

RELATÓRIO DE  
INVESTIGAÇÃO DE INCIDENTE  
NA PLANTA PRODUTORA DE  
ETANOL DA EMPRESA DENUSA  
DESTILARIA NOVA UNIÃO S.A.

Superintendência de Produção de  
Combustíveis



**anp**  
Agência Nacional  
do Petróleo,  
Gás Natural e Biocombustíveis



RELATÓRIO DE INVESTIGAÇÃO DE INCIDENTE

**EXPLOSÃO SEGUIDA DE INCÊNDIO EM PRÉ-  
EVAPORADOR NA PLANTA PRODUTORA DE  
ETANOL DA EMPRESA DENUSA DESTILARIA  
NOVA UNIÃO S.A.**

Superintendência de Produção de  
Combustíveis



**anp**  
Agência Nacional  
do Petróleo,  
Gás Natural e Biocombustíveis



## **Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**

### **Diretor-Geral**

Rodolfo Henrique de Saboia

### **Diretores**

Symone Christine de Santana Araújo

Daniel Maia Vieira

Fernando Moura

Claudio Jorge Martins de Souza

### **Diretora da Superintendência de Produção de Combustíveis**

Symone Christine de Santana Araújo

### **Superintendente de Produção de Combustíveis**

Brunno Loback Atalla

### **Superintendente Adjunta de Produção de Combustíveis**

Heloisa Helena Moreira Paraquetti

### **Equipe da Comissão de Investigação**

João Guilherme Verleun

Johny Soares Corrêa

Luiz Omena de Oliveira Filho

Marcela de Miranda Barbosa Moura

## AGRADECIMENTOS

### **Equipe da Comissão de Investigação**

Agradecemos a todos os servidores da ANP que, de alguma forma, contribuíram para realização deste trabalho, especialmente:

- ✓ aos gestores da Superintendência de Produção de Combustíveis - SPC e da Superintendência de Segurança Operacional - SSO da ANP pelo apoio e cooperação;
  
- ✓ aos servidores Robson da Silva Paixão e Leandro Guedes da Fonseca, da Coordenadoria de Gestão do Conhecimento da ANP, pela ajuda e apoio incondicional nas pesquisas bibliográficas da literatura em estudo, normas técnicas relacionadas ao tema, artigos e periódicos, entre outros.

## LISTA DE SIGLAS

|        |   |
|--------|---|
| ABNT   | Associação Brasileira de Normas Técnicas                    |
| AEA    | Autorização de Exercício da Atividade                       |
| AIChE  | American Institute of Chemical Engineers                    |
| AMN    | Associação Mercosul de Normalização                         |
| ANP    | Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis |
| AO     | Autorização de Operação                                     |
| API    | American Petroleum Institute                                |
| ASTM   | American Society for Testing and Materials                  |
| CCPS   | Center for Chemical Process Safety                          |
| CEE    | Comissões de Estudo Especiais                               |
| CETESB | Companhia Ambiental do Estado de São Paulo                  |
| CB     | Comitê Brasileiro   |
| CI     | Comunicado Inicial de Incidente                             |
| CLT    | Consolidação das Leis do Trabalho                           |
| CNPJ   | Cadastro Nacional de Pessoas Jurídicas                      |
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente                          |
| COPANT | Comissão Pan-Americana de Normas Técnicas                   |
| CR     | Causa Raiz  |
| DDS    | Diálogo Diário de Segurança                                 |
| DOU    | Diário Oficial da União                                     |
| EPI    | Equipamento de Proteção Individual                          |
| FC     | Fator Causal  |
| FDS    | Ficha com Dados de Segurança                                |
| FISPQ  | Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos      |

|       |  |
|-------|--|
| GEE   | Gases de Efeito Estufa   |
| GHS   | Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals |
| IEC   | International Electrotechnical Commission                              |
| IML   | Instituto Médico Legal   |
| ISO   | International Organization for Standardization                         |
| LEL   | Low explosive level  |
| LIE   | Limite Inferior de Explosividade                                       |
| LSE   | Limite Superior de Explosividade                                       |
| MOV   | Manual Orientativo de Vistoria   |
| MTE   | Ministério do Trabalho e Emprego                                       |
| NBR   | Norma Brasileira   |
| NR    | Norma Regulamentadora  |
| ONS   | Organismo de Normalização Setorial                                     |
| PET   | Permissão de Entrada e Trabalho  |
| PTE   | Permissão para Trabalhos Especiais                                     |
| RDI   | Relatório Detalhado de Incidente                                       |
| RII   | Relatório de Investigação de Incidente                                 |
| SCBA  | Self Contained Breathing Apparatus                                     |
| SESMT | Serviços Especializados em Segurança e Medicina do Trabalho            |
| SGSO  | Sistema de Gerenciamento de Segurança Operacional                      |
| SPC   | Superintendência de Produção de Combustíveis                           |

# SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO.....</b>   | <b>9</b>  |
| 1.1. SUMÁRIO EXECUTIVO.....   | 9         |
| 1.2. OBJETIVOS.....   | 12        |
| 1.3. PROCESSO DE INVESTIGAÇÃO.....  | 13        |
| <b>2. ANÁLISE REGULATÓRIA.....</b>  | <b>16</b> |
| 2.1. LEGISLAÇÃO APLICÁVEL.....  | 16        |
| 2.2. REGULAÇÃO DA ANP.....  | 18        |
| <b>3. DESCRIÇÃO DO INCIDENTE .....</b>  | <b>24</b> |
| 3.1. RELATÓRIO DETALHADO DO INCIDENTE .....   | 24        |
| 3.1.1. <i>Eventos iniciais</i> .....  | 25        |
| 3.1.2. <i>O incidente</i> .....   | 27        |
| 3.1.3. <i>Ações imediatas/Emergências</i> .....   | 28        |
| 3.1.4. <i>Consequências</i> .....   | 28        |
| 3.1.4.1. Danos ao patrimônio.....   | 29        |
| 3.1.4.2. Danos às pessoas .....   | 30        |
| 3.1.4.3. Danos ao meio ambiente .....   | 30        |
| 3.1.5. <i>Causas raízes</i> .....   | 31        |
| 3.1.5.1. Metodologia.....   | 31        |
| 3.1.5.2. Fatores causais .....  | 31        |
| 3.1.5.3. Causas raízes propriamente ditas .....   | 31        |
| 3.1.6. <i>Medidas mitigadoras</i> .....   | 33        |
| 3.1.6.1. Medidas tomadas.....   | 33        |
| 3.1.6.2. Cronograma de implementação .....  | 33        |
| 3.1.7. <i>Ações corretivas e preventivas</i> .....  | 33        |
| 3.2. DESCRIÇÃO DA COMISSÃO DE INVESTIGAÇÃO DA ANP .....   | 35        |
| 3.2.1. <i>O incidente</i> .....   | 35        |
| <b>4. ANÁLISE GERAL DO PROCESSO INDUSTRIAL .....</b>  | <b>37</b> |
| 4.1. PROCESSO INDUSTRIAL .....  | 37        |
| 4.1.1. <i>Produção de etanol</i> .....  | 38        |
| 4.1.2. <i>Etapa de tratamento do caldo</i> .....  | 39        |
| 4.1.3. <i>Descrição geral do pré-evaporador</i> .....   | 41        |
| 4.1.3.1. Finalidade .....   | 41        |
| 4.1.3.2. Tipos e funcionamento .....  | 42        |
| 4.1.3.2.1. Materiais .....  | 44        |
| 4.1.3.2.1.1. Aço ASTM A 423 .....   | 44        |
| 4.1.3.2.1.2. Aço ASTM A 36 .....  | 47        |
| 4.1.3.2.1.3. Substituição do aço ASTM A 36 pelo aço ASTM A 283 Gr. C .....                      | 48        |
| 4.1.3.2.1.4. Aço ASTM A 106 .....   | 49        |
| 4.1.3.3. Limpeza de pré-evaporadores .....  | 50        |
| 4.1.3.3.1. Técnicas de limpeza mecânica .....   | 52        |
| 4.1.3.3.2. Técnica de limpeza química .....   | 58        |
| 4.1.3.3.3. Técnica de limpeza utilizada na Denusa .....   | 59        |
| 4.2. ANÁLISE DO INCIDENTE – CENÁRIO INDUSTRIAL .....  | 60        |
| 4.3. GÁS HIDROGÊNIO .....   | 71        |
| 4.3.1. <i>Uso industrial</i> .....  | 72        |
| 4.3.2. <i>Perigos químicos</i> .....  | 77        |
| 4.3.2.1. Estimativa quantitativa do processo corrosivo durante a lavagem ácida .....            | 85        |
| 4.3.2.1.1. Cálculo da área da calandra .....  | 86        |
| 4.3.2.1.2. Cálculo da área da chapa da seção maior do tubo coletor de caldo pré-evaporado ..... | 87        |

|   |            |
|---|------------|
| 4.3.2.1.3. Cálculo da área do tampo torisférico inferior .....  | 88         |
| 4.3.2.1.4. Somatório das áreas.....   | 91         |
| 4.3.2.1.5. Consideração sobre o volume ocupado pela solução ácida .....   | 91         |
| 4.3.2.1.6. Estimativa de material corroído.....   | 93         |
| 4.3.2.1.6.1. Cálculo do volume da atmosfera explosiva ( $V_{exp}$ ) .....   | 93         |
| 4.3.2.1.6.2. Cálculo do volume mínimo de gás hidrogênio ( $V_{H_2}$ ) para que fosse atingido o limite inferior de explosividade do gás hidrogênio..... | 94         |
| 4.3.2.1.6.3. Cálculo do número de mols de gás hidrogênio ( $n_{H_2}$ ) .....  | 94         |
| 4.3.2.1.6.4. Cálculo da massa de ferro consumida ( $m_{Fe}$ ) .....   | 95         |
| 4.3.2.1.6.5. Estimativa da espessura do material corroído das estruturas do pré-evaporador construídas em aço ASTM A 36.....                            | 95         |
| <b>5. ANÁLISE GERAL DA COMISSÃO E AÇÕES DA ANP.....</b>   | <b>97</b>  |
| 5.1. AVALIAÇÃO DA(S) CAUSA(S) RAIZ(ES) .....  | 97         |
| 5.2. CAUSA(S) RAIZ(ES) APONTADAS PELA ANP .....   | 104        |
| 5.3. CONTRIBUIÇÕES DAS CAUSAS.....  | 107        |
| 5.3.1. <i>Fator causal nº 1: Presença de gás hidrogênio no interior do pré-evaporador.</i> .....  | 107        |
| 5.3.1.1. Causa raiz 1: Plano de inspeção deficiente.....  | 107        |
| 5.3.2. <i>Fator causal nº 2: Uso inadequado de equipamentos eletrônicos sem especificação para áreas classificadas.</i> .....                           | 110        |
| 5.3.2.1. Causa raiz 2: Ausência de treinamento em áreas classificadas.....  | 111        |
| 5.3.2.2. Causa raiz 3: Descumprimento das exigências da Norma Regulamentadora NR-10. ....   | 112        |
| 5.3.3. <i>Fator causal nº 3: Descumprimento de procedimentos.</i> .....   | 114        |
| 5.3.3.1. Causa raiz 4: Treinamentos não efetivos nos procedimentos de limpeza. ....   | 115        |
| 5.3.3.2. Causa raiz 5: Procedimentos incompletos.....   | 115        |
| 5.3.3.3. Causa raiz 6: Ausência de gestão de segurança operacional.....   | 115        |
| 5.3.3.4. Causa raiz 7: Ausência de Ordem de Serviço de segurança. ....  | 116        |
| 5.3.4. <i>Fator causal nº 4: Ausência de monitoramento da presença de atmosfera explosiva.</i> .....  | 119        |
| 5.3.4.1. Causa raiz 8: Ausência de treinamento na Norma Regulamentadora NR-33.....  | 120        |
| 5.3.4.2. Causa raiz 9: Descumprimento das exigências da Norma Regulamentadora NR-33. ....   | 120        |
| 5.3.4.3. Causa raiz 10: Ausência de gerenciamento de mudanças.....  | 123        |
| 5.3.4.4. Causa raiz 11: Ausência de análise de risco. ....  | 125        |
| 5.3.4.5. Causa raiz 12: Ausência de revisão e atualização de procedimentos.....   | 125        |
| 5.4. AVALIAÇÃO DAS AÇÕES.....   | 128        |
| 5.4.1. <i>Avaliação das medidas mitigadoras.</i> .....  | 128        |
| 5.4.2. <i>Avaliação das ações corretivas e preventivas</i> .....  | 128        |
| 5.4.2.1. Apresentação das ações no RDI .....  | 128        |
| 5.5. AÇÕES TOMADAS PELA ANP .....   | 129        |
| 5.5.1. <i>Ação de fiscalização – Vistoria in loco</i> .....   | 129        |
| <b>6. ABRANGÊNCIA .....</b>   | <b>130</b> |
| 6.1. NÃO CONFORMIDADES.....   | 130        |
| 6.2. RECOMENDAÇÕES PARA A INDÚSTRIA - ABRANGÊNCIA.....  | 135        |
| <b>7. CONCLUSÃO.....</b>  | <b>136</b> |
| <b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>   | <b>138</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>   | <b>141</b> |
| <b>APÊNDICE A: ÁRVORE DE FALHAS APRESENTADA NO RDI .....</b>  | <b>141</b> |

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Sumário Executivo

A instalação produtora de etanol da empresa Denusa Destilaria Nova União S.A. - Em recuperação judicial, CNPJ nº 00.595.322/0001-20, localizada em Jandaia – GO, se enquadra como agente regulado pela ANP, tendo vigente no âmbito da Superintendência de Produção de Combustíveis - SPC dessa Agência as Autorizações 889 (autorização de operação da instalação, com capacidade autorizada de produção de 650 m<sup>3</sup>/dia de etanol hidratado e 450 m<sup>3</sup>/dia de etanol anidro), de 19/12/2017, e 830 (autorização para o exercício da atividade - AEA), de 23/08/2018, publicadas no Diário Oficial da União, respectivamente, em 20/12/2017 e 24/08/2018.

Por ser agente regulado pela ANP, no exercício da atividade de produção de biocombustíveis – usina produtora de etanol –, a empresa deve seguir as diretrizes da Resolução ANP nº 734, de 28 de junho de 2018. Essa resolução trata dos requisitos que devem ser atendidos para o exercício da atividade de produção de biocombustíveis.

Ressalta-se que, por meio de documentação protocolada na ANP em 19/08/2020, a empresa solicitou a alteração da razão social das autorizações supramencionadas, da Denusa Destilaria Nova União S.A., para a Denusa Destilaria Nova União S.A. - Em recuperação judicial, mantendo-se o CNPJ. A referida alteração foi publicada no Diário Oficial da União – DOU em 06/10/2020, através do Despacho SPC-ANP nº 831, de 5/10/2020.

É importante salientar que, embora esteja em situação de recuperação judicial, a empresa deve prover recursos financeiros para que possa manter as condições de operação segura, no tocante à gestão de riscos e integridade das instalações industriais, visando a proteção da saúde humana, do meio ambiente e das populações circunvizinhas, durante a condução de suas atividades.

Para o tratamento do caldo de cana, a Denusa possui 3 (três) pré-evaporadores em suas instalações industriais – que não produz açúcar –, sendo produtora exclusiva de etanol.

A limpeza dos tubos dos pré-evaporadores era realizada através de uma mangueira sob pressão com água acompanhado de uma roseta (equipamento que entram nos tubos para realizar a limpeza neles). No início de junho de 2018, o processo de limpeza dos pré-evaporadores teve modificações, e a limpeza passou a ser realizada com produtos químicos em circuito fechado.

No dia 28/08/2018, por volta das 09:00 da manhã, teve início a limpeza do terceiro pré-evaporador com uso produto alcalino (soda cáustica) a 7% em circuito fechado até as 17:00 da tarde. Em seguida, foi realizado o enxágue do pré-evaporador com água. Após esta etapa, foi adicionado o ácido fórmico a 7%, também em circuito fechado, circulando dentro do pré-evaporador até 02:00 da manhã, tendo sido depois realizado o enxágue novamente.

O passo seguinte foi injetar água dentro do pré-evaporador e no dia 29/08/2018, às 07:15 da manhã, foi efetuado o procedimento de retirada de água do 3º pré-evaporador.

Posteriormente, os colaboradores envolvidos abriram apenas uma escotilha e adentraram o compartimento para realizar uma inspeção de eficiência do novo sistema de limpeza.

Por fim, em um momento que se estimou ter ocorrido por volta de 07:30 da manhã, houve um estrondo seguido de um deslocamento de ar, o qual atingiu os colaboradores.

A Denusa informou que foi isolada a área do incidente e que providenciou socorro aos feridos e desligamento de toda a parte elétrica do equipamento.

No documento intitulado “Análise de acidente do trabalho do SESMT” está descrito que a Denusa, juntamente com o SESMT, tomou as devidas providências necessárias informando os órgãos públicos atribuídos (Polícia Civil de Jandaia/GO, Polícia Científica e IML de Aparecida de Goiânia/GO).

O incidente atingiu apenas colaboradores da Denusa. A empresa comunicou que 4 (quatro) colaboradores foram acidentados, sendo socorridos pela brigada da empresa e encaminhados para atendimento hospitalar. Um colaborador não resistiu às lesões sofridas e foi a óbito durante o percurso para o hospital. Os outros três funcionários sofreram queimaduras. Destes, um foi a óbito dias depois no hospital, totalizando duas vítimas fatais e dois feridos.

Quanto aos danos ao patrimônio, a Denusa informou que houve o desprendimento de parte do isolamento térmico do terceiro pré-evaporador.

A Denusa informou que nenhum ecossistema foi afetado.

Em 05/09/2018, a Superintendência de Produção de Combustíveis – SPC deslocou servidores à instalação produtora de etanol da Denusa, localizada em Jandaia-GO, para realização de ação de fiscalização com o objetivo de verificar o acidente ocorrido e acompanhar as ações imediatas que estavam sendo tomadas.

Não houve necessidade de interdição parcial do pré-evaporador 3, já que o equipamento já estava interditado por determinação do Ministério do Trabalho, cabendo a ANP solicitar toda documentação necessária à adequação das diretrizes apontadas na Resolução ANP nº 734/2018.

Quanto a informação descrita pela Denusa, pertinente aos danos ao patrimônio, complementa-se que houve também danos no pré-evaporador 2 com a perda de parte do isolamento térmico e chapas de revestimento.

Da análise do incidente ocorrido, considerando os objetivos descritos neste relatório da ANP, nos termos da Resolução ANP nº 882, de 27 de julho de 2022, e da Instrução Normativa ANP nº 6, de 31 de maio de 2021, a Comissão de investigação da ANP identificou doze causas raízes<sup>1</sup>, todas correlacionadas aos requisitos estabelecidos pela Resolução ANP nº 734//2018, em específico às diretrizes descritas no Manual Orientativo de Vistorias, conforme versão vigente à época.

Foram apontadas também não conformidades e indicação de 5 (cinco) recomendações com abrangência para todas as empresas que possuem instalações produtoras de biocombustíveis autorizadas pela ANP, para execução das lições aprendidas com o incidente em questão e, em especial, para as instalações cujo arranjo tecnológico e operacional porventura possa se assemelhar ao relatado pela comissão de investigação da ANP

Em decorrência das não conformidades, a empresa Denusa Destilaria Nova União S.A. - Em recuperação judicial foi autuada em conformidade ao disposto nos incisos VIII e IX, do artigo 3º, da Lei nº 9.847, de 26 de outubro de 1999.

---

<sup>1</sup> Causa-raiz: falha do sistema de gestão que possibilitou a ocorrência ou a existência dos fatores causais do incidente investigado, conforme definição descrita no inciso III, do art. 2º, da Resolução ANP nº 882/2022.

## 1.2. Objetivos

Este Relatório tem por objetivo detalhar todas as etapas e ações que foram realizadas pela ANP, dentro de sua esfera de competências, no acompanhamento e análise da investigação do incidente em relato.

Na análise da investigação, busca-se avaliar o planejamento e medidas adotadas pelo agente regulado, considerando que a gestão de segurança é abrangente, devendo englobar não apenas os impactos causados nas instalações industriais e equipamentos, em decorrência do incidente, mas também a estruturação do planejamento referente ao gerenciamento de riscos, considerando as condições de operação e manutenção dos equipamentos e instalações, qualificação e reciclagem contínua da força de trabalho, estrutura organizacional, atendimento aos procedimentos da empresa, normas, regulamentações, legislações pertinentes, boas práticas de engenharia e comunicações com os órgãos governamentais competentes.

No desdobramento do objetivo, a investigação de incidentes conduzida pelos servidores da ANP nas instalações industriais de empresas das indústrias do petróleo, gás natural e biocombustíveis, tem por premissas básicas:

- ✓ Auxiliar no levantamento, se for necessário, e esclarecer o(s) fator(es) causal(is) e a(s) causa(s) raiz(es) do incidente;
- ✓ Avaliar as medidas mitigadoras adotadas pelo agente regulado e apresentar recomendações quando necessário;
- ✓ Apresentar ações complementares a serem tomadas pelo agente regulado e pela ANP para evitar a recorrência do incidente e/ou aprimorar a gestão e cultura da segurança operacional;
- ✓ Verificar a aderência das operações à regulamentação aplicável, em especial ao Manual Orientativo de Vistorias, parte integrante da Resolução ANP nº 734/2018; e

- ✓ Tornar públicas as informações relacionadas ao incidente e os resultados da investigação realizada pela ANP quando esta julgar que tal informação possa contribuir para o incremento da segurança operacional de outros agentes regulados, ressalvadas as informações classificadas como reservadas de acordo com a legislação aplicável.

### 1.3. Processo de investigação

A investigação do incidente é precedida de processo administrativo no qual consta toda a tramitação legal, incluindo:

- I. Documentos enviados pela empresa visando atendimento à legislação pertinente;
- II. Solicitações de informações complementares por parte da ANP; e
- III. Despachos, atas de reuniões, e-mails e ofícios que permearam a formação da comissão de investigação da ANP e ações gerais relacionadas ao incidente.

Em geral, as principais informações técnicas descritas no relatório de investigação enviado pelo agente regulado, visando esclarecer fenômenos físicos e químicos que explicariam a ocorrência do acidente em estudo, foram analisadas pela comissão de investigação da ANP. É a partir deste relatório que a equipe de investigação da ANP desenvolve a análise do acidente em tela e tece suas críticas, não conformidades, observações e recomendações.

Também é necessário sublinhar que o aprofundamento das hipóteses aqui desenvolvidas é oriundo do acesso às informações dadas pelo agente regulado, bem como da experiência e conhecimento da equipe de investigação. Por fim, é pertinente pontuar que a pandemia desencadeada pela COVID-19 reduziu as possibilidades de colher informações adicionais durante a apuração das evidências pela equipe de investigação.

Em situações em que a comissão entender que carece de informações técnicas mais detalhadas, estas estão apontadas neste Relatório. Tais informações têm por base a metodologia científica em que se busca fontes bibliográficas acadêmicas reconhecidas por instituições de pesquisa e centros universitários,

normas técnicas nacionais e internacionais, revistas técnicas e periódicos de grande aceitação pelo mercado, dados e informações de instituições governamentais e não-governamentais de reconhecimento nacional e internacional no assunto em estudo, catálogos e manuais de fabricantes de equipamentos, entre outros.

Os apontamentos citados acima são apresentados no item 8 – Referências Bibliográficas.

Além do processo administrativo que trata especificamente da tramitação da investigação do acidente, outros processos administrativos, que tratam de outros atos administrativos, podem estar relacionados. Fazem parte do grupo de outros processos, por exemplo, ações de fiscalização resultantes de vistorias “*in loco*” nas instalações industriais logo após o acidente, que carecem de ações imediatas de medidas cautelares por parte da ANP e vistorias que estão vinculadas aos trâmites de desinterdições decorrentes da necessidade de interdições parciais ou totais das instalações industriais, estas motivadas por questões de riscos iminentes que poderiam comprometer a operação segura.

Dos termos técnicos usados para definir “segurança”, considerando todas as etapas das atividades operacionais das instalações industriais, a comissão de investigação usa o termo “segurança operacional”.

Entende-se do termo “segurança operacional” a visão geral da segurança relacionada aos processos físico-químicos envolvidos e equipamentos utilizados, entendida como “segurança de processos”, e a “segurança ocupacional”.

O termo “segurança ocupacional” está relacionado diretamente à proteção da força de trabalho. Para reforçar a conceituação desse termo, a comissão traz o entendimento da definição dada nas diretrizes da Norma ABNT NBR ISO 45001, conforme subitem 3.11 do item 3 “Termos e definições”.

“3.11

**sistema de gestão da segurança e saúde ocupacional**

sistema de gestão de SSO

sistema de gestão (3.10) ou parte de um sistema de gestão utilizado para alcançar a política de SSO (3.15)

Nota 1 de entrada: **Os resultados pretendidos do sistema de gestão de SSO são prevenir lesões e problemas de saúde (3.18) dos trabalhadores (3.3) e fornecer locais de trabalho (3.6) seguros e saudáveis.**

Nota 2 de entrada: Os termos “saúde e segurança ocupacional” (SSO) e “segurança e saúde ocupacional” (SST) têm o mesmo significado.” (grifo nosso)

Decorre disto o fato de que a experiência nas análises das investigações de incidentes mostra que situações de riscos ocupacionais, ou seja, que geralmente podem ocorrer com um único trabalhador ou um reduzido grupo de trabalhadores, podendo ter consequências graves, normalmente produzem efeitos mais limitados. A delimitação desses casos está associada à “segurança ocupacional”.

Entretanto, incidentes relacionados ao processo industrial em si, tais como explosões de equipamentos, incêndios e vazamentos de consideráveis proporções, no que se refere aos riscos de processos, podem ocasionar acidentes com consideráveis impactos catastróficos às instalações industriais das empresas e à vida humana.

Grandes impactos econômicos e ambientais também são possíveis, tanto para a empresa quanto para a sociedade.

A preocupação com incidentes dessa magnitude se torna mais sensível e considera o fato de que podem atingir as populações circunvizinhas aos limites físicos das instalações industriais, ampliando assim os efeitos do incidente (acidentes ampliados ou acidentes maiores).

A análise detalhada dos riscos associados aos processos industriais, no tange às operações unitárias e os produtos químicos relacionados (transferência, manuseio, armazenamento, entre outras atividades), é mais abrangente e configura a “segurança de processos”.

## 2. ANÁLISE REGULATÓRIA

### 2.1. Legislação aplicável

Neste relatório, considerando a natureza e cenário do incidente em tela, serão tratados assuntos que adentram situações de aspectos relacionados à segurança operacional e, quando necessário e dentro dos limites de competências da ANP, podem ser discutidos também assuntos que tratam de possíveis impactos ambientais.

As diretrizes legais que norteiam a política nacional de preservação ambiental e as tramitações relacionadas aos licenciamentos ambientais para construção, operação e ampliação de instalações industriais são abordadas pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e Resolução Conama<sup>2</sup> nº 237/1997.

No âmbito da segurança operacional no Brasil, a Lei nº 6.514, de 22 de dezembro de 1977, trouxe alterações no Capítulo V, do Título II, da Consolidação das Leis do Trabalho - CLT, relativo à segurança e medicina do trabalho.

Importante citar o artigo 200 da Lei citada no parágrafo anterior, que descreve a competência do Ministério do Trabalho em estabelecer disposições complementares às normas de que trata o Capítulo V, tendo em vista as peculiaridades de cada atividade ou setor de trabalho. Em atendimento ao referido artigo, no estabelecimento de normas complementares e considerando as peculiaridades de cada atividade, foi publicado em 08 de junho de 1978 a Portaria nº 3.214, que estabeleceu as Normas Regulamentadoras – NRs.

A Norma Regulamentadora nº 1 traz as disposições gerais, o campo de aplicação, os termos e as definições comuns às Normas Regulamentadoras - NRs relativas à segurança e saúde no trabalho.

Em suma, as Normas Regulamentadoras são disposições complementares ao Capítulo V da CLT, consistindo em obrigações, direitos e deveres a serem cumpridos por empregadores e trabalhadores com o objetivo de garantir trabalho seguro e sadio, prevenindo a ocorrência de doenças e acidentes de trabalho. [1]

O incidente analisado neste relatório está intimamente relacionado às atividades realizadas em espaços confinados, o que remete em detalhamento mais

---

<sup>2</sup> Conama: Conselho Nacional do Meio Ambiente.

amplo à Norma Regulamentadora NR-33 - Segurança e saúde nos trabalhos em espaços confinados.

Além das 38 Normas Regulamentadoras vigentes no Brasil de caráter obrigatório, faz-se de suma importância destacar, na aplicação das boas práticas de engenharia, as normas elaboradas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

A ABNT é uma entidade privada e sem fins lucrativos, sendo membro fundador no Brasil da *International Organization for Standardization* (Organização Internacional de Normalização - ISO), da *Comisión Panamericana* de Normas Técnicas (Comissão Pan-Americana de Normas Técnicas - COPANT) e da *Asociación Mercosur de Normalización* (Associação Mercosul de Normalização - AMN). Desde a sua fundação, é também membro da *International Electrotechnical Commission* (Comissão Eletrotécnica Internacional - IEC). [2]

A elaboração das Normas Brasileiras - ABNT NBR fica sob responsabilidade dos Comitês Brasileiro - ABNT/CB, Organismos de Normalização Setorial - ABNT/ONS e Comissões de Estudo Especiais - ABNT/CEE.

Na estruturação de normas técnicas voltadas para a área de segurança operacional, destacamos alguns comitês que são responsáveis pela elaboração e atualização de importantes normas usadas pelas indústrias que atuam nas atividades de produção de biocombustíveis, considerando a atividade em estudo neste relatório de investigação:

- ✓ ABNT/CB-003 - Comitê Brasileiro de Eletricidade
- ✓ ABNT/CB-024 - Comitê Brasileiro de Segurança Contra Incêndio
- ✓ ABNT/CB-043 - Comitê Brasileiro de Corrosão

Na semântica das normas brasileiras ABNT NBR que estruturam os diversos aspectos relacionados à segurança operacional, o quadro 1 indica importantes normas que podem ser usadas como referências neste relatório, mas não se limitando a estas.

**Quadro 1:** Exemplo de normas brasileiras editadas pela ABNT.

| <b>NORMA</b>                | <b>DESCRIÇÃO</b>  |
|-----------------------------|---|
| ABNT NBR 5419               | Proteção contra descargas atmosféricas  |
| ABNT NBR IEC 60079          | Atmosferas explosivas   |
| ABNT NBR 17505 <sup>3</sup> | Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis                                    |
| ABNT NBR 16799              | Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Gestão de incêndios em tanques   |
| ABNT NBR 15219              | Plano de emergência contra incêndio - Requisitos  |
| ABNT NBR ISO 31000          | Gestão de riscos – Diretrizes   |
| ABNT NBR ISO 45001          | Sistema de gestão de saúde e segurança ocupacional - Requisitos com orientação para uso |

Fonte: Elaboração própria.

No contexto geral das aplicações legais voltadas para a segurança operacional, para a construção, alteração, ampliação e operação das instalações produtoras de biocombustíveis – usina de etanol, no caso em estudo –, as empresas devem cumprir as normativas legais, bem como atender para as normas e padrões técnicos aplicáveis à atividade.

Para tanto, devem ser tomadas como referências as normas editadas pela ABNT. No caso da inexistência dessas, utilizar normas internacionalmente aceitas. Caso não haja norma ou padrão técnico para tratar de situações específicas, devem ser adotadas as melhores práticas de engenharia.

## 2.2. Regulação da ANP

É de competência da ANP estabelecer diretrizes e proceder à fiscalização da atividade de produção de derivados de petróleo, gás natural e biocombustíveis, para que as empresas reguladas garantam a utilização das melhores práticas de engenharia na proteção da saúde humana, do meio ambiente e das populações circunvizinhas durante a condução de suas atividades.

<sup>3</sup> O atendimento à norma ABNT NBR 17505 tem caráter obrigatório, em termos de legislações aplicáveis da ANP, considerando o disposto na Resolução ANP n° 30/2006.

A fiscalização das atividades relativas às indústrias do petróleo e dos biocombustíveis são de responsabilidade da ANP, incluindo também aspectos relacionados à segurança operacional das instalações industriais, tanto na construção quanto na operação, conforme descrito no parágrafo 2º, do artigo 1º, da lei nº 9.847, de 26 de outubro de 1999:

*“Art. 1º*

*(...)*

*§ 2º A fiscalização abrange, também, a **construção e operação de instalações e equipamentos** relativos ao exercício das atividades referidas no parágrafo anterior.*

*(..)” (grifo nosso)*

Ainda em relação às diretrizes prescritas na Lei nº 9.847, de 26 de outubro de 1999, as empresas reguladas ficarão sujeitas às sanções administrativas em caso de infração às disposições que a citada lei traz em seu bojo. Nos casos relacionados à segurança operacional, há previsão de multa nos termos dos incisos VIII e IX, artigo 3º, da respectiva lei, conforme descrito:

*“Art. 3º A pena de multa será aplicada na ocorrência das infrações e nos limites seguintes:*

*(...)*

*VIII - deixar de atender às normas de segurança previstas para o comércio ou estocagem de combustíveis, **colocando em perigo direto e iminente a vida, a integridade física ou a saúde, o patrimônio público ou privado, a ordem pública ou o regular abastecimento nacional de combustíveis**;  
Multa - de R\$ 20.000,00 (vinte mil reais) a R\$ 1.000.000,00 (um milhão de reais);*

*IX - construir ou operar instalações e equipamentos necessários ao exercício das atividades abrangidas por esta Lei **em desacordo com a legislação aplicável**;  
Multa - de R\$ 5.000,00 (cinco mil reais) a R\$ 2.000.000,00 (dois milhões de reais);*

*(...).” (grifo nosso)*

Importante para os casos de risco grave e iminente – perceptíveis situações de perigo direto e iminente à vida, à integridade física ou à saúde da força de trabalho e populações circunvizinhas, às instalações industriais e ao meio ambiente –, decorrentes de condições indevidas de integridade mecânica de equipamentos,

falhas e ausências de controle de sistemas de segurança e intertravamento, falta de gerenciamento no planejamento, execução e controle de documentos pertinentes à segurança operacional, entre outros, a Lei nº 9.847, de 26 de outubro de 1999, em seus incisos I e III, do artigo 5º, prevê ações de medidas cautelares em que se é possível interditar, total ou parcialmente, as instalações industriais visando evitar a ocorrência de incidentes considerando as situações descritas neste parágrafo.

