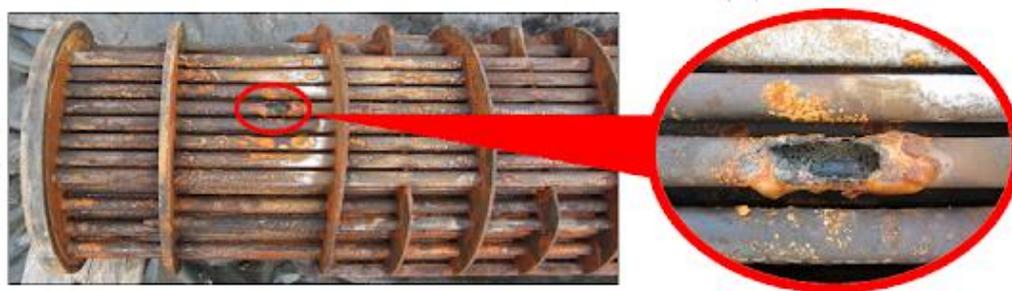
Figura 26: Corrosão por *pit* devido cavitação localizada em região das chicanas de um refeedor do tipo *kettle*



Fonte: Adaptado de He *et al.* (2021).

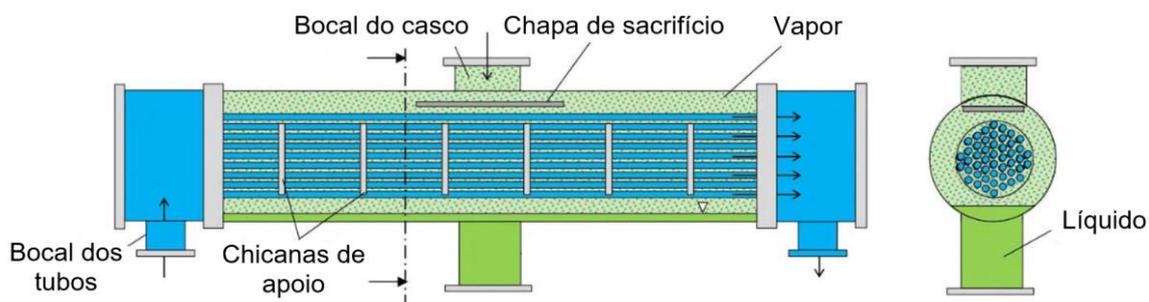
- h) **Quantidade e localização de bocais de entrada do casco:** Bocais de entrada direcionam os fluxos sobre os feixes, podendo gerar zonas de impacto ou desgaste acelerado (Figura 27). Mesmo com chapas de sacrifício (Figura 28), áreas próximas aos bocais devem ser priorizadas, pois concentram esforços térmicos e mecânicos;

Figura 27: Desgaste acelerado de região do feixe com impacto do fluido vindo de bocal de entrada do casco



Fonte: MONG HAI HEN ([2024]).

Figura 28: Esquema de permutador com fluxo bifásico e presença de chapa de sacrifício evitando impacto direto de fluxo no feixe



Fonte: Adaptado de Macchi e Astolfi (2016).

Segundo as condições de operação do equipamento:

- i) **Fluxos bifásicos:** Fluxos bifásicos (Figura 28) envolvem a mistura de dois estados de fase, como líquido e gás. A presença dessas fases pode gerar turbulência e cavitação, aumentando a taxa de corrosão e causando danos nas superfícies dos tubos. Na amostragem, deve-se priorizar áreas com transições de fase e alta turbulência, onde a corrosão pode ser mais agressiva;
- j) **Separação de fases:** A separação de fases ocorre quando os componentes de um fluido não se misturam. Como no caso da água salgada e petróleo há um acúmulo de água salgada na geratriz inferior, onde o risco de corrosão é maior. A amostragem deve focar nessas regiões de acúmulo, onde a corrosão localizada pode ser intensificada;
- k) **Velocidade de escoamento:** A velocidade de escoamento influencia a turbulência e o tipo de desgaste nas superfícies internas dos tubos. Altas velocidades podem causar erosão e corrosão por cavitação, enquanto baixas velocidades favorecem o acúmulo de partículas e corrosão sob depósitos;
- l) **Diferença de pressão entre fluidos:** A diferença de pressão entre os fluidos pode gerar tensões mecânicas, resultando em vazamentos, trincas e aumento da erosão. Também afeta a distribuição do fluxo e pode determinar a gravidade da contaminação em caso de vazamento. A amostragem deve priorizar as áreas com maior diferença de pressão, pois são mais suscetíveis a falhas estruturais;
- m) **Temperaturas máximas e mínimas operacionais:** As temperaturas extremas afetam a química dos fluidos e as propriedades dos materiais, podendo

acelerar processos de corrosão ou causar fragilização térmica. As flutuações térmicas podem também gerar tensões nos tubos.

Segundo características dos fluidos de operação:

- n) **Toxidade ou inflamabilidade dos fluidos:** Fluidos tóxicos ou inflamáveis exigem maior cuidado na definição das áreas de amostragem, priorizando locais com maior risco de vazamentos, como pontos de alta pressão ou proximidade com fontes de calor. A amostragem deve ser ampla e focada nessas regiões para garantir a segurança, prevenindo contaminações, incêndios ou explosões;
- o) **Fluido ácido ou hidrogenado:** Trincas induzidas por hidrogênio (Figura 29) são fatores relevantes na amostragem, especialmente em ambientes com presença de H_2S , meios ácidos ou água contaminada, principalmente com tensões elevadas. O modelo de amostragem deve priorizar regiões críticas, como áreas curvas, e considerar inspeções detalhadas com métodos capazes de identificar trincas internas;

Figura 29: Fratura em curva U em permutador de calor de alta pressão pela cristalização de cloreto de amônio



Fonte: Zhang *et al.* (2021a).

- p) **Reatividade entre os fluidos:** Fluidos reativos entre si, caso haja vazamento, podem gerar reações químicas perigosas, como formação de ácidos, corrosão acelerada ou até mesmo explosões. A amostragem deve ser ampla e focar em áreas onde esses fluidos possam entrar em contato, como em pontos de interseção ou junção de circuitos, para reduzir os riscos de falhas catastróficas;

- q) **Similaridade entre os fluidos:** Fluidos iguais, em termos de composição e propriedades, apresentam menos risco em caso de vazamento, pois não causam reações químicas adversas ao se misturarem. Neste caso, a amostragem pode ser menos rigorosa, podendo ser até mesmo reduzida;
- r) **Presença de sólidos suspensos nos fluidos:** A presença de sólidos suspensos aumenta o risco de erosão e obstrução dos tubos, como pode ser observado na Figura 30. Áreas com maior acúmulo de sólidos, como pontos de baixo fluxo ou curvas nos feixes, devem ser priorizadas na amostragem para monitorar desgaste e prevenir falhas estruturais;

Figura 30: Incrustações em espelhos e feixes de permutadores de calor



Fonte: KLAREN BV ([2024]).

- s) **Fluido viscoso:** Fluidos com alta viscosidade podem acumular facilmente em superfícies internas dos tubos, como também pode ser visto na Figura 30, dificultando a remoção de resíduos e aumentando o risco de corrosão sob depósitos. Podem também causar obstruções frequentes, promovendo desgaste e erosão nas áreas de maior acúmulo. Ao traçar o perfil de amostragem, é fundamental considerar essas regiões de acúmulo;

Segundo aspectos do processo:

- t) **Existência de equipamentos similares em bateria:** Quando há equipamentos similares em paralelo no processo (Figura 31), a falha de um deles pode ser compensada pelos outros. Neste caso, pode-se reduzir o perfil de amostragem, ou então, em caso maior risco de falha, utilizar-se da maior liberdade de tempo dada pela compensação dos outros permutadores para a execução de uma inspeção mais ampla;

Figura 31: Planta industrial petroquímica com permutadores de calor casco e tubo em paralelo (Imagem gerada artificialmente)



Fonte: Santos (2024).

- u) **Nível de criticidade do equipamento para o processo:** Equipamentos críticos são essenciais para a continuidade do processo, e sua falha pode resultar em grandes perdas operacionais ou impactos na segurança. A amostragem de permutadores críticos, deve ser ampla e priorizar as áreas mais suscetíveis a falhas;
- v) **Frequência de operação em capacidade total:** Equipamentos que operam frequentemente em sua capacidade máxima tendem a sofrer mais desgaste devido ao estresse térmico, pressão e vibração. A amostragem deve ser mais ampla nessas condições de operação.

Segundo aspectos de histórico do equipamento:

- w) **Histórico de manutenções anteriores:** O histórico de manutenções oferece informações sobre os problemas recorrentes e as falhas que ocorreram ao longo do tempo. Isso ajuda a identificar áreas do equipamento que exigem atenção extra, pois problemas repetidos indicam zonas vulneráveis. A amostragem deve ser direcionada para essas áreas críticas.

Segundo disponibilidade de tempo e recursos para inspeção:

- x) **Tipo de parada para intervenção:** Em caso de parada programada específica ou parcial da planta, é possível planejar amostragens mais amplas e minuciosas, em contrapartida, intervenções não programadas ou realizadas na parada geral da planta podem limitar o tempo e os recursos para uma amostragem completa, exigindo um foco maior nas áreas de risco mais imediato;
- y) **Disponibilidade de peças de reposição:** Quando as peças de reposição estão prontamente disponíveis, a manutenção e as reparações podem ser feitas rapidamente e com amostras relativamente menores. Em caso contrário, a escolha da amostragem pode ser mais conservadora e ampla, minimizando o impacto de não se ter peças de reposição imediatas;
- z) **Condições de acesso ao equipamento:** A dificuldade de acesso pode tender a restringir a amostragem a áreas mais acessíveis. Esse aspecto deve ser considerado para garantir que as zonas de risco, muitas vezes de difícil acesso, sejam adequadamente contempladas nas inspeções e determinar também o método de inspeção;

As variáveis apresentadas, por mais específicas que possam ser, se correlacionam de forma intrínseca, formando um conjunto de fatores que, muitas vezes, ocorrem simultaneamente e influenciam diretamente uns aos outros. Isso, evidencia a complexidade envolvida na avaliação da integridade dos permutadores de calor.

4.2. TABELAMENTO DOS FATORES DE INFLUÊNCIA E OCORRÊNCIAS POR PERMUTADOR

Sugere-se, conforme o exemplo a seguir, o mapeamento dos fatores de influência, descritos na seção anterior, para todos os permutadores de uma unidade para direcionar as inspeções e a criticidade dos danos esperados, auxiliando na definição do tamanho e distribuição da amostra.

Na tabela devem constar indicação se o fator de influência é “esperado”, “detectado” ou se é “não esperado ou não detectado”. Para a indicação detectado, deve-se conter o número de ocorrências naquela inspeção.

Para cada inspeção deve haver uma planilha semelhante, cujas informações alimentem uma planilha consolidada de todas as inspeções realizadas e contendo o total de casos de cada fator de influência para cada permutador. À medida que a quantidade de inspeções aumenta, a base de dados conterà mais informações de ocorrências e, servirá de base para tomadas de decisões sobre quantidade de tubos e regiões a serem ensaiadas (marcação dos espelhos). Da mesma forma, esse mapeamento se torna um recurso valioso na análise comparativa entre diferentes permutadores, identificando tendências e padrões que podem ser aplicados em programas preditivos e preventivos de manutenção.

A Tabela 1 apresenta um modelo de tabela de influências e ocorrências por permutador desenvolvido nesse trabalho, concatenando os critérios necessários para o crucial mapeamento dos fatores. O “*SCORE*” visto na mesma representa a somatória total dos tubos impactados por todos os fatores de influência identificados no feixe de cada permutador de calor dividido pela quantidade de tubos deste mesmo permutador. É importante destacar que um mesmo tubo pode ser contabilizado mais de uma vez, caso esteja associado a diferentes fatores de influência. Esse indicador foi desenvolvido para quantificar a condição geral do feixe, refletindo a presença acumulada de fatores críticos. O “*SCORE*” contribui diretamente para a definição do tamanho e da distribuição das amostras, garantindo maior precisão no planejamento das inspeções.

Tabela 1: Modelo de tabela de influências e ocorrências por permutador

| LEVANTAMENTO DE FATORES DE INFLUÊNCIA POR PERMUTADOR | | | | | |
|--|--------------|--------------------------------|-------|-------|-------|
| Profissional Legalmente Responsável (PLH): _____ | | | | | |
| Data da Inspeção: ___/___/_____ | | | | | |
| Obs: Preencher como na legenda ao lado e para "detectado", adicionar a quantidade de tubos acometidos. | | Esperado | | | |
| | | Detectado | | | |
| | | Não aplicável ou não detectado | | | |
| Fatores | Permutadores | | | | |
| | P - 1 | P - 2 | P - 3 | P - 4 | P - 5 |
| a) Acúmulo de resíduos ao longo do feixe | | | | | |
| b) Danos ocasionados pelo fluido | | | | | |
| c) Tipo de permutador - <i>Air Cooler</i> | | | | | |
| d) Material dos tubos pouco resistente a corrosão | | | | | |
| e) Quantidade de tubos > 100 | | | | | |
| f) Feixes com curvas (tubos em "U") | | | | | |
| g) Existência de chicanas | | | | | |
| h) Quantidade e localização de bocais de entrada do casco | | | | | |
| i) Fluxos bifásicos | | | | | |
| j) Separação de fases | | | | | |
| k) Velocidade de escoamento baixa | | | | | |
| l) Diferença de pressão entre fluidos alta (analisar tipos de fluidos) | | | | | |
| m) Grande diferença entre temperaturas máximas e mínimas operacionais | | | | | |
| n) Toxicidade ou inflamabilidade dos fluidos | | | | | |
| o) Fluido ácido ou hidrogenado | | | | | |
| p) Reatividade entre os fluidos | | | | | |
| q) Dissimilaridade entre os fluidos | | | | | |
| r) Presença de sólidos suspensos nos fluidos | | | | | |
| s) Fluido viscoso | | | | | |
| t) Não existência de equipamentos similares em bateria | | | | | |
| u) Nível de criticidade alto do equipamento para o processo | | | | | |
| v) Grande frequência de operação em capacidade total | | | | | |
| w) Histórico de manutenções anteriores ruim (apresentando muitas falhas) | | | | | |
| x) Tipo de parada para intervenção - parada geral | | | | | |
| y) Há disponibilidade de peças de reposição | | | | | |
| z) Má condição de acesso ao equipamento | | | | | |
| SCORE → | | | | | |

Fonte: A autora (2024).

O Apêndice A contém uma aplicação prática da tabela de influências e ocorrências por permutador elaborada com base no modelo da Tabela 1, preenchida com os dados coletados de cinco permutadores a partir de seus relatórios de inspeção de IRIS e CP. Os permutadores apresentados na tabela exemplificada no Apêndice A, possuem as condições operacionais e construtivas descritas na Tabela 2 a seguir:

Tabela 2: Condições operacionais e construtivas dos permutadores analisados na tabela de influências e ocorrências por permutador

| Permutador | Fluido do casco | Fluido dos tubos | Material dos tubos | Quantidade de tubos | Tipo/formato do feixe |
|------------|-------------------------|---|--------------------|---------------------|-----------------------|
| 1 | Petróleo | Diesel pesado | SA-249-TP317L | 642 | Flutuante |
| 2 | Vapor de topo | Petróleo | SA-214 | 1034 | Flutuante |
| 3 | Vapor d'água | Água de resfriamento | SA-179 | 217 | Tipo I |
| 4 | Hidrocarboneto | Água de resfriamento | SA-179 | 453 | Tipo I |
| 5 | Diesel + H ₂ | Diesel +H ₂ + H ₂ S | SA-213M-TP347 | 856 | Tipo U |

Fonte: A autora (2024).

A inclusão dessa tabela no apêndice permite ilustrar de forma clara como o modelo pode ser aplicado em diferentes cenários, fornecendo um panorama das condições operacionais e construtivas específicas de cada permutador. O Apêndice A também serve como base para uma breve análise de identificação dos fatores de influência mais recorrentes e críticos em uma amostra de cinco permutadores de construção e operação variados. Isso possibilita uma visão consolidada sobre as condições dos permutadores e como essas influências podem impactar a vida útil dos feixes tubulares.

Assim, o Apêndice A não apenas exemplifica a aplicação da estratégia do modelo, mas também reforça a importância do desenvolvimento de uma base de dados sólida e estruturada, indispensável para a gestão eficiente dos permutadores de calor e para o aprimoramento contínuo dos processos de manutenção.

4.3. MODELO DE RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP E BASE DE DADOS

O modelo de relatório e a base de dados de alguns dos principais ensaios de IRIS e CP utilizados neste trabalho estão detalhados no Anexo A, oferecendo uma visão estruturada e padronizada dos dados obtidos durante os ensaios não destrutivos dos cinco permutadores analisados no tópico anterior. Esse modelo permite a coleta de informações essenciais para análise da condição dos tubos nos feixes de permutadores de calor.

As Figuras 32 e 33 a seguir destacam alguns campos relevantes do relatório, indicando a origem dos dados coletados que são utilizados no preenchimento da tabela de influências e ocorrências por permutador. Esses campos incluem detalhes como as condições operacionais do equipamento no momento da inspeção, bem como a presença ou não de fatores como corrosão.

Figura 32: Trecho de modelo de relatório de IRIS e CP contendo informações do feixe

| INFORMAÇÕES DO FEIXE: | | | |
|----------------------------|---------------|----------------------------------|---------------|
| Ø DOS TUBOS (mm): | 25,40 | Nº DE TUBOS DO FEIXE: | 642 |
| ESPESSURA DOS TUBOS (mm): | 1,65 | Nº DE FILAS DE TUBOS DO FEIXE: | CHECAR |
| MATERIAL DOS TUBOS: | SA-249-TP317L | Nº DE COLUNAS DE TUBOS DO FEIXE: | CHECAR |
| TUBOS LISOS OU ALETADOS? | LISOS | FLUIDO DO CASCO: | PETRÓLEO |
| ALETAS FIXADAS POR GROOVE? | N/A | FLUIDO DOS TUBOS: | DIESEL PESADO |
| ALETAS LONG. OU CIRCUNF.? | N/A | FLUIDOS CONTÉM H2S? | NÃO |
| MATERIAL DAS ALETAS? | CHECAR | TIPO/FORMATO DO FEIXE: | FLUTUANTE |

Fonte: A autora (2024).

Figura 33: Trecho de modelo de relatório de IRIS e CP contendo informações sobre situação do feixe

| CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBSTRUÍDO | TUBO TAMPONADO | TUBO SUJO | VIDA ESTIMADA DO TUBO (EM ANOS) | AÇÕES DE RECOMENDAÇÕES POR TUBO | CONDIÇÃO OPERACIONAL POR TUBO |
|---|------------------|----------------|----------------|-----------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| MARCAR COM UM "X" ONDE APLICÁVEL CONFORME ACIMA | | | | | | | |
| X | | | | | 5,5 | TAMPONAR | PERDIDO |
| | X | | | | 60,2 | OK | OK! |
| | X | | | | 127,2 | OK | OK! |
| | X | | | | 104,9 | OK | OK! |

Fonte: A autora (2024).

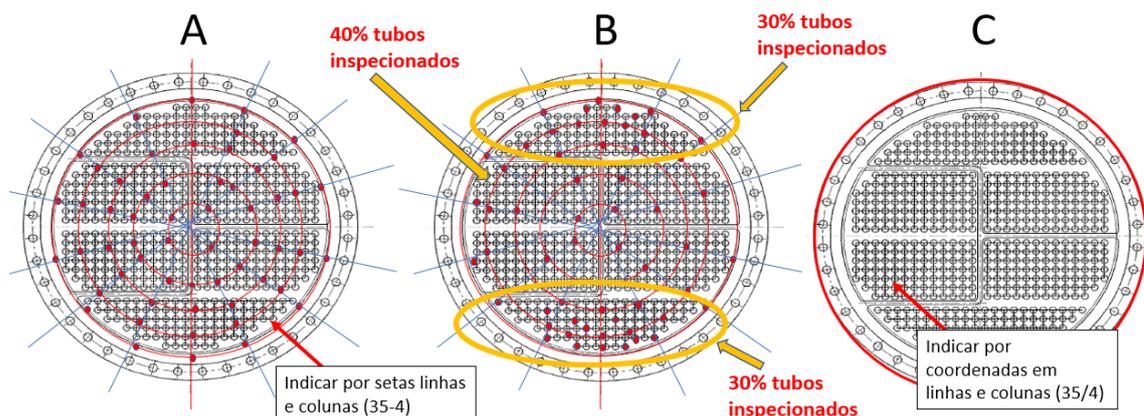
Esse modelo não apenas facilita a organização e interpretação dos dados, mas também serve como referência para a padronização de futuras inspeções, garantindo consistência na coleta de informações ao longo do tempo. Além disso, o formato adotado permite uma correlação direta entre os fatores de influência identificados no equipamento e os resultados obtidos nos ensaios, contribuindo para a elaboração de estratégias de amostragem mais precisas e direcionadas.

A utilização de um modelo padronizado como esse também possibilita a comparação entre diferentes permutadores ou mesmo entre inspeções realizadas em momentos distintos no mesmo equipamento. Dessa forma, ele desempenha um papel fundamental no desenvolvimento de um histórico confiável para os permutadores, que pode ser usado para análises preventivas e preditivas, como também em tomadas de decisão baseadas em dados.

4.4. MODELOS DE AMOSTRAGEM DE TUBOS DE PERMUTADORES

Essa seção é baseada no trabalho *Modelos de Amostragem e Representação Estatística para Avaliação de Vida Residual de Feixes de Tubos de Permutadores de Calor*, desenvolvido por Alves (2024). Para realização de ensaios de IRIS ou CP em permutadores de calor, a mesma sugere três classes para amostragens de tubos com marcações nos espelhos dos feixes (Figura 34), considerando fatores de processo, histórico operacional, fluidos participantes do processo e tipos de permutadores.

