

**TRACTEBEL ENGINEERING Ltda.**

Sede – Escritório de Belo Horizonte  
Rua Paraíba, 1122 - 14º andar - Savassi  
CEP: 30.130-918 - Belo Horizonte, MG - BRASIL  
tel.: +55 31 3249 7600  
contato@Tractebel.engie.com  
Tractebel-engie.com.br

---

# RELATÓRIO DE AUDITORIA DA SEGURANÇA DO PROCESSO PRODUTIVO, TRATAMENTO DE EFLUENTES E GESTÃO DE ÁGUAS

ITEM B - Análise do dimensionamento da rede de drenagem,  
considerando o regime pluviométrico regional de Barcarena, suas  
oscilações e outras contribuições;

---

**Cliente:** Alunorte – Alumina do Norte do Brasil

**Identificação do Projeto:** Auditoria Processo Produtivo e Recursos Hídricos

**Código Cliente:** Não se aplica

**Código Tractebel:** W.002610.001-D-MN00-N-RE-003

0	18/08/2025	V. Albernaz	N. Castro	V. Magalhães
B	04/08/2025	V. Albernaz	N. Castro	V. Magalhães
A	14/11/2024	A. Simplicio	N. Castro	V. Magalhães
REVISÃO	DATA DA ELABORAÇÃO	ELABORADOR	VERIFICADOR	APROVADOR

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>IDENTIFICAÇÃO DO REPRESENTANTE LEGAL DO EMPREENDEDOR .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>EQUIPE TÉCNICA .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>GLOSSÁRIO .....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>ESCOPO .....</b>	<b>8</b>
<b>6</b>	<b>OBJETIVO.....</b>	<b>9</b>
<b>7</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>9</b>
7.1	Premissas adotadas .....	10
<b>8</b>	<b>DADOS UTILIZADOS .....</b>	<b>11</b>
<b>9</b>	<b>DESCRIÇÃO GERAL .....</b>	<b>15</b>
9.1	CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM DA ALUNORTE .....	16
<b>10</b>	<b>ANÁLISE DE CONFORMIDADE .....</b>	<b>22</b>
10.1	Análise de Informações sobre a Gestão Empresarial .....	22
10.2	Evidências de Inspeção .....	24
10.3	Evidências Documentais .....	29
10.4	Evidências Analíticas .....	35
10.4.1	<i>Análise do dimensionamento da rede de drenagem, considerando o regime pluviométrico regional de Barcarena, suas oscilações e outras contribuições .....</i>	<i>35</i>
<b>11</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>47</b>
<b>12</b>	<b>RECOMENDAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>50</b>
<b>13</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>52</b>
<b>14</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>54</b>

## 1 IDENTIFICAÇÃO DO REPRESENTANTE LEGAL DO EMPREENDEDOR

Quadro 1-1 – Identificação do empreendedor

<b>EMPREENDEDOR</b>	Alunorte - Alumina do Norte do Brasil S/A
<b>CNPJ</b>	05.848.387/0003-16
<b>ENDEREÇO</b>	Rodovia PA, 481, km 12, Distrito de Murucupi, Barcarena, Pará
<b>CONTATO</b>	Evandro Leão
<b>E-MAIL</b>	<a href="mailto:leao.evandro.gomes@hydro.com">leao.evandro.gomes@hydro.com</a>

Quadro 1-2 – Identificação do empreendimento

<b>EMPREENDIMENTO</b>	Planta industrial da Alunorte em Barcarena - PA
<b>LOCALIZAÇÃO</b>	Rodovia PA, 481, km 12, Distrito de Murucupi, Barcarena, Pará

Quadro 1-3 – Identificação da empresa responsável pela auditoria

<b>EMPREENDEDOR</b>	TRACTEBEL ENGINEERING LTDA
<b>CNPJ</b>	33.633.561/0001-87
<b>ENDEREÇO</b>	Rua Paraíba, 1122 Conjunto 1401, 14º andar, Funcionários, Belo Horizonte – MG, CEP 30130-918
<b>CONTATO</b>	Cristiane Vieira
<b>E-MAIL</b>	<a href="mailto:cristiane.vieira@Tractebel.engie.com">cristiane.vieira@Tractebel.engie.com</a>

## 2 EQUIPE TÉCNICA

Lista-se abaixo os coordenadores e a equipe técnica utilizada pela Tractebel Engineering Ltda., contratada pela Alunorte, para a elaboração do Relatório de Auditoria relativo ao Termo de Compromisso de Ajustamento de Conduta (item 4.1).