*“Art. 5º Sem prejuízo da aplicação de outras sanções administrativas, a fiscalização poderá, **como medida cautelar***

*I - interditar, total ou parcialmente, as instalações e equipamentos utilizados se ocorrer exercício de atividade relativa à indústria do petróleo, gás natural, seus derivados e biocombustíveis sem a autorização exigida na legislação aplicável;*

*(...)*

*III - interditar, total ou parcialmente, nos casos previstos nos incisos II, VI, VII, VIII, IX, XI e XIII do art. 3º desta Lei, as instalações e equipamentos utilizados diretamente no exercício da atividade outorgada;*

*(...)” (grifo nosso)*

A instalação produtora de etanol da empresa Denusa Destilaria Nova União S.A. - Em recuperação judicial, CNPJ nº 00.595.322/0001-20, localizada em Jandaia – GO, se enquadra como agente regulado pela ANP, tendo vigente no âmbito da Superintendência de Produção de Combustíveis - SPC dessa Agência as seguintes autorizações:

- Autorização nº 889, de 19/12/2017: autorização de operação da instalação (AO), com capacidade autorizada de produção de 650 m³/dia de etanol hidratado e 450 m³/dia de etanol anidro.
- Autorização nº 830, de 23/08/2018: autorização para o exercício da atividade (AEA), conforme art. 32 da Resolução ANP nº 734/2018.

Por ser agente regulado pela ANP, no exercício da atividade de produção de biocombustíveis – usina produtora de etanol –, a empresa deve seguir as diretrizes da Resolução ANP nº 734, de 28 de junho de 2018. Essa resolução trata dos requisitos que devem ser atendidos por todas as empresas que possuem interesses econômicos no exercício da atividade de produção de biocombustíveis.

Ressalta-se que, por meio de documentação protocolada na ANP em 19/08/2020, a empresa solicitou a alteração da razão social das autorizações supramencionadas, da Denusa Destilaria Nova União S.A., para a Denusa Destilaria Nova União S.A. - Em recuperação judicial, mantendo-se o CNPJ. A referida alteração foi publicada no Diário Oficial da União – DOU em 06/10/2020, através do Despacho SPC-ANP nº 831, de 5/10/2020.

É importante salientar que, embora esteja em situação de recuperação judicial, a empresa deve prover recursos financeiros para que possa manter as condições de operação segura, no tocante à gestão de riscos e integridade das instalações industriais, visando a proteção da saúde humana, do meio ambiente e das populações circunvizinhas, durante a condução de suas atividades.

No tocante aos aspectos relacionados à segurança operacional, visando subsidiar a análise documental por parte da ANP em ações de fiscalização, solicitações de novas autorizações e ampliações de capacidade ou até investigações de acidentes, a empresa deve mostrar gerenciamento sobre os documentos listados no § 1º, do artigo 9º, da Resolução ANP nº 734/2018:

“Art. 9º

*§ 1º Deverão ser mantidos atualizados em arquivo, **para fins de vistoria da ANP**, os seguintes documentos:*

*I - análise de risco;*

*II - procedimentos operacionais;*

*III - comprovação de capacitação de pessoal;*

*IV - plano de resposta à emergência;*

*V - planta(s) do(s) sistema(s) de segurança e de proteção contra incêndio;*

*VI - estudo de classificação de áreas;*

*VII - laudos de Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) e de aterramento elétrico;*

*VIII - comprovação de utilização de permissão de trabalho;*

*IX - plano(s) de inspeção e manutenção dos equipamentos;*

*X - Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) de profissional, devidamente reconhecido pela respectiva entidade profissional, responsável pela operação da instalação produtora de biocombustíveis objeto da solicitação de autorização;*

*XI - Ficha(s) de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) de todas as substâncias químicas utilizadas na instalação produtora de biocombustíveis.” (grifo nosso)*

A implementação, execução, rastreabilidade e controle dos documentos acima listados são alicerces básicos da estrutura da gestão de segurança, partindo da premissa de proteção da saúde humana e das populações circunvizinhas.

Tratam-se de documentos que mantêm estreita relação com aqueles solicitados nas normas regulamentadoras, a exemplo das normas NR-10, NR-13, NR-20, NR-33 e NR-35.

Como já foi mencionado, todas as normas regulamentadoras possuem caráter obrigatório quanto à implementação e gerenciamento.

Visando nortear as melhores práticas de engenharia que garantam os requisitos mínimos necessários para a operação segura das instalações industriais produtoras de biocombustíveis, foi descrito no texto da Resolução ANP nº 734/2018, em seu § 2º, do artigo 9º, que orientações mais detalhadas acerca dos documentos pertinentes à segurança operacional seriam publicadas no sítio eletrônico da ANP.

Tais orientações estão descritas no documento intitulado Manual Orientativo de Vistoria - MOV<sup>4</sup>, no qual constam os requisitos a serem atendidos na elaboração e gestão dos documentos elencados no parágrafo 1º, art. 9º, bem como das normas pertinentes e padrões técnicos.

No caso de ocorrência de incidentes, a empresa deve atender o disposto no inciso II, do artigo 24 da Resolução ANP nº 734/2018:

*“Art. 24. O produtor de biocombustíveis fica obrigado a:*

*(...)*

*II - atender à **Resolução ANP nº 44, de 22 de dezembro de 2009**, que trata do procedimento para comunicação de incidentes, ou outra que venha a substituí-la;*

*(...).” (grifo nosso)*

A Resolução ANP nº 44, de 22 de dezembro de 2009, mencionada no trecho destacado acima, descreve os procedimentos para comunicação de incidentes que devem ser adotados pelos agentes regulados.

Cabe ressaltar que, em 1º de fevereiro de 2023, entrou em vigor a Resolução ANP nº 882, de 27 de julho de 2022, que estabelece o procedimento para a comunicação de incidentes e o envio de relatórios de investigação pelos operadores de contrato de exploração e produção de petróleo e gás natural e pelas empresas autorizadas a exercer as atividades da indústria do petróleo, gás natural e biocombustíveis.

---

<sup>4</sup> Manual Orientativo de Vistoria – MOV. Disponível no sítio eletrônico da ANP.

A Resolução ANP nº 882/2022 revogou a Resolução ANP nº 44/2009. Entretanto, na data do incidente ocorrido na Denusa ainda se encontrava em vigência a Resolução ANP nº 44/2009.

Considerando o exposto, a Comissão de investigação da ANP tratará a análise da investigação realizada pelo agente regulado nos termos da Resolução ANP nº 44/2009. Ambas as resoluções, em seus objetivos principais, trazem a obrigatoriedade para o agente regulado comunicar um incidente ocorrido em suas instalações industriais e, dependendo da gravidade do incidente, há também a exigência de envio de relatório detalhado de incidente.

Alguns pontos importantes que foram apontados na Resolução ANP nº 882/2022 e que podem ser abordados neste relatório:

- ✓ Atualização do nome do relatório de investigação para Relatório de Investigação de Incidente – RII. No caso da Resolução ANP nº 44/2009, o referido relatório era chamado de Relatório Detalhado de Incidente - RDI. Ainda que revogada, a Comissão tratará o relatório de investigação enviado pela empresa como RDI, considerando a data do incidente e todo o trâmite tratado nos termos da Resolução ANP nº 44/2009.
- ✓ Aprimoramento do conceito de causa-raiz: “falha do sistema de gestão que possibilitou a ocorrência ou a existência dos fatores causais do incidente investigado.”, que será considerado pela comissão no desenvolvimento do relatório da ANP.

Quanto às diretrizes que norteiam a análise de investigação do incidente em estudo, a comissão de investigação da ANP seguirá o procedimento descrito na Instrução Normativa ANP nº 6, de 31 de maio de 2021.

### 3. DESCRIÇÃO DO INCIDENTE

#### 3.1. Relatório Detalhado do Incidente

Em atendimento ao Anexo II da Resolução ANP nº 44/2009, a Denusa encaminhou em 27/09/2018 a primeira versão do Relatório Detalhado de Incidente – RDI, referente ao incidente em análise.

O incidente ocorreu no dia 29/08/2018 e o RDI deveria ser entregue até o dia 28/09/2018, considerando os 30 dias previstos no Art. 3º, da Resolução ANP nº 44/2009.

Após análise da Comissão de investigação da ANP, em razão do referido documento conter poucas informações acerca do incidente, além do preenchimento incompleto de outros itens pertinentes, foi solicitado o envio de novo RDI que contivesse importantes informações, como a Metodologia de análise das causas raízes, descrição dos fatores causais e causas raízes e descrição das recomendações para evitar a recorrência do incidente e cronograma de implementação das recomendações.

A metodologia solicitada no Anexo II da Resolução ANP nº 44/2009 refere-se às metodologias utilizadas para identificação das causas raízes relacionadas ao incidente em estudo. A Denusa considerou como metodologia os métodos de coleta de informações (Investigação *in loco*, fotos e entrevistas com colaboradores do setor onde aconteceu o incidente), não sendo estes considerados como metodologias de investigação de incidentes propriamente ditas.

O RDI definitivo, após o apontamento das pendências de preenchimento dos itens constantes do Anexo II da Resolução ANP nº 44/2009, foi encaminhado e reavaliado pela Comissão de investigação da ANP.

Das premissas indicadas no RDI definitivo, destacam-se as informações descritas nos itens a seguir.

A Comissão de investigação da ANP apresentará apenas as informações mais importantes transcritas no relatório encaminhado pela Denusa, visando a descrição concisa e contendo a informação completa para compreensão do incidente, nos termos do § 1º, do Art. 15, da Instrução Normativa ANP nº 6, de 31 de maio de 2021.

### 3.1.1. Eventos iniciais

O quadro 2 visa apresentar a estruturação cronológica organizada pela Comissão de investigação da ANP, considerando as informações registradas pela Denusa.

Para o tratamento do caldo de cana, a empresa possui 3 (três) pré- evaporadores em suas instalações industriais – que não produz açúcar –, sendo produtora exclusiva de etanol.

**Quadro 2:** Informações relevantes acerca das ações que foram realizadas no processo de limpeza do pré- evaporador conforme ordem cronológica.

| Data                       | Hora             | Eventos/ações   |
|----------------------------|------------------|---|
| 28/08/2018                 | -                | <ol style="list-style-type: none"><li>1. É decidido a realizar a 13<sup>a</sup> limpeza química no pré- evaporador, na qual seriam coletados dados de eficiência da limpeza.</li><li>2. O setor de Segurança do Trabalho não é avisado, por um lapso de comunicação, por isso não há planejamento para monitoramento de atmosfera após a limpeza.</li></ol> |
| 28/08/2018                 | 09:00            | <ol style="list-style-type: none"><li>1. Iniciada a limpeza dos tubos do pré- evaporador com injeção de solução alcalina.</li></ol>   |
| 28/08/2018                 | 17:00            | <ol style="list-style-type: none"><li>1. Realizado o enxágue da solução alcalina.</li><li>2. Algumas intervenções por entupimentos prolongam o tempo desse passo da atividade.</li></ol>  |
| 28/08/2018                 | 17:30            | <ol style="list-style-type: none"><li>1. Injetada a solução ácida nos tubos do pré- evaporador, que contém ácido fórmico.</li><li>2. Entupimentos adicionais prolongam o tempo de circulação da solução.</li></ol>  |
| 28/08/2018 e<br>29/08/2018 | 17:30 às<br>2:00 | <ol style="list-style-type: none"><li>1. Reações químicas de oxirredução metálica em meio aquoso formam hidrogênio gasoso.</li><li>2. As portas de visita se encontram fechadas. O hidrogênio formado se acumula em bolha localizada.</li></ol>   |

|            |      |  |
|------------|------|--|
| 29/08/2018 | 2:00 | 1. Realizado o enxágue da solução ácida, por circulação de água e, na sequência, é colocada água no pré-evaporador.  |
| 29/08/2018 | 7:20 | 1. É completamente drenada a água do pré-evaporador.<br>2. A "bolha" de hidrogênio gasoso continua dentro do espaço confinado, provavelmente na parte inferior.  |
| 29/08/2018 | 7:25 | 1. Uma das portas de visita do pré-evaporador é aberta e os operadores entram no espaço confinado para levantar dados da eficiência da limpeza.<br>2. A atmosfera não foi monitorada para verificação da presença de gases inflamáveis.  |
| 29/08/2018 | 7:30 | <p>➤ Primeira hipótese da deflagração baixa probabilidade de ocorrência:</p> <p>1. Os operadores iniciam filmagem com seus celulares. Um dos operadores acende a lanterna do celular e a aproxima muito da parte inferior do equipamento.</p> <p>2. A ignição se inicia a partir da entrada do hidrogênio no interior do celular.</p> <p>3. Os operadores escutam um tremor forte e tentam sair do equipamento, quando ocorre a deflagração.</p> <p>➤ Segunda hipótese da deflagração:</p> <p>1. Oxigênio presente no ar entra pela porta de visita aberta pelos operadores e se mistura em quantidade estequiométrica ideal com o hidrogênio gasoso, deflagrada por partícula de ferrugem transportada pelo fluxo rápido de hidrogênio, provocando faísca através da carga eletrostática ou pela colisão contra objetos.</p> <p>2. Os operadores escutam um tremor forte e tentam sair do equipamento, quando ocorre a deflagração.</p> |
| 29/08/2018 | 7:37 | 1. A brigada de emergência é acionada. Instruções de segurança são passadas para os demais setores da fábrica.   |
| 29/08/2018 | 7:40 | 1. A brigada de emergência chega ao local do evento, isola a área e inicia o resgate das vítimas.<br>2. Antes de entrar no ambiente confinado, abrem as outras duas portas de visita que se encontravam fechadas.  |

Fonte: elaboração própria, conforme RDI enviado pela Denusa.

Conforme descrição apresentada no documento “Análise de acidente do trabalho do SESMT<sup>5</sup>”, a limpeza dos tubos dos pré-evaporadores era realizada através de uma mangueira sob pressão com água acompanhado de uma roseta (equipamento que entram nos tubos para realizar a limpeza dos mesmos).

No início de junho de 2018, o processo de limpeza dos pré-evaporadores teve modificações, e a limpeza passou a ser realizada com produtos químicos em circuito fechado.

### **3.1.2. O incidente**

A descrição do acidente foi apresentada através do documento “Análise de acidente do trabalho do SESMT”.

No dia 28/08/2018, por volta das 09:00 da manhã, teve início a limpeza do 3º pré-evaporador utilizando o produto alcalino (soda cáustica) a 7% em circuito fechado até as 17:00 da tarde. Em seguida, foi realizado o enxágue do pré-evaporador com água. Em sequência, foi adicionado o ácido fórmico a 7%, também em circuito fechado, circulando dentro do pré-evaporador até 02:00 da manhã, tendo sido depois realizado o enxágue novamente.

O passo seguinte foi injetar água dentro do pré-evaporador e no dia 29/08/2018, às 07:20 da manhã, foi efetuado o procedimento de retirada de água do 3º pré-evaporador.

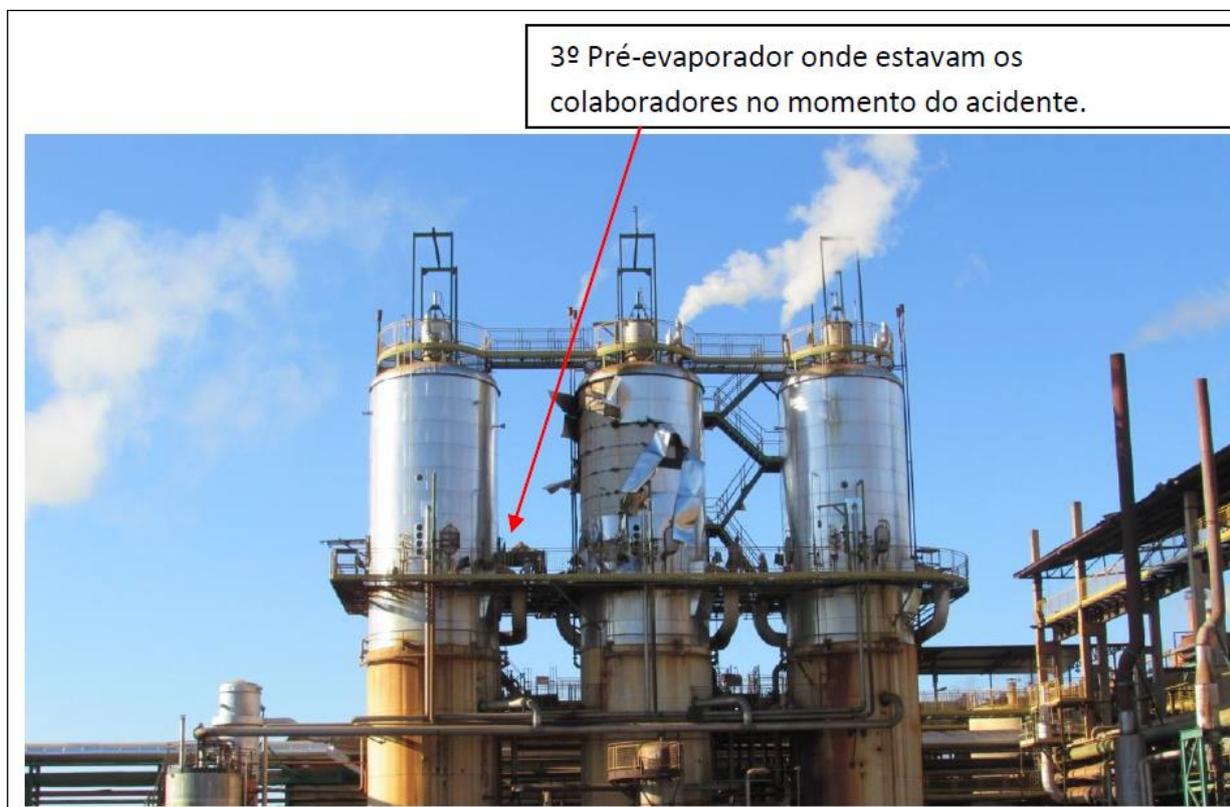
Em seguida, os colaboradores envolvidos abriram apenas uma escotilha e adentraram o compartimento para realizar uma inspeção de eficiência do novo sistema de limpeza.

Por fim, em um momento que se estimou ter ocorrido por volta de 07:30 da manhã, houve um estrondo seguido de um deslocamento de ar, o qual atingiu os colaboradores (foto 1).

---

<sup>5</sup> SESMT - Serviços Especializados em Segurança e Medicina do Trabalho, conforme estabelecidos pela Norma Regulamentadora – NR-4.

**Foto 1:** Vista dos 3 pré-evaporadores das instalações industriais da planta produtora de etanol da Denusa.



Fonte: Documento enviado pela Denusa.

### 3.1.3. Ações imediatas/Emergências

A empresa informou que foi isolada a área do incidente e que providenciou socorro aos feridos e desligamento de toda a parte elétrica do equipamento.

Foi informado também que foi feito contato com os seguintes órgãos governamentais: Ministério do Trabalho, Polícia Civil e Corpo de Bombeiros.

No documento “Análise de acidente do trabalho do SESMT” está descrito que a Denusa, juntamente com o SESMT, tomou as devidas providências necessárias informando os órgãos públicos atribuídos (Polícia Civil de Jandaia/GO, Polícia Científica e IML<sup>6</sup> de Aparecida de Goiânia/GO).

### 3.1.4. Consequências

<sup>6</sup> IML - Instituto Médico Legal. O Instituto Médico Legal está subordinado à Superintendência da Polícia Técnico-Científica e foi criado com o intuito de fornecer bases técnicas em Medicina Legal para o julgamento de causas criminais.

Fonte: <https://www.ssp.sp.gov.br/fale/institucional/answers.aspx?t=3>. Consulta em 29/06/2023.

### 3.1.4.1. Danos ao patrimônio

A Denusa informou que houve o desprendimento de parte do isolamento térmico do terceiro pré-evaporador.

- Fotos do cenário e impactos causados com a explosão do 3º pré-evaporador:

**Foto 2:** Impactos no isolamento térmico do 2º pré-evaporador e revestimento metálico do costado.



Fonte: arquivo de fotos da ação de fiscalização realizada por técnicos da ANP.

**Foto 3:** Única boca de visita<sup>7</sup> que se encontrava aberta no momento do incidente.



Fonte: arquivo de fotos da ação de fiscalização realizada por técnicos da ANP.

#### ***3.1.4.2. Danos às pessoas***

O incidente atingiu apenas colaboradores da Denusa. A empresa comunicou que 4 (quatro) colaboradores foram acidentados.

#### ***3.1.4.3. Danos ao meio ambiente***

A Denusa informou que nenhum ecossistema foi afetado.

---

<sup>7</sup> Também denominada, nos documentos apresentados pela Denusa, de "porta de visita" ou "escotilha".

### 3.1.5. Causas raízes

#### 3.1.5.1. Metodologia

A Denusa utilizou, para análise de causas raízes, a metodologia da Árvore de Falhas.

A estruturação da Árvore de Falhas foi apresentada (anexo – apêndice A) pela Denusa.

#### 3.1.5.2. Fatores causais

Não foram apresentados, no RDI enviado pela Denusa, os fatores causais relacionados ao incidente em análise, apesar da solicitação descrita no Anexo II da Resolução ANP n° 44/2009.

Não há, também, indicação dos fatores causais na Árvore de Falhas que foi apresentada no RDI.

Na primeira versão do RDI enviada para a Agência, conforme descrito no item 3.1 deste relatório de investigação, a Denusa apontou um único fator causal: “*Uso de celulares dentro do Espaço Confinado (Pré-evaporador).*”

#### 3.1.5.3. Causas raízes propriamente ditas

O quadro 3 apresenta as causas-raízes relacionadas ao incidente em análise, conforme solicitação descrita no Anexo II da Resolução ANP n° 44/2009.

No detalhamento, a empresa relacionou as causas-raízes aos apontamentos descritos no Manual Orientativo de Vistorias – MOV da ANP, apontado na Resolução ANP n° 734/2018, conforme indicado no item 2.2 deste relatório de investigação.

Na primeira versão do RDI enviada, conforme descrito no item 3.1 deste relatório de investigação, a Denusa apontou as seguintes causas-raízes:

- Formação de H<sub>2</sub> (Hidrogênio);
- Não ter comunicado à equipe de segurança do trabalho para realizar as medições de gases; e
- Não utilizaram as lanternas anti-explosão.

**Quadro 3:** Causas-raízes apontadas no RDI e relacionamento com os apontamentos do MOV.

|          | <b>Causa-raiz</b>   | <b>Item do Manual Orientativo de Vistorias (MOV) da ANP – Resolução ANP nº 734/2018</b> |
|----------|---|---|
| <b>1</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Não foi formalizada a análise dos riscos do processo realizada quando mudou o processo de limpeza mecânica para limpeza química.</li> </ul>  | 4.1   |
| <b>2</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Procedimento incompleto por não incluir ações em caso da limpeza consumir tempo superior ao previsto. O longo tempo para realizar essa limpeza, acima do tempo estabelecido no procedimento, foi fundamental para a formação de hidrogênio.</li> </ul>       | 4.2   |
| <b>3</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Treinamento incompleto. Pelo menos um não possuía capacitação no procedimento de colaboradores envolvidos na atividade de limpeza química e em NR-33 que trata de espaços confinados, apesar de ser um operador considerado como “vigia” externo.</li> </ul> | 4.3   |
| <b>4</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Falha no planejamento do trabalho. O fato de não estar formalizado quais áreas participam e aprovam previamente a execução do trabalho resultou na falta de ventilação e na não medição da atmosfera.</li> </ul>   | 4.9   |
| <b>5</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Acessórios sem especificação à prova de explosão foram utilizados e podem haver sido fonte de ignição. O procedimento e o treinamento dos operadores não tratam do tema.</li> </ul>  | 4.2 e 4.3   |
| <b>6</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>A brigada de emergência atuou rapidamente no resgate, porém encontrou alguma dificuldade no acesso existente à parte superior.</li> </ul>  | 4.4   |

Fonte: elaboração própria, conforme RDI enviado pela Denusa.

### 3.1.6. Medidas mitigadoras

#### 3.1.6.1. Medidas tomadas

Foram apontadas as seguintes medidas mitigadoras após a ocorrência do incidente para minimizar suas consequências:

- Proibição do uso de celular;
- Fazer PTE (Permissão para Trabalhos Especiais); e
- Realizar as medições de gases antes de entrar em espaços confinados.

#### 3.1.6.2. Cronograma de implementação

O relatório não apresentou cronogramas de implementação de medidas que deveriam ser tomadas após a ocorrência do incidente.

### 3.1.7. Ações corretivas e preventivas

Foram apresentadas 8 (oito) recomendações (R01 a R08) de ações corretivas e preventivas, conforme descritas no quadro 4.

**Quadro 4:** Recomendações apresentadas pela Denusa.

|    | Recomendações   |
|----|---|
| R1 | <ul style="list-style-type: none"><li>• Estudar junto à Nalco<sup>8</sup> toda a tecnologia do processo, incluindo no procedimento e nos treinamentos os conteúdos relevantes preventivos.</li></ul>  |
| R2 | <ul style="list-style-type: none"><li>• Realizar análise de risco formal da atividade, atentando para considerar os riscos advindos de reações químicas e do manuseio dos produtos químicos.</li></ul>  |
| R3 | <ul style="list-style-type: none"><li>• Incluir nos procedimentos e treinamentos as ações a serem tomadas em condições excepcionais de operação, como quando por exemplo, o tempo de limpeza exceder o tempo determinado no procedimento.</li></ul> |
| R4 |   |

<sup>8</sup> Empresa detentora da tecnologia de limpeza química - *Nalco Water – An Ecolab Company*, Sítio eletrônico: <https://en-br.ecolab.com/nalco-water/about>.

|           |  |
|-----------|--|
|           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rever o sistema de treinamento de forma a garantir que todos os colaboradores sejam treinados nos procedimentos relativos às suas atividades, tão bem quanto nas NR correspondentes.</li> </ul>         |
| <b>R5</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Criar documento formal de aprovação das áreas e cargos envolvidos na aprovação com antecedência das atividades de limpeza química, estabelecendo as responsabilidades e ações de cada parte.</li> </ul> |
| <b>R6</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estabelecer que durante todo o tempo das limpezas químicas a totalidade das portas de visita sejam mantidas abertas, avaliando também a necessidade de ventilação forçada.</li> </ul>                   |
| <b>R7</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Especificar os equipamentos que possam ser usados no espaço confinado, incluindo fontes de luz.</li> </ul>  |
| <b>R8</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhorar o acesso à brigada de emergência para o piso superior dos pré- evaporadores.</li> </ul>  |

Fonte: elaboração própria, conforme RDI enviado pela Denusa.

A seguir são listadas as medidas corretivas informadas pela Denusa, tendo sido implementadas até o momento da emissão do RDI:

- Fazer DDS (Diálogo Diário de Segurança);
- Proibir o uso de celular;
- Fazer PTE (Permissão para Trabalhos Especiais);
- Realizar as medições de gases antes de entrar em espaços confinados;
- Ministrando curso de Espaços Confinados e Trabalhos em Altura para todos os colaboradores envolvidos;
- Adquirir 4 (quatro) aparelhos de medições de gases; e
- Comprar mais 2 (dois) conjuntos de máscaras autônomas.

## 3.2. Descrição da Comissão de Investigação da ANP

### 3.2.1. O incidente

Antes da análise teórica do incidente, a comissão de investigação da ANP descreve o incidente com mais detalhes, já que o RDI encaminhado pela Denusa não traz a descrição detalhada do cenário e consequências imediatas sofridas pelos operadores, conforme apresentado no item 3.1.2 deste relatório.

O relato foi transcrito por membros da comissão de investigação da ANP que realizaram, no dia 05/09/2018, uma ação de fiscalização *in loco* nas instalações industriais da Denusa.

Segue abaixo o relato.

Logo após o encerramento do processo de limpeza do pré-evaporador 3, por volta das 7:30h, quatro operadores participaram da inspeção interna do equipamento. Após abertura de apenas uma escotilha (boca de visita – foto 3)<sup>9</sup>, três operadores adentraram o equipamento para realizar uma inspeção de eficiência da limpeza, enquanto o quarto permaneceu do lado de fora em frente à escotilha, quando em um dado momento houve um estrondo (explosão), provocando um forte deslocamento de ar.

No ato da vistoria, foi informado pela Denusa que o deslocamento de ar teria arremessado o funcionário que estava do lado de fora contra a parede (costado) do pré-evaporador 2, causando nele lesões múltiplas. O funcionário teria sido encontrado caído próximo ao pré-evaporador 2, sendo socorrido pela brigada da empresa. Contudo, o empregado não resistiu e foi a óbito durante o percurso para o hospital. Os outros três funcionários sofreram queimaduras, tendo sido encaminhados para atendimento hospitalar. Destes, um foi a óbito dias depois no hospital, totalizando duas vítimas fatais e dois feridos.

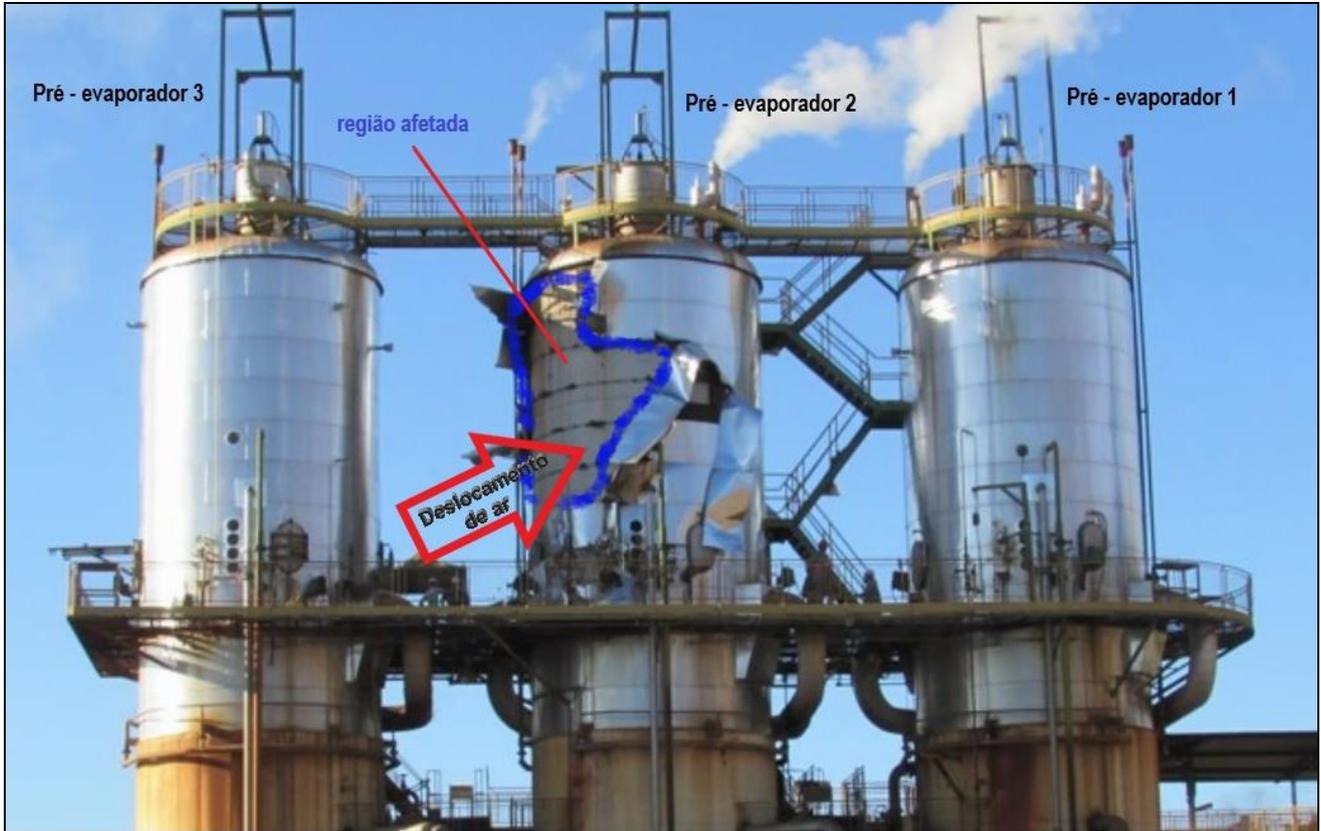
Na foto 4 é possível constatar o direcionamento do deslocamento de ar ao se observar a região afetada do pré-evaporador 2. Como o ar ficou confinado, a saída pela única escotilha que estava aberta, posicionada justamente para o costado do

---

<sup>9</sup> O pré-evaporador possui 4 escotilhas (bocas de visita) na parte superior, disponíveis para acesso dos operadores à câmara de evaporação (figura 1).

pré-evaporador 2, fica esclarecido, no cenário apresentado, o deslocamento de ar e o posicionamento do operador que estava do lado de fora logo após o incidente.

**Foto 4:** Indicação do direcionamento do deslocamento de ar após a explosão.



Fonte: Documentação encaminhada pela Denusa – foto adaptada.

## 4. ANÁLISE GERAL DO PROCESSO INDUSTRIAL

### 4.1. Processo industrial

O incidente relatado ocorreu em etapa específica da produção de etanol, em equipamento relacionado ao tratamento do caldo de cana.

Conforme já foi mencionado, a planta produtora de etanol da empresa Denusa Destilaria Nova União S.A. só produz etanol, ou seja, não há produção de açúcar.

Visando esclarecer os fatores causais e as causas raízes que podem ser apontados no incidente ocorrido, a comissão de investigação da ANP detalha com mais profundidade técnica o processo industrial relacionado, assim como aspectos relacionados à segurança operacional.

De forma similar às lições aprendidas com outros incidentes, o incidente ocorrido na Denusa mostra a importância das análises de riscos associadas às diversas atividades que são executadas em uma instalação industrial, inclusive atividades de limpeza de equipamentos.

Devido à incompatibilidade química existente nas misturas de diversos tipos de produtos químicos, é extremamente importante avaliar as informações descritas nas fichas de informação de segurança de produtos químicos – FISPQs.

Em análise realizada pela ANP acerca do incidente ocorrido na instalação produtora de biodiesel da empresa Biocapital Participações S.A. (Relatório de Investigação de Incidente 01/2020 – Disponível no sítio eletrônico da ANP), a Comissão responsável descreve detalhadamente a importância das FISPQs, no que concerne às substâncias químicas que possuem propriedades tão peculiares, cuja reatividade em processos químicos e condições operacionais requer especial atenção, podendo produzir misturas com elevado potencial de riscos, devendo ser rigorosamente estudadas pelas empresas que visam atuar em quaisquer etapas das cadeias produtivas que utilizem essas substâncias.