Figura 34: Modelos de amostragem de tubos conforme classes de marcação



Fonte: Alves (2024)

De forma análoga, estabelece-se que a Classe A distribui igualmente a inspeção ao longo do espelho de feixes tubulares, a Classe B concentra 60% dos pontos nas áreas mais afetadas e 40% nas demais regiões (de maneira uniforme), enquanto a Classe C aponta para inspeção total (100% dos tubos).

A partir da análise dos fatores de influência identificados no presente trabalho com o preenchimento da tabela de influências e ocorrências por permutador (Tabela 1), foi possível estabelecer conexões diretas com as classes de marcação A, B e C e refinar suas definições. Nesse contexto, o “SCORE”, definido anteriormente, foi criado como um indicador para quantificar e metrificar a condição do equipamento. Esse indicador se conecta diretamente com as classes, orientando na definição da classe mais apropriada para o permutador analisado.

Por meio da análise do “SCORE” e dos fatores detectados ou esperados descritos na tabela de influências e ocorrências por permutador, será possível identificar a severidade dos danos, permitindo que as classes sejam atribuídas de forma objetiva, com base em critérios mensuráveis, e orientando de maneira embasada o tamanho e a distribuição das amostras para inspeção. Posto isso, as classes foram definidas como:

- a) **CLASSE A:** Classe para corrosão igualmente provável em todos os tubos, requerendo amostragem uniforme. Essa classificação é apropriada quando o tipo de dano causado pelo fluido resulta em corrosão generalizada ou uniforme em todos os tubos, podendo ser representada adequadamente por uma abordagem de amostragem uniforme. Além disso, fatores como o grande

número de tubos no feixe dificultam a inspeção completa, exigindo representatividade por amostragem. A distribuição uniforme de resíduos ao longo do feixe, característica de fluidos com baixa velocidade de escoamento, favorece o acúmulo uniforme e a corrosão homogênea, reforçando essa abordagem. A similaridade entre os fluidos (em composição e propriedades) também contribuem para menores riscos de vazamento, justificando a utilização de amostragem uniforme.

- b) **CLASSE B:** Corrosão não igualmente provável em todos os tubos, requerendo amostragem concentrada nas regiões afetadas. Essa classe é indicada em situações onde a corrosão é localizada, como em fluidos com separação de fases, em que a água salgada se acumula na geratriz inferior, favorecendo danos nessa região, ou em fluxos bifásicos com alta turbulência ou transições de fase que intensificam o desgaste em áreas específicas. Tubos próximos aos bocais de entrada, devido ao impacto direto de fluidos, e áreas próximas às chicanas, que apresentam turbulência ou estagnação, estão mais suscetíveis a processos corrosivos ou erosivos. Feixes com tubos em "U" também requerem atenção, considerando a limitação de técnicas como IRIS e CP em áreas curvadas. Além disso, altas velocidades de escoamento e flutuações térmicas geram erosão e tensões localizadas, agravando o risco de falhas pontuais e justificando uma amostragem direcionada.
- c) **CLASSE C:** Corrosão igualmente provável em todos os tubos e quantidade de tubos pequena, sendo inviável a realização de medições por amostragem. Essa abordagem é preferível em equipamentos com um pequeno número de tubos, onde é possível realizar uma inspeção completa. Permutadores do tipo *Air Cooler*, por não possuírem casco envolvendo o feixe de tubos, apresentam vazamentos diretamente para o ambiente, tornando a inspeção 100% indispensável, principalmente em fluidos tóxicos, inflamáveis ou com potencial de formação de substâncias perigosas, como ácidos. Níveis elevados de criticidade do equipamento para o processo também reforçam essa abordagem, garantindo a continuidade e segurança operacional e ambiental.

Cada classe reúne critérios que influenciam diretamente na definição de áreas críticas e no planejamento da amostragem de forma eficiente e segura. É importante destacar que quando não há conhecimento da existência de corrosão preferencial

numa determinada região, ou mesmo para a validação dessas, devem ser utilizadas as classes A ou C, conforme o caso.

No caso das classes A e B, o tamanho da amostra é diretamente influenciado por diversos fatores operacionais e contextuais. A diferença de pressão entre fluidos, por exemplo, aumenta os riscos de falhas estruturais, exigindo uma amostragem mais abrangente em áreas de maior estresse mecânico. Da mesma forma, temperaturas operacionais extremas aceleram processos corrosivos e fragilização térmica, demandando uma cobertura ampliada nas regiões mais expostas. A presença de sólidos suspensos e fluidos viscosos intensifica a erosão e o acúmulo de depósitos, concentrando desgastes em locais críticos, como curvas ou áreas de baixa velocidade de fluxo, o que justifica um enfoque maior nessas regiões durante as inspeções. A existência de equipamentos similares em bateria pode reduzir o tamanho da amostra ao possibilitar maior flexibilidade operacional, enquanto a operação frequente em capacidade total exige maior abrangência devido ao estresse contínuo sobre os materiais.

Outros fatores, como o histórico de manutenções, tipo de parada para intervenção e disponibilidade de peças de reposição, também desempenham papéis cruciais no planejamento da amostragem. Um histórico recorrente de falhas direciona a inspeção para áreas previamente vulneráveis, enquanto paradas programadas permitem amostragens mais amplas em comparação a intervenções de emergência, que priorizam zonas de maior risco. A disponibilidade limitada de peças exige maior cuidado na detecção de possíveis falhas, ampliando a amostragem para mitigar riscos. Além disso, condições de acesso ao equipamento podem restringir o alcance da inspeção, sendo necessário considerar métodos alternativos para garantir a cobertura de áreas críticas.

Dito isto, a Tabela 3 abaixo apresenta a relação entre a quantidade de tubos e o tamanho da amostra utilizada durante a primeira inspeção dos permutadores em análise, definida com base no conhecimento dos profissionais envolvidos. Observa-se que a tabela reflete uma relação direta entre o aumento da quantidade de tubos no feixe e a redução proporcional das amostras selecionadas, priorizando, inclusive, a otimização do tempo de inspeção em feixes com grandes quantidades de tubos.

Tabela 3: Relação entre quantidade de tubos e tamanho da amostra

| Intervalos de quantidade de tubos | Tamanho da amostra |
|-----------------------------------|--------------------|
| [1 - 178[| 100% |
| [178 - 230[| 50% |
| [230 - 261[| 40% |
| [261 - 342[| 30% |
| [342 - 396[| 25% |
| [396 - 556[| 20% |
| [556 - 790[| 15% |
| [790 - 1034[| 10% |
| [1034 - ∞[| 5% a 8% |

Fonte: A autora (2024).

Essa abordagem foi seguida nas inspeções iniciais e foi satisfatória dentro das exigências, limitações de tempo e recursos disponíveis. Contudo, a tabela apresentada deve ser aprimorada no futuro com a ampliação dos dados obtidos em novas inspeções, o que permitirá a validação de sua eficácia em diferentes cenários. Além disso, com a análise dos resultados acumulados será possível identificar oportunidades para melhorias dentro dos intervalos definidos, contribuindo para o aperfeiçoamento contínuo do modelo de amostragem e assegurando maior precisão na estimativa de vida útil dos permutadores.

É válido ressaltar que a relação apresentada na tabela não é universalmente aplicável a todos os casos. Conforme pode ser conferido em alguns casos na base de dados dos ensaios de IRIS e CP presente no Anexo A, dependendo dos fatores de influência previamente discutidos, podem ser justificadas exceções à relação estabelecida. Dessa forma, a relação proposta não deve ser encarada como absoluta, mas como uma diretriz inicial sujeita a ajustes. Para cada caso, é fundamental analisar detalhadamente os fatores de influência envolvidos, avaliando se é possível reduzir a amostra sem comprometer a representatividade ou se, por outro lado, é necessário ampliá-la para atender às condições específicas do permutador em questão. Essa abordagem garante maior flexibilidade e adequação às diferentes realidades operacionais.

O modelo de amostragem apresentado, correlacionado com os fatores de influência de amostragem, garante maior precisão das análises, maior segurança operacional, além de otimizar a aplicação dos recursos. Deve-se enfatizar que o perfil

de amostragem deve ser reavaliado a cada nova inspeção, considerando tanto a classe atribuída ao permutador quanto o tamanho da amostra utilizada. Essa reavaliação contínua permite que o modelo de amostragem se mantenha atualizado e alinhado às condições reais dos equipamentos

4.5. IDENTIFICAÇÃO E MARCAÇÃO PRÉVIA DOS TUBOS NOS ESPELHOS DE FEIXES DE PERMUTADORES

Esse tópico, também baseado no trabalho desenvolvido por Alves (2024), ressalta a importância da preparação dos croquis de marcação dos espelhos dos feixes de tubos, antes mesmo de haver a liberação dos permutadores para a parada e inspeção. A marcação é realizada utilizando giz industrial para marcação em metal, conforme ilustrado na Figura 35.

Figura 35: Giz industrial para marcação em metal



Fonte: LA-CO Industries, Inc. (2021).

Após a definição do modelo de amostragem conforme proposto neste presente trabalho, o croqui de marcação deve ser projetado de forma a atribuir a cada tubo uma identificação matricial, independentemente do formato do espelho do feixe. Essa identificação, baseada na posição linha/coluna, permite rastrear e comparar os valores de espessura medidos em diferentes datas, possibilitando o cálculo da vida útil residual de cada tubo individualmente.

quantidade de tubos acometidos e perdidos em função desses mesmos fatores. A tabela proporciona uma visão detalhada dos tipos de falhas observadas nos tubos dos permutadores, apresentando tanto a quantidade total de tubos acometidos por cada fator, quanto a porcentagem desses tubos em relação ao total de tubos inspecionados. Além disso, também é detalhado o número de tubos que foram classificados como "perdidos" devido aos mesmos fatores, que causaram falhas mais graves e, portanto, limitaram a vida residual dos tubos para um período menor que 6 anos, intervalo programado para a próxima inspeção. Também é apresentada a respectiva porcentagem dessa perda em relação ao total de tubos analisados.

Tabela 4: Relação entre fatores de influência e a quantidade de tubos acometidos e perdidos nos primeiros ensaios

| Fatores | Quant. De Tubos acometidos | % tubos acometidos ao total | Quant. De Tubos perdidos | % tubos perdidos ao total |
|------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Corrosão externa | 4212 | 19,74% | 297 | 1,39% |
| Corrosão interna | 9366 | 43,89% | 924 | 4,33% |
| Tubo obstruído | 260 | 1,22% | 132 | 0,62% |
| Tubo tamponado | 8 | 0,04% | 1 | 0,00% |
| Tubo furado | 80 | 0,37% | 78 | 0,37% |
| TOTAL | 12503 | 58,59% | 1311 | 6,14% |

Fonte: A autora (2024).

A tabela acima se divide em diferentes categorias de falhas, e quantifica o impacto de cada uma dessas condições na integridade dos tubos. Os valores apresentados ajudam a entender a distribuição e a gravidade dos danos nos permutadores, além de permitir uma análise comparativa entre os diferentes tipos de falhas que foram listadas. É importante destacar que esses dados também são fundamentais para o processo de avaliação da integridade estrutural dos permutadores, ajudando a guiar as decisões sobre a necessidade de amostragem e a priorização de áreas específicas para futuras inspeções.

É relevante apontar que os valores totais apresentados na Tabela 4 não correspondem simplesmente à soma direta das quantidades de tubos em cada fator de influência, mas trata-se de uma análise secundária e mais detalhada sobre o conjunto de dados, considerando que um único tubo pode estar associado a mais de

um fator de influência. Essa abordagem permite identificar, de forma não cumulativa, a quantidade total de tubos afetados ou perdidos, proporcionando uma visão mais precisa do impacto geral dos fatores sobre os feixes analisados. Tal distinção é fundamental para evitar interpretações equivocadas e garantir uma análise coerente da extensão real dos danos nos permutadores.

Para determinar a aprovação ou reprovação de um feixe de permutador de calor nos ensaios de inspeção, adotou-se como critério principal a taxa de perda de tubos. Quando 20% ou mais dos tubos de um feixe são classificados como perdidos, necessitando ser tamponados, o feixe é considerado “reprovado”, dado o impacto significativo que essa perda exerce no desempenho térmico do equipamento. Os tubos reprovados nos ensaios precisam ser substituídos para que o equipamento volte à operação, o que pode implicar na troca dos tubos perdidos, do feixe inteiro ou até mesmo do feixe e do espelho, dependendo das condições gerais desses componentes. Essa decisão é tomada com base na gravidade dos danos, na viabilidade técnica e econômica da substituição e no impacto na operação do equipamento.

Entretanto, é importante ressaltar que essa regra não é absoluta. Em situações de parada emergencial ou em contextos onde o equipamento inspecionado é o único disponível para operação, esta decisão de reprovação pode ser flexibilizada por necessidade, desde que não infrinja a questões de segurança operacional. Nesses casos, mesmo que o feixe apresente uma perda superior ao limite estabelecido, ele pode ser aprovado e colocado novamente em funcionamento. Essa determinação, como observado em algumas das inspeções que foram analisadas, visa evitar interrupções prolongadas na produção, ainda que isso implique operar com uma eficiência térmica reduzida.

A Tabela 5 apresenta a visão geral dos resultados obtidos nos ensaios não destrutivos realizados nos feixes de tubos, divididos entre as técnicas de Corrente Parasita (CP) e IRIS. Nela, são exibidas as quantidades de feixes aprovados e reprovados em cada método, bem como a porcentagem de aprovação para cada técnica e o resultado geral.

Tabela 5: Resultados de aprovação e reprovação dos feixes nos ensaios IRIS e CP subdividido por técnica de inspeção

| Tipo de Ensaio | Aprovados | Reprovados | % de aprovação |
|-----------------------|------------------|-------------------|-----------------------|
| CP | 40 | 7 | 85,11% |
| IRIS | 94 | 12 | 88,68% |
| TOTAL | 134 | 19 | 87,58% |

Fonte: A autora (2024).

O resultado consolidado indica que, considerando ambas as técnicas, a taxa de aprovação geral foi de 87,58%. Esses dados permitem avaliar a eficiência dos métodos de inspeção e podem servir como base para aprimorar as estratégias de manutenção e inspeção futura, considerando a alta taxa de aprovação em ambas as técnicas.

Os resultados consolidados das inspeções iniciais indicam uma taxa geral de aprovação de 87,58% considerando ambas as técnicas utilizadas (CP e IRIS). As porcentagens de aprovação entre as duas técnicas apresentam uma proximidade significativa e esse cenário reflete a predominância de feixes em condições satisfatórias

5. CONCLUSÃO

Ao decorrer deste trabalho, foi desenvolvido um modelo de amostragem para ensaios não destrutivos em feixes de tubos de permutadores de calor do tipo *air cooler* e casco-tubo, baseado em fatores de influência para análise e seleção das amostras. O modelo proposto objetivou melhorar a precisão na estimativa da vida residual dos componentes que não necessitam de inspeções em 100% dos tubos, bem como determinar, quando necessário, a necessidade de inspeção total.

No que diz respeito ao primeiro objetivo específico, foi realizada uma identificação abrangente dos fatores que podem influenciar a análise, localização e proporção dos mecanismos de corrosão nos feixes de tubos de permutadores de calor. Essa análise considerou aspectos como as condições operacionais dos equipamentos, características construtivas, histórico de inspeções e os mecanismos mais recorrentes de danos. O levantamento dos fatores, foi consolidado na tabela de influências e ocorrências por permutador e a execução desse mapeamento serve como um alicerce para decisões mais fundamentadas, auxiliando na priorização de regiões críticas para inspeção e quantificando o impacto acumulado de fatores críticos, através do "SCORE".

Quanto ao segundo objetivo específico, os fatores de influência identificados foram detalhadamente descritos, correlacionando-os com os mecanismos de danos previstos e indicando as regiões mais suscetíveis a falhas. Essas descrições, obtidas por meio de levantamentos minuciosos de relatórios de inspeção e análises técnicas, serviram como base para a definição de estratégias de inspeção que priorizem áreas de maior relevância. Este conhecimento, aplicado na tabela apresentada no Apêndice A, auxiliou na análise dos mecanismos de danos presentes em diferentes permutadores e permitiu apontar quantitativamente o impacto desses fatores no perfil de amostragem.

Por fim, em relação ao terceiro objetivo específico, foi desenvolvido um modelo de amostragem voltado para ensaios não destrutivos, considerando as metodologias IRIS e Corrente Parasita, com o intuito de melhorar a confiabilidade nas previsões de falhas e manutenção. Esse modelo demonstrou ser uma ferramenta promissora para otimizar os processos de inspeção, permitindo a redução significativa do tempo e dos custos operacionais, ao mesmo tempo em que mantém altos níveis de segurança e assertividade. O modelo reafirma a importância de associar os fatores de amostragem

às suas regiões críticas para definição das Classes propostas no trabalho. Essa abordagem, juntamente com as sugestões para tamanho de amostragem consolidadas na tabela de relação entre quantidade de tubos e tamanho da amostra e no destaque aos fatores de influência no tamanho da amostra, constituíram um modelo de amostragem analítico com a capacidade para determinar de forma criteriosa uma amostragem mais assertiva, como também quando uma inspeção total seria necessária, alinhando-se aos princípios de eficiência e eficácia na gestão de manutenção industrial.

Embora os objetivos tenham sido alcançados, o trabalho apresenta algumas limitações, descritas detalhadamente no subtópico correspondente. Ainda assim, os levantamentos, análises e dados apresentados ao longo do trabalho evidenciam a relevância e a aplicabilidade do modelo, contribuindo significativamente para a padronização e melhoria das práticas de inspeção e manutenção de permutadores de calor, com potencial para suportar programas preditivos e preventivos no futuro.

5.1. CONTRIBUIÇÕES

A pesquisa contribuiu para o avanço acadêmico ao expandir o conhecimento já existente sobre a manutenção e inspeção de permutadores de calor, especialmente em áreas críticas, como a corrosão nos feixes de tubos. Essa abordagem, portanto, complementa e aprimora as pesquisas anteriores desenvolvidas no trabalho intitulado "*Modelos de Amostragem e Representação Estatística para Avaliação de Vida Residual de Feixes de Tubos de Permutadores de Calor*" produzido por Alves (2024).

Do ponto de vista industrial, o modelo proposto consegue atender à necessidade de métodos mais econômicos e eficientes, particularmente em setores de alta criticidade como o petroquímico e o de geração de energia. A metodologia de amostragem desenvolvida oferece uma alternativa prática e eficiente tanto à inspeção completa quanto à parcial, que muitas vezes é realizada de forma subjetiva e imprecisa. Além disso, o modelo proposto permite determinar, de maneira criteriosa, quando a inspeção total se torna indispensável, promovendo maior confiabilidade no processo de avaliação.

Este estudo também reforçou o papel do engenheiro mecânico como Profissional Legalmente Habilitado (PLH), conforme destacado pela Norma Regulamentadora NR-13, que atribui a este profissional a responsabilidade técnica

por planos de inspeção e manutenção, supervisão de ensaios não destrutivos e gestão da integridade estrutural de equipamentos sob pressão, como os permutadores de calor.

Por fim, este trabalho consolida sua relevância tanto para a academia quanto para o setor industrial, em especial nas áreas de manutenção e ensaios não destrutivos. Ademais, chama atenção para os ganhos de eficiência e confiabilidade ao padronizar os métodos de inspeção desses equipamentos, fortalecendo a conformidade normativa e aprimorando as competências técnicas exigidas do engenheiro mecânico na resolução de desafios multidisciplinares.

5.2. LIMITAÇÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

As limitações deste trabalho estão principalmente ligadas à restrição de dados disponíveis, limitados aos feixes previamente inspecionados, o que impactou o preenchimento da tabela de Fatores de Influência e Ocorrência. Isso porque, nas inspeções iniciais, nem todos os fatores de influência foram registrados de forma sistemática, uma vez que tais parâmetros ainda não haviam sido completamente estruturados na época. Por esse motivo, a planilha mencionada foi preenchida experimentalmente, considerando apenas os fatores efetivamente analisados nas inspeções realizadas.

A impossibilidade momentânea de realizar novos testes, considerando que o intervalo programado entre inspeções é de seis anos, se apresentou como uma delimitação durante o desenvolvimento deste estudo, impedindo a validação prática do modelo de amostragem proposto ainda nesta etapa. Para o aprimoramento dos modelos propostos e sua validação completa, será necessário aplicá-los em novas inspeções e comparar os resultados obtidos. As abordagens utilizadas refletem as limitações dos dados disponíveis e destaca a necessidade de revisões e ajustes futuros com base em informações mais abrangentes.

Como parte das perspectivas futuras deste estudo, sugere-se:

- Consideração dos comprimentos dos tubos juntamente com os materiais dos tubos como um fator de influência no processo corrosivo, uma vez que a propensão à ocorrência de processos corrosivos depende não só das combinações material/fluido/condições operacionais, mas, também, do comprimento desses tubos. Analisar que quanto maior o comprimento, maior

as áreas externas e internas dos tubos expostas a processos corrosivos. Essa consideração passa despercebido nas avaliações comparativas entre feixes de permutadores, uma vez que, os valores de medição de espessura obtidos para os tubos são os valores mais críticos (menores espessuras) de cada tubo, não representando o estado geral de deterioração noutros pontos do tubo, onde o comprimento do tubo tem influência na propensão geral ao dano.

- Introdução de índices quantificadores de criticidade para os fatores de influência na amostragem que foram identificados, visando aprimorar o ajuste entre a inspeção completa e a amostragem. Além disso, a partir de novas inspeções, recomenda-se realizar ajustes estatísticos nestes índices, acompanhados da reavaliação dos perfis de amostragem sugeridos no presente trabalho, baseando-se no histórico futuro dos ensaios não destrutivos realizados nos permutadores de calor em estudo.
- Criação de uma ferramenta computacional para auxiliar na determinação da amostragem ideal para cada cenário. Essa ferramenta permitiria a inserção dos fatores de influência observados no equipamento, correlacionando-os com os índices de criticidade para sugerir uma estratégia de amostragem otimizada. Essa abordagem automatizada contribuiria significativamente para a tomada de decisões mais precisas, rápidas e eficientes no contexto da manutenção preventiva.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 15193:2020 – Ensaio não destrutivo – Correntes parasitas – Tubos não ferromagnéticos instalados em trocadores de calor.** Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ABNT. **NBR 16342: Ensaio não destrutivo – Ultrassom – Inspeção de tubos de permutadores de calor e caldeiras pela técnica IRIS.** Rio de Janeiro, 2021.