Tabela 2-1 - Coordenação e equipe técnica

COORDENAÇÃO E RESPONSABILIDADE TÉCNICA				
NOME DO PROFISSIONAL	FORMAÇÃO PROFISSIONAL	Nº ART	CREA	RESPONSABILIDADE NO ESTUDO
Cristiane Vieira	Engenheira Civil	MG20242850057	57945D MG	Responsável Técnica pela empresa
Viviane Magalhães	Engenheira Civil	MG20242869753	94502D MG	Gestora da Unidade de Negócio
Nelson Castro	Engenheiro Hídrico	MG20242870089	146045D MG	Gerente do Contrato

EQUIPE TÉCNICA		
NOME DO PROFISSIONAL	FORMAÇÃO PROFISSIONAL	RESPONSABILIDADE NO ESTUDO
Alexandre Lessa	Hidrogeólogo	Especialista em áreas contaminadas
Paulo Marinho	Engenheiro Químico	Analista Ambiental
Patricia Machado	Engenheira Civil	Analista Ambiental
Bianca Rubia	Engenheira Ambiental e Sanitária	Analista Ambiental
Alex Simplício	Engenheiro Civil	Engenheiro Civil
Luis Baganha	Engenheiro Civil e Sanitarista	Engenheiro Civil
Brenner Aguiar	Estudante de Eng. Ambiental	Estagiário
Pedro Penna	Engenheiro Mecânico	Planejamento de Projeto
Vitor Albernaz	Engenheiro Hidrólogo	Engenheiro Hidrólogo

### 3 GLOSSÁRIO

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

“As Built” – “Como Construído” – expressão para definir o projeto que descreve o estado imediatamente após a implantação de uma estrutura.

“As Is” – “Como está” – expressão para definir o projeto que descreve o estado atual de uma estrutura.

Alunorte – Alumina do Norte do Brasil S.A. – empresa brasileira formada a partir de acordo bilateral pelos governos do Brasil e do Japão em 1976. Empresa produtora de alumina, responsável pela operação e manutenção do DRS 1 e DRS 2, signatária do TAC e subsidiária da Hydro.

ANA – Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico

ART – Anotação de Responsabilidade Técnica

CEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente

CDF – Certificado de Destinação Final de Resíduos

CMD – Central de Materiais Descartados

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CONFEA – Conselho Federal de Engenharia e Agronomia

CONSEMA-RS – Conselho Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul

COPAM – Conselho da Política Ambiental

CTF/AIDA – Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental

DOE – Diário Oficial do Estado

DRS 1 – Depósito de Resíduos Sólidos nº 1 de propriedade da Alunorte

DRS 2 - Depósito de Resíduos Sólidos nº 2 de propriedade da Alunorte

ETEI – Estação de Tratamento de Efluentes Industriais

Hydro – Norsk Hydro ASA – Empresa Norueguesa, que tem na produção de alumínio o seu principal negócio e signatária do TAC.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

ISO – Organização Internacional para Padronização

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LAS/RAS – Relatório Ambiental Simplificado

LO – Licença de Operação

MMA – Ministério do Meio Ambiente e Mudanças Climáticas

MPF – Ministério Público Federal

MPPA – Ministério Público do Estado do Pará

MRN – Mineração Rio do Norte

MTR – Manifesto de Transporte de Resíduos

NBR – Norma Brasileira

PAE – Plano de Ação de Emergência

PDF – Formato de Documento Portátil

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

PGRS - Plano de Gestão de Resíduos Sólidos

RCA – Relatório de Controle Ambiental

RIAA – Relatório de Informações Ambientais Anuais

RT – Relatório Técnico

SEMAS – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Pará

SGR – Sistema de Gestão de Resíduos

SINIR – Sistema Nacional de Informações Sobre a Gestão de Resíduos

TAC – Termo de Ajustamento de Conduta

## 4 INTRODUÇÃO

A Alunorte é a maior refinaria de alumina do mundo fora da China. Suas operações foram iniciadas em julho de 1995 com o objetivo de produzir alumina para abastecer a Albras. A alumina é a matéria-prima do alumínio e é produzida a partir da bauxita, através do processo denominado Bayer. A refinaria recebe bauxita da Mineração Paragominas por meio de um mineroduto e da Mineração Rio do Norte (MRN) via o porto de Vila do Conde. Em 2010, a Vale vendeu a Alunorte para a Norsk Hydro, consolidando sua posição como líder mundial na produção de alumina.