A descrição de processos químicos específicos, fluxogramas simplificados de processo, propriedades físico-químicas, usos, perigos químicos, transferência e armazenamento, das substâncias químicas que estão envolvidas no incidente, é resultado da pesquisa realizada pela comissão de investigação da ANP em

diferentes fontes de consulta: literatura acadêmica, periódicos, teses, normas, entre outros.

Por se tratar de relatório técnico, alguns textos serão copiados na íntegra, mas com a expressa indicação da fonte de consulta, mantendo assim a lisura dos textos e o devido direito autoral das produções científicas.

#### ***4.1.1. Produção de etanol***

O etanol pode ser produzido por diferentes tipos de biomassa, no caso em estudo será descrito a produção através da cana-de-açúcar.

O processo industrial de produção de etanol é dividido basicamente nas seguintes etapas, e na ordem apresentada:

- Recepção da cana
- Preparo da cana
- Moagem do caldo
- Tratamento do caldo
- Fermentação
- Destilação

Conforme já foi mencionado, o incidente ocorreu em equipamento inerente à etapa de tratamento do caldo.

Diante deste fato, não serão detalhadas todas as etapas relacionadas à produção de etanol. A Comissão de investigação da ANP detalhará a etapa de tratamento de caldo e posteriormente será apresentado o equipamento específico no qual ocorreu o incidente, onde serão abordadas sua finalidade, características construtivas e processos de limpeza.

Quanto ao aspecto regulatório, incidentes ocorridos na etapa de tratamento do caldo estão contemplados nas exigências apontadas na Resolução ANP n° 882/2022, considerando a abrangência da ANP apontada na Resolução ANP n° 734/2018.

Na definição de instalação produtora de biocombustíveis, descrita no Inciso XII, do Art. 2º, da Resolução ANP nº 734/2018, consta:

“Art. 2º

(..)

IX – instalação produtora de biocombustíveis: área industrial destinada à produção de biocombustíveis, incluindo área de armazenamento, **excluindo a produção agrícola**, a fabricação de produtos agropecuários e alimentícios, **a extração de caldo** e o esmagamento de grãos, a geração de energia elétrica e os aterros sanitários;

(...)”, (grifo nosso)

Considerando a definição apresentada, a área de abrangência da ANP, quanto as etapas de produção de etanol, contempla apenas as etapas de tratamento do caldo, fermentação e destilação.

#### **4.1.2. Etapa de tratamento do caldo**

O caldo obtido, logo após ser extraído da cana-de-açúcar na etapa de moagem, passa por sucessivos processos unitários para a produção de álcool, cujo objetivo principal é o de seu tratamento, conforme apresentados no quadro 5.

Tem por finalidade a obtenção de um caldo límpido, isento de impurezas em suspensão e dissolvidas, favorecendo o rendimento na produção de etanol na etapa posterior de fermentação.

#### **TEXTO 1**

O tratamento eficiente do caldo apresenta boa coagulação, alta velocidade de decantação, máxima quantidade de material precipitado, lodo compactado e caldo translúcido. A temperatura, o pH do caldo e a mecânica do processo determinam o carácter físico do sistema sólido-líquido durante a decantação do caldo. **Ao**

**contrário, caldos que não têm boa eficiência no tratamento, apresentam: decantação incompleta, densidade das partículas menor do que a do líquido (tamanho das partículas pequeno);** baixa velocidade de decantação (alta viscosidade do caldo, grande área superficial das partículas); grande volume de lodo. (grifo nosso) [3]

**Quadro 5:** Processos relacionados à etapa de tratamento do caldo.

|                      | Descrição  |
|----------------------|--|
| Aquecimento do Caldo | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Processo composto por conjunto de trocadores de calor que operam em série, fazendo com que o caldo atinja uma temperatura próxima de 105°C para esterilização e favoreça a separação de substâncias coloidais dissolvidas no caldo. Essas substâncias, quando submetidas a altas temperaturas, sofrem o processo de desnaturação e se tornam insolúveis.</li> </ul> |
| Flasheamento         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tanque flash que possui a função de retirar, ao máximo, os gases que estavam dissolvidos no caldo.</li> </ul>   |
| Sedimentação         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Separação de material insolúvel do caldo, realizada em decantador específico, através da decantação das partículas (lodo) junto com os flocos formados pela adição de polímero aniônico.</li> <li>• Toda a impureza decantada sai pela parte inferior, enquanto o caldo clarificado é enviado para a fabricação do mosto.</li> </ul>                                |
| Filtração            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Peneiras rotativas e estáticas utilizadas na retirada de bagacilho que não foi eliminado no processo de decantação.</li> </ul>  |
| Evaporação           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• O caldo clarificado obtido nos decantadores é submetido a um processo de concentração através da eliminação da água presente (aumento do Brix<sup>10</sup>).</li> <li>• O processo é realizado através de equipamentos denominados pré-evaporadores.</li> </ul>   |

Fonte: elaboração própria.

<sup>10</sup> Brix é a porcentagem em massa de sólidos solúveis contidos em uma solução de sacarose quimicamente pura. Em conjunto com o pol, medem a pureza do caldo extraído da moagem da cana-de-açúcar e ambos medem o pc (pol da cana, isto é o resultado da quantidade de pol encontrada na cana) e teor de sacarose da cana. Fonte: <https://www.udop.com.br/noticia/2006/08/09/o-que-e-pol-e-brix.html>. Consulta em 29/06/2023.

### 4.1.3. Descrição geral do pré-evaporador

#### 4.1.3.1. Finalidade

Equipamento utilizado na concentração do caldo através do processo físico de evaporação, sendo o responsável por garantir um sistema de evaporação do caldo, visando a remoção da maior parcela possível da água contida no caldo clarificado oriundo do tratamento de caldo, sem que haja a cristalização da sacarose. Ou seja, objetiva a máxima concentração, pois a função da evaporação é somente retirar a água no caldo clarificado tornando-o um caldo concentrado que seguirá para a próxima etapa. [4].

O pré-evaporador é um equipamento importante para a etapa de tratamento do caldo, por meio do qual é possível proceder a concentração do caldo para ser enviado à etapa de fermentação.

#### TEXTO 2

**O caldo é concentrado em evaporadores**, com o objetivo de obter a concentração de açúcares adequada para o processo fermentativo. Diferentes arranjos de evaporadores podem ser empregados, em simples ou múltiplo efeito, sendo de simples mais comuns na indústria brasileira. Evaporadores múltiplo efeito com quatro ou cinco estágios operando de forma co-corrente também são encontrados; nesses equipamentos o caldo, que apresenta inicialmente concentração de 14-16 °Brix, é concentrado a 55-65 °Brix nos evaporadores. (grifo nosso) [5]

#### 4.1.3.2. Tipos e funcionamento

Existem basicamente 4 tipos de pré-evaporadores atualmente no mercado, mas não se limitando a estes dependendo da classificação (texto 3):

- evaporadores tipo *Roberts* ou calandra, nas suas mais diversas configurações, sendo os equipamentos mais convencionais e de ampla utilização nas usinas do Brasil;
- evaporadores de múltiplas calandras, também conhecidos como evaporadores de filme ascendente com passe único;
- evaporadores de filme ascendente ou “*rising film*”, também conhecidos como evaporadores tipo Kestner; e
- evaporadores de filme descendente ou “*falling film*” ou PFD – Película Filme Descendente.

O pré-evaporador tipo *Robert* é o modelo utilizado nas instalações industriais da planta produtora de etanol da Denusa, em um total de 3 (três) pré-evaporadores, sendo que o incidente ocorreu no pré-evaporador nº 3, conforme numeração dada pela empresa.

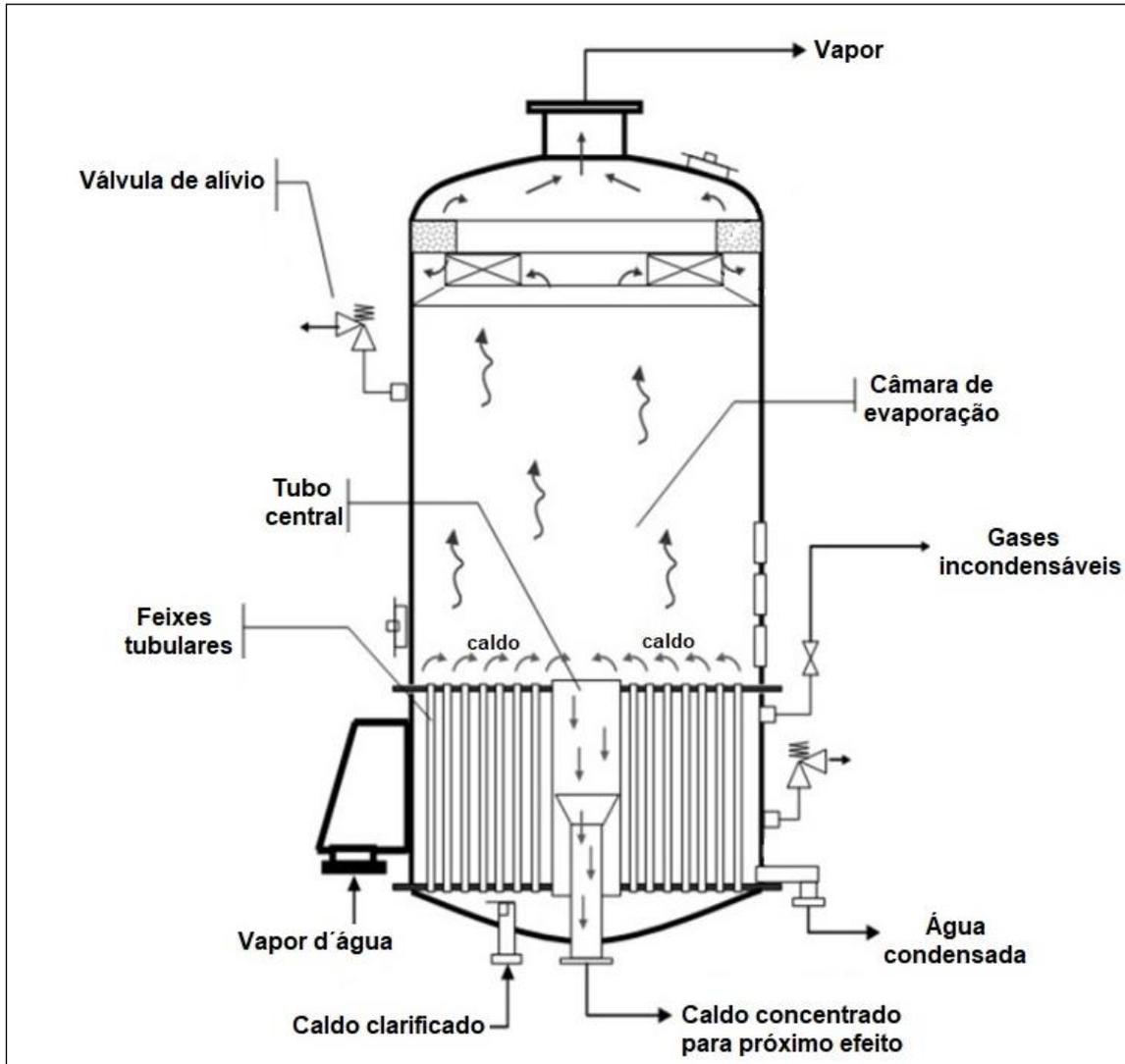
Este relatório não visa aprofundar no modo de funcionamento, vantagens e desvantagens de cada modelo. Dada a especificidade do incidente, com ocorrência em pré-evaporador do tipo *Robert* e a metodologia de limpeza aplicada, a comissão de investigação da ANP abordará este tipo de pré-evaporador, bem como descreverá a importância da análise do tipo de limpeza utilizada, em termos de segurança operacional.

O pré-evaporador do tipo *Robert* ou calandra, é um evaporador de caldo de modelo mais convencional, montado verticalmente e com geometria cilíndrica, dotado de calandra com feixe tubular mandrilhado em espelho (figura 1).

Possui entrada de vapor e saída de condensado nas laterais, retirada de gases incondensáveis e corpo superior com altura adequada, bocais de saída de vapor, visores e quebra vácuo.

Sua porta de inspeção (boca de visita) de boa dimensão facilita os processos de manutenção e a limpeza. O fundo tem formato torisférico e é dotado de bocais de entrada e saída de caldo.

**Figura 1:** Forma geométrica do pré- evaporador tipo Robert



Fonte: Adaptada. Figura original ver referência. [6]

## TEXTO 3

Os evaporadores podem ser classificados de acordo com o meio aquecedor empregado. Podendo estar em contato direto com a solução, ou separado da mesma por superfícies tubulares, por camisa de aquecimento, ou por parede dupla, etc. Os evaporadores com superfícies trocadoras de calor são os mais utilizados, operando, em sua maioria, de forma contínua (entrada e saídas contínuas).

Em Minton (1986), os seguintes tipos de evaporadores são apresentados: tanques com camisa, evaporadores de tubos horizontais, evaporadores de tubos verticais curtos, evaporadores de tubos verticais compridos, evaporadores de circulação forçada, evaporadores de placas e evaporadores flash. [7]

### **4.1.3.2.1. Materiais**

O objetivo deste item do relatório é apresentar os materiais empregados na construção do pré-evaporador de caldo onde ocorreu o incidente, ressaltando suas características mais relevantes para que se procedesse a essa investigação.

#### **4.1.3.2.1.1. Aço ASTM A 423**

O aço ASTM<sup>11</sup> A 423 é um aço-liga que produz uma camada protetora de cor de ferrugem, alaranjada, em sua superfície (figura 2). Essa camada protege o material da corrosão atmosférica e é resistente à corrosão, fazendo com que o material seja mais resistente às intempéries do que o aço doce. Ele também confere uma aparência uniforme que é desejável a diversas aplicações. O aço ASTM A 423 CorTen, onde CorTen vem da junção da expressão inglesa **Corrosion resistance and Tensile strength**, que significa resistente à corrosão e resistente à tração, é também conhecido como aço resistente à corrosão. A camada protetora, cor de ferrugem,

---

<sup>11</sup> A ASTM International - *American Society for Testing and Materials* é uma editora técnica de normas, artigos técnicos e informações relacionadas, aplicadas a praticamente tudo, desde petróleo e aço até cimento e sustentabilidade. Fonte: <https://br.astm.org/pt/>. Acessada em 01/07/2023.

conhecida na engenharia de materiais como pátina, se forma com o passar do tempo e confere a tubos feitos com esse material sua aparência distinta e ajuda na diminuição da taxa de corrosão. Esse tipo de aço é comumente utilizado em plantas químicas, fábricas de açúcar e outras indústrias expostas a condições ambientais severas. (grifo nosso) [8]

**Figura 2:** Tubos de aço ASTM A 423 Gr. 1 sem costura, patinado.



Fonte: Adaptada. página da Internet: <https://www.amcometals.com/corten-steel-astm-a423-a-gr-1-pipe-manufacturer-exporter.html>, acessada em 19/06/2023.

O aço ASTM A 423 é altamente durável e robusto, capaz de suportar condições ambientais extremas. Seu alto teor de liga confere a ele diversas propriedades desejáveis a condições severas de uso, como resistência a oxidação, corrosão ácida, corrosão intersticial e resistência à fratura por corrosão sob tensão. Este aço pode ser utilizado em diversas situações em que se exija um material resistente a abrasão por um longo período de tempo, que opere sob largas faixas de

temperatura e pressão e que seja resistente à corrosão, o que faz dele adequado à praticamente qualquer meio. [8]

Como resultado de seus altos teores de carbono, manganês e enxofre, o aço ASTM A 423 também é altamente resistente aos meios ácidos. [9]

Segue a tabela 1 com a descrição da composição química típica do aço ASTM A 423 Grau 1.

**Tabela 1:** Composição típica do aço ASTM A 423 Grau 1.

| Elementos<br>(em %) | C      | Mn     | P      | S      | Si     | Cu     | Cr     | Ni     |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>ASTM A 423</b>   | 0,15   | 0,55   | 0,06 a | 0,06   | 0,10   | 0,20 a | 0,24 a | 0,20 a |
| <b>Gr.1</b>         | (máx.) | (máx.) | 0,16   | (máx.) | (mín.) | 0,60   | 1,31   | 0,70   |

Fonte: página da Internet: <https://www.steel-technology.com/products/corten-steel-tube/corten-steel-astm-a423-grade-1-tubes>, acessada em 19/06/2023.

Convém mencionar que, a presença de sais dissolvidos no meio é bastante nociva à patina que o aço ASTM A 423 forma, acarretando corrosão semelhante à que ocorre em aços carbono comuns. [10]

A presença de contaminantes no ar, como enxofre e cloretos, pode influenciar sensivelmente a taxa de corrosão nesses aços, modificando o crescimento do óxido. Por este motivo, a taxa de corrosão dos aços patináveis pode aumentar muito próximo a fábricas, devido à chuva ácida. [10]

Isso reforça o conceito de que nos aços patináveis, tais como o ASTM A 423, a resistência à corrosão depende não apenas de sua composição química. De fato, tal resistência é ainda mais influenciada pelas condições ambientais que determinam as características da camada de óxido protetor, sendo estas características o fator preponderante para a resistência à corrosão desses aços. [10]

Logo, é possível inferir que o processo de desincrustação mecânica através do uso de rosetas pode remover a camada de óxido (pátina) dos tubos do pré-evaporador onde é realizada a troca térmica entre o caldo e o vapor, construídos em aço ASTM A 423. Isso os sujeitaria a taxas de corrosão semelhantes às aquelas observadas nos aços carbono comuns, devido a presença de sais dissolvidos no meio.

Todavia, convém também mencionar que a etapa de desbaste mecânico das incrustações dos pré-evaporadores é subsequente à lavagem ácida, o que nos permite inferir que durante a lavagem ácida a superfície interna dos tubos por onde flui o caldo ainda contavam com sua pátina protetora.

Com base nessas inferências, desconsiderar-se-á a área total da superfície interna dos tubos de caldo do pré-evaporador para o cálculo estimado da quantidade de hidrogênio formado devido a reação do ácido fórmico com o metal, haja vista que não é esperado que ocorra tal reação entre o ácido e o aço ASTM A 423 nas condições especificadas.

#### 4.1.3.2.1.2. Aço ASTM A 36

O aço ASTM A 36 é a liga mais usada na linha de construção civil devido às principais características das propriedades mecânicas deste metal. Ele possui alta resistência, sendo largamente aplicado em diferentes situações. [11]

O aço ASTM A 36 é um aço de baixo carbono. Aços de baixo carbono são classificados por terem menos de 0,3% de carbono por peso. Isso permite que o aço ASTM A36 seja facilmente usinado, soldado e formado, tornando-o extremamente útil como um aço de uso geral. [12]

Essa liga geralmente contém pequenas quantidades de outros elementos, incluindo manganês, enxofre, fósforo e silício. Esses elementos de liga são adicionados para dar ao aço ASTM A 36 as propriedades químicas e mecânicas desejadas. [12]

Segue a tabela 2 com a composição química típica do aço ASTM A 36.

**Tabela 2:** Composição típica do aço ASTM A 36.

| Elementos<br>(em %) | C              | Mn   | P    | S    | Si   | Cu   |
|---------------------|----------------|------|------|------|------|------|
| <b>ASTM A 36</b>    | 0,25 a<br>0,29 | 1,03 | 0,04 | 0,05 | 0,28 | 0,20 |

Fonte: página da Internet: <https://acosnobre.com.br/blog/aco-a36/>,  
acessada em 21/06/2023.

Devido à resistência relativamente boa, à sua conformabilidade e ao fato de que pode ser facilmente soldado, o aço ASTM A 36 é comumente usado como aço estrutural. [12]

O aço ASTM A 36 está disponível em várias formas, incluindo folhas, barras retangulares, hastes circulares, vigas e seções transversais em ângulo. É ideal para retificar, rosquear, furar, puncionar e usinar. **O aço ASTM A 36 é frequentemente galvanizado para evitar corrosão.** (grifo nosso) [12]

É possível perceber, também, que, pela ausência dos elementos cromo e níquel em sua composição química, o aço ASTM A 36 é mais suscetível à corrosão.

De posse dessa última informação, podemos inferir que as partes metálicas internas dos pré-evaporadores mais suscetíveis à corrosão eram, de fato, aquelas fabricadas em ASTM A 36.

Também é possível inferir que a proteção galvânica superficial – caso existisse – aplicada às partes construídas com esse aço já tivesse perdido, ao menos em parte, a sua funcionalidade, haja vista que a Denusa não apresentou nenhum documento que comprovasse e avaliasse a condição metalográfica e estrutural das partes internas dos pré-evaporadores desde sua concepção, em 2005.

A galvanização não deve ser empregada em chapas ou tubos a serem soldados. As fotos internas do evaporador do Laudo Pericial sugerem que não foi empregado aço galvanizado.

Com base nessas inferências, considerar-se-á a área total da superfície interna das partes do pré-evaporador construídas em aço ASTM A 36 para o cálculo estimado da quantidade de hidrogênio formado devido a reação do ácido fórmico com o metal (cálculos apresentados no item 4.3.2.1 deste relatório).

#### ***4.1.3.2.1.3. Substituição do aço ASTM A 36 pelo aço ASTM A 283 Gr. C***

O material utilizado na fabricação dos pré-evaporadores do caldo foi o aço ASTM A 283 Grau C, como é possível observar na memória de cálculo do equipamento, conforme documento apresentado pela Denusa e intitulado “7.36 - Pré-Evaporador 03 memória cálculo”, é diferente daquele especificado nos desenhos técnicos das diversas partes que compõem tal equipamento, o aço ASTM A 36, conforme será demonstrado no item 4.3.2.1 deste relatório.

A figura 3 apresenta dados comparativos entre os dois precitados aços.

**Figura 3:** Diferenças químicas entre os aços ASTM A 36 e ASTM A 283 Gr. C.

| Qualidade  | LE (Mpa)   | LR (Mpa)  | Alo (%)   |  |  |  |
|------------|------------|-----------|-----------|--|--|--|
| A 36       | Mínimo 250 | 400 a 550 | Mínimo 20 |  |  |  |
| A 283 Gr C | Mínimo 205 | 380 a 515 | Mínimo 20 |  |  |  |
| A 283 Gr D | Mínimo 230 | 415 a 550 | Mínimo 18 |  |  |  |

| Qualidade       | Espessura (mm) | C        | Si          | Mn          | P         | S         |
|-----------------|----------------|----------|-------------|-------------|-----------|-----------|
| ASTM A 36       | Max. 19,10     | Max 0,25 | Max 0,40    | -           | Max 0,040 | Max 0,050 |
|                 | 19,10 a 38,10  |          |             | 0,80 a 1,20 |           |           |
|                 | 38,10 a 63,50  | Max 0,26 | 0,15 a 0,40 |             |           |           |
| ASTM A 283 Gr C | Max 38,10      | Max 0,24 | Max 0,40    | Max 0,90    | Max 0,035 | Max 0,040 |
|                 | > 38,10        |          | 0,15 a 0,40 |             |           |           |
| ASTM A 283 Gr D | Max 38,10      | Max 0,27 | Max 0,40    | Max 0,90    | Max 0,035 | Max 0,040 |
|                 | > 38,10        |          | 0,15 a 0,40 |             |           |           |

Fonte: página da Internet: <http://aconosangue.blogspot.com/2013/05/astm-36-e-astm-283-parecidos-mas-nao.html>, acessada em 22/06/2023.

Em termos de materiais, tanto o aço ASTM A 36 quanto o aço ASTM A 283 são aços carbono de qualidade estrutural de aplicabilidade geral. [13]

Em suma, conforme demonstrado anteriormente, apesar de guardarem entre si uma ligeira diferença de composição química, o aço ASTM A 36, especificado para a fabricação da maioria das partes estruturais dos pré-evaporadores de caldo, pode ser substituído pelo ASTM A 283 Gr. C sem maior prejuízo.

#### 4.1.3.2.1.4. Aço ASTM A 106

Devido à quantidade inexpressiva de aço ASTM A 106 no projeto do pré-evaporador, em termos de contato com a solução de ácido fórmico durante a etapa de lavagem ( $<3,6 \times 10^{-4}$  % em relação à área superficial interna em contato com a

solução), que será detalhada no item 4.1.3.3, e à presença dos elementos cromo e níquel, que, de forma já consagrada pela literatura técnica relativa a materiais, conferem resistência à corrosão, esse material não será avaliado de forma mais aprofundada no presente relatório.

Todavia, a tabela 3 apresenta a composição química típica do aço ASTM A 106.

**Tabela 3:** Composição típica do aço ASTM A 106.

| Elementos<br>(em %) | C      | Mn     | P      | S      | Si     | Cr     | Cu     | Mo     | Ni     | V      |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>ASTM A 106</b>   | 0,25   | 0,27 a | 0,035  | 0,035  | 0,10   | 0,40   | 0,40   | 0,15   | 0,40   | 0,08   |
| <b>Gr.A</b>         | (máx.) | 0,93   | (máx.) | (máx.) | (mín.) | (máx.) | (máx.) | (máx.) | (máx.) | (máx.) |
| <b>ASTM A 106</b>   | 0,30   | 0,29 a | 0,035  | 0,035  | 0,10   | 0,40   | 0,40   | 0,15   | 0,40   | 0,08   |
| <b>Gr.B</b>         | (máx.) | 1,06   | (máx.) | (máx.) | (mín.) | (máx.) | (máx.) | (máx.) | (máx.) | (máx.) |
| <b>ASTM A 106</b>   | 0,55   | 0,29 a | 0,035  | 0,035  | 0,10   | 0,40   | 0,40   | 0,15   | 0,40   | 0,08   |
| <b>Gr.C</b>         | (máx.) | 1,06   | (máx.) | (máx.) | (mín.) | (máx.) | (máx.) | (máx.) | (máx.) | (máx.) |

Fonte: página da Internet: <https://www.materiais.gelsonluz.com/2017/10/astm-a106-propriedades-mecanicas-e-composicao-quimica.html>, acessada em 23/06/2023.

#### 4.1.3.3. Limpeza de pré-evaporadores

A limpeza dos pré-evaporadores é fator primordial para a investigação em análise, já que o incidente ocorreu após etapa final de limpeza.

Podendo ser manual ou química, traz desafios para a segurança operacional devido à necessidade de os operadores adentrarem o equipamento, típica atividade em espaço confinado.

O caldo da cana-de-açúcar apresenta em sua composição, além da sacarose e outros açúcares, diversos tipos de sais (não açúcares), coloides, gomas, ceras, graxas, amido, proteínas, corantes e outros.

Além destes compostos, durante o processo de tratamento físico-químico a que o caldo é submetido para produção de açúcar branco, são adicionados elementos químicos como fosfatos, cálcio, magnésio e enxofre. Mas este fator somente deve ser considerado um agravante em plantas industriais que também produzem o açúcar.

A combinação dessas substâncias químicas durante a etapa de evaporação do caldo para produção de açúcar e/ou etanol resulta em incrustações na região interna dos feixes tubulares dos evaporadores.

Um dos fatores que mais impactam na eficiência térmica dos evaporadores é a presença de incrustações formadas pela saturação e deposição de sais nas paredes dos feixes tubulares por onde percorre o caldo. Forma-se uma camada que funciona como isolamento térmico, dificultando a transmissão de calor dos tubos para o caldo.

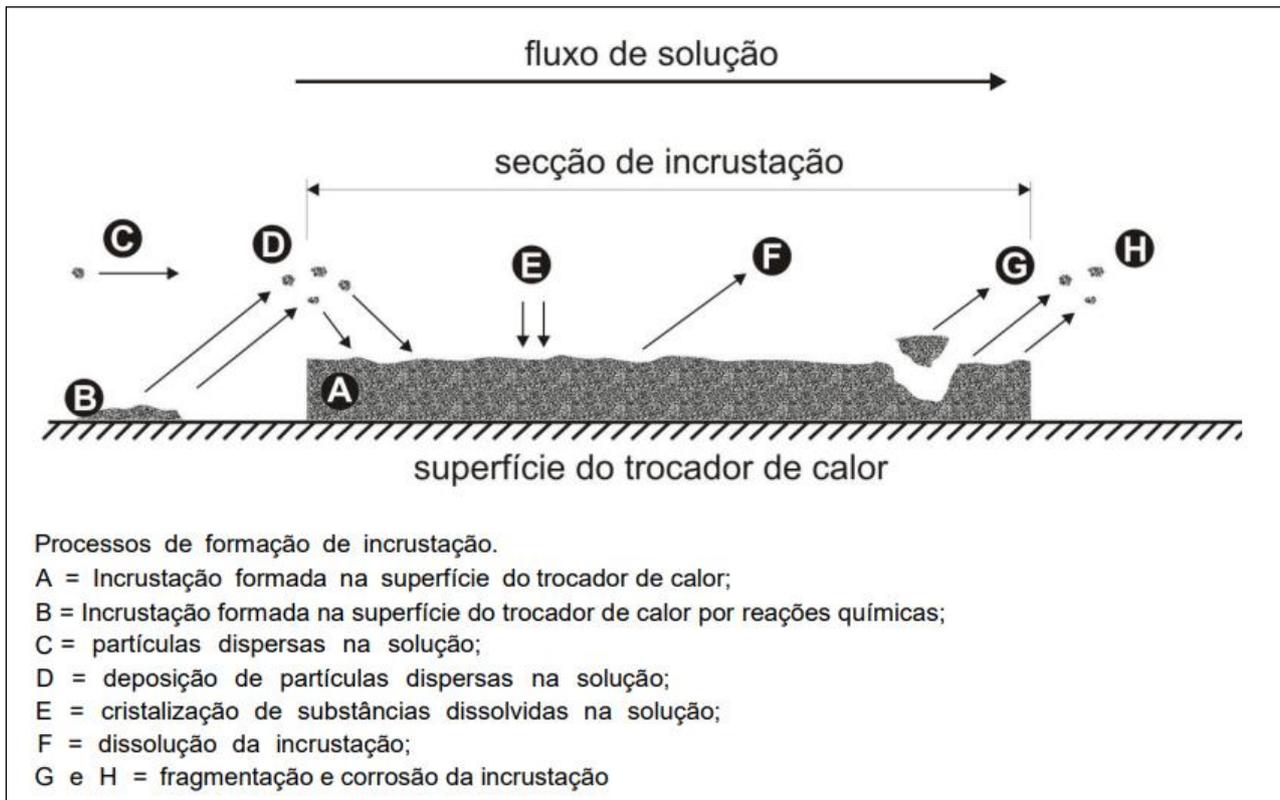
#### TEXTO 4

O problema das incrustações em evaporadores de usinas de açúcar é recorrente e atualmente não existe nenhum procedimento de inibição capaz de conter a formação de incrustações, sendo o padrão operacional, realizar uma interrupção do processo e **efetuar a limpeza física, ou raspagem (i.e. com uso de rosetas) ou jateamento de água a alta pressão**. Para que a produção não seja interrompida elementos de evaporação adicionais em paralelo são instalados.

O processo de limpeza física demanda um elevado número de horas, **com operadores trabalhando em ambiente confinado submetidos a grande risco**. A observância mais rigorosa da legislação trabalhista para o trabalho em ambientes confinados e procedimentos operacionais representados pelas normas NR-33 e NBR 14787 elevou o custo da operação de limpeza dos evaporadores. (grifo nosso) [14]

Os processos de formação de incrustações são mostrados na figura 4 e mostram como se aderem na superfície dos tubos, além do desprendimento de particulados sólidos que são formados e carregados pelo caldo.

**Figura 4:** Processos de formação de incrustações.



Fonte: [14].

#### **4.1.3.3.1. Técnicas de limpeza mecânica**

Dentre as técnicas existentes para remoção das incrustações, constatou-se que a mais aplicada na indústria sucroenergética utiliza raspadores mecânicos (denominados rosetas).

Rosetas são raspadores rotativos metálicos acionados por cabos rotativos ligados em um motor elétrico. Removem a incrustação através da ação mecânica da abrasão das rosetas que são lançadas contra a parede dos tubos devido à ação da força centrífuga. É um dos mais antigos métodos de limpeza de evaporadores no setor.

A técnica de limpeza por roseta tem, por principais desvantagens, a necessidade de realização de trabalho em espaço confinado e excessiva manutenção devido a desgaste dos equipamentos.

A limpeza da superfície interna dos tubos dos pré-evaporadores é realizada por meio de uma mangueira d'água pressurizada, cuja ponta se conecta a um dispositivo de desbaste denominado roseta, exemplificada nas figuras 5 e 6.

**Figura 5:** Máquinas utilizadas para a limpeza em tubos de trocadores de calor.



Fonte: página da Internet <https://www.youtube.com/watch?v=Im6D9yL2afA>, acessada em 09/06/2023.

**Figura 6:** Roseta, em destaque.



Fonte: página da Internet <https://www.youtube.com/watch?v=DR0xLX3ZfAc>, acessada em 09/06/2023, modificada.

Cabe mencionar que a limpeza de tubos de trocadores de calor, categoria de equipamento na qual se enquadra o pré-evaporador do caldo onde ocorreu o incidente, através de água pressurizada combinada com uma roseta produz faíscas quando do desbaste do material metálico do qual são constituídos os tubos, conforme é possível observar na figura 7.

**Figura 7:** Faíscas provenientes do desbaste da parede interna do tubo por meio de roseta.



Fonte: página da Internet <https://www.youtube.com/watch?v=DR0xLX3ZfAc>, acessada em 09/06/2023, modificada.

Dessa forma, por se tratar de situação em que é realizado trabalho a quente dentro de espaço confinado, se faz imprescindível a emissão de Permissão de Entrada e Trabalho – PET, conforme estabelece a norma regulamentadora NR-33, com a avaliação de todos os riscos inerentes à realização do trabalho a quente.

Ainda nesta seara, convém mencionar que os trabalhadores envolvidos devem utilizar Equipamentos de Proteção Individual - EPIs adequados.

A partir das pesquisas realizadas pela comissão de investigação da ANP, foi possível perceber que já há outros métodos mecânicos mais modernos, mais rápidos e que não produzem faíscas para a limpeza de trocadores de calor,

notadamente evaporadores, como por exemplo o hidrojateamento com água pressurizada, mostrado na figura 8.