AL-QADEEB, F. E. ***Tubing Inspection Using Multiple NDT Techniques.*** In: *3^a Middle East Non Destructive Testing Conference & Exhibition (MENDT)*. Manama, 2005. Disponível em: <<http://www.ndt.net/article/mendt2005/pdf/p18.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2024.

ALFA LAVAL. ***Alfa Laval Aalborg Shell and Tube heat exchangers - Product brochure.*** Disponível em: <<https://www.alfalaval.com/products/heat-transfer/tubular-heat-exchangers/shell-and-tube-heat-exchanger/aalborg-mx/>>. Acesso em: 07 out. 2024a.

ALFA LAVAL. ***Alfa Laval air cooled heat exchangers product brochure.*** Disponível em: <[https://www.alfalaval.com/products/heat-transfer/finned-tube-air-heat-exchangers/finned-tube-air-heat-exchangers/](https://www.alfalaval.com/products/heat-transfer/finned-tube-air-heat-exchangers/finned-tube-air-heat-exchangers/finned-tube-air-heat-exchangers/)>. Acesso em: 05 out. 2024b.

ALI, M.; UL-HAMID, A.; KHAN, T.; BAKE, A.; BUTT, H.; BAMIDELE, O.; SAEED, A. ***Corrosion-related failures in heat exchangers. Corrosion Reviews***, v. 39, pp. 519-546, 2021. <https://doi.org/10.1515/corrrev-2020-0073>.

ALVES, Tatiana Maria Ferreira. ***Modelos de amostragem e representação estatística para avaliação de vida residual de feixes de tubos de permutadores de calor.*** 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2024.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (API). ***Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry.*** API 571. Washington, D.C.: American Petroleum Institute, 2003.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (API). ***Inspection of Pressure Vessels (Towers, Drums, Reactors, Heat Exchangers, and Condensers).*** API 572. Washington, D.C.: American Petroleum Institute, 2001.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (API). ***Piping Inspection Code: in-service inspection, rating, repair, and alteration of piping systems.*** API 570. Washington, D.C.: American Petroleum Institute, 2023.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (API). **Risk-based Inspection Methodology**. API 581. Washington, D.C.: American Petroleum Institute, 2020.

American Society of Mechanical Engineers – ASME. **Boiler and Pressure Vessel Code, Section V: Nondestructive Examination**. 2019. New York: The American Society of Mechanical Engineers, 2019.

ASM International. **ASM Handbook Vol. 17 – Nondestructive Evaluation and Quality Control**. 9ª ed. Ohio: 2018.

ASM International. **Corrosion: Understanding the Basics**. Materials Park, OH: ASM International, 2000.

Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos e Inspeção (ABENDI). **Guia ABENDI: Ensaios não destrutivos e inspeção**. São Paulo, 2022.

BARBOZA, Klevson Ranniet Almeida. **Avaliação da técnica de inspeção por correntes parasitas em tubos de permutadores de calor**. 2009. 67p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego (MTE). **Norma Regulamentadora NR-13: Caldeiras, vasos de pressão e tubulações**. Brasília, 2014. Disponível em: <http://www.gov.br/trabalho-e-emprego/assuntos/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-13>. Acesso em: 15 out. 2024.

ÇENGEL, YUNUS A.; GHAJAR, AFSHIN J. **Transferência de Calor e Massa: uma abordagem prática**. 4 Edição. AMGH Ltda, 2012.

CHILLER Peças. **Máquina de Escova Rotativa Limpeza de Tubos WAW 500**. Disponível em: <https://www.chillerpecas.com.br/produtos/maquina-de-escova-rotativa-limpeza-de-tubos-waw-500/>. Acesso em: 05 out. 2024.

CHO, Sangwon; KIM, Seon-Hong; KIM, Woo-Cheol; KIM, Jung-Gu. **Stress Corrosion Cracking of Heat Exchanger Tubes in District Heating System**. *Corrosion Science and Technology*, v. 18, n. 2, p. 49–54, 2019. <https://doi.org/10.14773/cst.2019.18.2.49>.

COSTA, J. P.; SANTOS, J. R. S.; SANTOS, R. D.; MARTINS, D. R. **A importância da manutenção preditiva na Indústria 4.0**. Revista FT, 2024. DOI: 10.69849/revistaft/ch10202409161255.

COSTA, E. S.; MOURA, C. R. O.; PEREZ, G. J. A.; FILHO, A. B. D.; FERREZ, J. A. R. **Processo corrosivo de um trocador de calor na unidade de Hidrotratamento de uma Planta de Lubrificantes Naftênicos**. In: INTERCORR 2014, Fortaleza, maio 2014. Anais... Fortaleza: ABRACO, 2014.

DOI, V. G. **PROCEDIMENTOS PARA MANUTENÇÃO DE UM TROCADOR DE CALOR DO TIPO CASCO E TUBO**. Cornélio Procópio: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

EZUBER, H.; HOSSAIN, Z. **A review of corrosion failures in shell and tube heat exchangers: roots and advanced counteractive**. *Heat Mass Transfer*, v. 59, p. 971–987, 2023.

FERRARESI, R.N., CAMPOS, V.C., CICELINI, G., SILVA, W.C.D., REIS, R.P., FERRARESI, V.A. **Análise de ensaios não-destrutivos para inspeção de tubos de trocadores de calor do tipo casco & tubos: Campo Remoto (RFT) versus Sistema de Inspeção Rotativa Interna (IRIS)**. *Soldagem & Inspeção*. 2021;26:e2613. <https://doi.org/10.1590/0104-9224/SI26.13>.

FLUID DYNAMICS. **Six causes of heat exchanger tube failure**. Disponível em: <https://www.fluidynamics.com.au/about/articles-case-studies/six-causes-of-heat-exchanger-tube-failure>. Acesso em: 26 nov. 2024.

GIL, ANTÔNIO CARLOS. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. Ed. São Paulo: Editora Atlas SA, 2017. 129 p.

HE, Z.; GUAN, K.; ZHANG, X.; ZHONG, J. **Localized cavitation corrosion on heat exchange tubes in a reboiler: Design and operation causes**. *Engineering Failure Analysis*, v. 130, 2021.

HORTA, C. C. & SOUSA, T. A. **Permutadores de Calor**. Íntegra - Integridade de Equipamentos, Rio de Janeiro (Curso de Inspeção de Equipamentos e Instalações, Petrobras / UN-Rio), 2004.

HU, Shi-Meng; WANG, Sheng-Hui; YANG, Zhen-Guo. **Failure analysis on unexpected wall thinning of heat-exchange tubes in ammonia evaporators**. *Case Studies in Engineering Failure Analysis*, v. 3, p. 52–61, abr. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.csefa.2015.01.002>.

KLAREN BV. **What is fouling and scaling in heat exchanger?** Disponível em: <https://klarenbv.com/what-is-fouling-and-scaling-in-heat-exchanger/>. Acesso em: 24 nov. 2024.

LA-CO Industries, Inc. **Right for the Job: Markal, Tempil, LA-CO Industrial Products Guide.** Vernon Hills, 2021. Disponível em: <<https://www.lencocanada.com/wp-content/uploads/2021/09/La-Co-Markal-Tempil.pdf>>. Acesso em: 1 dez. 2024.

LEITE, J. P. **Técnica não destrutiva para análise da interação de linhas de campo magnético e material.** 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2014.

LI, Y. *et al.* **Investigation on corrosion behavior of the atmospheric pressure air cooler tubes caused by multiphase flow.** *Engineering failure analysis*, v. 165, n. 108800, p. 108800, 2024.

LIAO, Y.; WANG, M.; ZHANG, X.; ZHOU, X. **A Review on the Thermal-Hydraulic Performance and Optimization of Compact Heat Exchangers.** *Energies*, v. 14, n. 19, p. 6056, 2021. <https://doi.org/10.3390/en14196056>.

LIEBERMAN, Norman P.; LIEBERMAN, Elizabeth T.. **A Working Guide to Process Equipment.** 3 ed. New York: McGraw-Hill, 2008. Disponível em: <https://studylib.net/doc/25407009/a-working-guide-to-process-equipment-3rd-edition>. Acesso em: 07 out. 2024.

LUDWIG, E. E. **Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants.** vol. 3, *3rd Edition*, GPP, Texas, United States of America, 2001.

MACCHI, Ennio; ASTOLFI, Marco (Ed.). **Organic rankine cycle (ORC) power systems: technologies and applications.** Woodhead Publishing, 2016.

Madureira, C., Servciuc, N., Birchall, M. **Ensaio IRIS: Uma Ferramenta para Avaliação da Integridade Estrutural e Avaliação da Vida Útil de Trocadores de Calor e Caldeiras.** Buenos Aires: Asociación Argentina de Ensayos No Destructivos y Estructurales (AAENDE), 2004.

MONG HAI HEN. **Imagem de Desgaste acelerado de região do feixe com impacto do fluido vindo de bocal de entrada do casco.** Blog post, 2017. Disponível em: <https://monghaihen.blogspot.com/2017/01/>. Acesso em: 24 nov. 2024.

MORAIS, D. A.; OLIVEIRA, F. F. G.; SANTOS, G. M.; FEITOSA, V. B.; IARTELLI, A. **Manutenção preditiva: sua história, importância e aplicação na Indústria 4.0.** Revista FT, 2024. DOI: 10.5281/zenodo.10204898.

OLYMPUS. **Tube Inspection: advances in RFT tube testing solutions.** Tóquio: Olympus, 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: 17 objetivos para transformar o mundo.** Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 28 set. 2024.

PASSOS, L. V.; FERNANDES, G. S.; COSTA, A. L. H. **OTIMIZAÇÃO DO PROJETO DE TROCADORES DE CALOR DO TIPO AIR-COOLER PELO MÉTODO SIMULATED ANNEALING.** p. 12616-12623. In: Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química - COBEQ 2014 [= Blucher Chemical Engineering Proceedings, v.1, n.2]. São Paulo: Blucher, 2015.
ISSN 2359-1757, DOI 10.5151/chemeng-cobeq2014-1525-18878-181205

Petrobras. **Inspeção em Serviço de Trocadores de Calor.** N-2511, Rev. E. Rio de Janeiro, Comissão de Normas Técnicas da Petrobras, 2024.

PRODANOV, CLEBER CRISTIANO; DE FREITAS, ERNANI CESAR. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico.** 2. ed. Novo Hamburgo: Editora Feevale, 2013. 277 p.

REYNOLDS, John T. **101 Essential Elements in a Pressure Equipment Integrity Management Program.** NATIONAL PETROLEUM REFINERS ASSOCIATION-PUBLICATIONS-ALL SERIES, 2002.

REYNOLDS, John T. **Mechanical Integrity of Refinery Equipment.** NATIONAL PETROLEUM REFINERS ASSOCIATION-PUBLICATIONS-ALL SERIES, 1993.

SABINO, R. S. **Inspeção de Feixes Tubulares de Permutadores de Calor.** Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação de Engenharia em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais para obtenção do grau de mestre em Engenharia Mecânica, 2008.

SABUNI, O. H. **Common heat exchanger problems in process plants and their solutions.** *Heat Exchanger World*, 2023. Disponível em: <https://heat-exchanger-world.com/common-heat-exchanger-problems-in-process-plants-and-their-solutions/>. Acesso em: 20 ago. 2024.

SANTIN, J. L. **Ultrassom: Técnica e aplicação.** 2ª ed. Paraná: Artes Gráficas e Editora Unificado, 2003.

SANTOS, Alícia Cruz Marques dos. **Planta industrial petroquímica com trocadores de calor em paralelo.** Gerada digitalmente com a ferramenta DALL-E. 2024.

Serck Heat Exchange. **Heat Exchanger Cleaning: A Primer.** Disponível em: <https://serckglobal.com/servicing/heat-exchanger-cleaning/>. Acesso em: 18 nov. 2024.

SHAIKH, K.; KAZE, S.; ZUBIR, M.; WONG, K.; YUSOFF, S.; KHAN, W.; ALAM, M.; ABDULLAH, S.; SHUKRI, M. **Mitigation of CaCO₃ fouling on heat exchanger surface using green functionalized carbon nanotubes (GFCNT) coating.** *Thermal Science and Engineering Progress*, v. 42, 2023.

SCHOPENHAUER, Arthur. **Seis ensaios de Parerga e Paralipomena, pequenos escritos filosóficos.** Tradução de Rosana Jardim Candeloro. Porto Alegre: Zouk, 2016.

SHULL, Peter J. ***Nondestructive Evaluation: Theory, Techniques and Applications.*** 1ª ed. New York: Marcel Dekker Inc, 2002.

SILVEIRA, L. T. **Permutadores de Calor.** Apostila da disciplina Permutadores de Calor, Curso de Formação de Engenheiros de Equipamentos, Universidade Petrobras, Rio de Janeiro, 2008.

SMITH, William F., HASHEMI, Javad. **Fundamentos de engenharia e ciência dos materiais.** 5ª ed. Porto Alegre: Editora AMGH, 2012.

SOUSA, C. HITA. **Corrosão de metais nas indústrias: como combater?**. 2022. Disponível em: <<https://abraco.org.br/noticias/hita-corrosao-de-metais-nas-industrias-como-combater/>>. Acesso em: 18 out. 2024

SOUZA, Vitor Pagani de; LABIAPARI, Wilian da Silva; LINS, Vanessa de Freitas Cunha. ***Stainless steels as a solution for corrosion and erosion problems involving grains in agribusiness sector applications.*** *Journal of Materials Research and Technology*, v. 30, p. 5605–5621, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.04.203>.

TEMA. ***Tubular Exchanger Manufacturers Association Standards.*** 9ª Edição. New York, EUA: TEMA, 2007.

THEKKUDEN, D. T., MOURAD, A. H. I., & BOUZID, A. H. (2021). ***Failures and leak inspection techniques of tube-to-tubesheet joints: a review.*** *Engineering Failure Analysis*, 130, 105798.

THULUKKANAM, K. ***Heat exchanger design handbook.*** 2nd Edition. New York: CRC, 2013.

VELÁZQUEZ, J.C.; BARENCA, G.; TERAN, G.; HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, E.; CAPULA-COLINDRES, S.; HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, J.; HERRERA-HERNÁNDEZ, H. ***Estimation of Metal Loss by Corrosion Process in Heat Exchangers Applied to Hydrotreating Systems.*** *International Journal of Electrochemical Science*, v. 10, p. 7929-7940, 2015.

XU, Shugen; WANG, Chong; WANG, Weiqiang. **Failure analysis of stress corrosion cracking in heat exchanger tubes during start-up operation.** *Engineering Failure Analysis*, v. 56, p. 138–147, 2015.

ZHANG, Jianwen; ZHANG, Fan; LI, Yan; ZHAO, Yahui; SHENG, Gang. **Crystallization behavior of ammonium chloride in high-pressure heat exchanger of hydrotreating unit.** *Mathematical Problems in Engineering, Hindawi*, v. 2021, p. 1–15, 2021a. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/5056631>.

ZHANG, Jianwen; ZHAO, Yahui; LI, Yan; ZHANG, Fan. **Analysis of Multiphase Flow and Heat and Mass Transfer for Ammonium Chloride Crystallization of the High-Pressure Heat Exchanger in Hydrogenation Unit.** *Materials*, v. 14, n. 24, p. 7754, 2021b. <https://doi.org/10.3390/ma14247754>.

ZHANG, Y., & WANG, J. (2022). **Predictive Maintenance in Industrial Systems: Strategies and Applications.** *Journal of Mechanical Engineering Science*, 236(3), 441-453.

ZOHURI, B. **Heat Exchanger Types and Classifications.** pp. 19-56, 2017. https://doi.org/10.1007/978-3-319-29835-1_2