A presente auditoria foi realizada em conformidade com o contrato nº 4600011982 celebrado entre TRACTEBEL ENGINEERING LTDA e a ALUNORTE – ALUMINA DO NORTE DO BRASIL S/A, com o objetivo de elaborar relatórios detalhados sobre a Segurança do Processo Produtivo, Tratamento de Efluentes e Gestão de Águas. Este trabalho atende às exigências estabelecidas no Termo de Compromisso de Ajustamento de Conduta (TAC), resultante do Inquérito Civil - IC nº 001/2018-MP (SIMP nº 000654-710/2018) MPPA, Inquérito Civil nº 000980-040/2018 (Portaria nº 12/2018) MPPA, Inquérito Civil nº 1.23.000.000498/2018-98 MPF (MPF).

O objetivo desta auditoria foi analisar o dimensionamento da rede de drenagem, considerando o regime pluviométrico regional de Barcarena, suas oscilações e outras contribuições.

O pleno atendimento deste item, por parte da Tractebel, empresa responsável pela auditoria, incluiu as seguintes verificações: (i) análise documental de projetos e arranjos dos circuitos de drenagem da refinaria; (ii) revisão de estudos de chuvas intensas, realizados pela Alunorte, para aferição da capacidade de descarga dos dispositivos de microdrenagem; (iii) condução de análise própria sobre a capacidade de suporte da rede de drenagem existente; e (iv) inspeção *in loco* para averiguar a existência de não conformidades e avaliar a manutenção, ou sua ausência, quanto ao impacto na capacidade de escoamento da rede de microdrenagem. A auditoria teve como objetivo analisar o dimensionamento da rede de drenagem, confrontando-o com o regime pluviométrico local, com normas técnicas aplicáveis e com os critérios de segurança para a operação da planta.

A metodologia adotada incluiu a avaliação documental dos projetos e dados técnicos disponibilizados, o cruzamento com referências consagradas na área de hidráulica e diretrizes do DNIT, além da realização de inspeções *in loco*. Os documentos utilizados como na análises encontram-se listados ao longo do relatório.

A auditoria concluiu que a Alunorte atende a legislação vigente e as boas práticas relacionadas ao dimensionamento da rede de drenagem, considerando o regime pluviométrico regional de

Barcarena, suas oscilações e outras contribuições, estando todos os itens conformes, com a indicação de apenas três oportunidades de melhoria dentre todos os itens auditados.

O processo de auditoria foi realizado baseado na NBR ISO 19011:2018 – Diretrizes para auditoria de sistemas de gestão, sendo de responsabilidade da equipe auditora verificar todos os dados apresentados, seguindo o princípio de reportar com veracidade e exatidão as constatações de auditoria nos respectivos relatórios de auditoria. É válido ressaltar que, devido ao volume, complexidade e sigilo industrial, os dados auditados não são apresentados neste relatório.

## 5 ESCOPO

O Termo de Compromisso de Ajustamento de Conduta foi firmado com a finalidade de assegurar que a refinaria opere em conformidade com as normas ambientais e de segurança vigentes, minimizando os impactos ambientais e garantindo a segurança dos trabalhadores e da comunidade local. A auditoria visa avaliar a eficácia das medidas implementadas pela refinaria em relação aos itens abaixo:

A. Análise geral do processo produtivo completo de alumina, identificando a possível existência de não conformidades na planta da refinaria Alunorte em Barcarena;

**B. Análise do dimensionamento da rede de drenagem, considerando o regime pluviométrico regional de Barcarena, suas oscilações e outras contribuições;**

C. Análise dos dispositivos de Tratamento de Efluentes Industriais (ETEI) e bacias de espera quanto ao seu dimensionamento em relação às águas residuais (processo e pluvial);

D. Analisar a qualidade do efluente lançado no rio Pará, após tratamento adequado, em atendimento a Resolução Conama nº 430/2011, inclusive com análise quanto a metais, avaliação físico-química e de resíduos orgânicos, incluindo também os instrumentos e mecanismos de aferição existentes. Para avaliação do parâmetro Fósforo Total, deverá ser utilizado como referência o limite estabelecido pela resolução CONSEMA-RS 355-2017 (1mg/L, considerando vazão de efluente > 10.000m³/d). Os parâmetros urânio, sulfato, nitrato, nitrito e cloreto deverão ser quantificados ainda que não previstos na resolução Conama 430/2011, para fins de complementar as análises em conjunto com os outros parâmetros e estudos previstos;

E. Estudo de modelagem matemática ambiental 3D para avaliar as zonas de influência referentes ao lançamento de efluentes no rio Pará, considerando as oscilações noturnas e diurnas, regime de marés, sazonalidade e uso das praias de Itupanema, Caripi, Conde, Beja, Ilha Trambioca e Ilha do Capim.