Mais recentemente, tem-se utilizado o sistema de hidrojateamento com alta pressão (até 1.200 bar), que promove uma remoção mecânica mediante a ação da água sob alta pressão, na forma de jatos finos, frontais e laterais. [15]

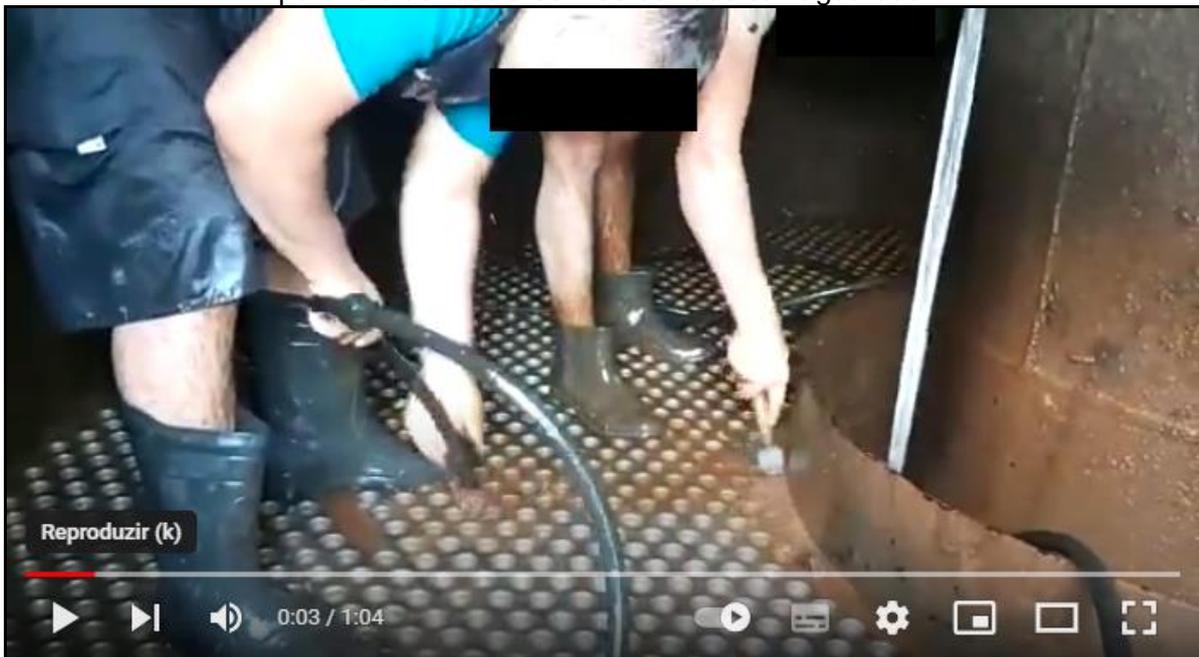
**Figura 8:** Equipamento para limpeza de tubos de evaporadores por meio de jato d'água pressurizada.



Fonte: : página da Internet <https://www.youtube.com/watch?v=bbV3CQfyMJk>, acessada em 14/06/2023.

Ao passo que, durante a pesquisa, foram encontradas boas referências de novas técnicas utilizadas para a limpeza de evaporadores na indústria sucroalcooleira, também foram encontradas evidências de que a técnica de limpeza mecânica com o uso de roseta, quando executada sem as devidas salvaguardas, é um ato inseguro que pode se tornar causa contribuinte para a ocorrência de acidentes como aquele ora tratado. A inobservância às salvaguardas necessárias à essa operação continua sendo comum no referido setor regulado, como pode ser evidenciado na figura 9.

**Figura 9:** Operação de limpeza de tubos de evaporadores por meio de roseta sem as devidas salvaguardas.



Fonte: : página da Internet <https://www.youtube.com/watch?v=24KWax2HFjg>, acessada em 16/06/2023.

No cenário apresentado na figura 9 ainda é possível perceber que os trabalhadores o executam o serviço sem fazerem uso de qualquer EPI, expondo-os de forma grave e iminente a diversos perigos, tais como inalação de gases tóxicos e particulados, cortes, causados quer seja pela roseta, quer seja por outros objetos perfurocortantes, agentes microbiológicos que podem estar presentes na água utilizada para a pressurização do equipamento e/ou no interior do equipamento em manutenção, ruído em excesso e desconforto térmico.

Ademais, ficou evidente que a utilização das técnicas mais modernas para a realização da limpeza de tubos de trocadores de calor vem acompanhada de uma maior preocupação com a segurança e o conforto dos funcionários por meio do uso de EPIs corretos para a execução dos serviços, como é possível verificar na figura 10.

**Figura 10:** EPIs corretos para a execução de hidrojateamento de tubos do pré-evaporador de caldo.



Fonte: página da Internet <https://www.youtube.com/watch?v=0tqh3rXY4n8>, acessada em 16/06/2023.

Quanto à limpeza usando hidrojateamento, é importante ressaltar que também apresenta a desvantagem da necessidade de adentrar no equipamento (espaço confinado) para a execução dos serviços, fato que torna evidente a observância quanto ao atendimento da legislação aplicável em termos de segurança operacional, em especial da norma regulamentadora NR-33.

#### TEXTO 5

Na grande maioria das indústrias sucroalcooleiras, esta limpeza é feita mecanicamente pela utilização de hidrojetos ou rosetas. **Com relação ao hidrojateamento, cerca de três trabalhadores dão início à operação de limpeza em espaço confinado**, que através da força proveniente da água em alta pressão remove as incrustações. (CASSOL, 2012).

Por se tratar de atividade em espaço confinado, **é necessário seguir a norma regulamentadora NR 33** da portaria 32-14 de 8 de junho de 1978, SEGURANÇA E SAÚDE NOS TRABALHOS EM ESPAÇOS

CONFINADOS, que estabelece os requisitos mínimos para identificação de espaços confinados, bem como reconhecimento, avaliação, monitoramento e controle dos riscos existentes, visando garantir permanentemente a segurança e saúde dos trabalhadores que interagem direta ou indiretamente nestes espaços. (grifo nosso) [16]

#### 4.1.3.3.2. Técnica de limpeza química

Conforme foi apresentado, a limpeza interna dos feixes tubulares dos pré- evaporadores é um procedimento fundamental para manter a eficiência das trocas térmicas, mas demanda tempo, estudo quanto ao alto consumo de água de boa qualidade e traz riscos ao processo produtivo, que devem ser tratados com análise aprofundada, quando se trata de limpeza mecânica.

Em decorrência dos apontamentos apresentados, principalmente da realização dos serviços em espaço confinado, as usinas vêm buscando alternativas para redução de riscos e aumento da produtividade.

Existe, além da limpeza mecânica, a possibilidade de utilização de agentes químicos para a remoção das incrustações.

A limpeza química é utilizada na limpeza de trocadores de calor e outros equipamentos industriais, circulando-se em circuito fechado soluções alcalinas nos feixes tubulares do pré- evaporador, podendo ser associado ao uso de compostos ácidos, visando a remoção de incrustações.

A forma de recirculação pode ser feita por bombeamento direto ou através de bicos *spray ball* ou rotativos para melhor eficiência do ataque químico das impurezas.

Em geral, a soda cáustica é a substância química mais utilizada no processo de remoção de incrustações. Possui boa efetividade na remoção de sílica, silicatos, proteínas, polissacarídeos e produtos orgânicos, mas é ineficiente quando a incrustação é composta principalmente de sais inorgânicos de cálcio.

Como principal vantagem, não há necessidade de abertura do equipamento, sendo a operação do sistema realizada em circuito fechado e com obtenção de bons resultados nas limpezas.

São desvantagens da limpeza química, a eficiência da limpeza depender dos produtos químicos que são utilizados, o alto custo de instalação e, em termos de segurança operacional, o risco de formação de gases explosivos em limpeza ácida.

#### **4.1.3.3.3. Técnica de limpeza utilizada na Denusa**

O incidente em análise ocorreu após a finalização de processo de limpeza química, técnica utilizada pela Denusa na limpeza dos feixes tubulares dos pré-evaporadores. Conforme já foi citado, a detentora da tecnologia de limpeza química é a empresa *Nalco Water – An Ecolab Company*.

A Denusa utiliza a seguinte sequência no processo de limpeza: (i) tratamento básico (com uso de mistura de hidróxido de sódio e EDTA tetrasódico), (ii) enxágue com água, (iii) tratamento ácido (ácido fórmico) e (iv) realização de novo enxágue com água para retirada final das soluções que foram utilizadas no processo. Tal sequência pode ser comprovada no quadro 2, no qual é apresentado a ordem cronológica das ações que foram realizadas antes da ocorrência do incidente.

É importante ressaltar que, apesar de indicações na literatura e catálogos técnicos de que a limpeza química tem a vantagem de eliminar a necessidade de abertura do equipamento, a Denusa praticava a operação de inspeção de eficiência do novo sistema de limpeza com abertura do equipamento e entrada de funcionários para avaliação dos feixes tubulares.

Sobre esse aspecto, a comissão de investigação da ANP avalia, e traz para reflexão das equipes voltadas para a gestão de segurança das empresas, que a mudança na técnica de limpeza não eliminou o acesso de pessoal ao equipamento, o que não era esperado já que a limpeza química tem por vantagem eliminar tal prática, em decorrência do alto risco associado à entrada em espaços confinados.

Conforme mencionado anteriormente, no documento “Análise de acidente do trabalho do SESMT” está descrito que a limpeza dos tubos dos pré-evaporadores era realizada através de uma mangueira sob pressão com água acompanhado de uma roseta. Ou seja, a Denusa praticava a limpeza mecânica.

O documento ainda informa que a limpeza dos pré-evaporadores passou a contar com a limpeza química a partir da segunda quinzena do mês de maio de 2018.

No RDI enviado pela Denusa reforça-se o entendimento descrito no parágrafo anterior, de que a implementação do novo processo era recente relativamente à data de ocorrência do incidente, ao descrever que a operação utilizando o novo sistema de limpeza interna dos pré-evaporadores estava sendo realizada pela décima terceira vez.

#### 4.2. Análise do incidente – Cenário industrial

Diante da ciência do tipo de limpeza, resta esclarecer teoricamente a presença de gás explosivo que culminou no incidente em estudo.

A comissão de investigação da ANP analisou as informações descritas no Laudo de exame de perícia criminal emitido pela Polícia Técnico-Científica de Aparecida de Goiânia/GO, encaminhado pela Denusa na documentação pertinente ao RDI, visando obter subsídios para o entendimento dos fatores que culminaram no incidente.

Importantes apontamentos descritos no referido Laudo foram considerados para que fosse possível elaborar algumas constatações, destacadas no quadro 6.

**Quadro 6:** Apontamentos utilizados pela comissão de investigação da ANP no entendimento técnico do incidente.

| Apontamento | Descrição   |
|-------------|---|
| 1           | <ul style="list-style-type: none"><li>O local<sup>12</sup> apresentava placas de identificação e informação a respeito de ambiente confinado em seus ambientes inferiores.</li></ul>  |
| 2           | <ul style="list-style-type: none"><li>Em prosseguimento, as placas (área confinada) que deveriam estar presentes nos compartimentos<sup>13</sup> dos pré-evaporadores 1, 2 e 3 em região superior foi localizada apenas no pré-evaporador 1, estando ausentes nos outros dois pré-evaporadores.</li></ul> |

<sup>12</sup> Pelas imagens apresentadas no Laudo, o “local” refere-se ao costado dos pré-evaporadores.

<sup>13</sup> Compartimentos, neste caso, são as escotilhas (bocas de visita) instaladas na parte superior do costado dos pré-evaporadores.

|   |   |
|---|---|
|   |   |
| 3 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Presença de danos de grande monta no pré-evaporador 2 e deslocamento de placa térmica, amassamento e entortamento de tubulação de pequeno e grande calibre;</li> </ul>   |
| 4 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Já no interior do pré-evaporador 3, em seu compartimento superior, foi encontrado os seguintes objetos: <ul style="list-style-type: none"> <li>a) 01 (uma) lanterna nas cores azul e branca com a inscrição DD.Led Light DP 1962, ainda ligada no momento da realização da perícia;</li> <li>b) (...);</li> <li>c) (...).</li> </ul> </li> </ul> |
| 5 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A queima realizada pela explosão foi do tipo limpa, não sendo encontrada fuligem no interior da evaporadora, paredes da comporta<sup>14</sup> por onde houve o deslocamento de ar ou na área externa.</li> </ul>   |

Fonte: elaboração própria, a partir do Laudo de exame de perícia criminal emitido pela Polícia Técnico-Científica.

A percepção do estrondo, bem como as lesões sofridas pelos funcionários e os danos observados no pré-evaporador 2 em decorrência do deslocamento de ar, são provas da ocorrência de explosão em consequência da combustão de substância química presente no interior do pré-evaporador 3.

<sup>14</sup> Comporta, neste caso, são as escotilhas (bocas de visita) instaladas na parte superior do costado dos pré-evaporadores.

## TEXTO 6

Segundo definição da Norma ISO 8424-1 (ISO, 1987):

- Incêndio é fogo que evolui sem controle no tempo e no espaço.
- **Explosão é uma reação brusca de oxidação ou de decomposição que acarreta uma elevação de temperatura, de pressão ou das duas ao mesmo tempo.**

Considerando-se o combustível dentro do vaso e o oxigênio presente na atmosfera, a combustão pode ser iniciada pela mistura desses compostos e a presença de uma fonte de ignição. (grifo nosso) [17]

Em complementação à caracterização descrita no texto 6, e considerando o cenário do incidente, devido a região confinada do equipamento, houve a ocorrência de uma reação química (reação de combustão), dada a presença concomitante de oxigênio (ar), substância inflamável e uma fonte de ignição, com consequente aumento da temperatura e pressão.

Com a ocorrência em região praticamente confinada, o calor gerado não tinha como dissipar-se rápido o suficiente, acarretando na expansão abrupta dos gases gerados e uma liberação de uma grande energia de calor, acompanhada por uma onda de pressão (explosão).

Para a ocorrência da combustão, é princípio basilar que deve existir uma fonte de ignição, desconsiderando a hipótese de ocorrência de auto-ignição. Para tal o apontamento 4, descrito no quadro 6, do Laudo de exame de perícia criminal emitido pela Polícia Técnico-Científica, é possível constatar a lanterna como possível fonte de ignição, não descartando outras hipóteses, como o uso de telefones celulares, e presença de eletricidade estática.

A presença de ar atmosférico, fonte do comburente (oxigênio) para a ocorrência da combustão, é evidenciada pela abertura de uma das escotilhas do pré-evaporador.

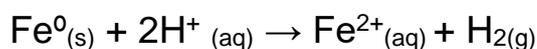
Um dos desafios na análise da comissão de investigação da ANP foi a confirmação da presença da substância química inflamável no interior do pré-evaporador e, além disso, a caracterização da provável substância química. Em outras palavras, reside em caracterizar a provável substância química inflamável que estava presente no interior do pré-evaporador. Desse modo, as linhas a seguir encaminham o raciocínio no sentido de tentar elucidar sobre a substância a ser buscada.

Estudos diversos relacionados aos fenômenos físico-químicos das reações químicas entre ácidos (usada na técnica de limpeza química) e metais (ligas metálicas utilizadas na composição da superfície interna das partes do pré-evaporador – item 4.1.3.2.1 deste relatório), levam a constatação imediata da formação de gás hidrogênio – H<sub>2</sub>.

Os textos apresentados a seguir reforçam o entendimento teórico relacionado à formação do gás hidrogênio.

## TEXTO 7

Os metais ferrosos mais comuns são o aço e o ferro fundido. Esses metais são ligas de ferro e carbono, que podem ainda apresentar na sua composição elementos como fósforo, manganês, silício, cobre, enxofre, entre outros (Jin, et al., 2022). **Tais metais estão sujeitos a todo o momento à corrosão**, que é a deterioração de um material por ação química ou eletroquímica do meio ambiente associada ou não a esforços mecânicos (Xu, et al., 2020). Quando o metal é colocado no meio ácido, acontece sobre o metal uma distribuição de áreas anódicas e catódicas, ocorrendo a corrosão deste. **Nas áreas anódicas o metal se oxida e nas catódicas o íon hidrogênio, se reduz ocorrendo o desprendimento de gás hidrogênio.** Esse processo pode ser exemplificado pela reação de oxirredução do ferro, quando submetido em um meio ácido, representado pela Equação 1 (Kumar & Himabindu, 2019; Gentil, 2012):

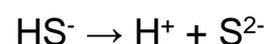
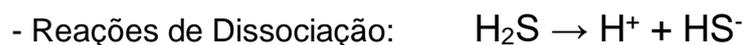


Essa reação representa o ataque de ferro metálico por ácidos não oxidantes, isto é, que não têm caráter oxidante na sua parte aniônica. Os metais tendem a ter baixa energia de ionização, o que resulta numa fácil formação catiônica, o que explica a sua rápida oxidação. A própria corrosão pode ser definida como o processo de deterioração do material, mais frequentemente associado a metais e processos químicos/eletroquímicos podem ocorrer em conjunto com efeitos mecânicos (Gentil, 2012; Fernandes, et al., 2019). (grifo nosso) [18]

## TEXTO 8

Quando um aço está em contato com o H<sub>2</sub>S em meio aquoso pode ser formada na superfície uma camada de um filme de sulfeto de ferro (FeS). No entanto, esse filme raramente é uniforme e aderente. Com isso, este sulfeto pode ser facilmente arrancado da superfície do metal, podendo deixar uma pequena região exposta ao ambiente corrosivo.

As reações de corrosão do aço exposto ao H<sub>2</sub>S, em presença de umidade, que geram as espécies nocivas, são:



- **Reação de formação de**



Os íons H<sup>+</sup> presentes na solução sofrem reações de redução, combinando-se com os elétrons liberados pelo metal, formando hidrogênio atômico na superfície. Na ausência de H<sub>2</sub>S, 98% dos átomos de hidrogênio, **formados pela corrosão do aço em meios ácidos, combinam-se formando gás hidrogênio na superfície do metal**, o restante difunde para o interior do aço. Mas, na presença de H<sub>2</sub>S, este retarda a cinética da reação de formação de hidrogênio

molecular, fazendo com que o teor de hidrogênio que difunde para o interior do material aumente em até 10 vezes, esse fenômeno é conhecido como “veneno anódico”. (grifo nosso) [19]

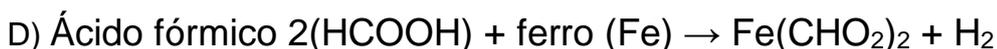
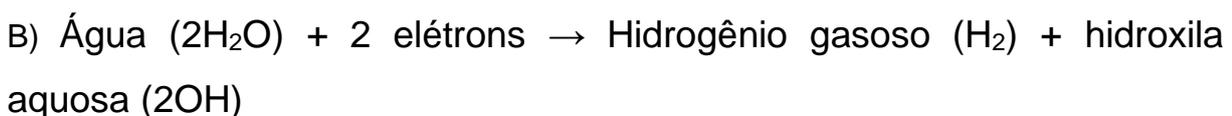
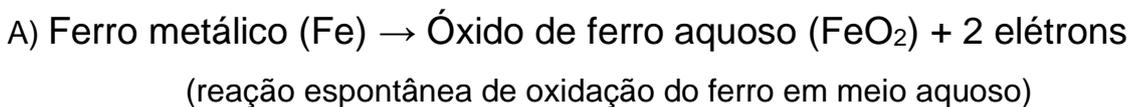
No RDI apresentado pela Denusa, também foi apontado o gás hidrogênio como combustível precursor da combustão. Ressalta-se que na limpeza química, a Denusa utiliza a soda cáustica e, para a limpeza em meio ácido, o ácido fórmico.

O RDI descreve as seguintes reações na formação do gás hidrogênio, transcrito na íntegra:

*1 - Da formação do hidrogênio gasoso no processo de lavagem química*

*As reações químicas envolvidas no evento de deflagração ocorrido no pré-evaporador, dizem respeito a reações de oxirredução, ou reações de deslocamentos por troca de elétrons.*

*Essas reações ocorrem em meio aquoso e se alimentam mutuamente, como exemplificado a seguir.*



*Estas reações se passam em ampla faixa de pH (1 a 11) e requerem baixa energia para ocorrer.*

*O longo tempo em que durou o processo de lavagem e enxágue, diferente de outras lavagens, propiciou formação de volume de hidrogênio suficiente para formar uma “bolha” confinada, que foi deflagrada nas condições ideais. Em adição, a falta de circulação de ar atmosférico durante longo período de tempo, contribui para a não dissipação do hidrogênio gasoso formado no espaço confinado.*

A comissão de investigação da ANP, após análise da literatura acadêmica e registros técnicos, aponta o gás hidrogênio, formado pela corrosão eletroquímica, como substância inflamável participante da combustão que culminou no incidente em estudo.

Convém mencionar que, nos estudos detalhados que foram realizados, foi possível identificar que o ácido fórmico também é capaz de gerar substâncias inflamáveis. Após aquecimento, o mesmo pode gerar vapores inflamáveis, conforme registrado em FISPQs divulgadas por fabricantes. Evidências são apresentadas nas figuras 11 e 12 de modelos de FISPQs.

Contudo, a despeito da hipótese levantada de formação de vapores inflamáveis oriundos do aquecimento do ácido fórmico, a comissão de investigação da ANP aponta como hipótese principal o gás hidrogênio como substância inflamável. Para justificar este posicionamento, o apontamento 5 localizado no quadro 6, descreve que a queima realizada pela explosão foi do tipo limpa, não sendo encontrada fuligem.

A ausência de fuligem – que é o resultado de combustão incompleta (a qual até poderia ocorrer, levando em conta que o espaço confinado é, neste caso, deficiente em oxigênio) – faz depreender que a substância química inflamável não possui átomos de carbono em sua estrutura molecular, o que descarta a hipótese de combustão devido ao ácido fórmico, cuja estrutura molecular é representada por  $\text{CH}_2\text{O}_2$ . Em uma frase: a equação D foi a provável reação para a combustão.

Figura 17: Propriedades inflamáveis do ácido fórmico.

|   |   |                    |
|---|---|--------------------|
|    | <b>FICHA DE SEGURANÇA</b><br>De acordo com a norma NBR 14725-4:2014 | FISPQ No. 2076     |
|   |   | Página 1 de 5      |
| Data da emissão: 03/07/2012   |   | No. da revisão: 05 |
| <b>1. Identificação do produto e da empresa</b>   |   |                    |
| <i>Identificação da substância/preparação</i><br>Referência do produto:<br>Nome do produto: ÁCIDO FÓRMICO 85% PA  |   |                    |
| <i>Identificação da sociedade/empresa</i><br>Empresa: <b>CONTROL LAB COM. DE PROD. P/LAB. LTDA</b><br>Rua Niterói, 81, CEP 83010-600 – São Jose dos Pinhais - Paraná - Brasil<br>Tel (0xx41) 32821090 - Fax (0xx41) 32821090 e-Mail: <a href="mailto:contato@ctrl-lab.com.br">contato@ctrl-lab.com.br</a> |   |                    |
| <b>2. Identificação de perigos</b>  |   |                    |
| CLASSIFICAÇÃO DE PERIGO DO PRODUTO (ABNT NBR 14725-2)   |   |                    |
| Líquidos inflamáveis (Categoria 3) ←  |   |                    |
| Toxicidade aguda, Oral (Categoria 4)  |   |                    |
| Toxicidade aguda, Inalação (Categoria 3)  |   |                    |
| Corrosão cutânea (Categoria 1A)   |   |                    |
| Lesões oculares graves (Categoria 1)  |   |                    |
| Toxicidade aguda para o ambiente aquático (Categoria 3)   |   |                    |

**Pictogramas:**



**Palavra de Advertência:** Perigo

**Frases de Perigo:**

**H226** Líquido e vapor inflamáveis.

**H302** Nocivo por ingestão.

**H314** Provoca queimaduras na pele e lesões oculares graves.

**H331** Tóxico por inalação.

**H402** Perigoso para os organismos aquáticos.

**Frases de Precaução:**

**P210** Manter afastado do calor/fáscia/chama aberta/superfícies quentes. - Não fumar.

**P233** Manter o recipiente bem fechado.

**P240** Ligação à terra/equipotencial do recipiente e do equipamento receptor.

**P241** Utilizar equipamento eléctrico/ de ventilação/ de iluminação/ à prova de explosão.

**P242** Utilizar apenas ferramentas antichispa.

**P243** Evitar acumulação de cargas eletrostáticas.

**P261** Evitar respirar as poeiras/ fumos/ gases/ névoas/ vapores/ aerossóis.

**P264** Lavar a pele cuidadosamente após manuseamento.

**P270** Não comer, beber ou fumar durante a utilização deste produto.

**5. Medidas de combate a incêndio**

**Meios adequados de extinção:** Água, dióxido de carbono, pó químico seco e espuma.

**Riscos especiais:** Combustível. Vapores mais pesados do que o ar. Em caso de aquecimento, podem formar-se misturas explosivas com o ar. Em caso de incêndio, formam-se gases inflamáveis e vapores perigosos.

**Equipamento especial de proteção para o combate ao incêndio:** Equipamento de proteção: Utilizar aparelho de respiração autónomo apropriado para a respiração independente do ambiente e vestimenta de proteção para impedir o contato com a pele e com os olhos.

**Outras informações:** Evitar a infiltração da água de extinção nas águas superficiais e subterrâneas.

**10. Estabilidade e reatividade**

**Condições a serem evitadas:** Forte Aquecimento.

**Substâncias a serem evitadas:** Riscos de inflamação ou formação de gases ou vapores inflamáveis com: alumínio. Perigo de explosão em presença de: nitro compostos orgânicos, hipoclorito de sódio, peróxido de hidrogênio. Reação exotérmica com: Desenvolvimento de gases e vapores perigosos com: soluções de hidróxidos alcalinos, oxidantes fortes, ácido sulfúrico, óxidos não metálicos, catalisadores metálicos, óxidos de fósforo, ácido nítrico. Em concentrações elevadas: hidróxidos de metais alcalino-terrosos, hidróxidos alcalinos.

**Produtos de decomposição perigosa:** Não existem indicações

**Outras informações:** Fotossensível. Sensível ao calor (decomposição). Proteger da luz solar. Susceptível de formar misturas explosivas com o ar em caso de aquecimento no estado de vapor/gás.

Fonte: [https://controllabpr.com.br/files/fispq/15095637074FISPQ\\_ACIDO\\_FORMICO.pdf](https://controllabpr.com.br/files/fispq/15095637074FISPQ_ACIDO_FORMICO.pdf).

Consulta realizada em 01/07/2023.

Figura 18: Propriedades inflamáveis do ácido fórmico.

|                 |   | <a href="http://www.sigmaaldrich.com">www.sigmaaldrich.com</a>  |
|--|---|---|
| <b>FICHA DE INFORMAÇÃO DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO</b>                                       |   | Versão 8.4<br>Data da revisão 22.11.2022<br>Data de impressão 12.12.2022                              |
| <b>1. IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO E DA EMPRESA</b>  |   |   |
| <b>1.1 Identificadores do produto</b>  |   |   |
| Nome do produto  | : | Ácido fórmico 89-91% para análise EMSURE® ACS   |
| Referência do Produto  | : | 1.00253   |
| No. de catálogo  | : | 100253  |
| Marca  | : | Millipore   |
| Número REACH   | : | Este produto é uma mistura. Número de inscrição REACH ver o capítulo 3.                               |
| <b>1.2 Usos identificados da substância ou mistura e usos não recomendados</b>                   |   |   |
| Usos identificados   | : | Reagente para análise, Produção química   |
| <b>1.3 Detalhes do fornecedor da Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico - FISPQ</b> |   |   |
| Empresa  | : | Merck S/A<br>Rua Torre Eiffel, 100<br>PARQUE RINCÃO - GLEBA A COTIA, SÃO PAULO<br>06705-481<br>BRAZIL |
| Telefone   | : | 0800 727-7292   |
| Número de Fax  | : | 0800 727-7292   |
| <b>1.4 Número do telefone de emergência</b>  |   |   |
| Número de Telefone de Emergência   | : | Chemtrec: +(55)-2139581449 *<br>Suatrans: 0800 707 7022 / 0800 17 2020                                |
| <b>2. IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS</b>   |   |   |
| <b>2.1 Classificação da substância ou mistura</b>  |   |   |
| Líquidos inflamáveis (Categoria 4), H227   |   |   |
| Toxicidade aguda, Oral (Categoria 4), H302   |   |   |
| Toxicidade aguda, Inalação (Categoria 3), H331   |   |   |

## 2.2 Elementos do rótulo

Pictograma



Palavra de advertência

Perigo

Declaração de perigo

H227

H302

H314

H331

Líquido combustível.

Nocivo se ingerido.

Provoca queimadura severa à pele e dano aos olhos.

Tóxico se inalado.

declaração de precaução

Prevenção

P210

P261

P264

P280

Mantenha afastado do calor/ faísca/ chama aberta/ superfícies quentes. Não fume.

Evite inalar as névoas ou vapores.

Lave a pele cuidadosamente após o manuseio.

Use luvas de proteção/ roupa de proteção/ proteção ocular/ proteção facial.

## 5. MEDIDAS DE COMBATE A INCÊNDIO

### 5.1 Meios de extinção

#### Meios adequados de extinção

Água Espuma Dióxido de carbono (CO2) Pó seco

#### Agentes de extinção inadequados

Para esta substância/mistura, não há limitações dos agentes de extinção.

### 5.2 Riscos especiais resultantes da substância ou da mistura

Óxidos de carbono

Combustível

Os vapores são mais pesados que o ar e podem espalhar-se junto ao solo.

Em caso de forte aquecimento podem formar-se misturas explosivas com o ar.

Em caso de incêndio formam-se gases inflamáveis e vapores perigosos.

### 5.3 Precauções para bombeiros

Não ficar na zona de perigo sem aparelhos respiratórios autónomos apropriados para respiração independente do ambiente. De forma a evitar o contacto com a pele, mantenha uma distância de segurança e utilize vestuário protetor adequado.

Fonte: Link abaixo<sup>15</sup>. Consulta realizada em 01/07/2023.

<sup>15</sup> [https://www.merckmillipore.com/Web-CH-Site/de\\_DE/-/CHF/ShowDocument-File?ProductSKU=MDA\\_CHEM-](https://www.merckmillipore.com/Web-CH-Site/de_DE/-/CHF/ShowDocument-File?ProductSKU=MDA_CHEM-100253&DocumentType=MSD&DocumentId=100253_SDS_BR_Z9.PDF&DocumentUID=287395&Language=Z9&Country=BR&Origin=PDP)

[100253&DocumentType=MSD&DocumentId=100253\\_SDS\\_BR\\_Z9.PDF&DocumentUID=287395&Language=Z9&Country=BR&Origin=PDP](https://www.merckmillipore.com/Web-CH-Site/de_DE/-/CHF/ShowDocument-File?ProductSKU=MDA_CHEM-100253&DocumentType=MSD&DocumentId=100253_SDS_BR_Z9.PDF&DocumentUID=287395&Language=Z9&Country=BR&Origin=PDP)

### 4.3. Gás hidrogênio

De fórmula molecular  $H_2$ , é um gás incolor, inodoro, altamente inflamável, comprimido a altas pressões. Vazamentos de alta pressão frequentemente inflamam espontaneamente, produzindo uma chama incolor.

O gás hidrogênio tem um peso molecular muito baixo, por isso tende a subir e se acumular em áreas superiores quando confinado, devendo ser manuseado sempre em locais que possuem boa ventilação.

#### TEXTO 9

O hidrogênio é o elemento mais leve, sendo o núcleo do seu isótopo mais abundante constituído unicamente por um próton. O hidrogênio molecular ( $H_2$ ) existe como dois átomos ligados que partilham entre si os seus dois únicos elétrons através de uma ligação covalente.

A temperatura e pressão normais - 0 °C e 1 atm - **o hidrogênio apresenta-se como um gás extremamente inflamável, inodoro, insípido, incolor, insolúvel em água e muito mais leve que o ar.**

Para se apresentar no estado líquido, tem que estar armazenado numa temperatura de - 253 °C, em sistemas de armazenamento conhecidos como sistemas criogênicos. Acima desta temperatura, o hidrogênio pode ser armazenado em forma de gás comprimido em cilindros de alta pressão.

A quantidade de energia por unidade de massa que possui, é superior a qualquer outro combustível conhecido 120,7 kJ/g assim como a maior quantidade de energia por unidade de peso 141,9 mJ/kg - 1 Kg de H representa a mesma quantidade de energia que 2,8 Kg de gasolina.

**A chama do hidrogênio não é visível à luz do dia porque a sua emissividade é muito baixa** - 17 a 25 % - emitindo uma luz pouco radiante na faixa do espectro visível, menor do que nos outros combustíveis fósseis, como por exemplo o butano, o propano ou até mesmo a gasolina - 34 a 43%. Esta característica torna o hidrogênio menos perigoso em caso de acidente porque a radiação transmitida

é menor, no entanto pode não ser possível perceber a sua existência facilmente.

A chama do hidrogênio é muito quente, sendo a sua densidade energética de 38 KWh/kg contra a densidade da gasolina que é de apenas 14 KWh/Kg. **A energia necessária para a ignição de uma mistura hidrogênio – ar é de apenas 0,04 mJ, contra os 0,25 mJ dos hidrocarbonetos.** (grifo nosso) [20]

O texto 9 apresenta 3 características importantes que ajudam a explicar os aspectos teóricos do comportamento físico evidenciado no incidente em estudo:

1. A propriedade do gás hidrogênio de ser um gás extremamente inflamável;
2. A chama do hidrogênio não é visível à luz do dia. Na ação de fiscalização realizada por técnicos da ANP, houve relatos de funcionários que estavam intrigados pela percepção visual de aparente ausência de chamas, entretanto, contrastava com a clara evidência de queimaduras nos funcionários que foram atingidos no incidente; e
3. A energia necessária para a ignição de uma mistura com hidrogênio ser muito baixa, o que dificulta a identificação precisa da fonte de ignição, então apontada pela possível energia liberada no acendimento da lanterna que se encontrava no interior do equipamento. Há também registro<sup>16</sup> na mídia da possibilidade de uso de telefone celular.