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP

| EMPRESA | | RELATÓRIO DE CONDIÇÃO FÍSICA RELATÓRIO P-1 | | | | | | | | | | IDENTIFICAÇÃO DO RELATÓRIO DE ENSAIO | | |
|--|--|--|----------------------------------|---------------------------|------------------|---------------------|---|-------------------------------------|-----------|-----------------------------------|--|--------------------------------------|---|---|
| | | FEIXE ASSOCIADO AO TAG DO EQUIPAMENTO: PERMUTADOR-1 | | | | | DO TIPO PERMUTADOR DE CALOR | | | | | CP PERMUTADOR P-1 | | |
| PERÍODOS DE OPERAÇÃO DO FEIXE | | | INFORMAÇÕES DO FEIXE: | | | | | RESUMO DOS RESULTADOS DAS MEDIÇÕES: | | | | | | |
| DATA DO ENSAIO (DD/MM/AAAA): | | 17/08/2021 | | Ø DOS TUBOS (mm): | 25,40 | | Nº DE TUBOS DO FEIXE: | 642 | | | NÚMERO MÍNIMO DA AMOSTRA DE TUBOS A ENSAIAR: | 96 | | |
| INÍCIO OPERAÇÃO FEIXE (DD/MM/AAAA): | | 09/12/2014 | | ESPESSURA DOS TUBOS (mm): | 1,65 | | Nº DE FILAS DE TUBOS DO FEIXE: | CHECAR | | | NÚMERO DE TUBOS AVALIADOS (AMOSTRA): | 98 | | |
| INTERVALOS ENTRE DATAS SEM OPERAR (DD/MM/AAAA): | | | MATERIAL DOS TUBOS: | | SA-249-TP317L | | Nº DE COLUNAS DE TUBOS DO FEIXE: | CHECAR | | | MÍNIMA ESPESSURA ENCONTRADA (mm): | 0,7 | | |
| | Data início intervalo | Data fim intervalo | TUBOS LISOS OU ALETADOS? | LISOS | | FLUIDO DO CASCO: | PETRÓLEO | | | ESPESSURA MÉDIA ENCONTRADA (mm): | 1,2 | | | |
| INTERV. 01: | 00/01/1900 | 00/01/1900 | ALETAS FIXADAS POR GROOVE? | N/A | | FLUIDO DOS TUBOS: | DIESEL PESADO | | | MÁXIMA ESPESSURA ENCONTRADA (mm): | 1,6 | | | |
| INTERV. 02: | 00/01/1900 | 00/01/1900 | ALETAS LONG. OU CIRCUNF.? | N/A | | FLUIDOS CONTÊM B2S? | NÃO | | | % DE TUBOS ENSAIADOS (AMOSTRA): | 15% | | | |
| TOTAL DE DESCONTO DE DIAS SEM OPERAR: | | 0 | | MATERIAL DAS ALETAS? | CHECAR | | TIPO/ FORMATO DO FEIXE: | FLUTUANTE | | | % DE PERDA DE TUBOS (DA AMOSTRA): | 2% | | |
| OBSERVAÇÃO GERAL => | | | | | | | | | | | | | | |
| PARECER TÉCNICO DE VIDA RESIDUAL DO FEIXE: | | | | | | | | | | | | | | |
| VIDA ÚTIL (em anos) DESEJADA PARA MAIS UMA CAMPANHA => | | | | | 6 | | RESULTADO DA AVALIAÇÃO DE VIDA ÚTIL DO FEIXE => | | | | | | APROVADO PARA OPERAR POR MAIS UMA CAMPANHA NAS CONDIÇÕES CONSTANTES EM SEU PRONTUÁRIO SE ATENDIDAS AS RECOMENDAÇÕES POR TUBO ABAIXO | |
| ESCALA PERCENTUAL DE PERDA DE ESPESSURA: | | | | | | | | | | | | | | |
| 0% a 45% | | | 46% a 55% | | | | 56% a 89% | | | | 90% a 100% | | | |
| Nº DAS FILAS / COLUNAS DE TUBOS | DISTÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO PERDA ESP. (mm) | % DE ESPESSURA REMANESCENTE | ER - ESPESSURA REMANESCENTE (mm) | % DE PERDA DE ESPESSURA | CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBTURADO | TUBO TAMPONADO | TUBO SUJO | VIDA ESTIMADA DO TUBO (EM ANOS) | AÇÕES DE RECOMENDAÇÕES POR TUBO | CONDIÇÃO OPERACIONAL POR TUBO | OBSERVAÇÃO | |
| | | | | | | | | | | | | | | MARCAR COM UM "X" ONDE APLICÁVEL CONFORME ACIMA |
| 1 \ 2 | 1.500 | 45,0 | 0,74 | 55,0 | X | | | | | 5,5 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 1 \ 3 | 3.600 | 90,0 | 1,49 | 10,0 | | X | | | | 60,2 | OK | OK! | | |
| 1 \ 4 | 3.000 | 95,0 | 1,57 | 5,0 | | X | | | | 127,2 | OK | OK! | | |
| 1 \ 6 | 2.800 | 94,0 | 1,55 | 6,0 | | X | | | | 104,9 | OK | OK! | | |
| 1 \ 7 | 1.200 | 42,0 | 0,69 | 58,0 | X | | | | | 4,8 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 1 \ 8 | 2.500 | 75,0 | 1,24 | 25,0 | | X | | | | 20,1 | OK | OK! | | |
| 4 \ 2 | 3.600 | 90,0 | 1,49 | 10,0 | | X | | | | 60,2 | OK | OK! | | |
| 4 \ 6 | 4.500 | 89,0 | 1,47 | 11,0 | | X | | | | 54,2 | OK | OK! | | |
| 4 \ 8 | 2.100 | 78,0 | 1,29 | 22,0 | | X | | | | 23,7 | OK | OK! | | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| ESCALA PERCENTUAL DE PERDA DE ESPESSURA: | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|------------------|------------------|---------------|----------------|-----------|-----------------------|---------------------------------|--------------------------------|------------|
| 0% a 45% | | 46% a 55% | | | | 56% a 89% | | | | 90% a 100% | | | |
| Nº DAS FILAS / COLUNAS DE TUBOS | DISTÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO | % DE ESPESSURA REMANESCENTE | ER - ESPESSURA REMANESCENTE | % DE PERDA DE ESPESSURA | CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBTURADO | TUBO TAMPONADO | TUBO SUJO | VIDA ESTIMADA DO TUBO | ações de recomendações por tubo | condição operacional pelo tubo | OBSERVAÇÃO |
| 4 \ 9 | 1.800 | 85,0 | 1,40 | 15,0 | | X | | | | 37,9 | OK | OK! | |
| 4 \ 11 | 1.600 | 74,0 | 1,22 | 26,0 | | X | | | | 19,0 | OK | OK! | |
| 4 \ 15 | 1.200 | 70,0 | 1,16 | 30,0 | | X | | | | 15,6 | OK | OK! | |
| 5 \ 3 | 2.000 | 80,0 | 1,32 | 20,0 | | X | | | | 26,8 | OK | OK! | |
| 5 \ 5 | 600 | 68,0 | 1,12 | 32,0 | | X | | | | 14,2 | OK | OK! | |
| 5 \ 7 | 3.600 | 87,0 | 1,44 | 13,0 | | X | | | | 44,8 | OK | OK! | |
| 5 \ 12 | 3.200 | 88,0 | 1,45 | 12,0 | | X | | | | 49,1 | OK | OK! | |
| 5 \ 14 | 3.100 | 85,0 | 1,40 | 15,0 | | X | | | | 37,9 | OK | OK! | |
| 5 \ 16 | 600 | 78,0 | 1,29 | 22,0 | | X | | | | 23,7 | OK | OK! | |
| 10 \ 1 | 3.400 | 86,0 | 1,42 | 14,0 | | X | | | | 41,1 | OK | OK! | |
| 10 \ 3 | 3.500 | 88,0 | 1,45 | 12,0 | | X | | | | 49,1 | OK | OK! | |
| 10 \ 5 | 3.100 | 84,0 | 1,39 | 16,0 | | X | | | | 35,1 | OK | OK! | |
| 10 \ 7 | 3.900 | 92,0 | 1,52 | 8,0 | | X | | | | 77,0 | OK | OK! | |
| 10 \ 9 | 500 | 75,0 | 1,24 | 25,0 | | X | | | | 20,1 | OK | OK! | |
| 10 \ 10 | 5.000 | 79,0 | 1,30 | 21,0 | | X | | | | 25,2 | OK | OK! | |
| 10 \ 12 | 700 | 76,0 | 1,25 | 24,0 | | X | | | | 21,2 | OK | OK! | |
| 10 \ 14 | 3.600 | 74,0 | 1,22 | 26,0 | | X | | | | 19,0 | OK | OK! | |
| 10 \ 16 | 3.100 | 81,0 | 1,34 | 19,0 | | X | | | | 28,5 | OK | OK! | |
| 10 \ 18 | 3.600 | 82,0 | 1,35 | 18,0 | | X | | | | 30,5 | OK | OK! | |
| 11 \ 2 | 2.600 | 91,0 | 1,50 | 9,0 | | X | | | | 67,7 | OK | OK! | |
| 11 \ 10 | 3.000 | 93,0 | 1,53 | 7,0 | | X | | | | 88,9 | OK | OK! | |
| 11 \ 13 | 4.800 | 74,0 | 1,22 | 26,0 | | X | | | | 19,0 | OK | OK! | |
| 11 \ 21 | 2.400 | 95,0 | 1,57 | 5,0 | | X | | | | 127,2 | OK | OK! | |
| 13 \ 1 | 500 | 65,0 | 1,07 | 35,0 | X | | | | | 12,4 | OK | OK! | |
| 13 \ 3 | 3.200 | 70,0 | 1,16 | 30,0 | | X | | | | 15,6 | OK | OK! | |
| 13 \ 5 | 500 | 64,0 | 1,06 | 36,0 | X | | | | | 11,9 | OK | OK! | |
| 13 \ 7 | 2.100 | 74,00 | 1,22 | 26,0 | | X | | | | 19,0 | OK | OK! | |
| 13 \ 9 | 3.300 | 79,00 | 1,30 | 21,0 | | X | | | | 25,2 | OK | OK! | |
| 13 \ 18 | 5.900 | 55,00 | 0,91 | 45,0 | | X | | | | 8,2 | OK | OK! | |
| 13 \ 20 | 2.800 | 71,00 | 1,17 | 29,0 | | X | | | | 16,4 | OK | OK! | |
| 13 \ 22 | 4.800 | 63,00 | 1,04 | 37,0 | | X | | | | 11,4 | OK | OK! | |
| 15 \ 11 | 700 | 67,00 | 1,11 | 33,0 | | X | | | | 13,6 | OK | OK! | |
| 15 \ 12 | 3.200 | 68,00 | 1,12 | 32,0 | | X | | | | 14,2 | OK | OK! | |
| 16 \ 2 | 2.800 | 78,00 | 1,29 | 22,0 | | X | | | | 23,7 | OK | OK! | |
| 16 \ 5 | 2.500 | 81,00 | 1,34 | 19,0 | | X | | | | 28,5 | OK | OK! | |
| 16 \ 8 | 600 | 77,0 | 1,27 | 23,0 | | X | | | | 22,4 | OK | OK! | |
| 16 \ 15 | 3.800 | 91,00 | 1,50 | 9,0 | | X | | | | 67,7 | OK | OK! | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| ESCALA PERCENTUAL DE PERDA DE ESPESSURA: | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------|------------------|---------------|----------------|-----------|-----------------------|----------------------------------|-------------------------------|------------|
| 0% a 45% | | | 46% a 55% | | | | | 56% a 89% | | | | 90% a 100% | |
| Nº DAS FILAS / COLUNAS DE TUBOS | DISTÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO | % DE ESPESSURA REMANESCENTE | ER - ESPESSURA DE MANEIRA | % DE PERDA DE ESPESSURA | CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBTURADO | TUBO TAMPONADO | TUBO SUJO | VIDA ESTIMADA DO TUBO | ACÇÕES DE RECOMENDAÇÕES POR TUBO | CONDIÇÃO OPERACIONAL POR TUBO | OBSERVAÇÃO |
| 16 \ 18 | 5.700 | 65,00 | 1,07 | 35,0 | | X | | | | 12,4 | OK | OK! | |
| 16 \ 21 | 500 | 61,0 | 1,01 | 39,0 | | X | | | | 10,5 | OK | OK! | |
| 18 \ 3 | 600 | 75,00 | 1,24 | 25,0 | | X | | | | 20,1 | OK | OK! | |
| 18 \ 6 | 5.700 | 62,00 | 1,02 | 38,0 | | X | | | | 10,9 | OK | OK! | |
| 18 \ 9 | 5.600 | 70,00 | 1,16 | 30,0 | | X | | | | 15,6 | OK | OK! | |
| 18 \ 11 | 5.700 | 65,00 | 1,07 | 35,0 | | X | | | | 12,4 | OK | OK! | |
| 18 \ 12 | 3.100 | 80,00 | 1,32 | 20,0 | | X | | | | 26,8 | OK | OK! | |
| 18 \ 14 | 2.000 | 70,00 | 1,16 | 30,0 | | X | | | | 15,6 | OK | OK! | |
| 18 \ 17 | 5.800 | 60,00 | 0,99 | 40,0 | | X | | | | 10,0 | OK | OK! | |
| 18 \ 20 | 5.000 | 70,00 | 1,16 | 30,0 | | X | | | | 15,6 | OK | OK! | |
| 21 \ 1 | 2.900 | 65,00 | 1,07 | 35,0 | | X | | | | 12,4 | OK | OK! | |
| 21 \ 3 | 4.700 | 72,00 | 1,19 | 28,0 | | X | | | | 17,2 | OK | OK! | |
| 21 \ 5 | 3.000 | 62,00 | 1,02 | 38,0 | | X | | | | 10,9 | OK | OK! | |
| 21 \ 7 | 5.700 | 75,00 | 1,24 | 25,0 | | X | | | | 20,1 | OK | OK! | |
| 21 \ 9 | 2.100 | 77,00 | 1,27 | 23,0 | | X | | | | 22,4 | OK | OK! | |
| 21 \ 11 | 3.000 | 80,00 | 1,32 | 20,0 | | X | | | | 26,8 | OK | OK! | |
| 21 \ 12 | 1.800 | 74,00 | 1,22 | 26,0 | | X | | | | 19,0 | OK | OK! | |
| 21 \ 14 | 2.600 | 71,00 | 1,17 | 29,0 | | X | | | | 16,4 | OK | OK! | |
| 21 \ 16 | 3.100 | 86,00 | 1,42 | 14,0 | | X | | | | 41,1 | OK | OK! | |
| 21 \ 18 | 1.000 | 70,00 | 1,16 | 30,0 | | X | | | | 15,6 | OK | OK! | |
| 21 \ 20 | 5.500 | 74,00 | 1,22 | 26,0 | | X | | | | 19,0 | OK | OK! | |
| 21 \ 22 | 600 | 68,00 | 1,12 | 32,0 | | X | | | | 14,2 | OK | OK! | |
| 26 \ 1 | 3.000 | 76,00 | 1,25 | 24,0 | | X | | | | 21,2 | OK | OK! | |
| 26 \ 3 | 500 | 79,00 | 1,30 | 21,0 | | X | | | | 25,2 | OK | OK! | |
| 26 \ 5 | 5.900 | 65,0 | 1,07 | 35,0 | | X | | | | 12,4 | OK | OK! | |
| 26 \ 7 | 5.800 | 63,0 | 1,04 | 37,0 | | X | | | | 11,4 | OK | OK! | |
| 26 \ 8 | 4.100 | 70,0 | 1,16 | 30,0 | | X | | | | 15,6 | OK | OK! | |
| 26 \ 9 | 5.500 | 78,00 | 1,29 | 22,0 | | X | | | | 23,7 | OK | OK! | |
| 26 \ 10 | 5.700 | 57,00 | 0,94 | 43,0 | | X | | | | 8,9 | OK | OK! | |
| 26 \ 12 | 5.800 | 62,0 | 1,02 | 38,0 | | X | | | | 10,9 | OK | OK! | |
| 26 \ 14 | 5.800 | 67,00 | 1,11 | 33,0 | | X | | | | 13,6 | OK | OK! | |
| 26 \ 16 | 5.700 | 62,00 | 1,02 | 38,0 | | X | | | | 10,9 | OK | OK! | |
| 26 \ 18 | 3.200 | 75,00 | 1,24 | 25,0 | | X | | | | 20,1 | OK | OK! | |
| 31 \ 2 | 2.100 | 71,00 | 1,17 | 29,0 | | X | | | | 16,4 | OK | OK! | |
| 31 \ 4 | 3.000 | 74,00 | 1,22 | 26,0 | | X | | | | 19,0 | OK | OK! | |
| 31 \ 6 | 500 | 79,00 | 1,30 | 21,0 | | X | | | | 25,2 | OK | OK! | |
| 31 \ 8 | 4.000 | 80,0 | 1,32 | 20,0 | | X | | | | 26,8 | OK | OK! | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| ESCALA PERCENTUAL DE PERDA DE ESPESSURA: | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|---------------|----------------|-----------|-----------------------|----------------------------------|-------------------------------|------------|
| 0% a 45% | | | 46% a 55% | | | | | 56% a 89% | | | | 90% a 100% | |
| Nº DAS FILAS / COLUNAS DE TUBOS | DISTÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO | % DE ESPESSURA REMANESCENTE | ER - ESPESSURA REMANESCENTE (mm) | % DE PERDA DE ESPESSURA | CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBTURADO | TUBO TAMPONADO | TUBO SUJO | VIDA ESTIMADA DO TUBO | ACÇÕES DE RECOMENDAÇÕES POR TUBO | CONDIÇÃO OPERACIONAL POR TUBO | OBSERVAÇÃO |
| 31 \ 11 | 2.600 | 62,00 | 1,02 | 38,0 | | X | | | | 10,9 | OK | OK! | |
| 31 \ 13 | 1.200 | 57,00 | 0,94 | 43,0 | X | | | | | 8,9 | OK | OK! | |
| 31 \ 15 | 2.400 | 88,00 | 1,45 | 12,0 | | X | | | | 49,1 | OK | OK! | |
| 32 \ 1 | 4.800 | 64,0 | 1,06 | 36,0 | | X | | | | 11,9 | OK | OK! | |
| 32 \ 5 | 1.100 | 61,00 | 1,01 | 39,0 | | X | | | | 10,5 | OK | OK! | |
| 32 \ 7 | 3.600 | 66,00 | 1,09 | 34,0 | | X | | | | 13,0 | OK | OK! | |
| 32 \ 9 | 2.200 | 62,00 | 1,02 | 38,0 | | X | | | | 10,9 | OK | OK! | |
| 32 \ 11 | 3.200 | 68,0 | 1,12 | 32,0 | | X | | | | 14,2 | OK | OK! | |
| 32 \ 15 | 3.900 | 67,00 | 1,11 | 33,0 | | X | | | | 13,6 | OK | OK! | |
| 35 \ 1 | 5.400 | 64,00 | 1,06 | 36,0 | | X | | | | 11,9 | OK | OK! | |
| 35 \ 2 | 2.900 | 74,00 | 1,22 | 26,0 | | X | | | | 19,0 | OK | OK! | |
| 35 \ 3 | 1.100 | 69,00 | 1,14 | 31,0 | | X | | | | 14,9 | OK | OK! | |
| 35 \ 6 | 2.800 | 79,00 | 1,30 | 21,0 | | X | | | | 25,2 | OK | OK! | |
| 35 \ 7 | 5.000 | 66,0 | 1,09 | 34,0 | | X | | | | 13,0 | OK | OK! | |
| 35 \ 8 | 600 | 64,00 | 1,06 | 36,0 | | X | | | | 11,9 | OK | OK! | |
| | | | | | | | | | | | NÃO MEDIDO | | |
| | | | | | | | | | | | NÃO MEDIDO | | |
| | | | | | | | | | | | NÃO MEDIDO | | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| MARCAÇÕES DO ESPELHO DO EQUIPAMENTO - PONTOS DE CONTROLE | | | | | | | | |
|--|--------------|--|------------|---|--|---|-------|---|
| LEGENDAS DE MARCAÇÃO: | PARA ENSAIO: | O | OBSTRUÍDO: | X | TAMPOADO: | ☐ | SUJO: | * |
|  | | | | | | | | |
| IDENTIFICAÇÃO E ASSINATURA TÉCNICO EXECUTANTE NÍVEL I | | IDENTIFICAÇÃO E ASSINATURA TÉCNICO NÍVEL II OU III | | | IDENTIFICAÇÃO E ASSINATURA RESPENSÁVEL CLIENTE | | | |
| | | | | | | | | |
| INFORMAR Nº CFT OU EQUIVALENTE | | INFORMAR Nº SNQC OU EQUIVALENTE | | | INFORMAR Nº MATRÍCULA OU EQUIVALENTE | | | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| EMPRESA | | RELATÓRIO DE CONDIÇÃO FÍSICA RELATÓRIO P-2 | | | | | | | | | | IDENTIFICAÇÃO DO RELATÓRIO DE ENSAIO | | |
|--|--|---|----------------------------------|-------------------------|------------------|----------------------------------|---------------|---|--|---|---------------------------------|--------------------------------------|------------|---|
| | | FEIXE ASSOCIADO AO TAG DO EQUIPAMENTO: PERMUTADOR-2 DO TIPO PERMUTADOR DE CALOR | | | | | | | | | | CP PERMUTADOR P-2 | | |
| PERÍODOS DE OPERAÇÃO DO FEIXE | | | INFORMAÇÕES DO FEIXE: | | | | | | RESUMO DOS RESULTADOS DAS MEDIÇÕES: | | | | | |
| DATA DO ENSAIO (DD/MM/AAAA): | 28/08/201 | | Ø DOS TUBOS (mm): | 25,40 | | Nº DE TUBOS DO FEIXE: | 1034 | | NÚMERO MÍNIMO DA AMOSTRA DE TUBOS A ENSAIAR: | 52 | | | | |
| INÍCIO OPERAÇÃO FEIXE (DD/MM/AAAA): | 31/07/2017 | | ESPESSURA DOS TUBOS (mm): | 2,11 | | Nº DE FILAS DE TUBOS DO FEIXE: | CHECAR | | NÚMERO DE TUBOS AVALIADOS (AMOSTRA): | 53 | | | | |
| INTERVALOS ENTRE DATAS SEM OPERAR (DD/MM/AAAA): | | | MATERIAL DOS TUBOS: | SA-214 | | Nº DE COLUNAS DE TUBOS DO FEIXE: | CHECAR | | MÍNIMA ESPESSURA ENCONTRADA (mm): | 1,1 | | | | |
| | Data início intervalo | Data fim intervalo | TUBOS LISOS OU ALETADOS?: | LISOS | | FLUIDO DO CASCO: | VAPOR DE TOPO | | ESPESSURA MÉDIA ENCONTRADA (mm): | 1,6 | | | | |
| INTERV. 01: | 00/01/1900 | 00/01/1900 | ALETAS FIXADAS POR GROOVE?: | N/A | | FLUIDO DOS TUBOS: | PETRÓLEO | | MÁXIMA ESPESSURA ENCONTRADA (mm): | 1,9 | | | | |
| INTERV. 02: | 00/01/1900 | 00/01/1900 | ALETAS LONG. OU CIRCUNF.?: | N/A | | FLUIDOS CONTÉM H2S?: | NÃO | | % DE TUBOS ENSAIADOS (AMOSTRA): | 5% | | | | |
| TOTAL DE DESCONTO DE DIAS SEM OPERAR: | 0 | | MATERIAL DAS ALETAS?: | CHECAR | | TIPO/ FORMATO DO FEIXE: | FLUTUANTE | | % DE PERDA DE TUBOS (DA AMOSTRA): | 11% | | | | |
| OBSERVAÇÃO GERAL => | | | | | | | | | | | | | | |
| PARECER TÉCNICO DE VIDA RESIDUAL DO FEIXE: | | | | | | | | | | | | | | |
| VIDA ÚTIL (em anos) DESEJADA PARA MAIS UMA CAMPANHA => | | | | | | 6 | | RESULTADO DA AVALIAÇÃO DE VIDA ÚTIL DO FEIXE => | | APROVADO PARA OPERAR POR MAIS UMA CAMPANHA NAS CONDIÇÕES CONSTANTES EM SEU PRONTUÁRIO SE ATENDIDAS AS RECOMENDAÇÕES POR TUBO ABAIXO | | | | |
| ESCALA PERCENTUAL DE PERDA DE ESPESSURA: | | | | | | | | | | | | | | |
| 0% a 45% | | | 46% a 55% | | | | 56% a 89% | | | | 90% a 100% | | | |
| Nº DAS FILAS / COLUNAS DE TUBOS | DISTÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO PERDA ESP. (mm) | % DE ESPESSURA REMANESCENTE | ER - ESPESSURA REMANESCENTE (mm) | % DE PERDA DE ESPESSURA | CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBTURADO | TUBO TAMPONADO | TUBO SUJO | VIDA ESTIMADA DO TUBO (EM ANOS) | AÇÕES DE RECOMENDAÇÕES POR TUBO | CONDIÇÃO OPERACIONAL POR TUBO | OBSERVAÇÃO | |
| | | | | | | | | | | | | | | MARCAR COM UM "X" ONDE APLICÁVEL CONFORME ACIMA |
| 1 | / | 10 | 3200 | 1,10 | 1,10 | 47,9 | X | | | | 4,4 | TAMPONAR | PERDIDO | |
| 1 | / | 13 | 3200 | 1,10 | 1,10 | 47,9 | X | | | | 4,4 | TAMPONAR | PERDIDO | |
| 8 | / | 15 | 2800 | 1,30 | 1,30 | 38,4 | X | | | | 6,5 | OK | OK! | |
| 16 | / | 12 | 3000 | 1,30 | 1,30 | 38,4 | X | | | | 6,5 | OK | OK! | |
| 8 | / | 22 | 2600 | 1,40 | 1,40 | 33,6 | X | | | | 8,0 | OK | OK! | |
| 2 | / | 2 | 3400 | 1,50 | 1,50 | 28,9 | X | | | | 10,0 | OK | OK! | |
| 5 | / | 3 | 2800 | 1,50 | 1,50 | 28,9 | X | | | | 10,0 | OK | OK! | ACESSO A 4700 |
| 5 | / | 13 | 3400 | 1,50 | 1,50 | 28,9 | X | | | | 10,0 | OK | OK! | |
| 5 | / | 17 | 3200 | 1,50 | 1,50 | 28,9 | X | | | | 10,0 | OK | OK! | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| ESCALA PERCENTUAL DE PERDA DE ESPESSURA: | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|----------------|---------------|---------------|------------------|------------------|----------------|----------------|-----------|-----------------------|----------------------------|----------------------|------------|----------------|
| 0% a 45% | | | 46% a 55% | | | | | 56% a 89% | | | | 90% a 100% | | |
| Nº DAS FILAS / COLUNAS DE | DISTÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO | % DE ESPESSURA | ER- ESPESSURA | % DE PERDA DE | CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBSTRUÍDO | TUBO TAMPONADO | TUBO SUJO | VIDA ESTIMADA DO TUBO | AÇÕES DE RECOMENDAÇÕES POR | CONDIÇÃO OPERACIONAL | OBSERVAÇÃO | |
| 5 | / | 18 | 3400 | 1,50 | 1,50 | 28,9 | X | | | | 10,0 | OK | OK! | |
| 7 | / | 8 | 3700 | 1,50 | 1,50 | 28,9 | X | | | | 10,0 | OK | OK! | |
| 8 | / | 28 | 2800 | 1,50 | 1,50 | 28,9 | X | | | | 10,0 | OK | OK! | |
| 10 | / | 36 | 2800 | 1,50 | 1,50 | 28,9 | X | | | | 10,0 | OK | OK! | |
| 11 | / | 16 | 2600 | 1,50 | 1,50 | 28,9 | X | | | | 10,0 | OK | OK! | |
| 14 | / | 9 | 3100 | 1,50 | 1,50 | 28,9 | X | | | | 10,0 | OK | OK! | |
| 16 | / | 27 | 3200 | 1,50 | 1,50 | 28,9 | X | | | | 10,0 | OK | OK! | |
| 18 | / | 8 | 4200 | 1,50 | 1,50 | 28,9 | X | | | | 10,0 | OK | OK! | |
| 8 | / | 20 | 2700 | 1,60 | 1,60 | 24,2 | X | | | | 12,8 | OK | OK! | |
| 9 | / | 4 | 2500 | 1,60 | 1,60 | 24,2 | X | | | | 12,8 | OK | OK! | |
| 11 | / | 22 | 2800 | 1,60 | 1,60 | 24,2 | X | | | | 12,8 | OK | OK! | |
| 11 | / | 30 | 3100 | 1,60 | 1,60 | 24,2 | X | | | | 12,8 | OK | OK! | |
| 14 | / | 17 | 3100 | 1,60 | 1,60 | 24,2 | X | | | | 12,8 | OK | OK! | |
| 14 | / | 31 | 2800 | 1,60 | 1,60 | 24,2 | X | | | | 12,8 | OK | OK! | |
| 18 | / | 17 | 3100 | 1,60 | 1,60 | 24,2 | X | | | | 12,8 | OK | OK! | |
| 18 | / | 32 | 3400 | 1,60 | 1,60 | 24,2 | X | | | | 12,8 | OK | OK! | |
| 21 | / | 16 | 3900 | 1,60 | 1,60 | 24,2 | X | | | | 12,8 | OK | OK! | |
| 5 | / | 30 | 3400 | 1,70 | 1,70 | 19,4 | X | | | | 16,9 | OK | OK! | |
| 8 | / | 30 | 2700 | 1,70 | 1,70 | 19,4 | X | | | | 16,9 | OK | OK! | |
| 11 | / | 3 | 2600 | 1,70 | 1,70 | 19,4 | X | | | | 16,9 | OK | OK! | |
| 14 | / | 23 | 3100 | 1,70 | 1,70 | 19,4 | X | | | | 16,9 | OK | OK! | |
| 16 | / | 22 | 2700 | 1,70 | 1,70 | 19,4 | X | | | | 16,9 | OK | OK! | TUBO OBSTRUIDO |
| 21 | / | 8 | 3100 | 1,70 | 1,70 | 19,4 | X | | | | 16,9 | OK | OK! | |
| 21 | / | 12 | 3100 | 1,70 | 1,70 | 19,4 | X | | | | 16,9 | OK | OK! | ACESSO A 5900 |
| 21 | / | 25 | 3300 | 1,70 | 1,70 | 19,4 | X | | | | 16,9 | OK | OK! | |
| 21 | / | 29 | 3100 | 1,70 | 1,70 | 19,4 | X | | | | 16,9 | OK | OK! | |
| 25 | / | 10 | 2700 | 1,70 | 1,70 | 19,4 | X | | | | 16,9 | OK | OK! | |
| 25 | / | 19 | 3100 | 1,70 | 1,70 | 19,4 | X | | | | 16,9 | OK | OK! | |
| 7 | / | 26 | 3200 | 1,80 | 1,80 | 14,7 | X | | | | 23,7 | OK | OK! | |
| 11 | / | 9 | 2700 | 1,80 | 1,80 | 14,7 | X | | | | 23,7 | OK | OK! | |
| 11 | / | 36 | 2700 | 1,80 | 1,80 | 14,7 | X | | | | 23,7 | OK | OK! | |
| 14 | / | 2 | 2800 | 1,80 | 1,80 | 14,7 | X | | | | 23,7 | OK | OK! | |
| 14 | / | 16 | 2800 | 1,80 | 1,80 | 14,7 | X | | | | 23,7 | OK | OK! | ACESSO A 2800 |
| 14 | / | 38 | 3100 | 1,80 | 1,80 | 14,7 | X | | | | 23,7 | OK | OK! | |
| 16 | / | 3 | 2800 | 1,80 | 1,80 | 14,7 | X | | | | 23,7 | OK | OK! | |
| 18 | / | 2 | 3100 | 1,80 | 1,80 | 14,7 | X | | | | 23,7 | OK | OK! | |
| 21 | / | 21 | 3100 | 1,80 | 1,80 | 14,7 | X | | | | 23,7 | OK | OK! | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| ESCALA PERCENTUAL DE PERDA DE ESPESSURA: | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|----------------|----------------|-------------------------|------------------|------------------|----------------|----------------|-----------|-----------------------|----------------------------|----------------------|----------------|