F. Análise de parâmetro de lançamento atuais, confrontando-os à exigência atual do órgão licenciador e normativas vigentes;

G. Análise e indicação da destinação adequada aos resíduos gerados pela produção, devendo ser identificada a forma de destinação final adequada à legislação vigente e sustentabilidade ambiental;

H. Avaliar o projeto de gestão e de monitoramento de águas (subterrânea, superficial, reuso, pluvial e água residuária industrial) em termos da captação, transporte, tratamento e destino;

I. Avaliar o projeto de gestão e de monitoramento dos subprodutos sólidos gerados pelo processo produtivo e unidades de tratamento de águas em termos da geração, transporte, tratamento e destino; e

J. Inventário de caracterização de resíduos (líquidos e sólidos), em termos quali-quantitativos, em todas as etapas do sistema de geração, processamento e disposição de resíduo do projeto DRS2.

## **6 OBJETIVO**

Analisar o dimensionamento da rede de drenagem da refinaria confrontando-o com o regime pluviométrico local, normas técnicas e avaliar através das evidências dispostas neste relatório a conformidade da rede de drenagem em relação à segurança operacional da planta.

## **7 METODOLOGIA**

A análise do dimensionamento da rede de drenagem, considerando o regime pluviométrico regional de Barcarena, suas oscilações e outras contribuições procedeu com a aferição rigorosa da documentação requerida pela Tractebel e encaminhada pela Alunorte no que diz respeito a levantamento cadastral das galerias de águas pluviais, poços de visita, bueiros, bocas de lobo e canaletas dos diversos circuitos de microdrenagem que compõem a planta da refinaria.

A equipe técnica desta auditoria utilizou referências consagradas na área de hidráulica e diretrizes adotadas pelo DNIT, tradicionalmente utilizadas no dimensionamento de sistemas de drenagem em rodovias e replicadas em manuais técnicos de drenagem urbana em diversos municípios brasileiros.. Entre os principais materiais de referência, citam-se: Manual de Hidráulica de Neto (2015); Manuais de Hidrologia e Drenagem do DNIT (2005 e 2006); Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais da Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano

(SMDU) de São Paulo (2012); e SUDERHSA-PR (2002), Plano Diretor de Drenagem da Bacia do Rio Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba, da Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (SUDERHSA) de Curitiba (2002).

Na ausência de norma técnica nacional específica para microdrenagem em plantas industriais, o *Manual de Drenagem de Rodovias do DNIT* (2006) foi adotado como referência primária para os dimensionamentos realizados.

Complementar a essa análise, a Tractebel analisou o estudo de chuvas intensas, elaborado pela empresa GWS, contratada da Alunorte, o qual fornece as informações hidrológicas necessárias para a etapa de averiguação do dimensionamento hidráulico do sistema de microdrenagem e dispositivos de macrodrenagem como bacias, sumps, caixas de coleta e de mistura, canais de drenagem e o platô do DRS 1 e 2. Ressalta-se que a verificação do dimensionamento hidráulico não faz parte do escopo deste estudo, restringindo-se a análise à metodologia e à consistência técnica do estudo de chuvas intensas.

## 7.1 Premissas adotadas

Para a realização da auditoria, foi considerado o plano de trabalho aprovado pelas entidades signatárias ao TAC 4.1 (W.002610.001-D-MN00-N-RE-021\_REV\_D), o qual indicou algumas premissas para a condução.

- A auditoria foi realizada no estado atual da Alunorte para o **processo produtivo, tratamento e lançamento de efluentes e gestão de águas**, ou seja, diante da situação encontrada na planta. No entanto, para realizar a avaliação da conformidade ambiental foi necessário avaliar dados históricos e atuais em regiões chaves do processo considerados como fundamentais nas análises, visando identificar ao final do conjunto de itens do TAC 4.1 (totalizando 10 itens de A à J), se a refinaria está segura ou não para as operações.
- A auditoria foi prevista para ser realizada em 150 dias úteis, conforme Termo de Referência de contratação.
- Foi previsto a elaboração de um relatório preliminar e após a revisão das partes signatárias um relatório final por item previsto (A a J) no TAC.
- Não é considerado objeto desta auditoria a planta da Mineração Paragominas (MPSA) na cidade de Paragominas/PA, bem como o mineroduto que interliga até a cidade de Barcarena/PA.