#### **4.3.1. Uso industrial**

Utiliza-se o gás hidrogênio (H<sub>2</sub>) em variados processos na indústria química para a produção de diferentes substâncias, como a amônia, ácido clorídrico, álcoois, fertilizantes, além de uma infinidade de compostos orgânicos. Além destas aplicações, também é utilizado na metalurgia e na obtenção de energia, visto que

---

<sup>16</sup> Fonte de pesquisa: <https://g1.globo.com/go/goias/noticia/2018/08/29/feridos-em-explosao-de-destilaria-de-alcool-de-jandaia-estao-em-estado-grave-diz-hospital.ghtml>. Pesquisa realizada em 07/08/2023.

seu potencial energético o torna um excelente combustível. Ademais, é uma fonte renovável e limpa, já que sua combustão tem apenas água como produto. [21]

Como parte do processo de fabricação dos combustíveis tradicionais, o gás hidrogênio ajuda a torná-los mais limpos, diminuindo a emissão de dióxido de enxofre (SO<sub>x</sub>). Como fonte de energia, o hidrogênio abastece as células de combustível utilizadas para alimentar carros, ônibus, caminhões, trens, navios, aviões e é usado como energia de reserva em aplicações estacionárias. O hidrogênio serve também para armazenar energia, um fator muito importante em função da condição variável da geração por usinas eólicas e solares. O excesso de energia dessas fontes pode ser utilizado para produzir hidrogênio que, por sua vez, pode ser estocado em grandes quantidades para aplicação posterior ou transportado por vários canais para outros locais. Com isso, ele se torna uma das soluções para a descarbonização, desde a redução das emissões de combustíveis para o transporte até a redução da pegada de carbono das indústrias tradicionalmente intensivas no lançamento de gases de efeito estufa (GEE). [22]

A classificação atual do hidrogênio envolve diversas cores, de acordo com intensidade de suas emissões líquidas de dióxido de carbono, método de produção e teor de matéria-prima. Confira as principais: [22]

- Hidrogênio verde: para ser verde, a energia utilizada para obter o hidrogênio tem que vir de fontes renováveis como turbinas eólicas, painéis solares ou hidroelétricas, sempre em combinação com a eletrólise, reação química que separa as moléculas da água produzindo hidrogênio e oxigênio. Desta forma, o processo não emite CO<sub>2</sub>. Outro fator positivo é que a água para a eletrólise deve ser desmineralizada, e pode ser obtida de várias formas a partir de água salgada, doce, de poços artesianos e de reuso.
- Hidrogênio cinza: feito a partir do gás natural ou do petróleo sem que as emissões de dióxido de carbono sejam capturadas. A maior parte da produção atual de hidrogênio no mundo utiliza o gás natural como matéria-prima, resultando também na emissão de CO<sub>2</sub>.

- Hidrogênio azul: produzido a partir da reforma de uma mistura de hidrocarbonetos de origem fóssil, é de baixo carbono porque todo o dióxido de carbono resultante do processo é capturado e armazenado.

O gás hidrogênio é considerado um combustível limpo que, quando consumido em uma célula a combustível, produz apenas água. Conforme já foi explicado, o hidrogênio pode ser produzido a partir de uma variedade de recursos, como gás natural, energia nuclear, biomassa e energia renovável como solar e eólica. Essas qualidades o tornam uma opção de combustível atraente para aplicações de transporte e geração de eletricidade. Ele pode ser usado em carros, em casas, para energia portátil e em muitas outras aplicações. O quadro 7 descreve, resumidamente, os principais usos industriais do gás hidrogênio.

**Quadro 7:** Aplicações industriais para o gás hidrogênio.

| Aplicação   | Resumo  | Fonte de pesquisa  |
|-------------|---|--|
| Combustível | <p>✓ As células a combustível de hidrogênio geram eletricidade a partir de oxigênio e hidrogênio. As células de combustível são usadas em automóveis, naves espaciais, estações meteorológicas remotas e submarinos.</p>  | <p><a href="https://www.wika.com.br/industries_hydrogen_pt_br.WIKA">https://www.wika.com.br/industries_hydrogen_pt_br.WIKA</a></p> |
| Industrial  | <p>✓ Indústria de refino do petróleo: O hidrogênio é usado em refinarias para remover o enxofre dos produtos petrolíferos (processo chamado de hidrodessulfurização), reduzindo assim as emissões de dióxido de enxofre durante a combustão do combustível e evitando a chuva ácida.</p> <p>✓ Indústria Metalúrgica: É usado em misturas com outros gases, como nitrogênio, para tratamento térmico de metais e como gás protetor para processos de média e alta temperatura.</p> | <p><a href="https://www.messer-br.com/produtos/hidrogenio/">https://www.messer-br.com/produtos/hidrogenio/</a></p>                 |

|                                      |  |  |
|--------------------------------------|--|--|
| <p>Indústria química e alimentos</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ No processo de produção de amônia (NH<sub>3</sub>), importante insumo da indústria: <math>N_2(g) + 3 H_2(g) \rightarrow 2 NH_3(g)</math>.</li> <li>✓ Na produção de metanol (CH<sub>3</sub>OH) via hidrogenação do dióxido de carbono – gás de síntese.</li> <li>✓ Usado no processamento de óleos para obtenção de gorduras vegetais hidrogenadas.</li> <li>✓ Na indústria petroquímica em processos como hidrodesalquilação, hidrodessulfurização e hidrocraqueamento.</li> </ul> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <a href="https://qnint.sbg.org.br/qni/popup_visualizarMolecula.php?id=-7jFvi3dQJpfl9h0zc4fYoufd5rFhp7neCPwPqRytloKXVCovMtqndCgNg6ImE6tJmvgVyZBfK4FrLTvTrJ0-Q==">https://qnint.sbg.org.br/qni/popup_visualizarMolecula.php?id=-7jFvi3dQJpfl9h0zc4fYoufd5rFhp7neCPwPqRytloKXVCovMtqndCgNg6ImE6tJmvgVyZBfK4FrLTvTrJ0-Q==</a></li> <li>2. <a href="https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/14537/TCC-ADILSON%20DE%20OLIVEIRA%20LEANDRO%20JUNIOR.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y">https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/14537/TCC-ADILSON%20DE%20OLIVEIRA%20LEANDRO%20JUNIOR.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y</a></li> <li>3. <a href="https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11291/1/td_2787_web.pdf">https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11291/1/td_2787_web.pdf</a></li> <li>4. <a href="https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1013142/1/cot11Emersonhidrogenio3.pdf">https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1013142/1/cot11Emersonhidrogenio3.pdf</a></li> </ol> |
| <p>Indústria siderúrgica</p>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Na produção de aço, uma das rotas tecnológicas (que responde por 7% do volume total) utiliza diretamente o hidrogênio como agente redutor do ferro (direct reduction of iron – DRI). Na rota que produz aço a partir de altos-fornos, o hidrogênio é gerado como subproduto e normalmente é consumido na própria siderúrgica.</li> </ul>  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <a href="https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/22665/1/PRLiv_Hidrog%C3%AAnio%20de%20baixo%20carbono_215712.pdf">https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/22665/1/PRLiv_Hidrog%C3%AAnio%20de%20baixo%20carbono_215712.pdf</a></li> </ol>   |

Fonte: Elaboração própria a partir das fontes de pesquisas citadas neste quadro.

### 4.3.2. Perigos químicos

Para os casos de gases inflamáveis, a Norma Regulamentadora NR-20 traz a seguinte definição em seu item 20.3.2:

*“20.3.2 Gases inflamáveis: gases que inflamam com o ar a 20°C (vinte graus Celsius) e a uma pressão padrão de 101,3 kPa (cento e um vírgula três quilopascal).”*

Analisando diferentes fichas de informações de segurança de produtos químicos – FISPQs verifica-se que o gás hidrogênio é considerado um gás extremamente inflamável.

**Figura 13:** Propriedades do gás hidrogênio – Aspectos relacionados à segurança operacional.

| Braskem   |   | Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos   |       |
|---|---|--|-------|
| De acordo com ABNT NBR 14725-4                  |   | Produto: Hidrogênio  |       |
| Data de emissão: 15/08/2017                     |   | Data de revisão: 24/03/2021  |       |
| Versão: 15.0                                    |   |  |       |
| SEÇÃO 1: Identificação do Produto e da Empresa  |   |  |       |
| 1.1. Identificação do produto                   |   |  |       |
| Nome comercial                                  | : | Hidrogênio   |       |
| Código do produto                               | : | P145   |       |
| Uso recomendado                                 | : | Hidrogenação, envase da molécula, combustível  |       |
| 1.2. Identificação da Empresa                   |   |  |       |
| Braskem S.A                                     |   |  |       |
| Rua Eteno, 1561 - Polo Petroquímico de Camaçari |   |  |       |
| Camaçari, BA, CEP 42810-000, Brasil             |   |  |       |
| Email para contato                              | : | productsafety@braskem.com  |       |
| Telefone de emergência                          | : | CHEMTREC: (021) 3958-1449, (011) 4349-1359, 0800 892 0479 (BRASIL)<br>1-703-741-5970 (INTERNACIONAL)   |       |
| SEÇÃO 2: Identificação de perigos               |   |  |       |
| 2.1. Classificação da substância ou mistura     |   |  |       |
| Gases inflamáveis, Categoria 1                  |   |  |       |
| Gases sob pressão: Gás comprimido               |   |  |       |
| 2.2. Elementos apropriados de rotulagem         |   |  |       |
| GHS-BR rotulagem                                |   |  |       |
| Pictogramas de perigo (GHS-BR)                  | : |    |       |
|   |   | GHS02  | GHS04 |
| Palavra de advertência (GHS-BR)                 | : | Perigo   |       |
| Frases de perigo (GHS-BR)                       | : | H220 - Gás extremamente inflamável   |       |
|   |   | H280 - Contem gas sob pressão: pode explodir sob ação do calor   |       |
| Frases de precaução (GHS-BR)                    | : | P210 - Mantenha afastado do calor, faísca, chama aberta, superfícies quentes. - Não fume<br>P377 - Vazamento de gás com chamas: não apague, a menos que se possa conter o vazamento com segurança<br>P381 - Elimine todas as fontes de ignição se puder ser feito com segurança<br>P403 - Armazene em local bem ventilado. |       |

Fonte: <https://www.braskem.com.br/cms/usa/ModuloProduto/Download?id=5x8SU+kD7G4=&pasta=u+NLUW2hd4tbZe90oWKjdQ==&idioma=>. Consulta realizada em 02/07/2023.

É importante salientar que a comissão de investigação da ANP buscou analisar FISPQs que atendem aos padrões do Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos, designado pela sigla GHS<sup>17</sup> (do inglês *Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals*), conforme determina a norma ABNT NBR 14725, em suas versões de 2009 (parte 1), 2019 (parte 2), 2017 (parte 3) e 2014 (parte 4).

Para o modelo apontado pela norma ABNT NBR 14725, parte 4, versão de 2014, uma FISPQ deve fornecer as informações sobre a substância ou mistura em 16 seções<sup>18</sup>, cujos títulos-padrão, numeração e sequência não podem ser alteradas. Dentre as 16 seções abordadas, destaca-se a seção 2, sendo intitulado “Identificação de perigos”. A seção 2 apresentada nas FISPQs deve ser dividida em 3 subseções, sendo uma delas a classificação da substância ou mistura.

Para classificação da substância ou mistura, recorre-se à parte 2 da ABNT NBR 14725, versão de 2019, que em seu escopo: “**estabelece critérios para o sistema de classificação de perigos de produtos químicos, sejam eles substâncias ou misturas, de modo a fornecer ao usuário informações relativas à segurança, à saúde humana e ao meio ambiente**”. (grifo nosso)

Analisando a parte 2 da ABNT NBR 14725, versão de 2019, definem-se duas categorias para classificação de gases inflamáveis:

- Categoria 1: Gases que a 20° C e uma pressão normal (101.3kPa):
  - a) São inflamáveis em uma mistura com ar a 13% (volume/volume) ou menos; e
  - b) têm um poder de inflamabilidade em uma mistura com o ar em pelo menos 12%, independente, do limite inferior de inflamabilidade.

---

<sup>17</sup> GHS: abordagem técnica desenvolvida para definir os perigos específicos de cada produto químico, para criar critérios de classificação utilizando dados disponíveis sobre os produtos químicos e seus perigos já definidos e para organizar e facilitar a comunicação da informação de perigo em rótulos e FISPQ (Fichas de Informação de Segurança para Produtos Químicos).

Fonte: <https://www.ambientec.com/qual-diferenca-entre-ghs-e-msds-ou-fispq-e-ficha-de-emergencia/>. Pesquisa realizada em 08/10/2020.

<sup>18</sup> Para mais esclarecimentos, a Norma ABNT 14725 descreve, na parte 4, do item 5 intitulado “Conteúdo e modelo geral de uma FISPQ”, as 16 seções que uma FISPQ deve abordar. Importante ressaltar que a referida norma foi atualizada em 03/07/2023 – O termo FISPQ passa a ser denominada FDS (Ficha com Dados de Segurança) com modelo orientativo para substância ou mistura descrito no Anexo B.

- Categoria 2: Outros gases, além daqueles da categoria 1, que a 20° C e a uma pressão normal (101,3kPa), têm um poder de inflamabilidade ao serem misturados com o ar.

De acordo com a classificação em destaque, nas FISPQs que foram analisadas, o gás hidrogênio é classificado como “Gases inflamáveis – Categoria 1”.

## TEXTO 10

O principal risco no manuseio do hidrogênio é de explosão quando misturado ao ar. **Além disso, os vazamentos são difíceis de identificar sem detectores dedicados porque o hidrogênio é incolor e inodoro.** Uma chama de hidrogênio é quase invisível à luz do dia e as estatísticas de investigação de perdas da indústria mostram que aproximadamente um em cada quatro incêndios de hidrogênio pode ser atribuído a vazamentos, com cerca de 40% não detectados antes da perda. A proteção contra incêndio e explosão deve ser considerada em três níveis diferentes. Prevenir ao máximo a fuga de gases inflamáveis, **garantir o projeto seguro de instalações elétricas e outras em áreas onde as fontes de ignição não podem ser excluídas,** e construir edifícios e instalações para resistir a uma explosão com danos limitados. O manuseio adequado do gás hidrogênio é fundamental e qualquer emergência requer equipamentos de segurança contra incêndio apropriados. prover, para aqueles que não estão familiarizados com a tecnologia, uma base na qual entendam as questões de segurança. (grifo nosso) [23]

O gás hidrogênio é inflamável e pode ser explosivo, com **o Limite Inferior de Explosividade**<sup>19</sup>, LEL, de 4%. Isso representa um grande risco para o ambiente e

---

<sup>19</sup> O Limite Inferior de Inflamabilidade (ou explosividade) - sigla LII ou LEL (Low explosive level) é a mínima concentração de gás que, misturada ao ar atmosférico, é capaz de provocar a combustão do produto, a partir do contato com uma fonte de ignição. Concentrações de gás abaixo do LII não são combustíveis pois, nesta condição, tem-se excesso de oxigênio e pequena quantidade do produto para a queima. Fonte: <https://cetesb.sp.gov.br/emergencias-quimicas/aspectos-gerais/perigos-associados-as-substancias-quimicas/liquidos-inflamaveis/>

para a vida daqueles que trabalham com ele. A sua queima ocorre de forma muito rápida, podendo causar acidentes em segundos ou poucos minutos de séria gravidade. Além disso, ele é inodoro e incolor, dificultando a identificação de vazamentos que podem ter sérias consequências. O seu fogo também não apresenta cor, o que impossibilita a identificação da origem dos incêndios. Vale ressaltar que o perigo do hidrogênio não está apenas em ocorrer explosões, **mas em locais fechados, como em uma sala de baterias, o hidrogênio pode se acumular e expulsar o oxigênio do ambiente, causando asfixia.** (grifo nosso) [24]

O quadro 8 apresenta as principais propriedades físico-químicas associadas ao gás hidrogênio.

#### TEXTO 11

Segundo Osternack et al. (2009, p.2), durante o processo de recarga, os acumuladores das baterias desprendem gás hidrogênio para o ambiente em que se encontram, sendo este gás altamente inflamável e explosivo. **Assim, dependendo das condições de ventilação, é provável que este gás se acumule e venha a formar uma atmosfera explosiva no entorno da bateria e em todo o ambiente.** Desta forma, qualquer fonte de ignição presente neste local, como instalações elétricas e eletricidade estática, sem as devidas proteções exigidas pelas normas de segurança, representam um risco de explosão. Para o planejamento da construção, operação e adequação de sala de baterias, de forma a prevenir os riscos de formação de atmosfera explosiva, é necessária uma análise criteriosa e rigorosa da área, produto e processo, chamada de “estudo de classificação de áreas” (LOPEZ, 2010).

**As áreas classificadas possuem um risco que lhes são inerentes: explosão.** Dessa forma, devem ser alvo de cuidados especiais e qualquer interferência nas áreas e nos seus respectivos entornos, tais como instalações elétricas e manutenções, devem ser sistematicamente observados e os raios de segurança respeitados. (grifo nosso) [25]

O texto 11 foi apresentado neste relatório visando mostrar o risco associado ao hidrogênio quanto a possibilidade de gerar atmosferas explosivas por ser um gás altamente inflamável.

**Quadro 8:** Propriedades físico-químicas inerentes ao gás hidrogênio.

| <b>PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS</b>          |  |
|--|--|
| <b>Estado físico</b>                         | Gás incolor. Líquido incolor sob alta pressão. |
| <b>Cor</b>                                   | Gás incolor                                    |
| <b>Odor</b>                                  | Inodoro  |
| <b>Ponto de ebulição<br/>(° C e 760mmHg)</b> | -253   |
| <b>Limite de Explosividade<br/>(%v/v ar)</b> | Inferior: 4 e Superior: 75                     |
| <b>Densidade relativa</b>                    | 0,07 (fase vapor a 20° C)                      |
| <b>Solubilidade</b>                          | Insolúvel em água.                             |

Fonte: Elaboração própria a partir das FISPQs de empresas que atuam na comercialização do gás hidrogênio.

O Limite de Explosividade (%v/v ar) é uma característica importante do gás hidrogênio, apresentada no quadro 8, que possui uma ampla faixa de explosividade quando comparado com outros gases. Considerando esta característica, é possível afirmar que se trata de um gás perigoso e, por isso, classificado como extremamente inflamável.

Destaca-se que uma mistura (combustível e ar) é considerada explosiva quando se encontra dentro da faixa de explosividade, ou seja, possui percentual volumétrico de combustível entre o limite inferior de explosividade (LIE) e o limite superior de explosividade (LSE).

A tabela 4 apresenta os limites de explosividade (ou inflamabilidade) de algumas substâncias em comparação ao gás hidrogênio.

**Tabela 4:** Faixas de explosividade de algumas substâncias químicas.

| Substância          | LIE<br>(volume %) | LSE<br>(volume %) |
|---------------------|-------------------|-------------------|
| Hidrogênio          | 4                 | 75                |
| Monóxido de carbono | 12,5              | 74                |
| Metano              | 5                 | 15                |
| Heptano             | 3                 | 12,4              |
| Propano             | 2,1               | 9,5               |
| Butano              | 1,8               | 8,4               |
| Metanol             | 6,7               | 36                |
| Etanol              | 3,3               | 19                |
| Acetona             | 2,6               | 13                |

Fonte: página da Internet: [http://www.cfbt-be.com/images/artikelen/artikel\\_34\\_PT.pdf/](http://www.cfbt-be.com/images/artikelen/artikel_34_PT.pdf/),  
acessada em 02/07/2023.

Partindo da faixa de inflamabilidade do gás hidrogênio e de algumas condições de contorno, a comissão de investigação da ANP realizou alguns cálculos, conforme detalhados no item 4.3.2.1 deste relatório, visando realizar uma estimativa quantitativa do processo corrosivo no material constituinte do pré-evaporador 3 devido ao ataque químico em meio ácido.

O quadro 9 reúne importantes informações acerca dos perigos e recomendações de segurança que estão relacionadas à produção, transferência e manuseio do gás hidrogênio.

**Quadro 9:** Perigos e recomendações de segurança.

| Perigos associados ao gás hidrogênio |  |
|--------------------------------------|--|
| Perigos                              | <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Gás extremamente inflamável;</li><li>✓ Possui baixa energia de ativação;</li><li>✓ A chama é quase invisível;</li><li>✓ Forma mistura explosiva com o ar e com agentes oxidantes;</li><li>✓ Bola de fogo será formada se a nuvem de gás se inflamar imediatamente após o vazamento;</li><li>✓ Os vapores podem ser inflamados por luzes-piloto, outras chamas, cigarros, faíscas, aquecedores, equipamentos elétricos, descargas estáticas ou outras</li></ul> |

|   |  |
|---|--|
|   | <p>fontes de ignição em locais distantes do ponto de manuseio do produto;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Deve ser mantido afastado do calor, faísca, chama aberta e superfícies quentes;</li> <li>✓ Menos denso que o ar, podendo se acumular em regiões superiores quando confinado.</li> </ul> |
| <b>Medidas de combate a incêndio</b>                      |  |
| Meios de extinção apropriados                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Pó químico seco;</li> <li>✓ Dióxido de carbono;</li> <li>✓ Água pulverizada.</li> </ul>   |
| Proteção das pessoas envolvidas no combate a incêndio     | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Utilizar equipamento de proteção respiratória do tipo autônomo (SCBA<sup>20</sup>) com pressão positiva e vestuário protetor completo;</li> <li>✓ Utilizar roupa de proteção completa à prova de fogo – RF.</li> </ul>  |
| <b>Medidas de controle para derramamento ou vazamento</b> |  |
| Pessoal que não faz parte dos serviços de emergência      | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Abandono da área;</li> <li>✓ Apenas o pessoal qualificado e equipado com equipamento de proteção adequado pode intervir.</li> </ul>   |
| Pessoal de serviço de emergência                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Utilizar Equipamento de Proteção Individual – EPI com óculos com proteção lateral ou protetor facial, luvas isolantes e roupa de proteção à prova de fogo – RF.</li> </ul>  |

<sup>20</sup> SCBA: sigla em inglês para *Self Contained Breathing Apparatus*. Este equipamento é indicado para a proteção das vias respiratórias de pessoas, possibilitando ação humana em operações de combate a incêndio, situações de grandes vazamentos de gases, acesso em locais com deficiência de gás oxigênio e resgates em espaços confinados.

|   |  |
|---|--|
| Precauções ao meio ambiente                       | ✓ Assegurar-se de que o gás se dissipa completamente antes de atingir o seu limite mínimo de explosividade.  |
| Procedimentos de emergências e sistemas de alarme | ✓ Instalar sistema de alarme de incêndio e detecção de vazamento nos locais de armazenamento e utilização do produto.  |
| <b>Estabilidade e reatividade</b>                 |  |
| Estabilidade química                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Gás extremamente inflamável;</li> <li>✓ Estável sob condições normais.</li> </ul>   |
| Produtos perigosos da decomposição                | ✓ Em condições normais de armazenamento e utilização, não devem ser formados produtos perigosos da decomposição.   |
| Materiais incompatíveis                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Agentes oxidantes;</li> <li>✓ Metais: Lítio, platina, sódio e potássio;</li> <li>✓ Halogênios;</li> <li>✓ Carbonatos de cálcio e magnésio.</li> </ul> |

Fonte: Elaboração própria a partir das FISPQs de empresas que atuam na comercialização do gás hidrogênio.

#### *4.3.2.1. Estimativa quantitativa do processo corrosivo durante a lavagem ácida*

A comissão de investigação da ANP, visando estimar um possível valor da massa de ferro que seria necessária ser consumida no processo de corrosão eletroquímica para gerar uma quantidade de gás hidrogênio (H<sub>2</sub>) que fosse suficiente para, em mistura com o ar no interior do pré-evaporador 3, atingir o limite inferior de explosividade do gás hidrogênio, realizou os cálculos que serão apresentados a seguir neste item. Os cálculos foram realizados considerando a reação da solução de ácido fórmico com o aço ASTM A 36, especificado para a fabricação da maioria das partes estruturais dos pré-evaporadores de caldo.

Com valor estimado foi possível inferir, através das dimensões apresentadas do pré-evaporador 3, uma espessura mínima de corrosão do material considerando o ataque químico, reforçando a importância dos cálculos das taxas de corrosão e avaliação da possível formação de produtos perigosos no planejamento, além da prioridade de inspeções contínuas em equipamentos.

Cabe destacar que, para tanto, foram estabelecidas as seguintes condições de contorno:

- Foi desconsiderada a área total da superfície, interna e externa, dos tubos de caldo do pré-evaporador, haja vista que não é esperado que ocorra a reação entre o ácido fórmico e o aço ASTM A 423 nas condições especificadas para a realização da limpeza química do equipamento, tal como denotado no item 4.1.3.2.1.1 deste relatório;
- Foram desconsideradas as áreas superficiais internas das partes menos sujeitas ao contato com a solução de ácido fórmico durante a etapa de lavagem ácida;
- Foram desconsideradas as áreas superficiais – internas ou externas, a depender de cada caso – dos apêndices conectados ao pré-evaporador de caldo (bocas de visita, janelas de inspeção, flanges, tubulações, suportes etc.) expostas ao interior do vaso;
- Foram desconsideradas as áreas superficiais das placas de tubos superior e inferior em contato com a solução ácida, devido ao fato de que a empresa não enviou os desenhos técnicos com a especificação dos materiais empregados na construção das mesmas;





**Figura 17:** Especificação das dimensões e material da chapa da seção maior do tubo coletor de caldo pré-evaporado.

|    |    |                            |           |  |       |
|----|----|----------------------------|-----------|--|-------|
| 02 | 01 | CHAPA 1/2" x 1.924 x 3.700 | ASTM A 36 |  | 709.0 |
|----|----|----------------------------|-----------|--|-------|

Fonte: Documentação encaminhada pela Denusa.

Cálculo da área da chapa da seção maior do tubo coletor de caldo pré-evaporado:

$$A_{\text{tub. colet. maior}} = \pi \times d_{\text{int. tub. colet. maior}} \times h$$

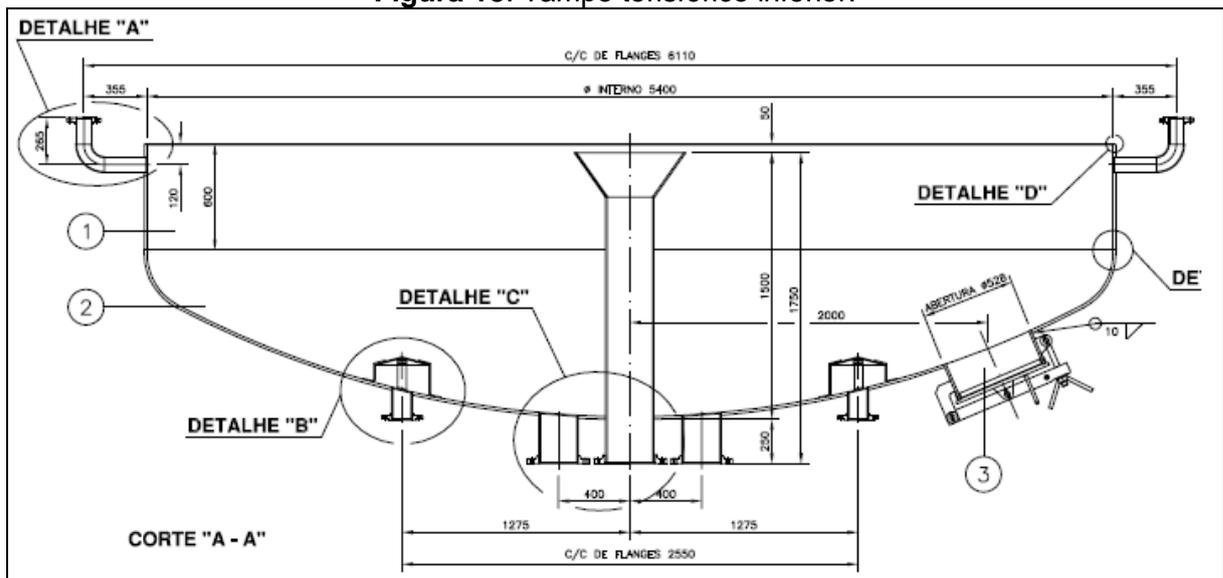
$$A_{\text{tub. colet. maior}} = \pi \times 0,600 \times (3,700 + 0,150 + 0,050)$$

$$A_{\text{tub. colet. maior}} = 7,351 \text{ m}^2 \text{ (2)}$$

#### 4.3.2.1.3. Cálculo da área do tampo torisférico inferior

As figuras 18, 19, 20, 21, 22 e 23 a seguir são recortes do Desenho nº 05.B.100.20.002, de projeto do equipamento, parte da documentação enviada pela Denusa.

**Figura 18:** Tampo torisférico inferior.



Fonte: Documentação encaminhada pela Denusa.

**Figura 19:** Especificação das dimensões e material da chapa do anel ligado ao tampo torisférico inferior.

|    |    |                           |           |  |        |
|----|----|---------------------------|-----------|--|--------|
| 01 | 01 | CHAPA 5/8" x 600 x 17.015 | ASTM A 36 |  | 1270.6 |
|----|----|---------------------------|-----------|--|--------|

Fonte: Documentação encaminhada pela Denusa.

Cálculo da área do anel ligado ao tampo torisférico inferior:

$$A_{\text{chapa anel}} = \pi \times d_{\text{int. chapa anel}} \times h$$

$$A_{\text{chapa anel}} = \pi \times 5,400 \times 0,600$$

$$A_{\text{chapa anel}} = 10,179 \text{ m}^2 \text{ (3.a)}$$

**Figura 20:** Especificação das dimensões e material do tampo torisférico – informações constantes no Desenho n° 05.D.100.20.001.

|   |    |                        |           |  |        |
|---|----|------------------------|-----------|--|--------|
| 1 | 01 | CHAPA 5/8" x Ø 5.927,1 | ASTM A 36 |  | 3435.0 |
|---|----|------------------------|-----------|--|--------|

Fonte: Documentação encaminhada pela Denusa.

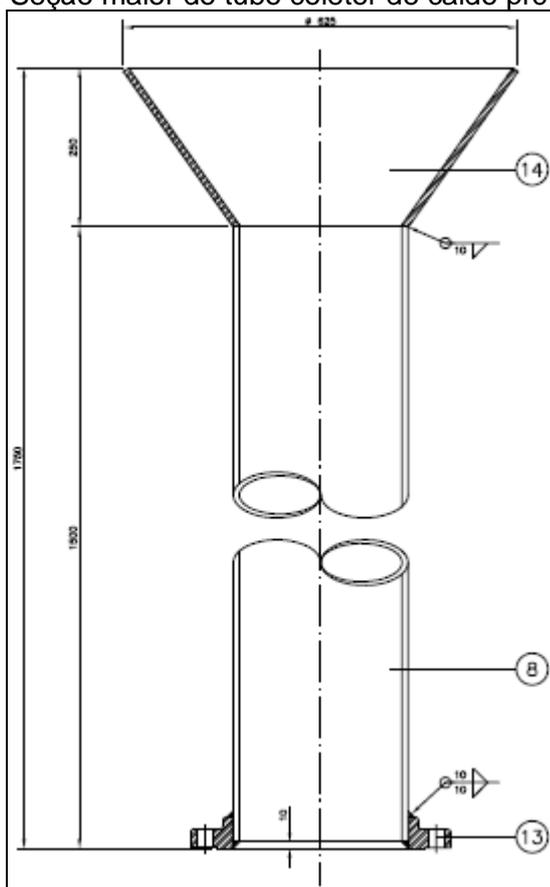
Cálculo da área do tampo torisférico, considerando a condição de contorno previamente estabelecida:

$$A_{\text{tampo torisf.}} \approx A_{\text{calota}} = \pi \times 2 \times r_{\text{int.}} \times h$$

$$A_{\text{tampo torisf.}} \approx A_{\text{calota}} = \pi \times 2 \times 5,400 \times 0,913$$

$$A_{\text{tampo torisf.}} \approx A_{\text{calota}} = 30,977 \text{ m}^2 \text{ (3.b)}$$

**Figura 21:** Seção maior do tubo coletor de caldo pré-evaporado.



Fonte: Documentação encaminhada pela Denusa.

**Figura 22:** Especificação das dimensões e material da chapa do tronco de cone da seção menor do tubo coletor de caldo pré-evaporado.

|    |    |                             |           |      |
|----|----|-----------------------------|-----------|------|
| 14 | 01 | CHAPA 1/2" x $\phi$ 1.085,6 | ASTM A 36 | 42.9 |
|----|----|-----------------------------|-----------|------|

Fonte: Documentação encaminhada pela Denusa.

Cálculo da área da chapa do tronco de cone da seção menor do tubo coletor de caldo pré-evaporado:

$$A_{\text{tronco de cone}} = \pi \times g \times (R + r)$$

Onde:

R = raio da base maior do tronco de cone = 0,3125 m;

r = raio da base menor do tronco de cone =  $d_{\text{int. tubo sch-40}} \div 2 = 0,25451 \div 2 = 0,127255$  m;

h = altura do tronco de cone = 0,250 m;

g = geratriz do tronco de cone; e

$$g^2 = h^2 + (R - r)^2 = 0,250^2 + (0,3125 - 0,127255)^2 = 0,096816$$

$$\therefore g = \sqrt{0,096816} = 0,311153 \text{ m}$$

Isso posto, tem-se que:

$$A_{\text{tronco de cone}} = \pi \times g \times (R + r)$$

$$A_{\text{tronco de cone}} = \pi \times 0,311153 \times (0,3125 + 0,127255)$$

$$A_{\text{tronco de cone}} = 0,4299 \text{ m}^2 \text{ (3.c)}$$

**Figura 23:** Especificação das dimensões e material da chapa da seção menor do tubo coletor de caldo pré-evaporado.

|    |    |                                   |            |  |      |
|----|----|-----------------------------------|------------|--|------|
| 08 | 01 | TUBO SCH-40 $\phi$ nom. 10" x 970 | ASTM A 106 |  | 89.7 |
|----|----|-----------------------------------|------------|--|------|

Fonte: Documentação encaminhada pela Denusa.

Cálculo da área da chapa da seção menor do tubo coletor de caldo pré-evaporado:

$$A_{\text{tub. colet. menor}} = \pi \times d_{\text{int. tub. colet. menor}} \times h$$

$$A_{\text{tub. colet. menor}} = \pi \times 0,25451 \times 1,500$$

$$A_{\text{tub. colet. menor}} = 1,199 \text{ m}^2 \text{ (3.d)}$$

#### 4.3.2.1.4. Somatório das áreas

Soma dos resultados obtidos nos cálculos das áreas apontados em (1), (2), (3.a), (3.b), (3.c) e (3.d).

$$\sum \text{áreas} = (1) + (2) + (3.a) + (3.b) + (3.c) + (3.d)$$

$$\sum \text{áreas} = 33,929 + 7,351 + 10,179 + 30,977 + 0,4299 + 1,199$$

$$\sum \text{áreas} = 84,0649 \text{ m}^2 \text{ (4)}$$

#### 4.3.2.1.5. Consideração sobre o volume ocupado pela solução ácida

Tomando-se por base o procedimento de limpeza química dos pré-evaporadores, enviado pela Denusa, descrito no documento "7.40 Procedimento Limpeza Química Denusa - Maio 2018", onde é indicado que, durante a lavagem ácida, a solução que circula em circuito fechada, composta por 10.000 litros de água acrescidos de 500 a 800 litros de Nalco 62522, ensejou-se o cálculo da altura alcançada por esse volume (10,8 m<sup>3</sup>) dentro equipamento, que é apresentado a seguir.