| 0% a 45% | | | 46% a 55% | | | | 56% a 89% | | | | 90% a 100% | | |
| Nº DAS FILAS / COLUNAS DE | DISTÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO | % DE ESPESSURA | ER - ESPESSURA | % DE PERDA DE ESPESSURA | CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBSTRUÍDO | TUBO TAMPONADO | TUBO SUJO | VIDA ESTIMADA DO TUBO | AÇÕES DE RECOMENDAÇÕES POR | CONDIÇÃO OPERACIONAL | OBSERVAÇÃO |
| 21 / | 35 | 2800 | 1,80 | 1,80 | 14,7 | X | | | | 23,7 | OK | OK! | |
| 21 / | 36 | 2700 | 1,80 | 1,80 | 14,7 | X | | | | 23,7 | OK | OK! | |
| 25 / | 1 | 2800 | 1,80 | 1,80 | 14,7 | X | | | | 23,7 | OK | OK! | ACESSO A 4800 |
| 25 / | 6 | 3100 | 1,80 | 1,80 | 14,7 | X | | | | 23,7 | OK | OK! | ACESSO A 3900 |
| 25 / | 14 | 2600 | 1,80 | 1,80 | 14,7 | X | | | | 23,7 | OK | OK! | |
| 7 / | 33 | 2400 | 1,90 | 1,90 | 10,0 | X | | | | 36,9 | OK | OK! | |
| 18 / | 39 | 3200 | 1,90 | 1,90 | 10,0 | X | | | | 36,9 | OK | OK! | ACESSO A 4000 |
| 2 / | 24 | | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | TUBO OBSTRUIDO |
| 7 / | 4 | | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | TUBO OBSTRUIDO |
| 16 / | 17 | | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | |
| 18 / | 24 | | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | TUBO OBSTRUIDO |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| MARCAÇÕES DO ESPELHO DO EQUIPAMENTO - PONTOS DE CONTROLE | | | | | | | | |
|--|--|---|------------|---|--|---|-------|---|
| LEGENDAS DE MARCAÇÃO: | PARA ENSAIO: | O | OBSTRUÍDO: | X | TAMPOADO: | ☐ | SUJO: | * |
|  | | | | | | | | |
| IDENTIFICAÇÃO E ASSINATURA TÉCNICO EXECUTANTE NÍVEL I | IDENTIFICAÇÃO E ASSINATURA TÉCNICO NÍVEL II OU III | | | | IDENTIFICAÇÃO E ASSINATURA RESPENSÁVEL CLIENTE | | | |
| | | | | | | | | |
| INFORMAR Nº CFT OU EQUIVALENTE | INFORMAR Nº SNQC OU EQUIVALENTE | | | | INFORMAR Nº MATRÍCULA OU EQUIVALENTE | | | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| EMPRESA | | RELATÓRIO DE CONDIÇÃO FÍSICA RELATÓRIO P-3 | | | | | | | | | | IDENTIFICAÇÃO DO RELATÓRIO DE ENSAIO | |
|--|--|---|----------------------------------|-------------------------|------------------|---|----------------------|----------------|---|--|---|--------------------------------------|------------|
| | | FEIXE ASSOCIADO AO TAG DO EQUIPAMENTO: PERMUTADOR-3 DO TIPO PERMUTADOR DE CALOR | | | | | | | | | | CP PERMUTADOR P-3 | |
| PERÍODOS DE OPERAÇÃO DO FEIXE | | | INFORMAÇÕES DO FEIXE: | | | | | | RESUMO DOS RESULTADOS DAS MEDIÇÕES: | | | | |
| DATA DO ENSAIO (DD/MM/AAAA): | 31/08/2021 | | Ø DOS TUBOS (mm): | 19,05 | | Nº DE TUBOS DO FEIXE: | 642 | | | NÚMERO MÍNIMO DA AMOSTRA DE TUBOS A ENSAIAR: | 109 | | |
| INÍCIO OPERAÇÃO FEIXE (DD/MM/AAAA): | 08/05/2015 | | ESPESSURA DOS TUBOS (mm): | 2,11 | | Nº DE FILAS DE TUBOS DO FEIXE: | CHECAR | | | NÚMERO DE TUBOS AVALIADOS (AMOSTRA): | 59 | | |
| INTERVALOS ENTRE DATAS SEM OPERAR (DD/MM/AAAA): | | | MATERIAL DOS TUBOS: | SA-179 | | Nº DE COLUNAS DE TUBOS DO FEIXE: | CHECAR | | | MÍNIMA ESPESSURA ENCONTRADA (mm): | 0,0 | | |
| | Data início intervalo | Data fim intervalo | TUBOS LISOS OU ALETADOS? | LISOS | | FLUIDO DO CASCO: | VAPOR D'ÁGUA | | | ESPESSURA MÉDIA ENCONTRADA (mm): | 0,7 | | |
| INTERV. 01: | 00/01/1900 | 00/01/1900 | ALETAS FIXADAS POR GROOVE? | N/A | | FLUIDO DOS TUBOS: | ÁGUA DE RESFRIAMENTO | | | MÁXIMA ESPESSURA ENCONTRADA (mm): | 1,1 | | |
| INTERV. 02: | 00/01/1900 | 00/01/1900 | ALETAS LONG. OU CIRCUNF.? | N/A | | FLUIDOS CONTÊM H2S? | NÃO | | | % DE TUBOS ENSAIADOS (AMOSTRA): | PERCENTUAL DA AMOSTRA NÃO ATINGIDO! COMPLETAR! | | |
| TOTAL DE DESCONTO DE DIAS SEM OPERAR: | 0 | | MATERIAL DAS ALETAS? | CHECAR | | TIPO/FORMATO DO FEIXE: | TIPO I | | | % DE PERDA DE TUBOS (DA AMOSTRA): | 185% | | |
| OBSERVAÇÃO GERAL => | | | | | | | | | | | | | |
| PARECER TÉCNICO DE VIDA RESIDUAL DO FEIXE: | | | | | | | | | | | | | |
| VIDA ÚTIL (em anos) DESEJADA PARA MAIS UMA CAMPANHA => | | | | 6 | | RESULTADO DA AVALIAÇÃO DE VIDA ÚTIL DO FEIXE => | | | REPROVADO PARA OPERAR POR MAIS UMA CAMPANHA NAS CONDIÇÕES CONSTANTES EM SEU PRONTUÁRIO | | | | |
| ESCALA PERCENTUAL DE PERDA DE ESPESSURA: | | | | | | | | | | | | | |
| 0% a 45% | | | 46% a 55% | | | | 56% a 89% | | | | 90% a 100% | | |
| Nº DAS FILAS / COLUNAS DE TUBOS | DISTÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO PERDA ESP. (mm) | % DE ESPESSURA REMANESCENTE | ER - ESPESSURA REMANESCENTE (mm) | % DE PERDA DE ESPESSURA | CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBSTRUÍDO | TUBO TAMPONADO | TUBO SUJO | VIDA ESTIMADA DO TUBO (EM ANOS) | AÇÕES DE RECOMENDAÇÕES POR TUBO | CONDIÇÃO OPERACIONAL POR TUBO | OBSERVAÇÃO |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | / | 1 | | | | | x | | | | | | |
| 1 | / | 2 | 2300 | 0,80 | 0,80 | x | | | | 3,9 | TAMPONAR | PERDIDO | |
| 1 | / | 4 | | | | | x | | | | | | |
| 1 | / | 5 | | | | | x | | | | | | |
| 1 | / | 6 | 2000 | 0,80 | 0,80 | x | | | | 3,9 | TAMPONAR | PERDIDO | |
| 1 | / | 7 | | | | | x | | | | | | |
| 2 | / | 1 | 2500 | 0,60 | 0,60 | x | | | | 2,5 | TAMPONAR | PERDIDO | |
| 2 | / | 3 | | | | | x | | | | | | |
| 2 | / | 5 | 2400 | 0,80 | 0,80 | x | | | | 3,9 | TAMPONAR | PERDIDO | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| ESCALA PERCENTUAL DE PERDA DE ESPESSURA: | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|----------------|----------------|---------------|------------------|------------------|----------------|----------------|-----------|-----------------------|----------------------------|----------------------|------------------|--|
| 0% a 45% | | | 46% a 55% | | | | | 56% a 89% | | | | 90% a 100% | | |
| Nº DAS FILAS / COLUNAS DE | DISTÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO | % DE ESPESSURA | ER - ESPESSURA | % DE PERDA DE | CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBSTRUÍDO | TUBO TAMPONADO | TUBO SUJO | VIDA ESTIMADA DO TUBO | AÇÕES DE RECOMENDAÇÕES POR | CONDIÇÃO OPERACIONAL | OBSERVAÇÃO | |
| 2 / 6 | 2000 | 0,70 | 0,70 | 66,8 | | X | | | | 3,1 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 2 / 8 | 1200 | 0,80 | 0,80 | 62,1 | | X | | | | 3,9 | TAMPONAR | PERDIDO | ACESSO 1500 | |
| 2 / 10 | 1500 | 0,90 | 0,90 | 57,3 | | X | | | | 4,7 | TAMPONAR | PERDIDO | Acesso a 2000 mm | |
| 3 / 1 | 100 | 0,70 | 0,70 | 66,8 | | X | | | | 3,1 | TAMPONAR | PERDIDO | Acesso a 1900 mm | |
| 3 / 3 | | | | | | | x | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 3 / 5 | | | | | | | x | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 3 / 9 | 1000 | 0,90 | 0,90 | 57,3 | | X | | | | 4,7 | TAMPONAR | PERDIDO | acesso a 1500 mm | |
| 3 / 10 | 900 | 0,80 | 0,80 | 62,1 | | | | | | 3,9 | TAMPONAR | PERDIDO | ACESSO 900 | |
| 3 / 11 | 1000 | 0,70 | 0,70 | 66,8 | | | | | | 3,1 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 4 / 2 | 1300 | 0,90 | 0,90 | 57,3 | | | | | | 4,7 | TAMPONAR | PERDIDO | ACESSO 1300 | |
| 4 / 4 | | | | | | | x | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 4 / 7 | 2400 | 0,90 | 0,90 | 57,3 | | X | | | | 4,7 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 4 / 10 | 2000 | 0,30 | 0,30 | 85,8 | | X | | | | 1,0 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 5 / 1 | 1000 | 0,50 | 0,50 | 76,3 | | | | | | 2,0 | TAMPONAR | PERDIDO | ACESSO 2000 | |
| 5 / 3 | 1500 | 0,60 | 0,60 | 71,6 | | | | | | 2,5 | TAMPONAR | PERDIDO | ACESSO 1000 | |
| 5 / 5 | 1000 | 0,80 | 0,80 | 62,1 | | | | | | 3,9 | TAMPONAR | PERDIDO | ACESSO 1500 | |
| 5 / 7 | 800 | 0,80 | 0,80 | 62,1 | | | | | | 3,9 | TAMPONAR | PERDIDO | ACESSO 1000 | |
| 5 / 8 | | | | | | | x | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | OBSTRUÍDO | |
| 5 / 9 | 1500 | 0,80 | 0,80 | 62,1 | | X | | | | 3,9 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 5 / 10 | 1000 | 0,80 | 0,80 | 62,1 | | X | | | | 3,9 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 5 / 11 | 1200 | 0,70 | 0,70 | 66,8 | | X | | | | 3,1 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 6 / 1 | 2300 | 0,60 | 0,60 | 71,6 | | X | | | | 2,5 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 6 / 5 | | | | | | | x | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 6 / 6 | | | | | | | x | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 6 / 8 | | | | | | | x | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 6 / 10 | 1400 | 0,90 | 0,90 | 57,3 | | X | | | | 4,7 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 6 / 11 | | | | | | | x | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 6 / 12 | | | | | | | x | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 7 / 7 | 1000 | 0,80 | 0,80 | 62,1 | | X | | | | 3,9 | TAMPONAR | PERDIDO | ACESSO 1000 | |
| 7 / 8 | 2000 | 0,70 | 0,70 | 66,8 | | X | | | | 3,1 | TAMPONAR | PERDIDO | ACESSO 2000 | |
| 7 / 11 | | | | | | X | x | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 7 / 12 | 300 | 0,80 | 0,80 | 62,1 | | X | | | | 3,9 | TAMPONAR | PERDIDO | ACESSO 1000 | |
| 7 / 13 | | | | | | X | x | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 8 / 5 | 1500 | 0,90 | 0,90 | 57,3 | | X | | | | 4,7 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 8 / 9 | 2400 | 0,00 | 0,00 | 100,0 | | X | | | | 0,0 | FURADO-TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 8 / 10 | | | | | | | x | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 8 / 11 | 1200 | 0,70 | 0,70 | 66,8 | | X | | | | 3,1 | TAMPONAR | PERDIDO | ACESSO 1300 | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| ESCALA PERCENTUAL DE PERDA DE ESPESSURA: | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|----------------|----------------|---------------|------------------|------------------|----------------|----------------|-----------|-----------------------|-----------------------------|----------------------|---------------|--|
| 0% a 45% | | | 46% a 55% | | | | | 56% a 89% | | | | 90% a 100% | | |
| Nº DAS FILAS / COLUNAS DE | DISTÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO | % DE ESPESSURA | ER - ESPESSURA | % DE PERDA DE | CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBSTRUÍDO | TUBO TAMPONADO | TUBO SUJO | VIDA ESTIMADA DO TUBO | ACÇÕES DE RECOMENDAÇÕES POR | CONDIÇÃO OPERACIONAL | OBSERVAÇÃO | |
| 8 / 12 | 1000 | 0,60 | 0,60 | 71,6 | | X | | | | 2,5 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 9 / 2 | 2200 | 0,50 | 0,50 | 76,3 | | X | | | | 2,0 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 9 / 8 | | | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 9 / 9 | 400 | 0,70 | 0,70 | 66,8 | | | | | | 3,1 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 9 / 11 | | | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 9 / 12 | 1000 | 0,80 | 0,80 | 62,1 | | | | | | 3,9 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 9 / 13 | | | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 10 / 2 | | | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 10 / 4 | 1200 | 0,70 | 0,70 | 66,8 | | X | | | | 3,1 | TAMPONAR | PERDIDO | ACESSO 1400 | |
| 10 / 5 | 1000 | 0,60 | 0,60 | 71,6 | | X | | | | 2,5 | TAMPONAR | PERDIDO | ACESSO 1300 | |
| 10 / 6 | 900 | 0,50 | 0,50 | 76,3 | | X | | | | 2,0 | TAMPONAR | PERDIDO | ACESSO 1000 | |
| 10 / 8 | | | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 10 / 9 | | | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 11 / 1 | 1000 | 0,60 | 0,60 | 71,6 | | X | | | | 2,5 | TAMPONAR | PERDIDO | ACESSO 1500 | |
| 11 / 12 | 2200 | 0,50 | 0,50 | 76,3 | | X | | | | 2,0 | TAMPONAR | PERDIDO | ACESSO 2300 | |
| 12 / 2 | 700 | 0,60 | 0,60 | 71,6 | | X | | | | 2,5 | TAMPONAR | PERDIDO | ACESSO A 1000 | |
| 12 / 8 | | | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 12 / 10 | 1500 | 0,80 | 0,80 | 62,1 | | X | | | | 3,9 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 13 / 1 | | | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 13 / 4 | | | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 13 / 7 | | | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 13 / 10 | | | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 13 / 12 | | | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 14 / 1 | 2000 | 0,70 | 0,70 | 66,8 | | X | | | | 3,1 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 14 / 8 | | | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 14 / 9 | | | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 14 / 11 | 2000 | 0,50 | 0,50 | 76,3 | | X | | | | 2,0 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 15 / 2 | 300 | 0,40 | 0,40 | 81,0 | | X | | | | 1,5 | TAMPONAR | PERDIDO | ACESSO A 1300 | |
| 15 / 6 | 1000 | 0,80 | 0,80 | 62,1 | | X | | | | 3,9 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 15 / 7 | | | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 15 / 9 | 1000 | 1,00 | 1,00 | 52,6 | | X | | | | 5,7 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 16 / 2 | | | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 16 / 5 | | | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 16 / 6 | | | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 16 / 10 | 300 | 1,10 | 1,10 | 47,9 | | X | | | | 6,9 | OK | OK! | ACESSO A 1100 | |
| 17 / 1 | | | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 17 / 3 | | | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| ESCALA PERCENTUAL DE PERDA DE ESPESSURA: | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|----------------|----------------|---------------|------------------|------------------|----------------|----------------|-----------|-----------------------|----------------------------|----------------------|------------------|
| 0% a 45% | | | 46% a 55% | | | | | 56% a 89% | | | | 90% a 100% | |
| Nº DAS FILAS / COLUNAS DE | DISTÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO | % DE ESPESSURA | ER - ESPESSURA | % DE PERDA DE | CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBSTRUÍDO | TUBO TAMPONADO | TUBO SUJO | VIDA ESTIMADA DO TUBO | AÇÕES DE RECOMENDAÇÕES POR | CONDIÇÃO OPERACIONAL | OBSERVAÇÃO |
| 17 | / | 5 | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | |
| 17 | / | 6 | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | |
| 17 | / | 7 | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | |
| 17 | / | 8 | 2400 | 0,60 | 0,60 | 71,6 | X | | | 2,5 | TAMPONAR | PERDIDO | |
| 17 | / | 11 | 500 | 0,30 | 0,30 | 85,8 | X | | | 1,0 | TAMPONAR | PERDIDO | ACESSO A 1100 |
| 18 | / | 1 | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | |
| 18 | / | 3 | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | |
| 18 | / | 5 | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | |
| 18 | / | 6 | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | |
| 18 | / | 7 | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | |
| 18 | / | 8 | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | |
| 18 | / | 9 | 2000 | 0,60 | 0,60 | 71,6 | X | | | 2,5 | TAMPONAR | PERDIDO | |
| 18 | / | 10 | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | ACESSO A 1600 |
| 19 | / | 1 | 600 | 0,90 | 0,90 | 57,3 | X | | | 4,7 | TAMPONAR | PERDIDO | ACESSO A 1000 |
| 19 | / | 2 | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | |
| 19 | / | 3 | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | |
| 19 | / | 4 | 500 | 0,70 | 0,70 | 66,8 | X | | | 3,1 | TAMPONAR | PERDIDO | ACESSO A 1700 |
| 19 | / | 5 | 1000 | 0,80 | 0,80 | 62,1 | X | | | 3,9 | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | Acesso a 2000 mm |
| 19 | / | 6 | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | |
| 19 | / | 7 | 1000 | 0,50 | 0,50 | 76,3 | X | | | 2,0 | TAMPONAR | PERDIDO | |
| 20 | / | 1 | 5000 | 1,00 | 1,00 | 52,6 | X | | | 5,7 | TAMPONAR | PERDIDO | |
| 20 | / | 2 | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | |
| 20 | / | 3 | 200 | 0,90 | 0,90 | 57,3 | X | | | 4,7 | TAMPONAR | PERDIDO | ACESSO A 1400 |
| 20 | / | 4 | 300 | 0,30 | 0,30 | 85,8 | X | | | 1,0 | TAMPONAR | PERDIDO | |
| 20 | / | 6 | 2500 | 0,50 | 0,50 | 76,3 | X | | | 2,0 | TAMPONAR | PERDIDO | |
| 20 | / | 8 | 300 | 0,40 | 0,40 | 81,0 | X | | | 1,5 | TAMPONAR | PERDIDO | |
| 21 | / | 1 | 1000 | 0,60 | 0,60 | 71,6 | X | | | 2,5 | TAMPONAR | PERDIDO | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| MARCAÇÕES DO ESPELHO DO EQUIPAMENTO - PONTOS DE CONTROLE | | | | | | | | |
|--|--------------|---|--|---|-----------|--|-------|---|
| LEGENDAS DE MARCAÇÃO: | PARA ENSAIO: | O | OBSTRUÍDO: | X | TAMPOADO: | ☒ | SUJO: | * |
|  | | | | | | | | |
| IDENTIFICAÇÃO E ASSINATURA TÉCNICO EXECUTANTE NÍVEL I | | | IDENTIFICAÇÃO E ASSINATURA TÉCNICO NÍVEL II OU III | | | IDENTIFICAÇÃO E ASSINATURA RESPENSÁVEL CLIENTE | | |
| | | | | | | | | |
| INFORMAR Nº CFT OU EQUIVALENTE | | | INFORMAR Nº SNQC OU EQUIVALENTE | | | INFORMAR Nº MATRÍCULA OU EQUIVALENTE | | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| EMPRESA | | RELATÓRIO DE CONDIÇÃO FÍSICA RELATÓRIO P-4 | | | | | | | | | | IDENTIFICAÇÃO DO RELATÓRIO DE ENSAIO | | |
|--|--|---|----------------------------------|-------------------------|---|----------------------|----------------|---|-------------------------------------|--|---|--------------------------------------|------------|--|
| | | FEIXE ASSOCIADO AO TAG DO EQUIPAMENTO: PERMUTADOR-4 DO TIPO PERMUTADOR DE CALOR | | | | | | | | | | CP PERMUTADOR P-4 | | |
| PERÍODOS DE OPERAÇÃO DO FEIXE | | | INFORMAÇÕES DO FEIXE: | | | | | | RESUMO DOS RESULTADOS DAS MEDIÇÕES: | | | | | |
| DATA DO ENSAIO (DD/MM/AAAA): | | 31/08/2021 | Ø DOS TUBOS (mm): | 19,05 | Nº DE TUBOS DO FEIXE: | 642 | | | | NÚMERO MÍNIMO DA AMOSTRA DE TUBOS A ENSAIAR: | 91 | | | |
| INÍCIO OPERAÇÃO FEIXE (DD/MM/AAAA): | | 08/05/2015 | ESPESSURA DOS TUBOS (mm): | 2,11 | Nº DE FILAS DE TUBOS DO FEIXE: | CHECAR | | | | NÚMERO DE TUBOS AVALIADOS (AMOSTRA): | 84 | | | |
| INTERVALOS ENTRE DATAS SEM OPERAR (DD/MM/AAAA): | | | MATERIAL DOS TUBOS: | SA-179 | Nº DE COLUNAS DE TUBOS DO FEIXE: | CHECAR | | | | MÍNIMA ESPESSURA ENCONTRADA (mm): | 0,0 | | | |
| | Data início intervalo | Data fim intervalo | TUBOS LISOS OU ALETADOS? | LISOS | FLUIDO DO CASCO: | VAPOR D'ÁGUA | | | | ESPESSURA MÉDIA ENCONTRADA (mm): | 0,8 | | | |
| INTERV. 41: | 00/01/1900 | 00/01/1900 | ALETAS FIXADAS POR GROOVE? | N/A | FLUIDO DOS TUBOS: | ÁGUA DE RESFRIAMENTO | | | | MÁXIMA ESPESSURA ENCONTRADA (mm): | 1,0 | | | |
| INTERV. 42: | 00/01/1900 | 00/01/1900 | ALETAS LONG. OU CIRCUNF.? | N/A | FLUIDOS CONTÉM H2S? | NÃO | | | | % DE TUBOS ENSAIADOS (AMOSTRA): | PERCENTUAL DA AMOSTRA NÃO ATINGIDO! COMPLETAR! | | | |
| TOTAL DE DESCONTO DE DIAS SEM OPERAR: | | 0 | MATERIAL DAS ALETAS? | CHECAR | TIPO/ FORMATO DO FEIXE: | TIPO 1 | | | | % DE PERDA DE TUBOS (DA AMOSTRA): | 185% | | | |
| OBSERVAÇÃO GERAL => | | | | | | | | | | | | | | |
| PARECER TÉCNICO DE VIDA RESIDUAL DO FEIXE: | | | | | | | | | | | | | | |
| VIDA ÚTIL (em anos) DESEJADA PARA MAIS UMA CAMPANHA => | | | | 6 | RESULTADO DA AVALIAÇÃO DE VIDA ÚTIL DO FEIXE => | | | REPROVADO PARA OPERAR POR MAIS UMA CAMPANHA NAS CONDIÇÕES CONSTANTES EM SEU PRONTUÁRIO | | | | | | |
| ESCALA PERCENTUAL DE PERDA DE ESPESSURA: | | | | | | | | | | | | | | |
| 0% a 45% | | | 46% a 55% | | | | 56% a 89% | | | | 90% a 100% | | | |
| Nº DAS FILAS / COLUNAS DE TUBOS | DISTÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO PERDA ESP. (mm) | % DE ESPESSURA REMANESCENTE | ER - ESPESSURA REMANESCENTE (mm) | % DE PERDA DE ESPESSURA | CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBSTRUÍDO | TUBO TAMPONADO | TUBO SLUO | VIDA ESTIMADA DO TUBO (EM ANOS) | AÇÕES DE RECOMENDAÇÕES POR TUBO | CONDIÇÃO OPERACIONAL POR TUBO | OBSERVAÇÃO | |
| | | | | | MARCAR COM UM "X" ONDE APLICÁVEL CONFORME ACIMA | | | | | | | | | |
| 1 | / | 1 | | | | | X | | | | | | | |
| 1 | / | 3 | | | | | X | | | | | | | |
| 1 | / | 4 | 3500 | 0,90 | 0,90 | 57,3 | | X | | 4,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 1 | / | 6 | 5300 | 0,80 | 0,80 | 62,1 | | X | | 3,8 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 2 | / | 1 | 4900 | 1,00 | 1,00 | 52,6 | | X | | 5,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 2 | / | 5 | 5000 | 0,90 | 0,90 | 57,3 | | X | | 4,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 2 | / | 8 | 5400 | 1,00 | 1,00 | 52,6 | | X | | 5,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 2 | / | 12 | 4200 | 0,80 | 0,80 | 62,1 | | X | | 3,8 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 3 | / | 5 | 4800 | 0,30 | 0,30 | 85,8 | | X | | 1,0 | TAMPONAR | PERDIDO | | |