- No início das atividades foi acordado que as solicitações de informações deveriam ser realizadas preferencialmente por e-mails e durante as reuniões que posteriormente deveriam ser registradas por e-mail;
- Não é considerado nesta auditoria a área portuária, exceto no que tange aos estudos de modelagem ambiental.

Após as análises, as informações foram sintetizadas em formatos de tabelas e classificadas em quatro categorias indicando a conformidade, oportunidade de melhoria, observação e não conformidade acompanhado dos devidos motivos e as evidências que levaram a tais constatações. Para os itens conformes, foi realizado duas subclassificações: oportunidade de melhoria, que são os itens que já estão conformes e foram identificados ganhos de eficiência, segurança ou sustentabilidade ou, observação, que são pontos que, embora não apresentem Não Conformidades, apresentam falhas importantes, e requerem monitoramento para prevenir eventuais riscos e garantir a continuidade da conformidade. Neste sentido, é possível que o item avaliado possua mais de um enquadramento, que significa uma complementação a conformidade. Portanto, as categorias adotadas foram as seguintes:

**Em Conformidade:** quando os documentos, processos e práticas atendem integralmente as normas e legislação ambiental.

**Oportunidade de Melhoria:** quando identificadas práticas que, apesar de conformes, podem ser otimizadas para ganhos de eficiência, segurança ou sustentabilidade.

**Observação:** quando identificados pontos que, embora não apresentem Não Conformidades, apresentam falhas importantes, e requerem monitoramento para prevenir eventuais riscos e garantir a continuidade da conformidade.

**Não Conformidade:** quando foram observadas falhas ou desvios em relação as normas e legislação ambiental, que podem comprometer a segurança ou controle ambiental.

## 8 DADOS UTILIZADOS

Após a solicitação dos dados pela Tractebel, um grande volume de informações foi enviado pela Alunorte para análise. Todos os arquivos foram analisados e aqueles que foram mais relevantes para a análise foram selecionados e avaliados para compor este relatório, conforme detalhado na Tabela 8-1. É válido ressaltar que foram disponibilizados mais de 5.000 arquivos para avaliação da equipe auditora até a data de emissão deste relatório.

Tabela 8-1 - Relação de documentos disponibilizadas para análise do item B do item 4.1 do TAC.

N	ITEM (DOCUMENTO, DESENHO, PLANO, LICENÇA, INFORMAÇÃO)	TIPO	REFERÊNCIA	DATA RECEBIMENTO	Documentos disponibilizados/ Observações
1	Rede de Drenagem				
1.1	Projeto executivo da rede de drenagem pluvial	Documento e anexos	Área Técnica	9/4/2024	Documentos disponibilizados de forma on-line
1.2	Memorial de cálculo do projeto	Documento e anexos	Área Técnica	9/6/2024	O documento solicitado foi substituído pela Nota Técnica elaborada pela Legasys (disponibilizada na Lista de Documentos 02 e indicada no link da linha a seguir), em função da atualização da IDF (2022).
				7/17/2024	Documentos disponibilizados de forma on-line
1.3	Relatórios técnicos "as built" e "as is" de toda a rede de drenagem da planta	Documento e anexos	Área Técnica	9/4/2024	Documentos disponibilizados de forma on-line
				9/12/2024	O documento que atualmente se configura como o memorial de cálculo para o Sistema de Drenagem da Alunorte, corresponde a Nota Técnica do Sistema de Drenagem (indicada no link da linha a seguir), disponibilizadas para o atendimento à Lista de Documentos 02. Adicionalmente, foram enviadas para o atendimento do item 1.19 da presente lista, as planilhas de cálculo utilizadas na elaboração da NT.
				7/17/2024	Documentos disponibilizados de forma on-line
1.4	Registro de todas as alterações realizadas na rede de drenagem e nas bacias de espera;	Relatórios e Planilhas	Área Técnica	N/A	N/A
1.5	Série histórica do monitoramento hidrológico da rede de pluviômetros da planta;	Relatórios e Planilhas	Área Técnica	9/6/2024	Documentos disponibilizados de forma on-line
1.6	Relatório Técnico de Avaliação Periódica dos Resultados de Monitoramento da Instrumentação da rede de drenagem dos últimos 72 meses	Relatórios e Planilhas	Área Técnica	9/12/2024	Reunião agendada e realizada, após o alinhamento entre as partes.
1.7	Plano e relatório de monitoramento e manutenção regular das condições físicas da rede de drenagem	Relatórios e Planilhas	Área Técnica	9/12/2024	Reunião agendada e realizada, após o alinhamento entre as partes.
1.8	Tabelas de monitoramentos hidrológicos dos últimos 72 meses (pluviômetros, vertedores, calhas, níveis), de toda a planta;	Relatórios e Planilhas	Área Técnica	9/6/2024	Documentos disponibilizados de forma on-line
				10/4/2024	Documentos disponibilizados de forma on-line