Cálculo do volume do tampo torisférico, considerando a condição de contorno previamente estabelecida:

$$V_{\text{tampo torisf.}} \approx V_{\text{calota}} = (\pi \times h^2)/3 \times (3 \times r - h)$$

$$V_{\text{tampo torisf.}} \approx V_{\text{calota}} = (\pi \times 0,913^2)/3 \times (3 \times 5,400 - 0,913)$$

$$V_{\text{tampo torisf.}} \approx V_{\text{calota}} = 13,344 \text{ m}^3 \text{ (5)}$$

Cálculo do volume da seção menor do tubo coletor de caldo pré-evaporado, até a altura da calota esférica:

$$V_{\text{tub. colet. menor}} = (\pi \times d^2)/4 \times h$$

$$V_{\text{tub. colet. menor}} = (\pi \times 0,25451^2)/4 \times 0,913$$

$$V_{\text{tub. colet. menor}} = 0,046 \text{ m}^3 \text{ (6)}$$

Cálculo do volume efetivo contido pelo tampo torisférico, considerando a condição de contorno previamente estabelecida:

$$V_{\text{efet.}} = (5) - (6)$$

$$V_{\text{efet.}} = 13,344 - 0,046$$

$$V_{\text{efet.}} = 13,298 \text{ m}^3 \text{ (7)}$$

Assim sendo, sem nem mesmo ser necessário o cálculo da altura atingida pelo volume da solução ácida, é possível deduzir que, ainda que toda a solução deixasse de recircular pelo sistema e se acumulasse apenas na parte de baixo do pré-evaporador, ela ficaria contida no volume delimitado pelo tampo torisférico inferior.

Esse fato pende a favor da decisão de desconsiderar a área total da superfície interna dos tubos de caldo do pré-evaporador para o cálculo estimado da quantidade de hidrogênio formado devido a reação do ácido fórmico com o metal. O contato entre o metal e a solução ácida nesses tubos ocorre apenas em forma de filme descendente, e não em forma de poça – mais severo –, ainda que cessasse a recirculação da solução e toda ela ficasse contida dentro do equipamento.

#### 4.3.2.1.6. Estimativa de material corroído

Analisando os processos químicos no incidente ocorrido, é possível afirmar que o gás hidrogênio estava, em mistura com o ar, dentro de sua faixa de inflamabilidade (4 - 75%[v/v]).

Buscando estimar a quantidade mínima de massa de metal – no caso, o ferro – consumido no processo corrosivo, conforme equação química apresentada abaixo (item 4.2 deste relatório), considerou-se o limite inferior de explosividade gás hidrogênio, que é de 4%.



Para o cálculo da quantidade de ar e gás hidrogênio presentes na mistura gasosa, considerou-se apenas que esta mistura estivesse ocupando o volume da câmara de evaporação do pré-evaporador acima dos feixes tubulares (figura 1) e o tampo torisférico superior.

A câmara de evaporação é cilíndrica com dimensões de 7,5 m de geratriz e diâmetro de 5,4m, conforme desenho de projeto do equipamento n° 05.B.100.20.002 (figura 20), que é parte da documentação enviada pela Denusa.

Diante das medidas apresentadas é possível calcular o volume aproximado da câmara de evaporação, em 171 m<sup>3</sup>, e o volume do tampo torisférico superior, em 13,34 m<sup>3</sup>.

##### 4.3.2.1.6.1. Cálculo do volume da atmosfera explosiva ( $V_{exp}$ )

Considerando que a câmara de evaporação e o tampo torisférico superior estejam completamente ocupados pelo ar confinado no pré-evaporador, tem-se que:

$V_{exp}$  = volume da câmara de evaporação + volume do tampo torisférico superior

$$V_{exp} = 171 + 13,34 = 184,34 \text{ m}^3$$

#### 4.3.2.1.6.2. Cálculo do volume mínimo de gás hidrogênio ( $V_{H_2}$ ) para que fosse atingido o limite inferior de explosividade do gás hidrogênio

$$\frac{V_{H_2}}{V_{H_2} + V_{ar}} = 0,04$$

Da equação acima, é possível perceber  $V_{ar} + V_{H_2} = V_{exp}$ . Logo, substituindo  $V_{exp} = 184,34 \text{ m}^3$ , obtém-se o volume aproximado de gás hidrogênio  $V_{H_2} = 7,37 \text{ m}^3$ .

#### 4.3.2.1.6.3. Cálculo do número de mols de gás hidrogênio ( $n_{H_2}$ )

Para este volume de gás hidrogênio, o número de mols pode ser estimado considerando-se a condição de gás ideal, visando a simplificação dos cálculos.

Na condição de gás ideal, é possível utilizar a equação de Clapeyron<sup>21</sup>, mostrada abaixo:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Onde:

- P: pressão =  $1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  (atmosférica);
- V: volume ocupado pelo gás hidrogênio =  $7,37 \text{ m}^3$ ;
- n: número de mols do gás;
- R: constante universal dos gases =  $8,31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ; e
- T: temperatura =  $20^\circ\text{C}$  ( $293\text{K}$ ).

Substituindo o valor anteriormente apresentado e calculado na equação de Clapeyron, tem-se:

$$1,013 \cdot 10^5 \cdot 7,37 = n \cdot 8,31 \cdot 293$$

Logo, obtém-se o valor de  $n = 306,6$  mols de gás hidrogênio.

---

<sup>21</sup> A **Equação de Clapeyron** foi formulada pelo físico-químico francês Benoit Paul Émile Clapeyron (1799-1864), sendo aplicada apenas para condições termodinâmicas em que um gás é considerado gás ideal. Mais geral, a relação funcional entre as variáveis p, V, T e n úteis para descrever o estado de equilíbrio termodinâmica de um gás ideal é descrita pela equação de Clapeyron,  $pV=nRT$

#### 4.3.2.1.6.4. Cálculo da massa de ferro consumida ( $m_{Fe}$ )

Da equação química  $2(HCOOH) + \text{ferro (Fe)} \rightarrow Fe(CHO_2)_2 + H_2$ , balanceada, da relação estequiométrica, a cada 1 mol de gás hidrogênio produzido é necessário o consumo de 1 mol de ferro.

Com isso, para que ocorra a produção de 306,6 mols de gás hidrogênio será necessário o consumo de 306,6 mols de átomos de Fe.

O número de mols ( $n$ ) e a massa em gramas ( $m$ ) de uma substância química relaciona-se com seu peso molecular (PM) através da equação  $m = n \cdot (PM)$ .

Substituindo os valores para o cálculo da massa de ferro<sup>22</sup>, tem-se:

$$m_{Fe} = n \cdot (PM) \quad \therefore m_{Fe} = 306,6 \cdot 56 = 17.169,6 \text{ g.}$$

Logo, a massa de ferro que seria necessária ser consumida no processo químico seria de aproximadamente 17,17 kg.

Sendo a massa específica do ferro, em média, igual a  $7870 \text{ kg/m}^3$ , essa massa de ferro ocuparia o volume aproximado de  $0,00218 \text{ m}^3$ .

#### 4.3.2.1.6.5. Estimativa da espessura do material corroído das estruturas do pré- evaporador construídas em aço ASTM A 36

Considerando o somatório das áreas superficiais internas do equipamento construídas em aço ASTM A 36, sujeitas ao ataque ácido, como sendo  $84,0649 \text{ m}^2$ , conforme equação 4 do item 4.3.2.1.4 deste relatório, buscou-se estimar uma espessura mínima (lâmina contínua) de corrosão dessa área, a partir do volume de ferro calculado, haja vista que fora esta a mais exposta ao ataque do ácido considerando a sua característica construtiva.

No cálculo da área foi considerada, com vistas a facilitar o cálculo, uma superfície plana com área  $84,0649 \text{ m}^2$ .

Para esta configuração geométrica de superfície plana, foi possível estimar uma espessura mínima "e" através do seguinte cálculo:

$$84,0649\text{m}^2 \cdot e = 0,00218\text{m}^3 \quad \therefore e = 0,026 \text{ mm}$$

<sup>22</sup> Peso molecular do ferro = massa atômica do ferro = 56 g (Valor obtido da Tabela Periódica dos elementos químicos).

Logo, é possível perceber que o valor calculado de espessura de corrosão, de 26 milésimos de milímetro, é um valor razoável e factível, considerando referências consagradas na literatura técnica disponível acerca do tema.

Conforme a norma ASTM G31, a taxa de corrosão a partir da perda de massa pode ser calculada a partir da seguinte equação:

$$\text{Taxa de corrosão (mm/a)} = \frac{(K \times W)}{(A \times T \times D)}$$

Onde:

K = constante de corrosão =  $8,76 \times 10^4$

T = tempo de exposição em horas

A = área em  $\text{cm}^2$

W = perda de massa em g

D = densidade em  $\text{g/cm}^3$

Com relação ao tempo de exposição, foi considerando aquele transcorrido desde o início da etapa de lavagem ácida até a ocorrência do incidente, que totaliza 15h.

Desse modo, a partir dos dados calculados anteriormente e disponíveis na documentação enviada pela empresa, tem-se que:

$$\text{Taxa de corrosão} = \frac{(8,76 \cdot 10^4 \times 17.169,6)}{(84,0649 \cdot 10^4 \times 15 \times 7,87)}$$

∴ Taxa de corrosão = 15,15 mm/a

Observa-se que o valor encontrado é um pouco superior às taxas de corrosão usualmente encontradas para aços, mas é compatível com a característica decrescente das taxas de corrosão em função do tempo de exposição ao ataque ácido transcorrido.

Fatores que podem explicar a discrepância observada são as premissas adotadas no cálculo das áreas, que desconsideram partes do pré-evaporador que eventualmente podem ter contribuído para a formação de hidrogênio, e a carência de material de referência que avaliasse o impacto de diferentes concentrações do ácido fórmico nas taxas de corrosão em aços.

## 5. ANÁLISE GERAL DA COMISSÃO E AÇÕES DA ANP

### 5.1. Avaliação da(s) causa(s) raiz(es)

A abordagem mais ampla e detalhada dos fatores causais e causas raízes, no desenvolvimento da investigação de um determinado incidente, depende da metodologia que foi utilizada.

A Resolução ANP nº 44/2009 solicitava, em seu Anexo II, que o agente regulado descrevesse no RDI qual havia sido a metodologia utilizada na investigação do incidente.

Ressalta-se que não havia indicação na Resolução ANP nº 44/2009 quanto ao uso obrigatório de determinada metodologia de investigação, mesmo em casos de acidentes graves, como o incidente em análise ocorrido nas instalações industriais da Denusa, no dia 29/08/2018.

Em análise à nova resolução vigente, a Resolução ANP nº 882/2022, que revogou a Resolução ANP nº 44/2009, conforme explicado, observa-se que a interpretação permanece a mesma, na qual é solicitada a identificação da metodologia de investigação utilizada, sem a obrigação de aplicação de determinada metodologia.

Cabe frisar que, a depender dos eventos e da complexidade do incidente, algumas metodologias são capazes de tornar a investigação mais ampla, com possibilidades de se obter resultados que apontem para um maior número de fatores causais e causas raízes, até mesmo com indicação de eventos que não estão diretamente ligados ao incidente em si, mas que possuem potencial para gerar/contribuir para a ocorrência de novos incidentes.

Com a indicação mais ampla de fatores causais e causas raízes, é possível proceder a avaliação mais adequada das não conformidades, ou seja, das práticas ou procedimentos que se encontram em desacordo com requisitos dispostos nas normas e/ou regulamentações aplicáveis à atividade, ou que vão de encontro às boas práticas da indústria do petróleo, gás natural e biocombustíveis em matéria de segurança operacional, possibilitando assim a mitigação do maior número possível das não conformidades que foram identificadas no incidente em situações análogas.

Quanto aos fatores causais, a Resolução ANP nº 44/2009 definia fator causal como sendo “*qualquer evento e/ou fator externo que permitiu a ocorrência ou o agravamento do incidente e/ou de suas consequências*”.

A Resolução ANP nº 882/2022 também traz a obrigatoriedade de identificar os fatores causais, definindo como sendo “*ocorrência ou condição indesejada que, caso fosse eliminada, evitaria a ocorrência do incidente ou reduziria a sua severidade*”. Essa conceituação possui reconhecimento internacional nas boas práticas de investigações, sendo apresentada pela CCPS<sup>23</sup> - *Center for Chemical Process Safety*, em suas diretrizes para investigação de incidentes descritas no *guidelines for investigating process safety incidents*.

Assumindo-se uma forma mais abrangente, os fatores causais podem ser identificados nas falhas de equipamentos, nos erros humanos que causaram um incidente, os quais permitiram que um incidente ocorresse, ou mesmo permitiram que as consequências do incidente fossem mais impactantes do que o esperado.

Do exposto, em uma investigação em que se consideram fatores causais, conforme definidos na Resolução ANP nº 44/2009, e que decorrem de falhas de equipamentos ou humana ou até mesmo de fatores externos, a análise de um determinado incidente pode indicar mais de um fator causal.

Adicionalmente, as causas, num contexto mais geral, devem levar em consideração todos os aspectos relacionados à estruturação organizacional de uma empresa com enfoque em segurança operacional e meio ambiente, indo desde o conhecimento técnico até aspectos gerenciais. Considerando o contexto, entende-se que as causas raízes decorrem da ausência, negligência ou deficiência dos sistemas gerenciais que possibilitaram a ocorrência de falhas de equipamentos/sistemas; e/ou erros humanos determinantes para a ocorrência do incidente investigado.

Para tal caracterização, o termo “ocorrência de falhas de equipamentos/sistemas; e/ou erros humanos” já se identifica como fatores causais e, na relação semântica das definições, para um determinado fator causal podem ser indicados mais de uma causa raiz.

Reforça o relacionamento das causas raízes com a ausência, negligência ou deficiência dos sistemas gerenciais, o entendimento descrito na Resolução ANP nº 882/2022:

---

<sup>23</sup> A CCPS é uma organização corporativa sem fins lucrativos da *American Institute of Chemical Engineers* - AIChE, com mais de 200 membros, que identifica e aborda as necessidades relacionadas à segurança de processos nas indústrias química, farmacêutica e de petróleo. Fonte: <https://www.aiche.org/ccps>.

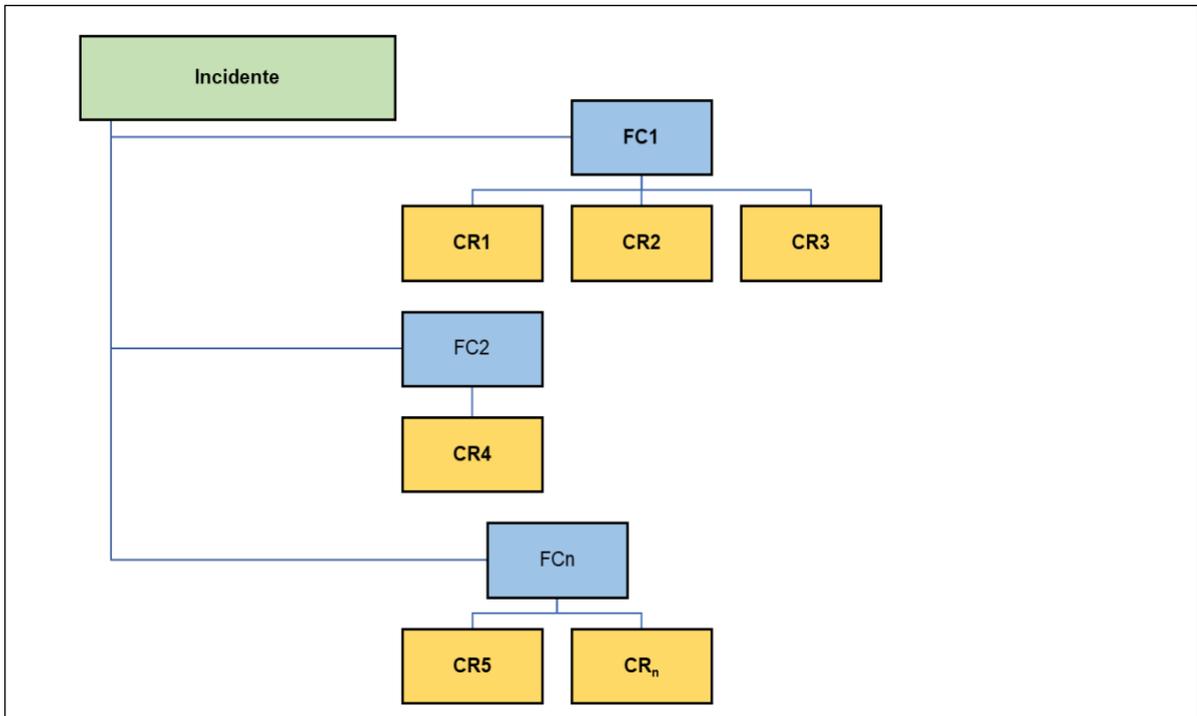
“Art. 2º  
(...)”

III - causa-raiz: **falha do sistema de gestão** que possibilitou a ocorrência ou a existência dos fatores causais do incidente investigado;

(...)” (grifo nosso)

Esquemáticamente, as definições e consideração aqui expostas podem gerar a seguinte interrelação, apresentada na figura 24.

**Figura 24:** Interrelação entre fatores causais e causas raízes.



Fonte: elaboração própria.

FC: Fator causal  
CR: causa raiz

A correta identificação das causas raízes favorece a implementação de ações corretivas e preventivas eficazes, além de evitar a recorrência de incidentes similares.

É possível também identificar outros eventos potenciais que não estejam diretamente ligados ao incidente em análise e que podem ser preventivamente gerenciados. Tal entendimento é apresentado na Resolução ANP nº 882/2022 como “fato relevante”, em que se define como “deficiência, erro ou falha não diretamente

*relacionado com o incidente, mas que foi identificado durante o curso da investigação e pode representar uma oportunidade de melhoria”.*

## TEXTO 12

Segundo Kepner e Tregoe (1981), **é mandatório que o efeito que observa-se (problema) seja relacionado a sua causa raiz exata; somente dessa forma pode-se ter certeza da correta tomada de decisão, que corrigirá o problema e garantirá que este não ocorra novamente.** Porém, usualmente, as organizações no dia a dia corrigem apenas os sintomas do problema, ou seja, corrigem pontualmente o problema, tendo como preocupação principal, continuar o fluxo de produção, liberar as peças que se encontraram defeituosas, corrigir tais peças, dentre outros. Quando isso ocorre, a preocupação se dá apenas com os sintomas do problema e não com suas causas. Tratar apenas os sintomas do problema garante que momentaneamente o problema foi resolvido, mas grande [*sic*] é a chance do mesmo problema ocorrer novamente.

Rooney e Heuvel (2004) defendem que a **identificação da causa raiz é a atividade chave para que se evite recorrência de erros.** A análise de causa raiz é um processo que visa a não recorrência do mesmo problema. Utilizando-se a premissa de que determinado problema possui uma causa raiz, ao se tratar a causa do problema e tomar as ações corretivas apropriadas, tem-se a garantia que o problema gerado por tal causa específica não ocorra novamente. “Somente quando investigadores são capazes de determinar por que um evento ou falha ocorreu eles serão capazes de especificar medições corretivas viáveis que previnam futuros eventos do tipo observado” (tradução do autor para Rooney e Heuvel, 2004). (grifo nosso) [26]

A análise das causas raízes é parâmetro indicativo das melhorias de um sistema de gestão de segurança, conforme apontamentos da Norma ISO 45001 - *Sistemas de Gestão de Saúde e Segurança Ocupacional - Requisitos com orientação para uso.*

## **“A.10 Melhoria**

### **A.10.1 Generalidades**

*Convém que a organização considere os resultados da análise e avaliação de desempenho de SSO, avaliação de conformidade, auditorias internas e análise crítica da Direção, ao tomar medidas para melhoria.*

(...)

### **10.2 Incidente, não conformidade e ação corretiva**

(...)

***A análise da causa-raiz refere-se à prática de explorar todos os possíveis fatores associados a um incidente ou não conformidade, perguntando o que aconteceu, como aconteceu e por que aconteceu, para fornecer a contribuição para o que pode ser feito para evitar que isto ocorra novamente.***

*Ao determinar a causa-raiz de um incidente ou não conformidade, convém que a organização use métodos apropriados para a natureza do incidente ou não conformidade em análise. **O foco da análise da causa-raiz é a prevenção. Esta análise pode identificar múltiplas falhas contributivas, incluindo fatores relacionados à comunicação, competência, fadiga, equipamentos ou procedimentos.***

*Revisar a eficácia das ações corretivas [ver 10.2 f)] refere-se à extensão em que as ações corretivas implementadas controlem adequadamente as causas-raiz.*

(...)” (grifo nosso)

É imprescindível o entendimento de que um sistema de gestão de segurança só será eficiente quando possuir em sua estrutura a participação ativa da alta direção e pessoas de níveis gerenciais das empresas, em que haja o apontamento das falhas dos sistemas gerenciais nas investigações de acidentes, conforme definição dada às causas raízes. No item A.10 da Norma ISO 45001 fica evidente que medidas para melhorias devem considerar a análise crítica da Direção.

Considerando as premissas básicas que foram discutidas, a ANP não define quais metodologias de investigação de incidentes que devem ser aplicadas pelos agentes regulados na identificação dos fatores causais e causas raízes.

Entretanto, o agente regulado, ao escolher uma determinada metodologia, deve tornar a aplicação desta evidente na análise, devendo ser apontadas as premissas que tiveram que ser adotadas visando atender as limitações do método em si, bem como a aderência do método à complexidade do incidente a ser investigado.

Tais prerrogativas até aqui descritas foram consideradas na análise da investigação realizada pela comissão de investigação da ANP e, tendo por base os

apontamentos apresentados, bem como as diretrizes da Instrução Normativa ANP nº 6, de 31 de maio de 2021, segue a avaliação da investigação realizada pela Denusa.

➤ **Da metodologia**

Após análise da comissão de investigação da ANP do primeiro relatório detalhado de incidente (RDI) enviado pela Denusa, há o entendimento da comissão que este se encontrava incompleto, no que tange ao detalhamento da metodologia de incidente que foi utilizada e atendimento de requisitos solicitados no Anexo II da Resolução ANP nº 44/2009, sendo esta a resolução vigente à época do incidente.

Considerando o exposto, conforme já mencionado no item 3.1 deste relatório, foram solicitadas informações complementares e reenvio do RDI, visando atendimento à Resolução ANP nº 44/2009 e melhor detalhamento da investigação que foi conduzida pela Denusa.

Nesse sentido, alguns apontamentos foram comunicados para a Denusa em adição à solicitação de reenvio do RDI, entre eles a necessidade de indicação da metodologia de investigação utilizada.

Isto porque no RDI foram descritos como metodologia a investigação *in loco*, fotos e entrevistas com colaboradores do setor onde aconteceu o incidente. Desse modo, para a comissão de investigação da ANP, as metodologias apresentadas no RDI se tratam de métodos de coleta de informações, mas não são metodologias de investigação de acidentes propriamente ditas.

Em atendimento ao solicitado pela comissão da ANP, a Denusa apresentou um segundo RDI, revisado, e com a indicação de utilização da metodologia da Árvore de Falhas para identificação das possíveis causas raízes que culminaram no incidente.

A estrutura da árvore foi apresentada (anexo – Apêndice A), entretanto a comissão de investigação da ANP descreve algumas observações que devem ser consideradas na elaboração de um relatório de investigação, sendo falhas detectadas no documento apresentado pela Denusa:

- Não há detalhamento da simbologia utilizada na montagem da árvore, comprometendo a interpretação da análise que foi realizada;
- Não há indicação com clareza, na estruturação da árvore, das tipologias de causas consideradas, principalmente das causas raízes;

- Não foram apresentadas justificativas para a escolha da metodologia, nem as hipóteses que foram suscitadas na análise do incidente e/ou as premissas que foram consideradas para a aceitação ou rejeição das hipóteses; e
- Não foi apresentado nenhum documento que comprovasse e avaliasse a condição metalográfica e estrutural das partes internas dos pré-evaporadores, entre outras análises, que aprofundasse no detalhamento do incidente considerando as condições do equipamento que podem ter contribuído para o incidente e após a ocorrência deste.

➤ **Dos fatores causais e causas raízes**

Não foram apresentados, no segundo RDI enviado pela Denusa, os fatores causais relacionados ao incidente em análise, apesar da solicitação descrita no Anexo II da Resolução ANP n° 44/2009.

Não há também indicação dos fatores causais na árvore de falhas que foi apresentada no RDI.

No primeiro RDI que foi enviado, conforme descrito no item 3.1 deste relatório de investigação, a Denusa apontou um único fator causal: *“Uso de celulares dentro do Espaço Confinado (Pré- evaporador).”*

Já foi discutido neste relatório a importância do levantamento dos fatores causais e sua relação com a identificação das causas raízes. Sem a correta caracterização dos fatores causais, algumas ocorrências podem ter interpretações equivocadas ou até desconsiderar potenciais ocorrências e fatos relevantes (conforme definido na Resolução ANP n° 882/2022).

A comissão de investigação da ANP reforça que as empresas devem direcionar a caracterização das causas raízes para falhas do sistema de gestão que possibilitaram a ocorrência ou a existência dos fatores causais dos incidentes investigados.

O RDI descreve 6 (seis) causas raízes, apresentadas no quadro 3, sendo que todas as causas estão relacionadas com falhas no sistema de gestão, estando de acordo o entendimento descrito na Resolução ANP n° 882/2022.

As causas raízes não estão claramente caracterizadas na árvore de falhas que foi apresentada pela Denusa, entretanto foram elencadas no RDI.

Vale ressaltar que as causas raízes foram apresentadas em correlação às diretrizes descritas no Manual Orientativo de Vistorias, conforme versão vigente à época. A comissão de investigação da ANP destaca que tal relação é importante devido ao direcionamento do Manual Orientativo de Vistorias para as boas práticas de engenharia e legislação aplicável, estando diretamente associadas ao sistema de gestão de segurança operacional da empresa.

Esta correlação é um importante indicativo na avaliação do grau de comprometimento de todos os níveis hierárquicos de uma empresa em termos de segurança operacional.

## 5.2. Causa(s) raiz(es) apontadas pela ANP

Considerando as ponderações descritas no item 5.1, quanto aos fatores causais e causas raízes, bem como a importância da caracterização dos mesmos para que se possa implementar ações corretivas e preventivas eficazes, seguem no quadro 10 as descrições dos fatores causais e causas raízes e as respectivas interrelações que foram apontadas pela comissão de investigação da ANP.

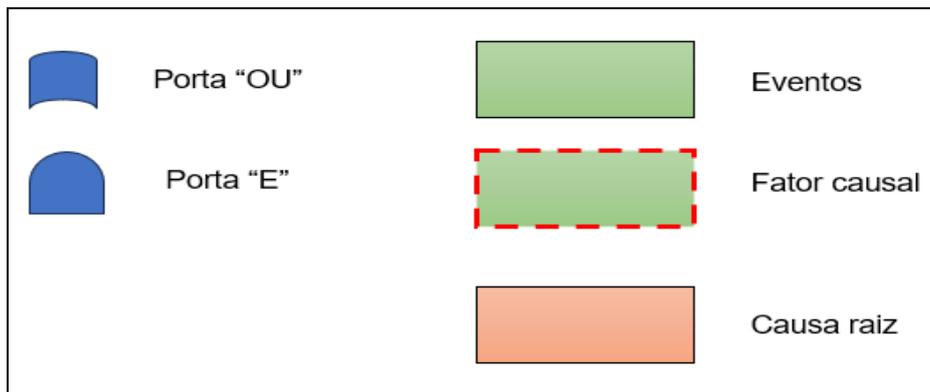
A análise e considerações seguintes tiveram por base as informações transcritas no RDI enviado pela Denusa.

Importante ressaltar que o RDI não explicita de forma adequada os fatores causais e causas raiz encontrados pela investigação da Denusa, impossibilitando análises mais detalhadas por parte da comissão de investigação da ANP.

A Comissão de investigação da ANP utilizou a metodologia de Árvore de Falhas na determinação das causas raízes, considerando o número de eventos associados ao incidente.

A simbologia adotada encontra-se descrita na figura 25 e as ramificações da árvore de falhas distribuídas nas figuras 26, 27, 28 e 29.

**Figura 25:** Simbologia utilizada na estruturação da árvore de falha.



Fonte: elaboração própria.

**Quadro 10:** Fatores causais e causas raízes apontadas pela comissão de investigação da ANP.

| FATOR CAUSAL             | DESCRIÇÃO   |   |
|--------------------------|---|---|
| <b>Fator causal nº 1</b> | Presença de gás hidrogênio no interior do pré-evaporador                              |   |
|                          | <b>Causa-raiz 1</b>   | Plano de inspeção deficiente.                                 |
| <b>Fator causal nº 2</b> | Uso inadequado de equipamentos eletrônicos sem especificação para áreas classificadas |   |
|                          | <b>Causa-raiz 2</b>   | Ausência de treinamento em áreas classificadas.               |
|                          | <b>Causa-raiz 3</b>   | Descumprimento das exigências da Norma Regulamentadora NR-10. |
| <b>Fator causal nº 3</b> | Descumprimento de procedimentos   |   |
|                          | <b>Causa-raiz 4</b>   | Treinamentos não efetivos nos procedimentos de limpeza.       |
|                          | <b>Causa-raiz 5</b>   | Procedimentos incompletos.                                    |
|                          | <b>Causa-raiz 6</b>   | Ausência de gestão de segurança operacional.                  |
|                          | <b>Causa-raiz 7</b>   | Ausência de Ordem de Serviço de segurança.                    |
| <b>Fator causal nº 4</b> | Ausência de monitoramento da presença de atmosfera explosiva                          |   |
|                          | <b>Causa-raiz 8</b>   | Ausência de treinamento na Norma Regulamentadora NR-33.       |
|                          | <b>Causa-raiz 9</b>   | Descumprimento das exigências da Norma Regulamentadora NR-33. |
|                          | <b>Causa-raiz 10</b>  | Ausência de gerenciamento de mudanças.                        |
|                          | <b>Causa-raiz 11</b>  | Ausência de análise de risco.                                 |
|                          | <b>Causa-raiz 12</b>  | Ausência de revisão e atualização de procedimentos.           |

Fonte: Elaboração própria a partir de informações descritas no RDI elaborado pela Denusa.

### 5.3. Contribuições das causas

Na busca da caracterização das causas raízes de um incidente, importantes aprendizados podem ser apreendidos, incluindo estudos mais aprofundados das propriedades e impactos envolvendo processos químicos específicos, cuidados no armazenamento e transferências de produtos químicos, falhas em equipamentos, eficácia da gestão documental da empresa, entre outros.

Esses aprendizados contribuem com demonstração da importância da análise contínua, em termos de segurança operacional, de todas as mudanças em tecnologias industriais, incluindo a utilização de novos equipamentos, utilidades, tratamentos, sistemas de automação e processos químicos.

É importante ressaltar que o maior interesse não está focado apenas no entendimento de fenômenos físicos, químicos ou sobre a cultura de segurança da empresa, mas principalmente em evitar a reincidência de danos às vidas humanas (incluindo as populações circunvizinhas), patrimoniais (manter a credibilidade e imagem da empresa, além dos impactos na produção de determinado bem para a sociedade e garantia de empregos) e ambientais.

#### *5.3.1. Fator causal n° 1: Presença de gás hidrogênio no interior do pré-evaporador.*

Com a mudança de técnica de limpeza dos pré-evaporadores, de mecânica para química, houve a ocorrência não desejada de formação de gás hidrogênio devido a utilização de ácido em uma das etapas da limpeza química.

Conforme o detalhamento aprofundado apresentado no item 4.2 deste relatório, reações químicas entre ácidos (usada na técnica de limpeza química) e metais (ligas metálicas utilizadas na composição da superfície interna das partes do pré-evaporador – item 4.1.3.2.1 deste relatório), levam a constatação imediata da formação de gás hidrogênio – H<sub>2</sub>.

##### *5.3.1.1. Causa raiz 1: Plano de inspeção deficiente.*

Em relação ao uso da nova técnica de limpeza, com a presença de ácido, caso a Denusa tivesse realizado a análise dos riscos associados à essa mudança de

técnica seria possível identificar a possibilidade de formação de gás hidrogênio em decorrência de corrosão eletroquímica entre metais e ácidos.

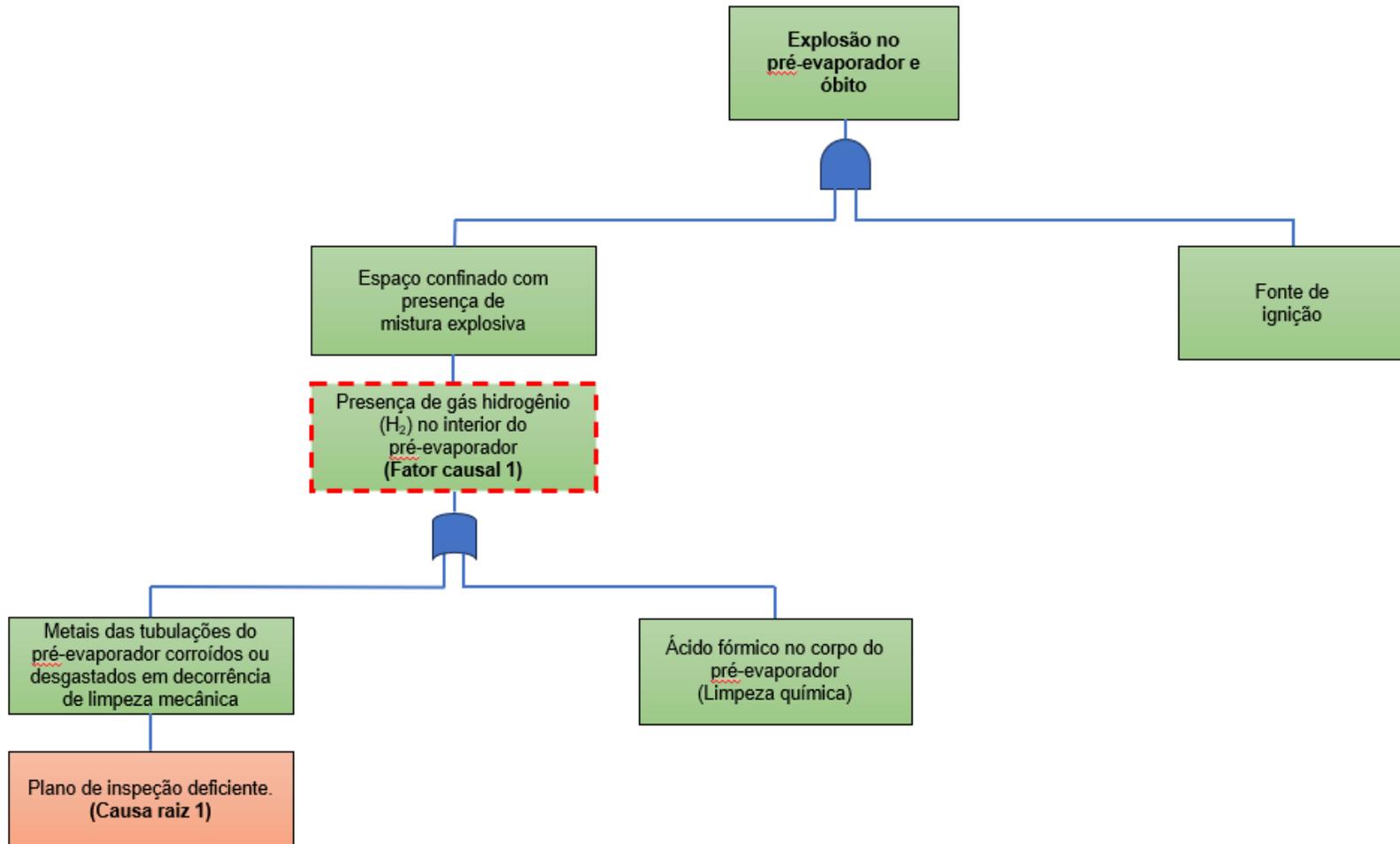
Para esta caracterização, a Denusa deveria ter considerado as condições gerais de integridade mecânica das tubulações do pré-evaporador 3 – ainda que fosse realizada após o incidente –, o que não foi evidenciado na documentação oriunda do RDI enviado.