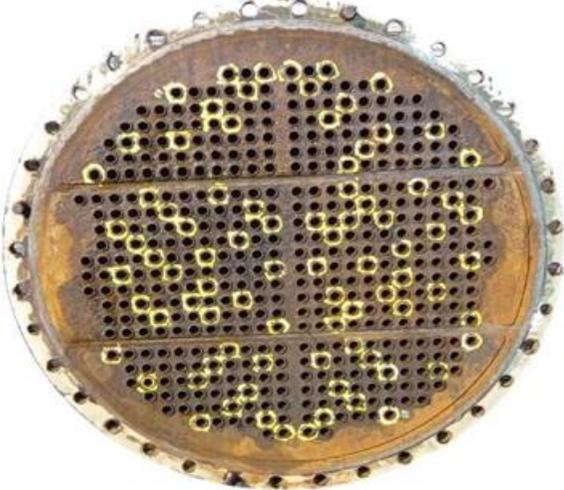
ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| ESCALA PERCENTUAL DE PERDA DE ESPESSURA: | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|------------------|------------------|---------------|----------------|-----------|-----------------------|----------------------------------|----------------------|------------|--|
| 0% a 45% | | | 46% a 55% | | | | | 56% a 89% | | | | 90% a 100% | | |
| Nº DAS FILAS / COLUNAS DE TUBOS | DISTÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO | % DE ESPESSURA REMANESCENTE | ER - ESPESSURA REMANESCENTE | % DE PERDA DE ESPESSURA | CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBTURADO | TUBO TAMPONADO | TUBO SUJO | VIDA ESTIMADA DO TUBO | AÇÕES DE RECOMENDAÇÕES POR TUBOS | CONDIÇÃO OPERACIONAL | OBSERVAÇÃO | |
| 3 | / | 12 | 1800 | 0,50 | 0,50 | 76,3 | | | | 1,9 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 4 | / | 7 | 5000 | 0,70 | 0,70 | 66,8 | | | | 3,1 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 4 | / | 12 | 4300 | 0,80 | 0,80 | 62,1 | | | | 3,8 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 5 | / | 2 | 1400 | 1,00 | 1,00 | 52,6 | | | | 5,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 5 | / | 5 | 4900 | 0,50 | 0,50 | 76,3 | | | | 1,9 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 5 | / | 16 | 5400 | 0,90 | 0,90 | 57,3 | | | | 4,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 5 | / | 19 | 5000 | 1,00 | 1,00 | 52,6 | | | | 5,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 6 | / | 6 | 4500 | 0,80 | 0,80 | 62,1 | | | | 3,8 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 6 | / | 15 | 4400 | 0,90 | 0,90 | 57,3 | | | | 4,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 7 | / | 1 | 4700 | 0,70 | 0,70 | 66,8 | | | | 3,1 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 7 | / | 8 | 3400 | 1,00 | 1,00 | 52,6 | | | | 5,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 7 | / | 15 | 2900 | 0,90 | 0,90 | 57,3 | | | | 4,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 7 | / | 18 | 4100 | 0,70 | 0,70 | 66,8 | | | | 3,1 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 8 | / | 5 | 1200 | 1,00 | 1,00 | 52,6 | | | | 5,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 8 | / | 9 | 4500 | 0,90 | 0,90 | 57,3 | | | | 4,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 8 | / | 16 | 3400 | 1,00 | 1,00 | 52,6 | | | | 5,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 8 | / | 20 | 3500 | 0,90 | 0,90 | 53,7 | | | | 4,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 9 | / | 5 | 5400 | 1,00 | 1,00 | 52,6 | | | | 5,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 9 | / | 10 | 4900 | 1,00 | 1,00 | 52,6 | | | | 5,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 9 | / | 16 | 2000 | 0,90 | 0,90 | 57,3 | | | | 4,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 9 | / | 21 | 5100 | 0,70 | 0,70 | 66,8 | | | | 3,1 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 10 | / | 2 | 5000 | 1,00 | 1,00 | 52,6 | | | | 5,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 10 | / | 6 | 4900 | 0,90 | 0,90 | 57,3 | | | | 4,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 10 | / | 11 | 5000 | 0,70 | 0,70 | 66,8 | | | | 3,1 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 10 | / | 13 | 5000 | 0,90 | 0,90 | 57,3 | | | | 4,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 10 | / | 15 | 3200 | 1,00 | 1,00 | 52,6 | | | | 5,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 10 | / | 17 | 4300 | 0,80 | 0,80 | 62,1 | | | | 3,8 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 10 | / | 22 | 4900 | 1,00 | 1,00 | 52,6 | | | | 5,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 11 | / | 3 | 4600 | 1,00 | 1,00 | 52,6 | | | | 5,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 11 | / | 9 | 4900 | 0,50 | 0,50 | 76,3 | | | | 1,9 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 11 | / | 14 | 3200 | 1,00 | 1,00 | 52,6 | | | | 5,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 11 | / | 20 | 3600 | 0,80 | 0,80 | 62,1 | | | | 3,8 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 12 | / | 5 | 3700 | 0,80 | 0,80 | 62,1 | | | | 3,8 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 12 | / | 8 | 4000 | 0,90 | 0,90 | 57,3 | | | | 4,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 12 | / | 19 | 5200 | 0,70 | 0,70 | 66,8 | | | | 3,1 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 13 | / | 3 | 4900 | 0,40 | 0,40 | 81,0 | | | | 1,4 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 13 | / | 6 | 4500 | 0,00 | 0,00 | 100,0 | | | | 0,0 | FURADO-TAMPONAR | PERDIDO | | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| ESCALA PERCENTUAL DE PERDA DE ESPESSURA: | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|----------------|----------------|---------------|------------------|------------------|---------------|----------------|-----------|-----------------------|----------------------------|----------------------|------------|--|
| 0% a 45% | | | 46% a 55% | | | | | 56% a 89% | | | | 90% a 100% | | |
| Nº DAS FILAS / COLUNAS DE | DISTÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO | % DE ESPESSURA | ER - ESPESSURA | % DE PERDA DE | CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBTURADO | TUBO TAMPONADO | TUBO SUJO | VIDA ESTIMADA DO TUBO | AÇÕES DE RECOMENDAÇÕES POR | CONDIÇÃO OPERACIONAL | OBSERVAÇÃO | |
| 13 / 12 | 5000 | 0,60 | 0,60 | 71,6 | | X | | | | 2,4 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 13 / 14 | 1900 | 1,00 | 1,00 | 52,6 | | X | | | | 5,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 13 / 17 | 4700 | 0,80 | 0,80 | 62,1 | | X | | | | 3,8 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 13 / 23 | 4500 | 0,90 | 0,90 | 57,3 | | X | | | | 4,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 14 / 8 | 5400 | 1,00 | 1,00 | 52,6 | | X | | | | 5,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 14 / 19 | 2900 | 1,00 | 1,00 | 52,6 | | X | | | | 5,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 15 / 3 | 4000 | 0,40 | 0,40 | 81,0 | | X | | | | 1,4 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 15 / 6 | 4200 | 0,60 | 0,60 | 71,6 | | X | | | | 2,4 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 15 / 9 | 3600 | 0,70 | 0,70 | 66,8 | | X | | | | 3,1 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 15 / 14 | 1200 | 0,30 | 0,30 | 85,8 | | X | | | | 1,0 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 15 / 17 | 700 | 1,00 | 1,00 | 52,6 | | X | | | | 5,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 15 / 20 | 2000 | 0,80 | 0,80 | 62,1 | | X | | | | 3,8 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 16 / 4 | 4200 | 0,90 | 0,90 | 57,3 | | X | | | | 4,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 16 / 7 | 2800 | 0,60 | 0,60 | 71,6 | | X | | | | 2,4 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 16 / 16 | 5000 | 1,00 | 1,00 | 52,6 | | X | | | | 5,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 16 / 19 | 4700 | 1,00 | 1,00 | 52,6 | | X | | | | 5,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 17 / 11 | 4600 | 0,70 | 0,70 | 66,8 | | X | | | | 3,1 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 17 / 14 | 4700 | 0,50 | 0,50 | 76,3 | | X | | | | 1,9 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 17 / 22 | 4700 | 0,80 | 0,80 | 62,1 | | X | | | | 3,8 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 18 / 1 | 5300 | 1,00 | 1,00 | 52,6 | | X | | | | 5,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 18 / 8 | 1600 | 1,00 | 1,00 | 52,6 | | X | | | | 5,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 18 / 15 | 3300 | 0,90 | 0,90 | 57,3 | | X | | | | 4,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 18 / 22 | 5300 | 1,00 | 1,00 | 52,6 | | X | | | | 5,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 19 / 6 | 4500 | 0,70 | 0,70 | 66,8 | | X | | | | 3,1 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 19 / 9 | 3000 | 1,00 | 1,00 | 52,6 | | X | | | | 5,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 19 / 12 | 41900 | 1,00 | 1,00 | 52,6 | | X | | | | 5,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 19 / 15 | 2500 | 0,90 | 0,90 | 57,3 | | X | | | | 4,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 20 / 2 | 3100 | 1,00 | 1,00 | 52,6 | | X | | | | 5,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 20 / 5 | 5200 | 0,80 | 0,80 | 62,1 | | X | | | | 3,8 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 20 / 16 | 4900 | 0,90 | 0,90 | 57,3 | | X | | | | 4,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 20 / 19 | 4900 | 1,00 | 1,00 | 52,6 | | X | | | | 5,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 21 / 7 | 4500 | 0,80 | 0,80 | 62,1 | | X | | | | 3,8 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 21 / 12 | 5100 | 1,00 | 1,00 | 52,6 | | X | | | | 5,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 22 / 5 | 4700 | 0,70 | 0,70 | 66,8 | | X | | | | 3,1 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 22 / 12 | | | | | | | X | | | | | | | |
| 23 / 1 | 2700 | 0,90 | 0,90 | 57,3 | | X | | | | 4,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 23 / 5 | 3800 | 1,00 | 1,00 | 52,6 | | X | | | | 5,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| ESCALA PERCENTUAL DE PERDA DE ESPESSURA: | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------------|----------------|--|-------------------------|------------------|------------------|----------------|----------------|--|-----------------------|-----------------------------|----------------------|------------|--|
| 0% a 45% | | | 46% a 55% | | | | 56% a 89% | | | | 90% a 100% | | | |
| Nº DAS FILAS / COLUNAS DE TUBOS | DISTÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO | % DE ESPESSURA | ER - ESPESSURA | % DE PERDA DE ESPESSURA | CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBSTRUÍDO | TUBO TAMPONADO | TUBO SUJO | VIDA ESTIMADA DO TUBO | ACÇÕES DE RECOMENDAÇÕES POR | CONDIÇÃO OPERACIONAL | OBSERVAÇÃO | |
| 23 / 8 | 3000 | 0,80 | 0,80 | 62,1 | | X | | | | 3,8 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 23 / 12 | 4500 | 0,90 | 0,90 | 57,3 | | X | | | | 4,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 24 / 2 | 4000 | 1,00 | 1,00 | 52,6 | | X | | | | 5,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| 24 / 3 | 5200 | 0,90 | 0,90 | 57,3 | | X | | | | 4,6 | TAMPONAR | PERDIDO | | |
| MARCAÇÕES DO ESPELHO DO EQUIPAMENTO - PONTOS DE CONTROLE | | | | | | | | | | | | | | |
| LEGENDAS DE MARCAÇÃO: | PARA ENSAIO: | O | OBSTRUÍDO: | X | TAMPOADO: | ☐ | SUJO: | * | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | | | |
| IDENTIFICAÇÃO E ASSINATURA TÉCNICO EXECUTANTE NÍVEL I | | | IDENTIFICAÇÃO E ASSINATURA TÉCNICO NÍVEL II OU III | | | | | | IDENTIFICAÇÃO E ASSINATURA RESPENSÁVEL CLIENTE | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| INFORMAR Nº CFT OU EQUIVALENTE | | | INFORMAR Nº SNQC OU EQUIVALENTE | | | | | | INFORMAR Nº MATRÍCULA OU EQUIVALENTE | | | | | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| EMPRESA | | RELATÓRIO DE CONDIÇÃO FÍSICA RELATÓRIO P-5 | | | | | | | | | | IDENTIFICAÇÃO DO RELATÓRIO DE ENSAIO | |
|--|--|--|----------------------------------|-------------------------|--------------------------------|----------------------------------|---|----------------|--|---|---------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | FEIXE ASSOCIADO AO TAG DO EQUIPAMENTO: PERMUTADOR-5 | | | | | DO TIPO PERMUTADOR DE CALOR | | | | | CP PERMUTADOR P-5 | |
| PERÍODOS DE OPERAÇÃO DO FEIXE | | | INFORMAÇÕES DO FEIXE: | | | | | | RESUMO DOS RESULTADOS DAS MEDIÇÕES: | | | | |
| DATA DO ENSAIO (DD/MM/AAAA): | 20/08/2021 | | Ø DOS TUBOS (mm): | 25,40 | Nº DE TUBOS DO FEIXE: | 856 | | | NÚMERO MÍNIMO DA AMOSTRA DE TUBOS A ENSAIAR: | 86 | | | |
| INÍCIO OPERAÇÃO FEIXE (DD/MM/AAA): | 14/05/2015 | | ESPESSURA DOS TUBOS (mm): | 2,77 | Nº DE FILAS DE TUBOS DO FEIXE: | CHECAR | | | NÚMERO DE TUBOS AVALIADOS (AMOSTRA): | 849 | | | |
| INTERVALOS ENTRE DATAS SEM OPERAR (DD/MM/AAAA): | | | MATERIAL DOS TUBOS: | SA-213M TP 347 | | Nº DE COLUNAS DE TUBOS DO FEIXE: | CHECAR | | | MÍNIMA ESPESSURA ENCONTRADA (mm): | 1,2 | | |
| | Data início intervalo | Data fim intervalo | TUBOS LISOS OU ALETADOS? | LISOS | | FLUIDO DO CASCO: | DIESEL + H2 | | | ESPESSURA MÉDIA ENCONTRADA (mm): | 2,7 | | |
| INTERV. 01: | 00/01/1900 | 00/01/1900 | ALETAS FIXADAS POR GROOVE? | N/A | | FLUIDO DOS TUBOS: | DIESEL + H2 + H2S | | | MÁXIMA ESPESSURA ENCONTRADA (mm): | 2,8 | | |
| INTERV. 02: | 00/01/1900 | 00/01/1900 | ALETAS LONG. OU CIRCUNF.? | N/A | | FLUIDOS CONTÉM H2S? | NÃO | | | % DE TUBOS ENSALADOS (AMOSTRA): | 99% | | |
| TOTAL DE DESCONTO DE DIAS SEM OPERAR: | 0 | | MATERIAL DAS ALETAS? | CHECAR | | TIPO/FORMATO DO FEIXE: | TIPO U | | | % DE PERDA DE TUBOS (DA AMOSTRA): | 1% | | |
| OBSERVAÇÃO GERAL => | | | | | | | | | | | | | |
| PARECER TÉCNICO DE VIDA RESIDUAL DO FEIXE: | | | | | | | | | | | | | |
| VIDA ÚTIL (em anos) DESEJADA PARA MAIS UMA CAMPANHA => | | | | | 6 | | RESULTADO DA AVALIAÇÃO DE VIDA ÚTIL DO FEIXE => | | | APROVADO PARA OPERAR POR MAIS UMA CAMPANHA NAS CONDIÇÕES CONSTANTES EM SEU PRONTUÁRIO SE ATENDIDAS AS RECOMENDAÇÕES POR TUBO ABAIXO | | | |
| ESCALA PERCENTUAL DE PERDA DE ESPESSURA: | | | | | | | | | | | | | |
| 0% a 45% | | | 46% a 55% | | | | 56% a 89% | | | | 90% a 100% | | |
| Nº DAS FILAS / COLUNAS DE TUBOS | DISTÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO PERDA ESP. (mm) | % DE ESPESSURA REMANESCENTE | ER - ESPESSURA REMANESCENTE (mm) | % DE PERDA DE ESPESSURA | CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBTURADO | TUBO TAMPONADO | TUBO SUJO | VIDA ESTIMADA DO TUBO (EM ANOS) | AÇÕES DE RECOMENDAÇÕES POR TUBO | CONDIÇÃO OPERACIONAL POR TUBO | OBSERVAÇÃO |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 1 / 1 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 1 / 2 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 1 / 3 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 1 / 4 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 1 / 5 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 1 / 6 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 1 / 7 | 800 | 69,00 | 1,91 | 31,0 | | X | | | | 14,0 | OK | OK! | |
| 1 / 8 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 1 / 9 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 1 / 10 | 800 | 79,00 | 2,19 | 21,0 | | X | | | | 23,6 | OK | OK! | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| ESCALA PERCENTUAL DE PERDA DE ESPESSURA: | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|---------------|----------------|-----------|-----------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------|
| 0% a 45% | | | 46% a 55% | | | | 56% a 89% | | | | 90% a 100% | | |
| Nº DAS FILAS / COLUNAS DE TUBOS | DISTÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO | % DE ESPESSURA REMANESCENTE | ER - ESPESSURA REMANESCENTE (mm) | % DE PERDA DE ESPESSURA | CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBTURADO | TUBO TAMPONADO | TUBO SUJO | VIDA ESTIMADA DO TUBO | AÇÕES DE RECOMENDAÇÕES POR TUBO | CONDICÃO OPERACIONAL POR TUBO | OBSERVAÇÃO |
| 1 / 11 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 1 / 12 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 1 / 13 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 1 / 14 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 1 / 15 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 1 / 16 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 1 / 17 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 2 / 1 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 2 / 2 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 2 / 3 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 2 / 4 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 2 / 5 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 2 / 6 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 2 / 7 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 2 / 8 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 2 / 9 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 2 / 10 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 2 / 11 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 2 / 12 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 2 / 13 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 2 / 14 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 2 / 15 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 2 / 16 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 2 / 17 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 2 / 18 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 2 / 19 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 2 / 20 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 2 / 21 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 2 / 22 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 2 / 23 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 2 / 24 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 2 / 25 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 3 / 1 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 3 / 2 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 3 / 3 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 3 / 4 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 3 / 5 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 3 / 6 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| ESCALA PERCENTUAL DE PERDA DE ESPESSURA: | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|---------------|----------------|-----------|-----------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------|
| 0% a 45% | | | 46% a 55% | | | | 56% a 89% | | | | 90% a 100% | | |
| Nº DAS FILAS / COLUNAS DE TUBOS | DISTÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO | % DE ESPESSURA REMANESCENTE | ER - ESPESSURA REMANESCENTE (mm) | % DE PERDA DE ESPESSURA | CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBTURADO | TUBO TAMPONADO | TUBO SUJO | VIDA ESTIMADA DO TUBO | AÇÕES DE RECOMENDAÇÕES POR TUBO | CONDIÇÃO OPERACIONAL POR TUBO | OBSERVAÇÃO |
| 3 / 7 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 3 / 8 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 3 / 9 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 3 / 10 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 3 / 11 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 3 / 12 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 3 / 13 | 1500 | 64,00 | 1,77 | 36,0 | | X | | | | 11,2 | OK | OK! | |
| 3 / 14 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 3 / 15 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 3 / 16 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 3 / 17 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 3 / 18 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 3 / 19 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 3 / 20 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 3 / 21 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 3 / 22 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 3 / 23 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 3 / 24 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 3 / 25 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 3 / 26 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 3 / 27 | 800 | 64,00 | 1,77 | 36,0 | | X | | | | 11,2 | OK | OK! | |
| 4 / 1 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 4 / 2 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 4 / 3 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 4 / 4 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 4 / 5 | 800 | 62,00 | 1,72 | 38,0 | | X | | | | 10,2 | OK | OK! | |
| 4 / 6 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 4 / 7 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 4 / 8 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 4 / 9 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 4 / 10 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 4 / 11 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 4 / 12 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 4 / 13 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 4 / 14 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 4 / 15 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 4 / 16 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 4 / 17 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| ESCALA PERCENTUAL DE PERDA DE ESPESSURA: | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|---------------|----------------|-----------|-----------------------|----------------------------------|-------------------------------|------------|
| 0% a 45% | | | 46% a 55% | | | | 56% a 89% | | | | 90% a 100% | | |
| Nº DAS FILAS / COLUNAS DE TUBOS | DISTÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO | % DE ESPESSURA REMANESCENTE | ER - ESPESSURA REMANESCENTE (mm) | % DE PERDA DE ESPESSURA | CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBTURADO | TUBO TAMPONADO | TUBO SUJO | VIDA ESTIMADA DO TUBO | ACÇÕES DE RECOMENDAÇÕES POR TUBO | CONDIÇÃO OPERACIONAL POR TUBO | OBSERVAÇÃO |
| 4 / 18 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 4 / 19 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 4 / 20 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 4 / 21 | 800 | 70,00 | 1,94 | 30,0 | | X | | | | 14,6 | OK | OK! | |
| 4 / 22 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 4 / 23 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 4 / 24 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 4 / 25 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 4 / 26 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 4 / 27 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 5 / 1 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 5 / 2 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 5 / 3 | | | | | | | | X | | | TAMPONADO | PERDIDO | |
| 5 / 4 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 5 / 5 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 5 / 6 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 5 / 7 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 5 / 8 | | 80,00 | 2,22 | 20,0 | | X | | | | 25,1 | OK | OK! | |
| 5 / 9 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 5 / 10 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 5 / 11 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 5 / 12 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 5 / 13 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 5 / 14 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 5 / 15 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 5 / 16 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 5 / 17 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 5 / 18 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 5 / 19 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 5 / 20 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 5 / 21 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 5 / 22 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 5 / 23 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 5 / 24 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 5 / 25 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 5 / 26 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 5 / 27 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 5 / 28 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| ESCALA PERCENTUAL DE PERDA DE ESPESSURA: | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|---------------|----------------|-----------|-----------------------|----------------------------------|-------------------------------|------------|
| 0% a 45% | | | 46% a 55% | | | | 56% a 89% | | | | 90% a 100% | | |
| Nº DAS FILAS / COLUNAS DE TUBOS | DISTÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO | % DE ESPESSURA REMANESCENTE | ER - ESPESSURA REMANESCENTE (mm) | % DE PERDA DE ESPESSURA | CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBTURADO | TUBO TAMPONADO | TUBO SUJO | VIDA ESTIMADA DO TUBO | ACÇÕES DE RECOMENDAÇÕES POR TUBO | CONDIÇÃO OPERACIONAL POR TUBO | OBSERVAÇÃO |
| 5 / 29 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 6 / 1 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 6 / 2 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 6 / 3 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 6 / 4 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 6 / 5 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 6 / 6 | 1500 | 75,00 | 2,08 | 25,0 | | | | | | 18,8 | OK | OK! | |
| 6 / 7 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 6 / 8 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 6 / 9 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 6 / 10 | 1000 | 70,00 | 1,94 | 30,0 | | | | | | 14,6 | OK | OK! | |
| 6 / 11 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 6 / 12 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 6 / 13 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 6 / 14 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 6 / 15 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 6 / 16 | 800 | 75,00 | 2,08 | 25,0 | | | | | | 18,8 | OK | OK! | |
| 6 / 17 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 6 / 18 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 6 / 19 | 1500 | 68,00 | 1,88 | 32,0 | | | | | | 13,3 | OK | OK! | |
| 6 / 20 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 6 / 21 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 6 / 22 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 6 / 23 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 6 / 24 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 6 / 25 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 6 / 26 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 6 / 27 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 6 / 28 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 6 / 29 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 6 / 30 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 6 / 31 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 7 / 1 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 7 / 2 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 7 / 3 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 7 / 4 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 7 / 5 | 1500 | 59,00 | 1,63 | 41,0 | | X | | | | 9,0 | OK | OK! | |
| 7 / 6 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| ESCALA PERCENTUAL DE PERDA DE ESPESSURA: | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|--------------|----------------|-----------|-----------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------|
| 0% a 45% | | | 46% a 55% | | | | 56% a 89% | | | | 90% a 100% | | |
| Nº DAS FILAS / COLUNAS DE TUBOS | DISTÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO | % DE ESPESSURA REMANESCENTE | ER - ESPESSURA REMANESCENTE (mm) | % DE PERDA DE ESPESSURA | CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBRUÍDO | TUBO TAMPONADO | TUBO SUJO | VIDA ESTIMADA DO TUBO | AÇÕES DE RECOMENDAÇÕES POR TUBO | CONDIÇÃO OPERACIONAL (R00-31-R0) | OBSERVAÇÃO |
| 7 / 7 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 7 / 8 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 7 / 9 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 7 / 10 | 1000 | 79,00 | 2,19 | 21,0 | | X | | | | 23,6 | OK | OK! | |
| 7 / 11 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 7 / 12 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 7 / 13 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 7 / 14 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 7 / 15 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 7 / 16 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 7 / 17 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 7 / 18 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 7 / 19 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 7 / 20 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 7 / 21 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 7 / 22 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 7 / 23 | | 44,00 | 1,22 | 56,0 | | X | | | | 4,9 | TAMPONAR | PERDIDO | |
| 7 / 24 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 7 / 25 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 7 / 26 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 7 / 27 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 7 / 28 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 7 / 29 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 7 / 30 | | | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | |
| 7 / 31 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 8 / 1 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 8 / 2 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 8 / 3 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 8 / 4 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 8 / 5 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 8 / 6 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 8 / 7 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 8 / 8 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 8 / 9 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 8 / 10 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 8 / 11 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 8 / 12 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 8 / 13 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| ESCALA PERCENTUAL DE PERDA DE ESPESSURA: | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|---------------|----------------|-----------|-----------------------|----------------------------------|-------------------------------|------------|
| 0% a 45% | | | 46% a 55% | | | | | 56% a 89% | | | | 90% a 100% | |
| Nº DAS FILAS / COLUNAS DE TUBOS | DISTÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO | % DE ESPESSURA REMANESCENTE | ER - ESPESSURA REMANESCENTE (mm) | % DE PERDA DE ESPESSURA | CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBTURADO | TUBO TAMPONADO | TUBO SUJO | VIDA ESTIMADA DO TUBO | ACÇÕES DE RECOMENDAÇÕES POR TUBO | CONDIÇÃO OPERACIONAL POR TUBO | OBSERVAÇÃO |
| 8 / 14 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 8 / 15 | 1500 | 80,00 | 2,22 | 20,0 | | X | | | | 25,1 | OK | OK! | |
| 8 / 16 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 8 / 17 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 8 / 18 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 8 / 19 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 8 / 20 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 8 / 21 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 8 / 22 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 8 / 23 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 8 / 24 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 8 / 25 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 8 / 26 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 8 / 27 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 8 / 28 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 8 / 29 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 8 / 30 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 8 / 31 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 8 / 32 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 8 / 33 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 9 / 1 | | 44,00 | 1,22 | 56,0 | | X | | | | 4,9 | TAMPONAR | PERDIDO | |
| 9 / 2 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 9 / 3 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 9 / 4 | | 44,00 | 1,22 | 56,0 | | X | | | | 4,9 | TAMPONAR | PERDIDO | |
| 9 / 5 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 9 / 6 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 9 / 7 | | 44,00 | 1,22 | 56,0 | | X | | | | 4,9 | TAMPONAR | PERDIDO | |
| 9 / 8 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 9 / 9 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 9 / 10 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 9 / 11 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 9 / 12 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 9 / 13 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 9 / 14 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 9 / 15 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 9 / 16 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 9 / 17 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 9 / 18 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| ESCALA PERCENTUAL DE PERDA DE ESPESSURA: | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|---------------|----------------|-----------|-----------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------|
| 0% a 45% | | | 46% a 55% | | | | 56% a 89% | | | | 90% a 100% | | |
| Nº DAS FILAS / COLUNAS DE TUBOS | DISTÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO | % DE ESPESSURA REMANESCENTE | ER - ESPESSURA REMANESCENTE (mm) | % DE PERDA DE ESPESSURA | CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBTURADO | TUBO TAMPONADO | TUBO SUJO | VIDA ESTIMADA DO TUBO | AÇÕES DE RECOMENDAÇÕES POR TUBO | CONDIÇÃO OPERACIONAL POR TUBO | OBSERVAÇÃO |
| 9 / 19 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 9 / 20 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 9 / 21 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 9 / 22 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 9 / 23 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 9 / 24 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 9 / 25 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 9 / 26 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 9 / 27 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 9 / 28 | | 80,00 | 2,22 | 20,0 | | X | | | | 25,1 | OK | OK! | |
| 9 / 29 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 9 / 30 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 9 / 31 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 9 / 32 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 9 / 33 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 10 / 1 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 10 / 2 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 10 / 3 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 10 / 4 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 10 / 5 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 10 / 6 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 10 / 7 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 10 / 8 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 10 / 9 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 10 / 10 | | 80,00 | 2,22 | 20,0 | | X | | | | 25,1 | OK | OK! | |
| 10 / 11 | | 85,00 | 2,35 | 15,0 | | X | | | | 35,6 | OK | OK! | |
| 10 / 12 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 10 / 13 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 10 / 14 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 10 / 15 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 10 / 16 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 10 / 17 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 10 / 18 | | | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | |
| 10 / 19 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 10 / 20 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 10 / 21 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 10 / 22 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 10 / 23 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| ESCALA PERCENTUAL DE PERDA DE ESPESSURA: | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|---------------|----------------|-----------|-----------------------|----------------------------------|-------------------------------|------------|
| 0% a 45% | | | 46% a 55% | | | | 56% a 89% | | | | 90% a 100% | | |
| Nº DAS FILAS / COLUNAS DE TUBOS | DISTÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO | % DE ESPESSURA REMANESCENTE | ER - ESPESSURA REMANESCENTE (mm) | % DE PERDA DE ESPESSURA | CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBTURADO | TUBO TAMPONADO | TUBO SUJO | VIDA ESTIMADA DO TUBO | ACÇÕES DE RECOMENDAÇÕES POR TUBO | CONDIÇÃO OPERACIONAL POR TUBO | OBSERVAÇÃO |
| 10 / 24 | | | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | |
| 10 / 25 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 10 / 26 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 10 / 27 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 10 / 28 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 10 / 29 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 10 / 30 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 10 / 31 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 10 / 32 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 10 / 33 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 10 / 34 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 10 / 35 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 11 / 1 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 11 / 2 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 11 / 3 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 11 / 4 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 11 / 5 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 11 / 6 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 11 / 7 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 11 / 8 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 11 / 9 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 11 / 10 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 11 / 11 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 11 / 12 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 11 / 13 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 11 / 14 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 11 / 15 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 11 / 16 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 11 / 17 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 11 / 18 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 11 / 19 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 11 / 20 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 11 / 21 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 11 / 22 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 11 / 23 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 11 / 24 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 11 / 25 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 11 / 26 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| ESCALA PERCENTUAL DE PERDA DE ESPESSURA: | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|--------------|----------------|-----------|-----------------------|----------------------------------|-------------------------------|------------|
| 0% a 45% | | | 46% a 55% | | | | 56% a 89% | | | | 90% a 100% | | |
| Nº DAS FILAS / COLUNAS DE TUBOS | DISTÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO | % DE ESPESSURA REMANESCENTE | ER - ESPESSURA REMANESCENTE (mm) | % DE PERDA DE ESPESSURA | CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBRUÍDO | TUBO TAMPONADO | TUBO SUJO | VIDA ESTIMADA DO TUBO | ACÇÕES DE RECOMENDAÇÕES POR TUBO | CONDIÇÃO OPERACIONAL POR TUBO | OBSERVAÇÃO |
| 11 / 27 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 11 / 28 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 11 / 29 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 11 / 30 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 11 / 31 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 11 / 32 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 11 / 33 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 11 / 34 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 11 / 35 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 12 / 1 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 12 / 2 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 12 / 3 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 12 / 4 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 12 / 5 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 12 / 6 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 12 / 7 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 12 / 8 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 12 / 9 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 12 / 10 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 12 / 11 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 12 / 12 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 12 / 13 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 12 / 14 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 12 / 15 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 12 / 16 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 12 / 17 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 12 / 18 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 12 / 19 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 12 / 20 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 12 / 21 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 12 / 22 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 12 / 23 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 12 / 24 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 12 / 25 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 12 / 26 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 12 / 27 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 12 / 28 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 12 / 29 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| ESCALA PERCENTUAL DE PERDA DE ESPESSURA: | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|---------------|----------------|-----------|-----------------------|----------------------------------|-------------------------------|------------|