N	ITEM (DOCUMENTO, DESENHO, PLANO, LICENÇA, INFORMAÇÃO)	TIPO	REFERÊNCIA	DATA RECEBIMENTO	Documentos disponibilizados/ Observações
1.9	Plano e relatórios de manutenção das bombas de drenagem, caso existam	Documento e anexos	Área Técnica	9/4/2024	Documentos disponibilizados de forma on-line
				9/4/2024	Documentos disponibilizados de forma on-line
1.10	Plano e laudos de calibração dos sensores de nível da rede de drenagem, caso existam	Documento e anexos	Área Técnica	N/A	N/A
1.11	Plano e relatórios de manutenção e inspeção das válvulas de controle de fluxo do sistema de drenagem, caso existam	Documento e anexos	Área Técnica	9/6/2024	Documentos disponibilizados de forma on-line
1.12	Plano e relatórios de inspeção das tubulações do sistema de drenagem	Documento e anexos	Área Técnica	9/12/2024	Reunião agendada e realizada, após o alinhamento entre as partes.
1.13	LO do Sistema de drenagem de águas pluviais	Documento e anexos	Área Técnica	N/A	N/A
1.14	Desenho Drenagem interna – DRS1 e DRS2	Planta	Área Técnica	9/4/2024	Documentos disponibilizados de forma on-line
1.15	Desenho Drenagem interna – DRS2 – Drenos internos	Planta	Área Técnica	9/4/2024	
1.16	Relatório Técnico de Avaliação de Drenagem do DRS1 e DRS2	Documento e anexos	Área Técnica	9/4/2024	
1.17	Ficha de Inspeção Regular da rede de drenagem e extravasores dos últimos 72 meses	Relatórios e Planilhas	Área Técnica	9/4/2024	
				9/6/2024	
1.18	Atualização dos estudos de chuvas intensas	Documento e anexos	Área Técnica	N/A	N/A
1.19	Avaliação da segurança do sistema de drenagem, simulando o período chuvoso	Documento e anexos	Área Técnica	9/6/2024	Documentos disponibilizados de forma on-line
1.20	Sinopse climática	Documento e anexos	Área Técnica	N/A	N/A
<b>Itens identificados após a inspeção</b>					
2.1	Plano e relatórios de manutenção das bombas-poços	Documento e anexos	Área Técnica	9/12/2024	Documentos disponibilizados de forma on-line
2.2.	Procedimento de limpeza das áreas de contenção	Documento e anexos	Área Técnica	9/6/2024	

A partir das informações disponibilizadas pela Alunorte, foi realizado um levantamento abrangente de todos os documentos recebidos. Em seguida, procedeu-se a uma triagem técnica, com o objetivo de identificar os principais documentos que são primordiais para a avaliação da conformidade do item B do TAC 4.1. O **Quadro 8-1** apresenta estes documentos:

**Quadro 8-1: Relação de documentos auditados pertinentes ao item B do item 4.1 do TAC.**

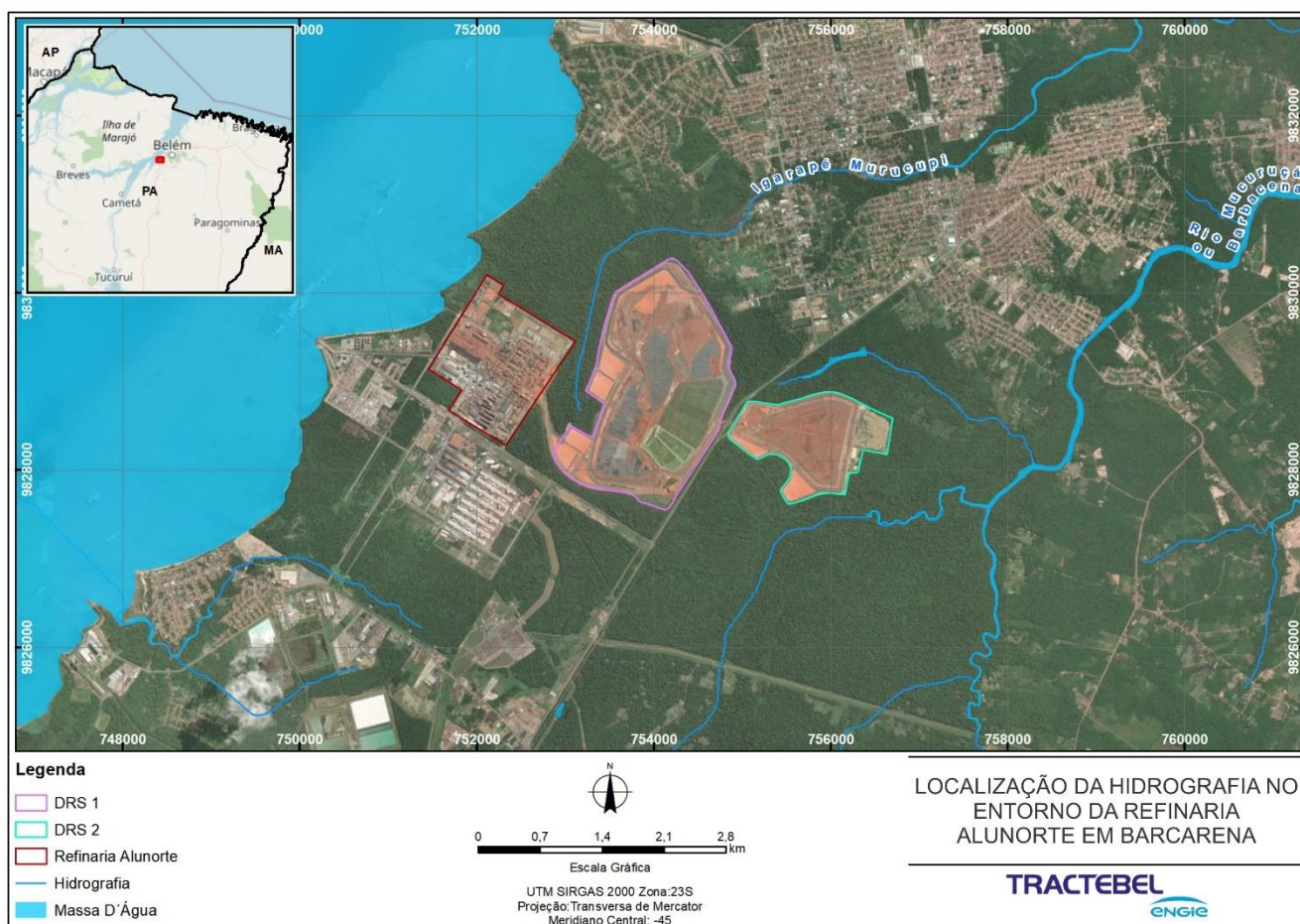
TÍTULO DO DOCUMENTO	FORMATO	DATA	CÓDIGO DO DOCUMENTO	ELABORADO POR
Área 54A/B – Depósitos de Resíduos Sólidos – DRS1 e DRS2 - Atualização dos Estudos de Chuvas Intensas	.pdf	fev/2022	RT-469133-54-G-003	GWS
Série histórica - Dados pluviométricos 2018-2024 - Alunorte	.pdf	set/2024	-	Alunorte
ÁREA 97 - Arruamento e pavimentação: Projeto Geométrico, Plantas, Cortes e Detalhes	.dwg	abr/05	D0-5310-97-G-020-R04	EPC
Área 97A - Circuitos da planta 1/12	.dwg	abr/22	D0-3515-97-G-001 001	TUV DUCTOR
Área 97A - Circuitos da planta 2/12	.dwg	out/19	D0-3515-97-G-001 002	BLOSSOM
Área 97A - Circuitos da planta 3/12	.dwg	abr/20	D0-3515-97-G-001 003	HATCH
Área 97A - Circuitos da planta 4/12	.dwg	abr/20	D0-3515-97-G-001 004	HATCH
Área 97A - Circuitos da planta 5/12	.dwg	abr/20	D0-3515-97-G-001 005	HATCH
Área 97A - Circuitos da planta 6/12	.dwg	abr/20	D0-3515-97-G-001 006	HATCH
Área 97A - Circuitos da planta 7/12	.dwg	nov/20	D0-3515-97-G-001 007	BLOSSOM
Área 97A - Circuitos da planta 8/12	.dwg	abr/20	D0-3515-97-G-001 008	HATCH
Área 97A - Circuitos da planta 9/12	.dwg	abr/20	D0-3515-97-G-001 009	HATCH
Área 97A - Circuitos da planta 10/12	.dwg	abr/20	D0-3515-97-G-001 010	HATCH
Áreas de contribuição para os sistemas de drenagem - Planta Geral	.dwg	mai/19	D1-3542-54-G-037-R01	Pimenta de Ávila
Áreas de contribuição para os sistemas de drenagem - FOLHA 1/16	.dwg	mai/19	D1-3542-54-G-038-R01	Pimenta de Ávila
Áreas de contribuição para os sistemas de drenagem - FOLHA 2/16	.dwg	mai/19	D1-3542-54-G-039-R01	Pimenta de Ávila
Áreas de contribuição para os sistemas de drenagem - FOLHA 3/16	.dwg	mai/19	D1-3542-54-G-040-R01	Pimenta de Ávila
Áreas de contribuição para os sistemas de drenagem - FOLHA 4/16	.dwg	mai/19	D1-3542-54-G-041-R01	Pimenta de Ávila
Áreas de contribuição para os sistemas de drenagem. - FOLHA 5/16	.dwg	mai/19	D1-3542-54-G-042-R01	Pimenta de Ávila