A descrição técnica detalhada da constituição dos materiais usados na fabricação das tubulações do pré-evaporador 3, apresentada no item 4.1.3.2.1 deste relatório, busca mostrar a importância do conhecimento dos materiais utilizados nos equipamentos.

Com esse conhecimento, é possível proceder planos de manutenção preventivo e inspeções periódicas, principalmente para as situações em que são previsíveis as ocorrências de ambientes corrosivos.

Conforme já foi mencionado, a Denusa não apresentou nenhum documento que comprovasse e avaliasse a condição metalográfica e estrutural das partes internas dos pré-evaporadores desde sua concepção, em 2005.

Figura 26: Árvore de falhas – Evento topo e causa raiz 1.



Fonte: Elaboração própria a partir de informações descritas na documentação enviada pela Denusa.

### **5.3.2. Fator causal nº 2: Uso inadequado de equipamentos eletrônicos sem especificação para áreas classificadas.**

A maior dificuldade em muitos casos de incidente é identificar com precisão a fonte de ignição que propiciou a ocorrência de incêndios e explosões.

A situação se torna mais preocupante em áreas classificadas, em decorrência de ambientes que possuem atmosferas explosivas, para as quais se espera a devida certificação de todos os equipamentos elétricos que estejam nelas instaladas.

Para tal, busca-se analisar e verificar através de detectores e explosímetros, áreas que são consideradas classificadas e ambientes que são propícios à formação de atmosferas explosivas, a exemplo de espaços confinados e pontos de drenagem de líquidos inflamáveis.

O estudo de área classificada, bem como a implementação das recomendações previstas, é obrigatório conforme descreve a Resolução ANP nº 734/2018 (Inciso VI, do § 1º, do Artigo 9º).

Como recomendação destes estudos, há a obrigatoriedade do uso de equipamentos eletrônicos, previstos também Norma Regulamentadora da NR-10, com especificações voltadas para operação em áreas classificadas, evitando assim fontes de ignição geradas por faíscas elétricas de componentes elétricos.

*“10.2.4 Os estabelecimentos com carga instalada superior a 75 kW devem constituir e manter o Prontuário de Instalações Elétricas, contendo, além do disposto no subitem 10.2.3, no mínimo:*

- a) conjunto de procedimentos e instruções técnicas e administrativas de segurança e saúde, implantadas e relacionadas a esta NR e descrição das medidas de controle existentes;*
- b) documentação das inspeções e medições do sistema de proteção contra descargas atmosféricas e aterramentos elétricos;*
- c) especificação dos equipamentos de proteção coletiva e individual e o ferramental, aplicáveis conforme determina esta NR;*
- d) documentação comprobatória da qualificação, habilitação, capacitação, autorização dos trabalhadores e dos treinamentos realizados;*
- e) resultados dos testes de isolamento elétrica realizados em equipamentos de proteção individual e coletiva;*
- f) certificações dos equipamentos e materiais elétricos em áreas classificadas;***

g) relatório técnico das inspeções atualizadas com recomendações, cronogramas de adequações, contemplando as alíneas de “a” a “f.” (grifo nosso)

Neste aspecto, a Norma Regulamentadora NR-20, por tratar especificamente das operações com substâncias inflamáveis e combustíveis, substâncias essas que podem formar atmosferas explosivas, descreve a obrigatoriedade do controle de fontes de ignição.

*“20.13 Controle de fontes de ignição*

*20.13.1 Todas as instalações elétricas e **equipamentos elétricos fixos, móveis e portáteis, equipamentos de comunicação**, ferramentas e similares **utilizados em áreas classificadas**, assim como os equipamentos de controle de descargas atmosféricas, **devem estar em conformidade com a Norma Regulamentadora n.º 10.***

*20.13.2 O empregador deve implementar medidas específicas para controle da geração, acúmulo e descarga de eletricidade estática em áreas sujeitas à existência de atmosferas inflamáveis, em conformidade com normas técnicas nacionais e, na ausência ou omissão destas, normas internacionais.” (grifo nosso)*

Conforme já foi mencionado, no quadro 6 há descrição de relato apresentado pela Polícia Técnico-Científica da presença de lanterna ligada no interior do pré-evaporador após o incidente.

Enfoque-se, novamente, o texto 9, que descreve o mínimo de energia necessária para ignição de uma mistura de gás hidrogênio com o ar.

### **5.3.2.1. Causa raiz 2: Ausência de treinamento em áreas classificadas.**

Na ação de fiscalização realizada pelos técnicos da ANP, conforme já mencionado, não foram apresentadas evidências da realização de treinamentos em áreas classificadas para os funcionários da Denusa.

A própria condição em que se deu o incidente, bem como dos eventos que o precederam, são indicativos de desconhecimento dos riscos associados às atmosferas explosivas.

A realização de treinamentos para trabalhos em áreas classificadas é exigência prevista na Norma Regulamentadora NR-10 (subitem 10.8.8.4), sendo previstos também na Resolução ANP nº 734/2018 (Inciso III, do § 1º, do Artigo 9º).

*“10.8.8.4 Os trabalhos em áreas classificadas devem ser precedidos de treinamento específico de acordo com risco envolvido.”*

### **5.3.2.2. Causa raiz 3: Descumprimento das exigências da Norma Regulamentadora NR-10.**

Conforme já foi mencionado, não foram apresentadas evidências de treinamentos em áreas classificadas.

Quanto ao uso de equipamentos com especificações voltadas para operação em áreas classificadas, a Norma Regulamentadora NR-10 traz a seguinte descrição, já apresentada no item 5.3.2:

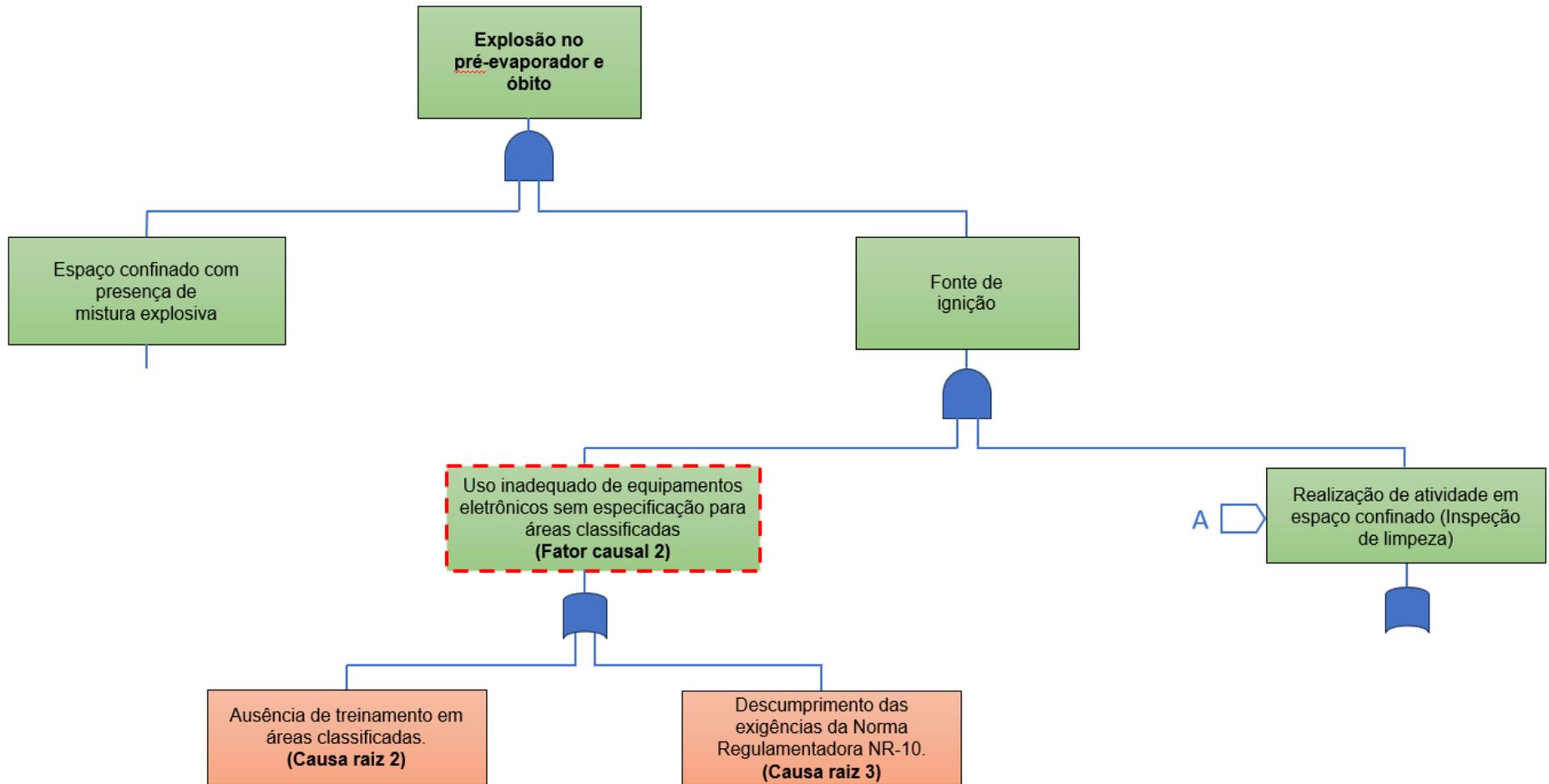
*“10.2.4 Os estabelecimentos com carga instalada superior a 75 kW devem constituir e manter o Prontuário de Instalações Elétricas, contendo, além do disposto no subitem 10.2.3, no mínimo:*

*(...)*

*f) certificações dos equipamentos e materiais elétricos em áreas classificadas;*

*(...)”*

Figura 27: Árvore de falhas – Causas raízes 2 e 3.



Fonte: Elaboração própria a partir de informações descritas na documentação enviada pela Denusa.

### **5.3.3. Fator causal n° 3: Descumprimento de procedimentos.**

Quanto aos procedimentos, foi possível avaliar que determinados eventos relacionados ao incidente foram decorrentes de descumprimento de procedimentos específicos da técnica de limpeza química, a saber:

- A Denusa não tinha procedimento específico para limpeza química dos pré-evaporadores, sendo usado apenas as orientações apresentadas pela empresa detentora da tecnologia;
- Entrada em espaço confinado sem monitoramento do ambiente, sendo que a empresa detentora da tecnologia de limpeza química já tinha alertado sobre a possibilidade de formação de gás hidrogênio;
- Antes do início da atividade, foi aberta apenas uma escotilha, sendo que o equipamento possui 4 escotilhas. Tal ação deveria ser realizada logo após o término da limpeza, visando a ventilação do ambiente e diluição de possível formação de atmosfera inflamável, conforme apontado pela empresa detentora da tecnologia de limpeza; e
- A tomada de decisão dos funcionários envolvidos na inspeção da lavagem, de abertura de uma única escotilha, evidencia a ausência de treinamento nos riscos relacionados ao processo de limpeza química.

A existência de procedimentos operacionais incompletos ou deficientes podem acarretar descumprimento total das instruções descritas, em decorrência da perda de confiabilidade no documento, evidente quando determinadas situações não estão previstas, tornando o documento incompleto, ou descritas sem detalhamento, a exemplo da descrição apontada no item 3.1.1 deste relatório – Eventos iniciais –, de que algumas intervenções devido a entupimentos prolongaram o tempo da etapa em curso.

Além dos procedimentos operacionais, há também a possibilidade da emissão de Ordem de Serviço, conforme descreve a Norma Regulamentadora NR-1, que são instruções por escrito que descrevem precauções visando evitar acidentes do trabalho ou doenças ocupacionais. A ordem de serviço pode estar contemplada em procedimentos de trabalho e/ou outras instruções pertinentes.

#### ***5.3.3.1. Causa raiz 4: Treinamentos não efetivos nos procedimentos de limpeza.***

Conforme foi mencionado, a tomada de decisão dos funcionários envolvidos na inspeção da lavagem, de abertura de uma única escotilha, evidencia a ausência de treinamentos, ou realização de treinamentos não efetivos nos riscos relacionados ao processo de limpeza química e nas ações necessárias para a operação segura do processo.

#### ***5.3.3.2. Causa raiz 5: Procedimentos incompletos.***

A ausência de procedimento formal elaborado pela Denusa, com instruções “passo-a-passo” para o desenvolvimento das atividades relacionadas à limpeza química, sendo usadas apenas as instruções descritas pela empresa detentora da técnica de limpeza, tornou tais instruções um procedimento incompleto, já que não houve análise dos riscos associados à atividade e nem de possíveis externalidades que pudessem ocorrer, a exemplo das intervenções devido a entupimentos que prolongaram o tempo da etapa em curso.

Importante ressaltar que relatos técnicos relacionados à escolha da técnica de limpeza química, atribuem a vantagem de eliminação da necessidade de atividades internas nos equipamentos, evitando a constante entrada em espaços confinados. Procedimento elaborado pela Nalco orienta que o resultado da limpeza química deverá ser avaliado através de inspeção interna.

Todavia, tal benefício não estava sendo verificado nas operações da Denusa, sendo que os funcionários continuavam a adentrar no equipamento, sem explicações e indicações de parâmetros que deveriam ser avaliados e descritos em procedimento que justificassem a continuidade da referida ação.

#### ***5.3.3.3. Causa raiz 6: Ausência de gestão de segurança operacional.***

Partindo-se das informações apresentadas inicialmente pela Denusa, de posse das condições gerais do cenário e eventos relacionados ao incidente, é possível constatar que a gestão e os funcionários não tinham ciência dos riscos associados na implementação da nova técnica de limpeza dos pré-evaporadores.

Adiante, a comissão de investigação da ANP lista algumas observações que demonstram a ausência de um sistema de gestão atuante e eficiente na implementação de ações e documentos pertinentes à segurança operacional:

- Ausência de análise dos riscos associados à nova tecnologia adotada;
- Ausência de procedimento operacional consolidado e específico desenvolvido pela Denusa, referente à nova atividade;
- Falha na programação da atividade, caracterizada pela ausência de emissão de Ordem de Serviço e ausência de Permissão de Trabalho para atividade em espaço confinado, tendo esta última resultado em realização da atividade sem a devida ventilação e falta de monitoramento do ambiente; e
- Descumprimento tácito de Normas Regulamentadoras, como a liberação da entrada de funcionários em espaço confinado sem o devido treinamento e realização de atividades com equipamentos elétricos que não são apropriados para funcionarem sob atmosferas explosivas.

Ainda sobre a gestão de segurança operacional, no item 5.1 deste relatório foi apresentada parte de Norma ISO 45001 - *Sistemas de Gestão de Saúde e Segurança Ocupacional* e a importância da participação da Direção das empresas na análise crítica.

#### **5.3.3.4. Causa raiz 7: Ausência de Ordem de Serviço de segurança.**

Ainda que a atividade de inspeção interna do equipamento após a limpeza química não fosse realizada com a Permissão de Trabalho, bem como não fosse plenamente abrangida em procedimento operacional, caso a Ordem de Serviço de segurança fosse emitida, considerando as diretrizes apresentadas pela Norma Regulamentadora NR-1, ela descreveria precauções visando evitar acidentes do trabalho ou doenças ocupacionais.

Entre as principais vantagens alcançadas com a Ordem de Serviço de Segurança estão:

- Descrição das atividades que serão realizadas. No caso da nova técnica de limpeza, os funcionários teriam a descrição total das atividades que deveriam ser realizadas;
- Riscos associados à atividade teriam sido identificados e analisados e constariam descritos na Ordem de Serviço;
- Estabelecimento de responsabilidades quanto ao correto uso do EPI e atendimento às normativas legais aplicáveis; e
- Descrição de orientações para prevenção de acidentes e procedimentos a serem adotados em caso de acidentes.

Em suma, a Ordem de Serviço trata-se de um documento de comunicação formal sobre procedimentos de segurança do trabalho entre os funcionários e a gestão de segurança, bem como a efetiva adoção de ações preventivas no ambiente de trabalho, que, se preenchida, poderia ter mitigado a ocorrência do incidente.



#### **5.3.4. Fator causal nº 4: Ausência de monitoramento da presença de atmosfera explosiva.**

Na tomada da decisão pelos funcionários, de adentrar em espaço confinado sem o devido monitoramento do ambiente e abertura de uma única escotilha (pouca ventilação), houve evidente falha, que pode ser interpretada como:

- Desconhecimento das condições adversas de um ambiente confinado e seus riscos associados;
- Desconhecimento dos próprios riscos inerentes ao processo de limpeza química;
- Descumprimento de normativas legais; e
- Desconhecimento de procedimentos operacionais e importância de revisões nesses documentos em situações de mudanças de processos.

Além da ausência de monitoramento da presença de atmosfera explosiva em espaço confinado, é conveniente salientar o relato da Polícia Técnica (quadro 6) quanto à inexistência de placas de identificação de alerta para ambiente de espaço confinado nas partes superiores dos pré-evaporadores 2 e 3.

No RDI encaminhado pela Denusa descreve-se que, por um lapso de comunicação, o setor de Segurança de trabalho não foi avisado acerca da realização da limpeza e, assim, não foi possível realizar o planejamento para monitoramento de atmosfera explosiva. Quanto a esta afirmativa, a comissão de investigação da ANP traz as seguintes observações:

- Em empresas que os funcionários recebem todos os treinamentos necessários, incluindo os treinamentos de reciclagem, dificilmente haverá a realização de atividades sem a devida emissão de Permissão de Trabalho quando esta for requerida;
- Aponta-se sobre “Lapso de comunicação” sem que fosse descrito com clareza o tipo de falha que ocorreu na comunicação, infere-se que a empresa poderia sequer possuir análise de riscos que apontaria esse lapso como um descumprimento de procedimento, ou até mesmos de instrução de trabalho.

#### **5.3.4.1. Causa raiz 8: Ausência de treinamento na Norma Regulamentadora NR-33.**

A decisão pelos funcionários, de adentrar em espaço confinado sem o devido monitoramento do ambiente poderia ocorrer ainda que os funcionários tivessem treinamentos comprovados em atividades em espaço confinado. Individualizando essa tomada de decisão em um único funcionário, ele a faria com a ciência que: (i) estaria colocando a própria vida em risco; (ii) estaria descumprindo regramentos da empresa quanto à obrigatoriedade da emissão de Permissão de Trabalho; e (iii) poderia ser punido por expor a empresa ao descumprimento de normativa legal. Voltando a generalizar a tomada de decisão como se esta tivesse sido adotada conjuntamente pelos quatro funcionários, acredita-se que seria inviável tal tomada de decisão, considerando unicamente a ciência de colocar a própria vida em risco.

Diante do exposto, com a decisão tomada e executada por quatro funcionários é contundente a evidência que não tinham treinamento específico transcrito na Norma Regulamentadora NR-33.

Na ação de fiscalização realizada pelos técnicos da ANP não foram apresentadas evidências de realização de treinamentos na referida norma.

Ademais, o pré-evaporador 3 foi interditado pelo Ministério do Trabalho até que a Denusa comprovasse a realização do devido treinamento dos funcionários em atividades em espaços confinados.

#### **5.3.4.2. Causa raiz 9: Descumprimento das exigências da Norma Regulamentadora NR-33.**

Para adentrar em espaços confinados, a Norma Regulamentadora NR-33 define como responsabilidades da empresa:

*“33.3.1 É responsabilidade da organização:*

*a) indicar formalmente o responsável técnico pelo cumprimento das atribuições previstas no item 33.3.2 desta NR;*

*b) assegurar os meios e recursos para o responsável técnico cumprir as suas atribuições;*

*c) assegurar que o gerenciamento de riscos ocupacionais contemple as medidas de prevenção para garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores que interagem direta ou indiretamente com os espaços confinados;*

d) providenciar a sinalização de segurança e bloqueio dos espaços confinados para evitar a entrada de pessoas não autorizadas;

**e) providenciar a capacitação inicial e periódica dos supervisores de entrada, vigias, trabalhadores autorizados e da equipe de emergência e salvamento;**

f) fornecer as informações sobre os riscos e as medidas de prevenção, previstos no Programa de Gerenciamento de Riscos, da NR-01 (Disposições Gerais e Gerenciamento de Riscos Ocupacionais), aos trabalhadores que interagem direta ou indiretamente com os espaços confinados;

g) garantir os equipamentos necessários para o controle de riscos previstos no Programa de Gerenciamento de Riscos;

h) assegurar a disponibilidade dos serviços de emergência e salvamento, e de simulados, quando da realização de trabalhos em espaços confinados; e

i) supervisionar as atividades em espaços confinados executadas pelas organizações contratadas, observado o disposto no subitem 1.5.8.1 da NR-01, visando ao atendimento do disposto nesta NR.” (grifo nosso)

Destaca-se no item 33.3.1.e da NR-33 a obrigatoriedade de capacitação para que um trabalhador seja considerado autorizado para realização de atividades em espaços confinados. É importante mencionar que Denusa não apresentou a devida capacitação dos funcionários imediatamente após a ocorrência do incidente.

Quanto à obrigatoriedade de emissão de Permissão de Trabalho da atividade que estava sendo realizada em espaço confinado quando ocorreu o incidente – que também não foi apresentada no momento da ação de fiscalização realizada pelos técnicos da ANP –, ressalta-se o item 33.3.2:

“33.3.2 Compete ao responsável técnico:

a) identificar e elaborar o cadastro de espaços confinados;

**b) adaptar o modelo da Permissão de Entrada e Trabalho - PET de modo a contemplar as peculiaridades dos espaços confinados da organização;**

c) elaborar os procedimentos de segurança relacionados ao espaço confinado;

d) indicar os equipamentos para trabalho em espaços confinados;

e) elaborar o plano de resgate; e

f) coordenar a capacitação inicial e periódica dos supervisores de entrada, vigias, trabalhadores autorizados e da equipe de emergência e salvamento.”

Quanto ao monitoramento do ambiente antes da entrada em espaços confinados, destaca-se o item 33.5.15:

*“33.5.15 Avaliações atmosféricas*

*33.5.15.1 As avaliações atmosféricas iniciais do interior do espaço confinado **devem ser realizadas com o supervisor de entrada fora do espaço confinado, imediatamente antes da entrada dos trabalhadores, para verificar se o seu interior é seguro.***

*33.5.15.2 O percentual de oxigênio (O<sub>2</sub>) indicado para entrada em espaços confinados é de 20,9%, sendo aceitável o percentual entre 19,5% até 23% de volume, desde que a causa da redução ou enriquecimento do O<sub>2</sub> seja conhecida e controlada.*

*33.5.15.3 **O monitoramento da atmosfera deve ser contínuo durante a permanência dos trabalhadores no espaço confinado,** de forma remota ou presencial, conforme previsto no procedimento de segurança.”*

Pelo relato encaminhado pela empresa, não houve monitoramento do ambiente visando averiguar as condições atmosféricas do interior do espaço confinado. Tal observação também foi registrada no Laudo emitido pela Polícia Técnica.

Descrições apresentadas da Norma Regulamentadora NR-33 foram retiradas da versão que entrou em vigor no dia 03 de outubro de 2022, conforme redação dada pela Portaria MTE<sup>24</sup> n.º 1.690, de 15 de junho de 2022, com alterações/atualizações publicadas no Diário Oficial da União de 24/06/22.

Ainda que o incidente tenha ocorrido em 2018, os pontos analisados não foram alterados, por serem princípios básicos que devem ser considerados para realização de atividades em espaços confinados.

Fundamenta-se a argumentação no texto 13, apresentado na íntegra conforme descrito no sítio eletrônico do Ministério do Trabalho e Emprego<sup>25</sup>.

---

<sup>24</sup> MTE - Ministério do Trabalho e Emprego.

<sup>25</sup> Link: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-33-nr-33>. Consulta realizada em 03/07/2023.

## TEXTO 13

Caracterizada como Norma Especial pela Portaria SIT nº 787, de 28 de novembro de 2018, a NR-33 teve duas revisões pontuais. A primeira revisão foi deliberada durante a 68ª reunião da CTPP, realizada nos dias 13 e 14 de março de 2012, que alterou a periodicidade e carga horária da capacitação de supervisores de entrada, vigias e trabalhadores autorizados. A revisão de 2019, deliberada durante a 97ª reunião da CTPP, em 04 e 05 de junho de 2019, teve como objetivo harmonizar a NR-33 com a Norma Regulamentadora nº 01 – Disposições Gerais (NR-01), especialmente quanto à capacitação para trabalhos em espaços confinados.

A NR-33 é uma norma para trabalhos confinados, que estabelece medidas de prevenção, medidas administrativas, medidas pessoais, capacitação e medidas para situações de emergências, sendo a primeira norma regulamentadora a prever a realização de avaliação dos fatores de riscos psicossociais na sua redação.

É oportuno ressaltar que treinamentos e emissão de Permissão de Trabalho para trabalhos em espaços confinados é, também, exigência prevista na Resolução ANP nº 734/2018 (Incisos III e VIII, do § 1º, do Artigo 9º).

### ***5.3.4.3. Causa raiz 10: Ausência de gerenciamento de mudanças.***

Considerada como um dos pontos mais importantes da gestão de segurança operacional de uma empresa, a gestão de mudanças está relacionada ao gerenciamento oriundo de mudanças nas operações, processos, sistemas, procedimentos, padrões, instalações, equipamentos ou força de trabalho, de forma que os riscos advindos destas alterações permaneçam em níveis aceitáveis.

Tal entendimento já é prática adotada, sendo esta já obrigatória para refinarias de petróleo autorizadas pela ANP, por exemplo, que são obrigadas a implementar a Prática de gestão de mudança conforme diretrizes da Resolução ANP

nº 05, de 29/01/2014, que versa sobre o Sistema de Gerenciamento de Segurança Operacional – SGSO nas refinarias.

Diversos acidentes têm como causas-raízes a falha ou ausência de um sistema de gestão de mudança, em que alterações nos padrões técnicos de especificação de projeto podem afetar a integridade mecânica de um equipamento ou sistema sem que passem por criteriosa avaliação.

Em termos gerais da Gestão de mudança, o gerenciamento deve ser realizado por uma equipe que seja formada, preferencialmente, por funcionários das áreas envolvidas, visando à elaboração de plano de ação para as diferentes etapas da mudança pretendida.

Objetivando ressaltar a importância em contexto mundial das boas práticas voltadas para o gerenciamento de mudança, o trecho abaixo foi retirado do sítio eletrônico da *Occupational Safety & Health Administration – OSHA*, do Departamento do Trabalho dos Estados Unidos da América, em que o tema “gestão de mudanças” é parte do *Process Safety Management – PSM*.

Para entendimento do PSM, a OSHA considera *Process* como: “*Processo significa qualquer atividade que envolva um produto químico altamente perigoso, incluindo o uso, armazenamento, fabricação, manuseio ou movimentação desses produtos químicos no local, ou qualquer combinação dessas atividades. Para os fins desta definição, quaisquer grupos de vasos interconectados ou separados, localizados de uma maneira que possa envolver um produto químico altamente perigoso em uma liberação potencial, é considerado um processo único.*” (Interpretação nossa)

Em relação ao caso em tela, denota-se que a mudança na técnica de limpeza mecânica para química foi primordial para alterar as condições de segurança operacional do processo de limpeza dos pré-evaporadores. Tal mudança não foi gerenciada, conforme preconizam as boas práticas de segurança, sendo esta falha recorrente em diversos registros históricos de incidentes em escala mundial.

Algumas falhas que foram apresentadas neste relatório e que reforçam a ausência de gerenciamento na mudança supramencionada são:

- Não foi realizada análise dos riscos associados à nova técnica de limpeza que foi implementada;

- O estudo detalhado sobre materiais empregados na construção do pré-evaporador onde ocorreu o incidente, item 4.1.3.2.1 deste relatório, reforça a possibilidade de reações com ácidos, formando gás hidrogênio. Analisando por este prisma, a Denusa não apresentou nenhum estudo relacionado à integridade mecânica do pré-evaporador 3;
- Ausência de procedimento detalhado para realização de lavagem química, sendo utilizado apenas as orientações descritas pela empresa detentora da tecnologia de lavagem química; e
- Descumprimento de normativas legais.

#### ***5.3.4.4. Causa raiz 11: Ausência de análise de risco.***

Conforme já foi mencionado em vários trechos deste relatório, a ausência de análise dos riscos associados à nova técnica de limpeza foi fator primordial na indicação de falha no sistema de gestão, que contribuiu para a ocorrência do incidente em estudo.

Corroborando com essa informação o fato de que, no momento da ação de fiscalização realizada pelos técnicos da ANP, verificou-se que a análise de risco relacionada ao processo de produção de etanol não estava completamente implementada, conforme determinado na Resolução ANP nº 734/2018 (Inciso I, do § 1º, do Artigo 9º) e no Manual Orientativo de Vistorias, item 4.1, versão 1, de 11/07/2018.

#### ***5.3.4.5. Causa raiz 12: Ausência de revisão e atualização de procedimentos.***

A ausência de procedimento formal elaborado pela Denusa, com instruções “passo-a-passo” para o desenvolvimento das atividades relacionadas à limpeza química, em termos de gestão geral dos procedimentos, apresenta outra falha no sistema de gestão, que foi a ausência de atualização de procedimento com a mudança que foi implementada.

Por consequência, ao adotar apenas as orientações descritas pela empresa detentora da nova técnica de limpeza, estas passaram a configurar como um

procedimento incompleto que levaram ao seu descumprimento por falta de conhecimentos quanto aos riscos associados à execução da atividade.

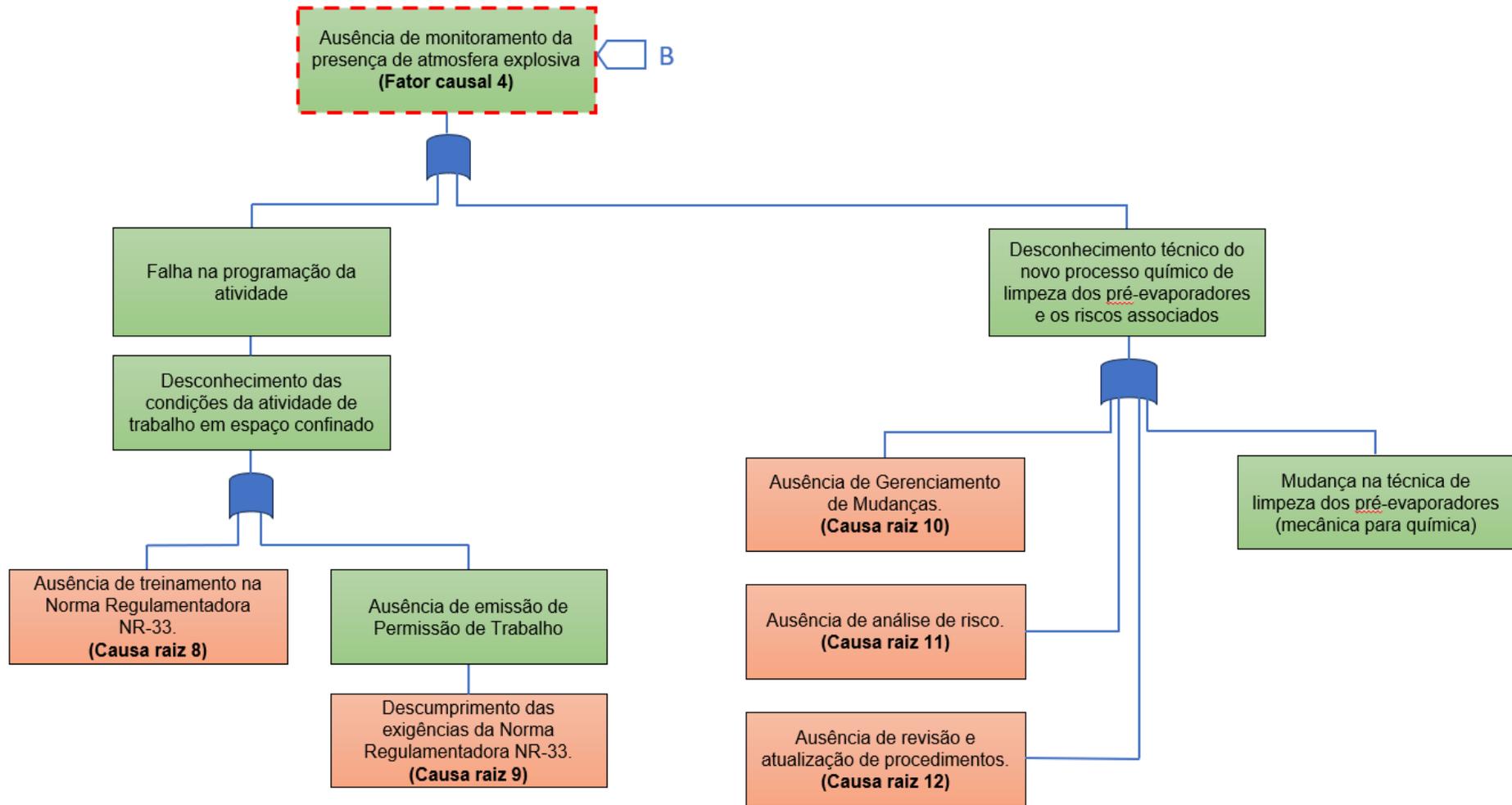
A ausência de monitoramento do espaço confinado, antes da entrada no pré-evaporador, bem como a ventilação deficiente, sem que todas as escotilhas fossem abertas, estão atreladas à ausência da atualização de procedimento e de revisão geral de procedimentos que fossem impactados pela mudança implementada, a exemplo dos procedimentos de manutenção dos pré-evaporadores.