| 0% a 45% | | | 46% a 55% | | | | 56% a 89% | | | | 90% a 100% | | |
| Nº DAS FILAS / COLUNAS DE TUBOS | DISTÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO | % DE ESPESSURA REMANESCENTE | ER - ESPESSURA REMANESCENTE (mm) | % DE PERDA DE ESPESSURA | CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBTURADO | TUBO TAMPONADO | TUBO SUJO | VIDA ESTIMADA DO TUBO | ACÇÕES DE RECOMENDAÇÕES POR TUBO | CONDIÇÃO OPERACIONAL POR TUBO | OBSERVAÇÃO |
| 12 / 30 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 12 / 31 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 12 / 32 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 12 / 33 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 12 / 34 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 12 / 35 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 13 / 1 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 13 / 2 | 200 | 100,00 | 2,77 | 15,0 | | X | | | | 35,6 | OK | OK! | |
| 13 / 3 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 13 / 4 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 13 / 5 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 13 / 6 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 13 / 7 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 13 / 8 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 13 / 9 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 13 / 10 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 13 / 11 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 13 / 12 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 13 / 13 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 13 / 14 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 13 / 15 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 13 / 16 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 13 / 17 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 13 / 18 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 13 / 19 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 13 / 20 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 13 / 21 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 13 / 22 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 13 / 23 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 13 / 24 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 13 / 25 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 13 / 26 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 13 / 27 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 13 / 28 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 13 / 29 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 13 / 30 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 13 / 31 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 13 / 32 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| ESCALA PERCENTUAL DE PERDA DE ESPESSURA: | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|---------------|----------------|-----------|-----------------------|----------------------------------|-------------------------------|------------|
| 0% a 45% | | | 46% a 55% | | | | 56% a 89% | | | | 90% a 100% | | |
| Nº DAS FILAS / COLUNAS DE TUBOS | DISTÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO | % DE ESPESSURA REMANESCENTE | ER - ESPESSURA REMANESCENTE (mm) | % DE PERDA DE ESPESSURA | CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBTURADO | TUBO TAMPONADO | TUBO SUJO | VIDA ESTIMADA DO TUBO | ACÇÕES DE RECOMENDAÇÕES POR TUBO | CONDIÇÃO OPERACIONAL POR TUBO | OBSERVAÇÃO |
| 13 | / | 33 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 13 | / | 34 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 13 | / | 35 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 14 | / | 1 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 14 | / | 2 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 14 | / | 3 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 14 | / | 4 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 14 | / | 5 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 14 | / | 6 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 14 | / | 7 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 14 | / | 8 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 14 | / | 9 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 14 | / | 10 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 14 | / | 11 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 14 | / | 12 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 14 | / | 13 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 14 | / | 14 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 14 | / | 15 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 14 | / | 16 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 14 | / | 17 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 14 | / | 18 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 14 | / | 19 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 14 | / | 20 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 14 | / | 21 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 14 | / | 22 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 14 | / | 23 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 14 | / | 24 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 14 | / | 25 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 14 | / | 26 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 14 | / | 27 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 14 | / | 28 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 14 | / | 29 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 14 | / | 30 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 14 | / | 31 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 14 | / | 32 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 14 | / | 33 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 14 | / | 34 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 14 | / | 35 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| ESCALA PERCENTUAL DE PERDA DE ESPESSURA: | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|---------------|----------------|-----------|-----------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------|
| 0% a 45% | | | 46% a 55% | | | | | 56% a 89% | | | 90% a 100% | | |
| Nº DAS FILAS / COLUNAS DE TUBOS | DISTÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO | % DE ESPESSURA REMANESCENTE | ER - ESPESSURA REMANESCENTE (mm) | % DE PERDA DE ESPESSURA | CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBTURADO | TUBO TAMPONADO | TUBO SUJO | VIDA ESTIMADA DO TUBO | AÇÕES DE RECOMENDAÇÕES POR TUBO | CONDIÇÃO OPERACIONAL POR TUBO | OBSERVAÇÃO |
| 15 / 1 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 15 / 2 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 15 / 3 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 15 / 4 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 15 / 5 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 15 / 6 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 15 / 7 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 15 / 8 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 15 / 9 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 15 / 10 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 15 / 11 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 15 / 12 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 15 / 13 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 15 / 14 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 15 / 15 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 15 / 16 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 15 / 17 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 15 / 18 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 15 / 19 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 15 / 20 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 15 / 21 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 15 / 22 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 15 / 23 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 15 / 24 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 15 / 25 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 15 / 26 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 15 / 27 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 15 / 28 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 15 / 29 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 15 / 30 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 15 / 31 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 15 / 32 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 15 / 33 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 15 / 34 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 15 / 35 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 16 / 1 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 16 / 2 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 16 / 3 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| ESCALA PERCENTUAL DE PERDA DE ESPESSURA: | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|---------------|----------------|-----------|-----------------------|----------------------------------|------------------------------|------------|
| 0% a 45% | | | 46% a 55% | | | | 56% a 89% | | | | 90% a 100% | | |
| Nº DAS FILAS / COLUNAS DE TUBOS | DISTÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO | % DE ESPESSURA REMANESCENTE | ER - ESPESSURA REMANESCENTE (mm) | % DE PERDA DE ESPESSURA | CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBTURADO | TUBO TAMPONADO | TUBO SUJO | VIDA ESTIMADA DO TUBO | ACÇÕES DE RECOMENDAÇÕES POR TUBO | CONDIÇÃO OPERACIONAL DO TUBO | OBSERVAÇÃO |
| 16 / 4 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 16 / 5 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 16 / 6 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 16 / 7 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 16 / 8 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 16 / 9 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 16 / 10 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 16 / 11 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 16 / 12 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 16 / 13 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 16 / 14 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 16 / 15 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 16 / 16 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 16 / 17 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 16 / 18 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 16 / 19 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 16 / 20 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 16 / 21 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 16 / 22 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 16 / 23 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 16 / 24 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 16 / 25 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 16 / 26 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 16 / 27 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 16 / 28 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 16 / 29 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 16 / 30 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 16 / 31 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 16 / 32 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 16 / 33 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 16 / 34 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 16 / 35 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 17 / 1 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 17 / 2 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 17 / 3 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 17 / 4 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 17 / 5 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 17 / 6 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| ESCALA PERCENTUAL DE PERDA DE ESPESSURA: | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|---------------|----------------|-----------|-----------------------|----------------------------------|-------------------------------|------------|
| 0% a 45% | | | 46% a 55% | | | | 56% a 89% | | | | 90% a 100% | | |
| Nº DAS FILAS / COLUNAS DE TUBOS | DISTÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO | % DE ESPESSURA REMANESCENTE | ER - ESPESSURA REMANESCENTE (mm) | % DE PERDA DE ESPESSURA | CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBTURADO | TUBO TAMPONADO | TUBO SUJO | VIDA ESTIMADA DO TUBO | ACÇÕES DE RECOMENDAÇÕES POR TUBO | CONDIÇÃO OPERACIONAL POR TUBO | OBSERVAÇÃO |
| 17 / 7 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 17 / 8 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 17 / 9 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 17 / 10 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 17 / 11 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 17 / 12 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 17 / 13 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 17 / 14 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 17 / 15 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 17 / 16 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 17 / 17 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 17 / 18 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 17 / 19 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 17 / 20 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 17 / 21 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 17 / 22 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 17 / 23 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 17 / 24 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 17 / 25 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 17 / 26 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 17 / 27 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 17 / 28 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 17 / 29 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 17 / 30 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 17 / 31 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 17 / 32 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 17 / 33 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 17 / 34 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 17 / 35 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 18 / 1 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 18 / 2 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 18 / 3 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 18 / 4 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 18 / 5 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 18 / 6 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 18 / 7 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 18 / 8 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 18 / 9 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| ESCALA PERCENTUAL DE PERDA DE ESPESSURA: | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|---------------|----------------|-----------|-----------------------|----------------------------------|-------------------------------|------------|
| 0% a 45% | | | 46% a 55% | | | | 56% a 89% | | | | 90% a 100% | | |
| Nº DAS FILAS / COLUNAS DE TUBOS | DISTÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO | % DE ESPESSURA REMANESCENTE | ER - ESPESSURA REMANESCENTE (mm) | % DE PERDA DE ESPESSURA | CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBTURADO | TUBO TAMPONADO | TUBO SUJO | VIDA ESTIMADA DO TUBO | ACÇÕES DE RECOMENDAÇÕES POR TUBO | CONDIÇÃO OPERACIONAL POR TUBO | OBSERVAÇÃO |
| 18 / 10 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 18 / 11 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 18 / 12 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 18 / 13 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 18 / 14 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 18 / 15 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 18 / 16 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 18 / 17 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 18 / 18 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 18 / 19 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 18 / 20 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 18 / 21 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 18 / 22 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 18 / 23 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 18 / 24 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 18 / 25 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 18 / 26 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 18 / 27 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 18 / 28 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 18 / 29 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 18 / 30 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 18 / 31 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 18 / 32 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 18 / 33 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 18 / 34 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 18 / 35 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 19 / 1 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 19 / 2 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 19 / 3 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 19 / 4 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 19 / 5 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 19 / 6 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 19 / 7 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 19 / 8 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 19 / 9 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 19 / 10 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 19 / 11 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 19 / 12 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| ESCALA PERCENTUAL DE PERDA DE ESPESSURA: | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|----------------|----------------|-----------|-----------------------|----------------------------------|------------------------------|------------|
| 0% a 45% | | | 46% a 55% | | | | 56% a 89% | | | | 90% a 100% | | |
| Nº DAS FILAS / COLUNAS DE TUBOS | DISTÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO | % DE ESPESSURA REMANESCENTE | ER - ESPESSURA REMANESCENTE (mm) | % DE PERDA DE ESPESSURA | CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBSTRUÍDO | TUBO TAMPONADO | TUBO SUJO | VIDA ESTIMADA DO TUBO | ACÇÕES DE RECOMENDAÇÕES POR TUBO | CONDIÇÃO OPERACIONAL DO TUBO | OBSERVAÇÃO |
| 19 / 13 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 19 / 14 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 19 / 15 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 19 / 16 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 19 / 17 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 19 / 18 | | | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | |
| 19 / 19 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 19 / 20 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 19 / 21 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 19 / 22 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 19 / 23 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 19 / 24 | | | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | |
| 19 / 25 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 19 / 26 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 19 / 27 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 19 / 28 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 19 / 29 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 19 / 30 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 19 / 31 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 19 / 32 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 19 / 33 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 19 / 34 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 19 / 35 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 20 / 1 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 20 / 2 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 20 / 3 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 20 / 4 | 1500 | 45,00 | 1,25 | 55,0 | X | | | | | 5,1 | TAMPONAR | PERDIDO | |
| 20 / 5 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 20 / 6 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 20 / 7 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 20 / 8 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 20 / 9 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 20 / 10 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 20 / 11 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 20 / 12 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 20 / 13 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 20 / 14 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 20 / 15 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| ESCALA PERCENTUAL DE PERDA DE ESPESSURA: | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|--------------|----------------|-----------|-----------------------|----------------------------------|------------------------------|------------|
| 0% a 45% | | | 46% a 55% | | | | 56% a 89% | | | | 90% a 100% | | |
| Nº DAS FILAS / COLUNAS DE TUBOS | DISTÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO | % DE ESPESSURA REMANESCENTE | ER - ESPESSURA REMANESCENTE (mm) | % DE PERDA DE ESPESSURA | CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBRUÍDO | TUBO TAMPONADO | TUBO SUJO | VIDA ESTIMADA DO TUBO | ACÇÕES DE RECOMENDAÇÕES POR TUBO | CONDIÇÃO OPERACIONAL DO TUBO | OBSERVAÇÃO |
| 20 | / | 16 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 20 | / | 17 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 20 | / | 18 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 20 | / | 19 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 20 | / | 20 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 20 | / | 21 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 20 | / | 22 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 20 | / | 23 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 20 | / | 24 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 20 | / | 25 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 20 | / | 26 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 20 | / | 27 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 20 | / | 28 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 20 | / | 29 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 20 | / | 30 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 20 | / | 31 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 20 | / | 32 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 20 | / | 33 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 21 | / | 1 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 21 | / | 2 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 21 | / | 3 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 21 | / | 4 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 21 | / | 5 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 21 | / | 6 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 21 | / | 7 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 21 | / | 8 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 21 | / | 9 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 21 | / | 10 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 21 | / | 11 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 21 | / | 12 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 21 | / | 13 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 21 | / | 14 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 21 | / | 15 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 21 | / | 16 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 21 | / | 17 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 21 | / | 18 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 21 | / | 19 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 21 | / | 20 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| ESCALA PERCENTUAL DE PERDA DE ESPESSURA: | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|---------------|----------------|-----------|-----------------------|----------------------------------|------------------------------|------------|
| 0% a 45% | | | 46% a 55% | | | | | 56% a 89% | | | | 90% a 100% | |
| Nº DAS FILAS / COLUNAS DE TUBOS | DISTÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO | % DE ESPESSURA REMANESCENTE | ER - ESPESSURA REMANESCENTE (mm) | % DE PERDA DE ESPESSURA | CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBTURADO | TUBO TAMPONADO | TUBO SUJO | VIDA ESTIMADA DO TUBO | ACÇÕES DE RECOMENDAÇÕES POR TUBO | CONDIÇÃO OPERACIONAL DO TUBO | OBSERVAÇÃO |
| 21 / 21 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 21 / 22 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 21 / 23 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 21 / 24 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 21 / 25 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 21 / 26 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 21 / 27 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 21 / 28 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 21 / 29 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 21 / 30 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 21 / 31 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 21 / 32 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 21 / 33 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 22 / 1 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 22 / 2 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 22 / 3 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 22 / 4 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 22 / 5 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 22 / 6 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 22 / 7 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 22 / 8 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 22 / 9 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 22 / 10 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 22 / 11 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 22 / 12 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 22 / 13 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 22 / 14 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 22 / 15 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 22 / 16 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 22 / 17 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 22 / 18 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 22 / 19 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 22 / 20 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 22 / 21 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 22 / 22 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 22 / 23 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 22 / 24 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 22 / 25 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| ESCALA PERCENTUAL DE PERDA DE ESPESSURA: | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|-----------------|----------------|-----------|-----------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------|
| 0% a 45% | | | 46% a 55% | | | | | 56% a 89% | | | | 90% a 100% | |
| Nº DAS FILAS / COLUNAS DE TUBOS | DISTÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO | % DE ESPESSURA REMANESCENTE | ER - ESPESSURA REMANESCENTE (mm) | % DE PERDA DE ESPESSURA | CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBRSTRUÍDO | TUBO TAMPONADO | TUBO SUJO | VIDA ESTIMADA DO TUBO | AÇÕES DE RECOMENDAÇÕES POR TUBO | CONDIÇÃO OPERACIONAL POR TUBO | OBSERVAÇÃO |
| 22 / 26 | 1000 | 85,00 | 2,35 | 15,0 | | X | | | | 36,6 | OK | OK! | |
| 22 / 27 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 22 / 28 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 22 / 29 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 22 / 30 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 22 / 31 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 23 / 1 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 23 / 2 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 23 / 3 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 23 / 4 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 23 / 5 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 23 / 6 | 1500 | 80,00 | 2,22 | 20,0 | | X | | | | 25,1 | OK | OK! | |
| 23 / 7 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 23 / 8 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 23 / 9 | 1500 | 85,00 | 2,35 | 15,0 | | X | | | | 35,6 | OK | OK! | |
| 23 / 10 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 23 / 11 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 23 / 12 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 23 / 13 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 23 / 14 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 23 / 15 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 23 / 16 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 23 / 17 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 23 / 18 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 23 / 19 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 23 / 20 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 23 / 21 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 23 / 22 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 23 / 23 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 23 / 24 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 23 / 25 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 23 / 26 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 23 / 27 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 23 / 28 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 23 / 29 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 23 / 30 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 23 / 31 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 24 / 1 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| ESCALA PERCENTUAL DE PERDA DE ESPESSURA: | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|---------------|----------------|-----------|-----------------------|----------------------------------|------------------------------|------------|
| 0% a 45% | | | 46% a 55% | | | | 56% a 89% | | | | 90% a 100% | | |
| Nº DAS FILAS / COLUNAS DE TUBOS | DISTÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO | % DE ESPESSURA REMANESCENTE | ER - ESPESSURA REMANESCENTE (mm) | % DE PERDA DE ESPESSURA | CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBTURADO | TUBO TAMPONADO | TUBO SUJO | VIDA ESTIMADA DO TUBO | ACÇÕES DE RECOMENDAÇÕES POR TUBO | CONDIÇÃO OPERACIONAL DO TUBO | OBSERVAÇÃO |
| 24 | / | 2 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 24 | / | 3 | | | | | X | | | | OBSTRUÍDO-TAMPONAR | PERDIDO | |
| 24 | / | 4 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 24 | / | 5 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 24 | / | 6 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 24 | / | 7 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 24 | / | 8 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 24 | / | 9 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 24 | / | 10 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 24 | / | 11 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 24 | / | 12 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 24 | / | 13 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 24 | / | 14 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 24 | / | 15 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 24 | / | 16 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 24 | / | 17 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 24 | / | 18 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 24 | / | 19 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 24 | / | 20 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 24 | / | 21 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 24 | / | 22 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 24 | / | 23 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 24 | / | 24 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 24 | / | 25 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 24 | / | 26 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 24 | / | 27 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 24 | / | 28 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 24 | / | 29 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 25 | / | 1 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 25 | / | 2 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 25 | / | 3 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 25 | / | 4 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 25 | / | 5 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 25 | / | 6 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 25 | / | 7 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 25 | / | 8 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 25 | / | 9 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 25 | / | 10 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| ESCALA PERCENTUAL DE PERDA DE ESPESSURA: | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|---------------|----------------|-----------|-----------------------|----------------------------------|----------------------|------------|
| 0% a 45% | | | 46% a 55% | | | | 56% a 89% | | | | 90% a 100% | | |
| Nº DAS FILAS / COLUNAS DE TUBOS | DISTÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO | % DE ESPESSURA REMANESCENTE | ER - ESPESSURA REMANESCENTE (mm) | % DE PERDA DE ESPESSURA | CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBTURADO | TUBO TAMPONADO | TUBO SUJO | VIDA ESTIMADA DO TUBO | ACÇÕES DE RECOMENDAÇÕES POR TUBO | CONDIÇÃO OPERACIONAL | OBSERVAÇÃO |
| 25 / 11 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 25 / 12 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 25 / 13 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 25 / 14 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 25 / 15 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 25 / 16 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 25 / 17 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 25 / 18 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 25 / 19 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 25 / 20 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 25 / 21 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 25 / 22 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 25 / 23 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 25 / 24 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 25 / 25 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 25 / 26 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 25 / 27 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 26 / 1 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 26 / 2 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 26 / 3 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 26 / 4 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 26 / 5 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 26 / 6 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 26 / 7 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 26 / 8 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 26 / 9 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 26 / 10 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 26 / 11 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 26 / 12 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 26 / 13 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 26 / 14 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 26 / 15 | | 80,00 | 2,22 | 20,0 | | X | | | | 25,1 | OK | OK! | |
| 26 / 16 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 26 / 17 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 26 / 18 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 26 / 19 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 26 / 20 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 26 / 21 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| ESCALA PERCENTUAL DE PERDA DE ESPESSURA: | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|---------------|----------------|-----------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------|------------|
| 0% a 45% | | | 46% a 55% | | | | 56% a 89% | | | | 90% a 100% | | |
| Nº DAS FILAS / COLUNAS DE TUBOS | DISTÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO | % DE ESPESSURA REMANESCENTE | ER - ESPESSURA REMANESCENTE (mm) | % DE PERDA DE ESPESSURA | CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBTURADO | TUBO TAMPONADO | TUBO SUJO | VIDA ESTIMADA DO TUBO | ACÇÕES DE RECOMENDAÇÕES POR TUBO | CONDIÇÃO OPERACIONAL (por tubo) | OBSERVAÇÃO |
| 26 | / | 22 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 26 | / | 23 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 26 | / | 24 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 26 | / | 25 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 26 | / | 26 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 26 | / | 27 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 27 | / | 1 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 27 | / | 2 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 27 | / | 3 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 27 | / | 4 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 27 | / | 5 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 27 | / | 6 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 27 | / | 7 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 27 | / | 8 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 27 | / | 9 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 27 | / | 10 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 27 | / | 11 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 27 | / | 12 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 27 | / | 13 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 27 | / | 14 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 27 | / | 15 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 27 | / | 16 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 27 | / | 17 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 27 | / | 18 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 27 | / | 19 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 27 | / | 20 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 27 | / | 21 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 27 | / | 22 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 27 | / | 23 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 27 | / | 24 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 27 | / | 25 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 28 | / | 1 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 28 | / | 2 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 28 | / | 3 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 28 | / | 4 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 28 | / | 5 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 28 | / | 6 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 28 | / | 7 | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | 20,0 | OK | OK! | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| ESCALA PERCENTUAL DE PERDA DE ESPESSURA: | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|---------------|----------------|-----------|-----------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------|
| 0% a 45% | | | 46% a 55% | | | | 56% a 89% | | | | 90% a 100% | | |
| Nº DAS FILAS / COLUNAS DE TUBOS | DISTÂNCIA DE LOCALIZAÇÃO | % DE ESPESSURA REMANESCENTE | ER - ESPESSURA REMANESCENTE (mm) | % DE PERDA DE ESPESSURA | CORROSÃO EXTERNA | CORROSÃO INTERNA | TUBO OBTURADO | TUBO TAMPONADO | TUBO SUJO | VIDA ESTIMADA DO TUBO | AÇÕES DE RECOMENDAÇÕES POR TUBO | CONDIÇÃO OPERACIONAL POR TUBO | OBSERVAÇÃO |
| 28 / 8 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 28 / 9 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 28 / 10 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 28 / 11 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 28 / 12 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 28 / 13 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 28 / 14 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 28 / 15 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 28 / 16 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |
| 28 / 17 | | 100,00 | 2,77 | 0,0 | | | | | | 20,0 | OK | OK! | |

ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIOS DE IRIS E CP (CONTINUAÇÃO)

| MARCAÇÕES DO ESPELHO DO EQUIPAMENTO - PONTOS DE CONTROLE | | | | | | | | |
|--|--------------|--|------------|---|-----------|--|-------|---|
| LEGENDAS DE MARCAÇÃO: | PARA ENSAIO: | O | OBSTRUÍDO: | X | TAMPOADO: | ☐ | SUJO: | * |
|  | | | | | | | | |
| IDENTIFICAÇÃO E ASSINATURA TÉCNICO EXECUTANTE NÍVEL I | | IDENTIFICAÇÃO E ASSINATURA TÉCNICO NÍVEL II OU III | | | | IDENTIFICAÇÃO E ASSINATURA RESPENSÁVEL CLIENTE | | |
| | | | | | | | | |
| INFORMAR Nº CFT OU EQUIVALENTE | | INFORMAR Nº SNQC OU EQUIVALENTE | | | | INFORMAR Nº MATRÍCULA OU EQUIVALENTE | | |

APÊNDICE A – EXEMPLAR DE APLICAÇÃO DE TABELA DE INFLUÊNCIAS E OCORRÊNCIAS POR PERMUTADOR

| LEVANTAMENTO DE FATORES DE INFLUÊNCIA POR PERMUTADOR | | | | | |
|--|--------------|--------------------------------|-------|-------|-------|
| Profissional Legalmente Habilitado (PLH): _____ | | | | | |
| Data da Inspeção: ___/___/_____ | | | | | |
| Obs: Preencher como na legenda ao lado e para "detectado", adicionar a quantidade de tubos acometidos. | | Esperado | | | |
| | | Detectado | | | |
| | | Não aplicável ou não detectado | | | |
| Fatores | Permutadores | | | | |
| | P - 1 | P - 2 | P - 3 | P - 4 | P - 5 |
| a) Acúmulo de resíduos ao longo do feixe | | 4 | 52 | 3 | 6 |
| b) Danos ocasionados pelo fluido | 68 | 57 | 103 | 87 | 30 |
| c) Tipo de permutador - <i>Air Cooler</i> | | | | | |
| d) Material dos tubos pouco resistente a corrosão | | | | | |
| e) Quantidade de tubos > 100 | 642 | 1034 | 217 | 453 | 856 |
| f) Feixes com curvas (tubos em "U") | | | | | 856 |
| g) Existência de chicanas | | | | | |
| h) Quantidade e localização de bocais de entrada do casco | 1 | 2 | 1 | | |
| i) Fluxos bifásicos | | | | | |
| j) Separação de fases | | | | | |
| k) Velocidade de escoamento baixa | | | | | |
| l) Diferença de pressão entre fluidos alta (analisar tipos de fluidos) | | | | | |
| m) Grande diferença entre temperaturas máximas e mínimas operacionais | | | | | |
| n) Toxicidade ou inflamabilidade dos fluidos | | | | | |
| o) Fluido ácido ou hidrogenado | | | | | |
| p) Reatividade entre os fluidos | | | | | |
| q) Dissimilaridade entre os fluidos | | | | | |
| r) Presença de sólidos suspensos nos fluidos | | | | | |
| s) Fluido viscoso | | | | | |
| t) Não existência de equipamentos similares em bateria | | | | | |
| u) Nível de criticidade alto do equipamento para o processo | | | | | |
| v) Grande frequência de operação em capacidade total | | | | | |
| w) Histórico de manutenções anteriores ruim (apresentando muitas falhas) | | | | | |
| x) Tipo de parada para intervenção - parada geral | | | | | |
| y) Há disponibilidade de peças de reposição | | | | | |
| z) Má condição de acesso ao equipamento | | | | | |
| SCORE → | 1,107 | 1,061 | 1,719 | 1,199 | 2,042 |