A Norma Regulamentadora NR-20 traz essa importante descrição em termos de mudanças, que denota a estreita relação com os procedimentos operacionais, não deixando de salientar a relevância da reciclagem de treinamentos nos procedimentos operacionais, quando atualizados e/ou revisados.

*“20.9.2 **Os procedimentos operacionais referidos no item 20.9.1 devem ser revisados e/ou atualizados**, no máximo trienalmente para instalações classes I e II e quinzenalmente para instalações classe III ou em uma das seguintes situações:*

- a) recomendações decorrentes do sistema de gestão de mudanças;***
- b) recomendações decorrentes das análises de riscos;*
- c) modificações ou ampliações da instalação;*
- d) recomendações decorrentes das análises de acidentes e/ou incidentes nos trabalhos relacionados com inflamáveis e líquidos combustíveis;*
- e) solicitações da CIPA ou SESMT”. (grifo nosso)*

**Figura 29:** Árvore de falhas – Causas raízes 8, 9, 10, 11 e 12.



Fonte: Elaboração própria a partir de informações descritas na documentação enviada pela Denusa.

## 5.4. Avaliação das ações

### 5.4.1. Avaliação das medidas mitigadoras

O item 3.1.6 do presente relatório tratou da descrição das medidas mitigadoras do incidente, as quais foram apresentadas no RDI elaborado pela Denusa.

A Denusa apresentou medidas que já deveriam estar implementadas por exigência legal, não sendo mitigadoras em si, a exemplo da realização de medição de gases antes de entrar em espaços confinados e emissão de Permissão de Trabalho.

Quanto à proibição de uso celular, ainda que fosse interpretada como mitigadora, não seria suficiente, já que o foco deve ser no levantamento imediato de áreas classificadas e com potencial de gerar atmosferas explosivas, e adequar os dispositivos elétricos quanto à certificação para operações em áreas classificadas.

Importante salientar que as medidas mitigadoras são aquelas tomadas pela empresa visando o isolamento das áreas afetadas pelo incidente, controle de acesso de pessoal, paradas de unidades e equipamentos, replanejamento operacional, visando a continuidade operacional segura das instalações, se for o caso, uso de brigada de incêndio própria ou não, dentre outros, e/ou minimizar os danos aos envolvidos e ao meio ambiente.

### 5.4.2. Avaliação das ações corretivas e preventivas

O presente item discorre acerca das ações corretivas e preventivas oriundas da conclusão da investigação interna da empresa e enumera algumas ponderações da comissão de investigação da ANP, a respeito dos mesmos.

#### 5.4.2.1. Apresentação das ações no RDI

No quadro 4 são apresentadas as 8 (oito) recomendações descritas pela Denusa, todas guardam relação com as causas raízes que foram levantadas.

Adicionalmente, foram apresentadas algumas medidas corretivas que já estavam sendo implementadas até a emissão do RDI. Neste quesito, a Denusa descreve medidas de caráter obrigatório exigidas por normativas legais que já deveriam estar implementadas, por exceção da implementação de Diálogos Diários

de Segurança, que se enquadra nas boas práticas aplicadas em gestão de segurança.

Quanto às recomendações que foram apresentadas, todas apresentam falhas gerenciais, típicas das causas raízes, em sua maioria relacionadas à falta de adequação às normativas legais.

Convém destacar uma exceção para a recomendação específica que externa a necessidade de melhorias no acesso à brigada de emergência para o piso superior dos pré-evaporadores. Em comento, fica entendido que esta ação pode ser preventiva em termos de boas práticas, mas também corretiva quando se trata de situações de resgate em espaços confinados, conforme situação ocorrida no incidente, em que neste caso há previsão legal descrita na Norma Regulamentadora NR-33, quanto ao planejamento prévio e treinamentos específicos.

## 5.5. Ações tomadas pela ANP

### 5.5.1. Ação de fiscalização – *Vistoria in loco*

Prática padrão adotada pela Superintendência de Produção de Combustíveis – SPC da ANP, após a ciência de ocorrência de acidente grave<sup>26</sup>, é prioritariamente planejada ação de fiscalização visando a *vistoria in loco* das instalações industriais do agente regulado.

Em 05/09/2018, a SPC deslocou servidores à instalação produtora de etanol da Denusa, localizada em Jandaia-GO, para realização de ação de fiscalização com o objetivo de verificar o acidente ocorrido e acompanhar as ações imediatas que estavam sendo tomadas.

Não houve necessidade de interdição parcial do pré-evaporador 3, já que o equipamento já estava interditado por determinação do Ministério do Trabalho, cabendo à ANP solicitar toda documentação necessária à adequação das diretrizes apontadas no Manual Orientativo de Vistorias.

Quanto à informação descrita pela Denusa no item 3.1.4.1, pertinente aos danos ao patrimônio, complementa-se que houve danos no 2º pré-evaporador com a perda de parte do isolamento térmico e chapas de revestimento.

---

<sup>26</sup> Acidente grave: tipo de acidente em que ocorre ferimento grave, fatalidade, descarga maior, incêndio, explosão, falha estrutural, colisão, abalroamento, adernamento, afundamento, naufrágio, queda de helicóptero ou perda de controle de poço. (Definição descrita na Resolução ANP nº 882/2022).

## 6. ABRANGÊNCIA

### 6.1. Não conformidades

O presente item objetiva apontar, após verificação de todos os argumentos no RDI, bem como dos demais documentos colhidos em razão da ação de fiscalização, as não conformidades observadas e que levaram ao acidente na Denusa.

No que diz respeito aos diplomas legais diretamente ligados ao tema Segurança Operacional - conforme já apresentado no item 2.2 deste relatório - para efeito da alocação das não conformidades anotadas pela comissão de investigação da ANP, importa ressaltar que estas se posicionam à luz da Resolução ANP nº 734/2018, com embasamento nas diretrizes elencadas no Manual Orientativo de Vistorias vigente na época.

O entendimento da comissão de investigação da ANP sobre o conceito de causa raiz encontra amparo na Resolução ANP nº 44/2009 e Resolução ANP nº 882/2022. Entretanto, conforme já delineado no item 5.1 deste relatório, o RDI encaminhado traz os resultados das causas raízes, mas não foram apresentados os fatores causais relacionados.

Desse modo, as não conformidades encontradas se relacionam às causas raízes encontradas pela equipe da comissão de investigação da ANP e não tão somente às causas raízes apresentadas pelo RDI. Numa frase: identifica-se não conformidades em consonância com o RDI e outras tantas da análise interna da ANP.

Considerando o conceito de Não Conformidade como *“prática ou procedimento que se encontra em desacordo com requisito disposto nas normas e/ou regulamentação aplicável à atividade, ou que vai de encontro às Melhores Práticas da Indústria do Petróleo em matéria de segurança operacional, e cuja ocorrência é demonstrada por meio de evidências objetivas”*, a comissão de investigação da ANP organizou o quadro 11 com a indicação de Não Conformidades que foram identificadas e as respectivas normas aplicáveis que não foram atendidas.

Importante ressaltar que as não conformidades aqui citadas demandam ações corretivas e preventivas a serem adotadas por todas as instalações produtoras de biocombustíveis autorizadas pela ANP.

**Quadro 11:** Não Conformidades apontadas pela comissão de investigação da ANP.

| Não Conformidade  | Norma aplicável               | Ação   |
|---|-------------------------------|--|
|   | Item 4.1 do MOV <sup>27</sup> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Elaboração de análise de risco específica, estruturada com base em metodologias apropriadas.</li> <li>2. Deve englobar, no mínimo, os cenários de vazamentos, derramamentos, incêndios e explosões, além de outros cenários acidentais contemplados no Plano de Resposta à Emergência</li> </ol> |
| Operação de técnica de limpeza sem avaliação dos riscos associados. | Item 20.7.1 da NR-20          | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Elaboração de Análise de Risco.</li> </ol>   |

<sup>27</sup> Manual Orientativo de Vistorias – Versão 1 de 11/07/2018.

|  |                           |  |
|--|---------------------------|--|
| Operação de técnica de limpeza sem procedimento específico.  | Item 4.2 do MOV           | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Elaboração de procedimento operacional específico.</li> <li>2. Necessidade da existência de procedimentos operacionais bem instruídos, atualizados e com abrangência para todos os processos químicos que são realizados.</li> </ol> |
|  | Item 20.9.1 da NR-20      | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Elaboração de procedimentos operacionais.</li> </ol>   |
| Operação de técnica de limpeza sem avaliação das condições de integridade mecânica das tubulações do pré-evaporador. | Item 4.9 do MOV           | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Realização de inspeção nas tubulações do pré-evaporador em decorrência de limpeza realizada com substâncias ácidas. Possibilidade de corrosão eletroquímica.</li> </ol>  |
|  | Item 20.10.4.d.e da NR-20 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Realização de inspeção nas tubulações do pré-evaporador em decorrência de limpeza realizada com substâncias ácidas (existência de condições agressivas).</li> <li>2. Possibilidade de corrosão eletroquímica.</li> </ol>             |

|  |  |   |
|--|--|---|
| <p>1. A ANP não foi informada imediatamente da ocorrência do incidente.</p> <p>2. A ANP tomou ciência do incidente através da mídia.</p> | <p>Resolução ANP nº44/2009<br/>(vigente na época do incidente)</p> | <p>1. O concessionário ou a empresa autorizada previstos no art. 1º comunicarão imediatamente à ANP, na forma prescrita no Anexo I, os incidentes definidos no art. 1º, parágrafo único, inciso I desta Resolução envolvendo unidades próprias ou de terceiros.</p> |
| <p>Realização de atividade em espaço confinado sem emissão de Permissão de Trabalho.</p>   | <p>Item 4.8 do MOV</p>   | <p>1. Deve ser elaborada permissão de trabalho (PT), baseada em análise de risco, para atividades não rotineiras de intervenção nos equipamentos, nos trabalhos executados em espaços confinados, conforme NR-33.</p>   |
|  | <p>Item 20.10.7.b da NR-33</p>                                     | <p>1. Deve ser elaborada permissão de trabalho para atividades não rotineiras de intervenção na instalação, em espaços confinados, conforme NR-33.</p>  |
|  | <p>Item 33.3.4.a da NR-33</p>                                      | <p>1. Permitir somente a entrada de trabalhadores autorizados em espaços confinados relacionados na Permissão de Entrada e Trabalho - PET;</p>  |

|   |   |  |
|---|---|--|
| Realização de atividade em espaço confinado sem capacitação de pessoal.   | Item 4.3 do MOV<br>Itens 33.3.1.e e 33.7.1.d da NR-33 | 1. Providenciar a capacitação inicial e periódica dos supervisores de entrada, vigias, trabalhadores autorizados e da equipe de emergência e salvamento.   |
| Realização de atividade em espaço confinado sem monitoramento do ambiente.  | Itens 33.5.15.1.e 33.7.1.b da NR-33                   | 1. Proceder as avaliações atmosféricas iniciais do interior do espaço confinado, devendo ser realizadas com o supervisor de entrada fora do espaço confinado, imediatamente antes da entrada dos trabalhadores, para verificar se o seu interior é seguro. |
| Uso de equipamentos elétricos em atmosfera explosiva sem especificações voltadas para operações em áreas classificadas.   | Item 4.6 do MOV<br>Item 10.2.3.f da NR-10             | 1. Proceder a aquisição de equipamentos e materiais elétricos com Certificações em áreas classificadas.  |
| Operação de nova técnica de limpeza (mudança de limpeza mecânica para química) sem gerenciamento de mudança, acarretando a realização da operação sem procedimento operacional. | Item 20.9.2.a da NR-20                                | 1. Proceder a implementação de sistema de gestão de mudança.   |

Fonte: Elaboração própria a partir de informações enviadas pela empresa Denusa.

## 6.2. Recomendações para a indústria - ABRANGÊNCIA

As recomendações deste item servem para guiar os Agentes Autorizados atuantes nas instalações produtoras de biocombustíveis para execução das lições aprendidas com o acidente em questão, de forma a prevenir a recorrência de acidentes semelhantes em virtude das mesmas causas raízes.

Tais recomendações devem ser rigorosamente observadas pelas empresas com instalações produtoras de biocombustíveis autorizadas pela ANP, especialmente naquelas cujo arranjo tecnológico e operacional porventura possa se assemelhar ao relatado pela comissão de investigação da ANP:

1. Efetuar e registrar análise dos riscos associados de todas as mudanças em tecnologias industriais, incluindo, mas não se limitando, a utilização de novos equipamentos, tratamentos de águas e efluentes, limpezas de equipamentos, utilidades, sistemas de automação e processos químicos em geral.
2. Implementar sistema para executar gerenciamento de mudanças, de forma que os riscos advindos destas alterações permaneçam em níveis aceitáveis e controlados; incluir neste sistema particular a previsão de atualização e revisão de todos os documentos impactados por determinada mudança e garantir a devida capacitação da força de trabalho nesta sistemática.
3. Conforme extensamente demonstrado no presente relatório, o acidente é oriundo de diversas causas raízes, as quais espelham falta de observação e cumprimento tanto em itens descritos no MOV, quanto em normativas técnicas e legais. No sentido de atenuar ruídos que possam ser a geratriz de incidentes, a adoção de um sistema de gestão focado na segurança operacional que observe fielmente as normas técnicas e legais é prática importante e imprescindível, a exemplo do que já ocorre em refinarias no País, visando o pleno atendimento e gerenciamento, mas não se limitando:
  - 3.1. das boas práticas de segurança e preservação do Meio Ambiente;
  - 3.2. das boas práticas de investigação de incidentes;

- 3.3. das diretrizes descritas no Manual Orientativo de Vistorias, em conformidade ao disposto no parágrafo 2º, do artigo 9º, da Resolução ANP n° 734/2018; e
  - 3.4. das diretrizes previstas em normativas legais pertinentes à segurança operacional e Meio Ambiente.
4. Observar o cumprimento do plano de resgate previsto pela Norma Regulamentadora NR-33, e promover a boa sinergia com o Plano de Resposta à Emergência implementado, efetuando simulados com as equipes.
  5. Proceder avaliação rigorosa das fichas de informação de segurança de produtos químicos – FISPQs, principalmente das informações pertinentes à incompatibilidade química. Diversas substâncias químicas possuem propriedades tão peculiares quanto à reatividade em processos químicos e condições operacionais, que podem produzir misturas com elevados potenciais de riscos.

## 7. CONCLUSÃO

O presente relatório apresentou o resultado da investigação do acidente ocorrido nas dependências industriais da empresa Denusa no ano de 2018. A comissão de investigação da ANP se baseou nas informações colhidas em missão *in loco*, após controle do sinistro, bem como relatos da empresa e documentos solicitados para a Denusa.

Evidencia-se patente fragilidade na percepção de riscos, em especial, nos procedimentos de manutenção e ausência de gerenciamento de mudanças da referida empresa. Esta percepção deficiente levou à displicência no cumprimento contínuo de diversos itens do Manual Orientativo de Vistorias, como também em diversas Normas Técnicas e Legais, conforme largamente exposto neste relatório.

Entende-se como necessidade premente a revisão criteriosa nos procedimentos de manutenção da empresa e, desejável, adicionalmente, nos procedimentos operacionais.

Revisar os procedimentos e implementar sistema de gerenciamento de mudanças, tendo como âncora e respaldo em Normas Técnicas e Legais afetas à segurança operacional e ocupacional, bem como garantir sua efetiva execução e realizar os devidos treinamentos na força de trabalho afetada, se constituem como mínimo viável para uma operação com risco de acidentes em nível aceitável e conhecido.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Publicado no sítio eletrônico do Ministério do Trabalho e Emprego. Consulta realizada em 27/06/2023. Link de acesso: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora>.
- [2]. Sítio eletrônico da Associação Brasileiras de Normas Técnicas. Consulta realizada em 11/06/2023. Link de acesso: <https://www.abnt.org.br/institucional/sobre>.
- [3]. ARAÚJO, FREDERICO AUGUSTO DANTAS DE. **Intensificação do processo de purificação do caldo da cana-de-açúcar por decantação química e adsorção**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2017
- [4]. Sítio eletrônico da Jornal Cana. Consulta realizada em 29/06/2023. Link de acesso: <https://jornalcana.com.br/artigo-conheca-os-tipos-de-evaporadores-de-caldo-usados-nas-usinas/>
- [5]. DIAS, MARINA OLIVEIRA DE SOUZA. **Desenvolvimento e otimização de processos de produção de etanol de primeira e segunda geração e eletricidade a partir da cana-de-açúcar**. Tese de Doutorado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química. Campinas, SP: [s.n.], 2011.
- [6]. Sítio eletrônico da USP. Consulta realizada em 29/06/2023. Link de acesso: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4119365/mod\\_resource/content/1/aula7.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4119365/mod_resource/content/1/aula7.pdf)
- [7]. QUAGLIATA, MARIA JIMENA FERREIRA. **Simulação dinâmica de evaporadores para aplicação em biorrefinarias**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2015. Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Química, 2015.
- [8]. Marc Steel India, 2016. **ASTM A 423 Grade 1 Pipes**. Disponível em: <https://www.marcsteelindia.com/astm-a423-gr-1-corten-steel-pipe-tube-manufacturer-supplier/>. Acesso em: 19/06/2023.
- [9]. Steel Technology, 2023. **Corten Steel ASTM A423 Grade 1 Tubes**. Disponível em: <https://www.steel-technology.com/products/corten-steel-tube/corten-steel-astm-a423-grade-1-tubes>. Acesso em: 19/06/2023.
- [10]. Infomet, 2023. **Aços Patináveis (Corten)**. Disponível em: <https://www.infomet.com.br/site/acos-e-ligas-conteudo-ler.php?codConteudo=201>. Acesso em: 19/06/2023.
- [11]. Coppermetal, 2022. **As diferenças entre o aço ASTM A36 e SAE 1020**. Disponível em: <https://www.coppermetal.com.br/blog/aco-astm-a36-sae-1020/>. Acesso em: 21/06/2023.

- [12]. AN Aços Nobres, 2023. **Tudo sobre o aço A36**. Disponível em: <https://acosnobre.com.br/blog/aco-a36/>. Acesso em: 21/06/2023.
- [13]. Htsteelmill, 2023. **ASTM A283 Carbon Steel Plate**. Disponível em: [https://www.htsteelmill.com/astm-a283-carbon-steel-plate.html?gclid=Cj0KCQjw1\\_SkBhDwARIsANbGpFuC8h6KgUmTXtsU5WSCD\\_OLU7-YjBkPHe05ixH0VEONWek\\_F7NaZ78aAipZEALw\\_wcB](https://www.htsteelmill.com/astm-a283-carbon-steel-plate.html?gclid=Cj0KCQjw1_SkBhDwARIsANbGpFuC8h6KgUmTXtsU5WSCD_OLU7-YjBkPHe05ixH0VEONWek_F7NaZ78aAipZEALw_wcB). Acesso em: 22/06/2023.
- [14]. BRASIL, MARCOS AUGUSTO STOFF. **Incrustações em evaporadores de usinas de açúcar: prognóstico de formação e prevenção**. Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Ciências.Área de Concentração: Química da Agricultura e no Ambiente) - Centro de energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, 2021).
- [15]. Sítio eletrônico da revista Química e Derivados. Consulta realizada em 30/06/2023. Link de acesso: <https://www.quimica.com.br/limpeza-quimica-novos-conceitos-e-inovacoes-evitam-danos-aos-evaporadores/>
- [16]. MUSETTI, MARINA MAYOR. et al. **Avaliação da viabilidade da alteração do método de limpeza de tanques de evaporação: um estudo de caso em uma usina sucroalcooleira**. XXXVI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. João Pessoa/PB, Brasil, de 03 a 06 de outubro de 2016.
- [17]. LAPORT, GABRIELA CAROLINE PESSANHA. **Análise experimental do fenômeno de boilover em hidrocarbonetos**. Rio de Janeiro: Projeto de Graduação – UFRJ / Escola Politécnica / Curso de Engenharia Ambiental, 2015.
- [18]. FERREIRA, PÂMELA OLIVEIRA BERNARDO. et al. **Corrosão ácida do ferro fundido cinzento e do aço visando a produção de hidrogênio**. Research, Society and Development, v.11, n. 4, e14511427054, 2022. (CC BY 4.0) | ISSN 2525-3409 | DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i4.27054>.
- [19]. CARNEIRO, CARLOS HENRIQUE LOUBACK. **Avaliação de permeação de hidrogênio em célula multitest e susceptibilidade ao trincamento sob tensão em presença de sulfeto de um aço de especificação API 5L X70**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2017. Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, 2017.
- [20]. ESTÊVÃO, TÂNIA ESMERALDA. **O Hidrogênio como combustível**. Relatório do Projecto Final / Dissertação do MIEM. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica. Julho de 2008.
- [21]. Site da Propeq – Projeto e Pesquisa em Engenharia Química. **Usos e principais rotas produtivas do hidrogênio**. Consulta realizada em 02/07/2023. Link de acesso: <https://propeq.com/ usos-producao-hidrogenio/>.
- [22]. Site da White Martins - A Linde Company. Por que o hidrogênio? Além do verde, que outras cores o hidrogênio pode ter? Consulta realizada em 02/07/2023. Link de acesso: <https://www.whitemartins.com.br/gases/buy-compressed-hydrogen-gas-or-liquid-hydrogen>

[23]. Site da revista digital AdNormas. **Os riscos de segurança para a utilização do hidrogênio gasoso e líquido**. Consulta realizada em 02/07/2023.

Link de acesso: <https://revistaadnormas.com.br/2022/11/22/os-riscos-de-seguranca-para-a-utilizacao-do-hidrogenio-gasoso-e-liquido#:~:text=O%20principal%20risco%20no%20manuseio,hidro%C3%AAnio%20%C3%A9%20incolor%20e%20inodoro.>

[24]. General Instruments. **Detector de hidrogênio: mais importante do que nunca**. Consulta realizada em 02/07/2023. Link de acesso: <https://www.generalinstruments.com.br/blog/detector-de-hidrogenio-mais-importante-do-que-nunca.>

[25]. AMARAL, ALINE BUBA. **Estudo de classificação de áreas em uma sala de carregamento de baterias**. Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Curitiba/PR - 2015.

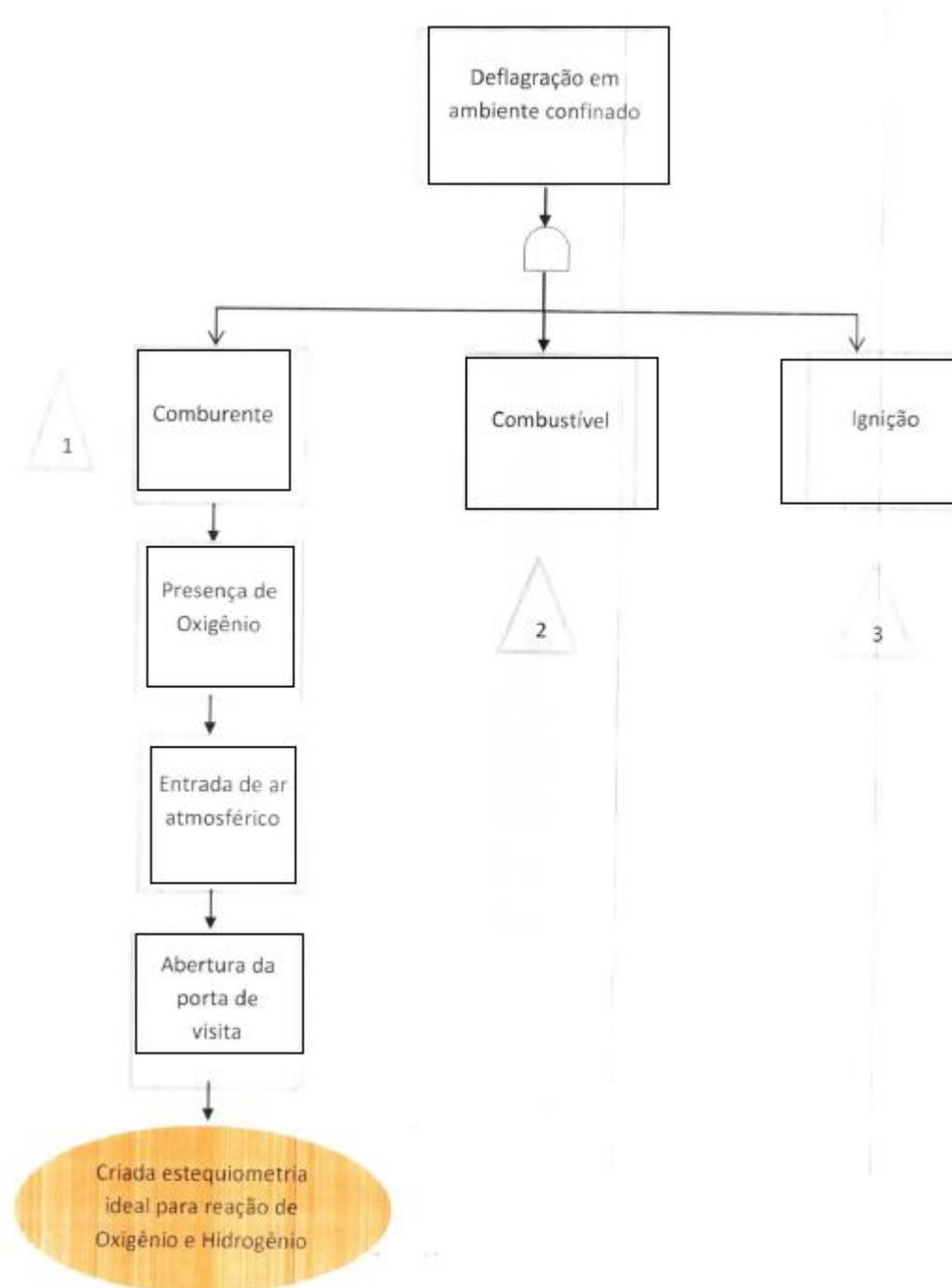
[26]. AGUIAR, MILENA CABRAL. **Análise de causa raiz: levantamento dos métodos e exemplificação**. Dissertação (mestrado). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial, 2014.

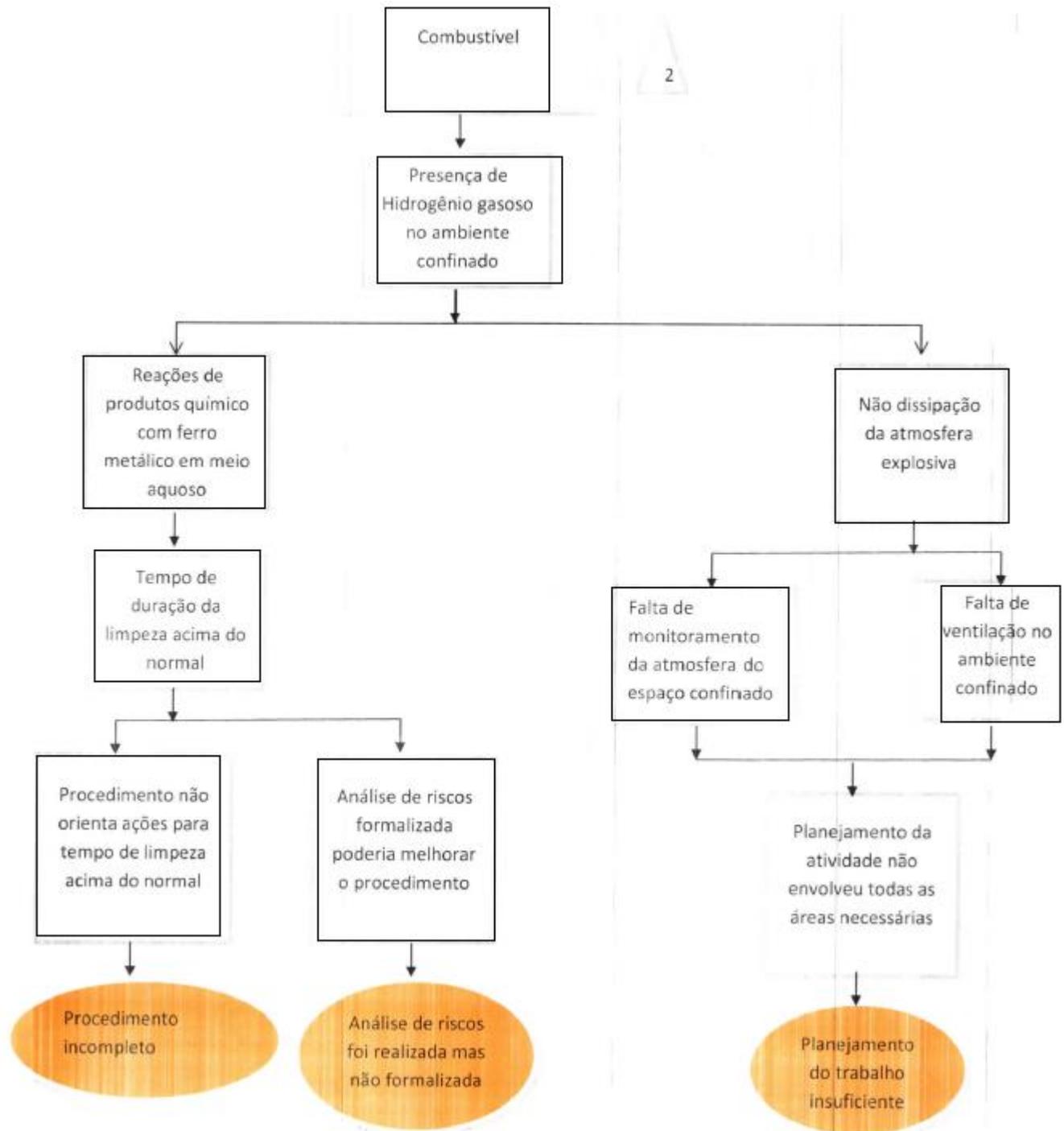
## ANEXOS

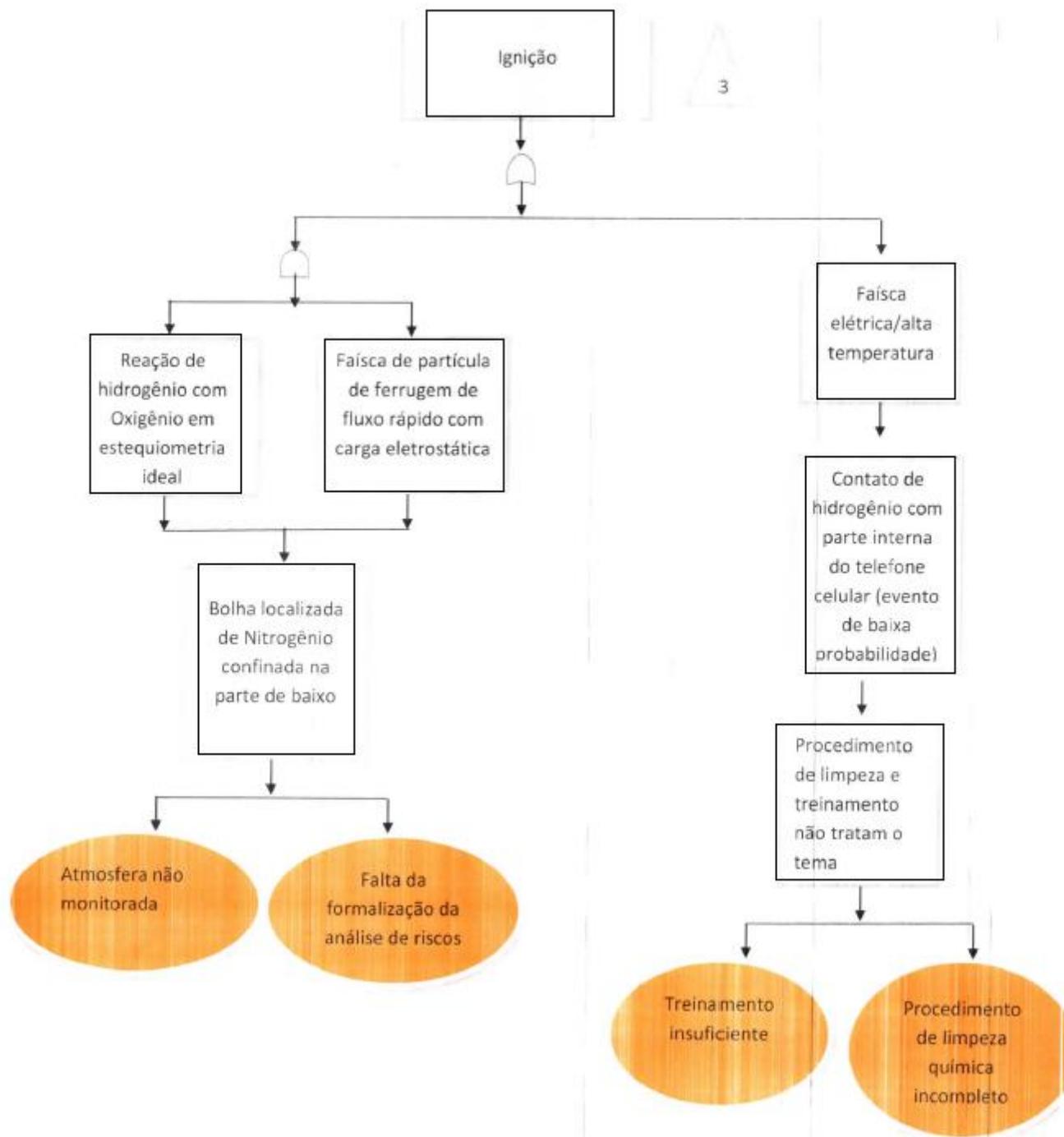
### **APÊNDICE A: Árvore de falhas apresentada no RDI**

A Comissão de investigação da ANP apresenta a árvore de falhas apresentada no RDI enviado pela Denusa, evidenciando o desenvolvimento e estruturação da mesma. Lembrando que não foi apresentada legenda dos componentes.

➤ Ramificação da árvore de falhas









**anp**  
Agência Nacional  
do Petróleo,  
Gás Natural e Biocombustíveis