Áreas de contribuição para os sistemas de drenagem. - FOLHA 6/16	.dwg	mai/19	D1-3542-54-G-043-R01	Pimenta de Ávila
Áreas de contribuição para os sistemas de drenagem. - FOLHA 7/16	.dwg	mai/19	D1-3542-54-G-044-R01	Pimenta de Ávila
Áreas de contribuição para os sistemas de drenagem. - FOLHA 8/16	.dwg	mai/19	D1-3542-54-G-045-R01	Pimenta de Ávila
Áreas de contribuição para os sistemas de drenagem. - FOLHA 9/16	.dwg	mai/19	D1-3542-54-G-046-R01	Pimenta de Ávila
Áreas de contribuição para os sistemas de drenagem. - FOLHA 10/16	.dwg	mai/19	D1-3542-54-G-047-R01	Pimenta de Ávila
Áreas de contribuição para os sistemas de drenagem. - FOLHA 11/16	.dwg	mai/19	D1-3542-54-G-048-R01	Pimenta de Ávila
Áreas de contribuição para os sistemas de drenagem. - FOLHA 12/16	.dwg	mai/19	D1-3542-54-G-049-R01	Pimenta de Ávila
Áreas de contribuição para os sistemas de drenagem. - FOLHA 13/16	.dwg	mai/19	D1-3542-54-G-050-R01	Pimenta de Ávila
Áreas de contribuição para os sistemas de drenagem. - FOLHA 14/16	.dwg	mai/19	D1-3542-54-G-051-R01	Pimenta de Ávila
Áreas de contribuição para os sistemas de drenagem. - FOLHA 15/16	.dwg	mai/19	D1-3542-54-G-052-R01	Pimenta de Ávila
Áreas de contribuição para os sistemas de drenagem. - FOLHA 16/16	.dwg	mai/19	D1-3542-54-G-053-R01	Pimenta de Ávila

## 9 DESCRIÇÃO GERAL

De acordo com as informações disponibilizadas pela empresa auditada, a Alunorte foi constituída em junho de 1978, tendo por objetivo principal a industrialização de alumina, matéria-prima na produção de alumínio. A Companhia entrou em operação em 1995, com a capacidade de produção de 1.100 mil toneladas de alumina por ano. Em 1999, devido às melhorias operacionais implantadas, a capacidade nominal plena foi redefinida, passando para 1.500 mil toneladas/ano. Em abril de 2003 a Companhia concluiu o Projeto de Expansão 1 de seu Parque Industrial, elevando a sua capacidade de produção para 2,3 milhões de toneladas/ano e durante o ano de 2004 a produção atingiu 2,5 milhões de toneladas/ano. No 1º trimestre de 2006 entraram em operação as linhas 4 e 5 do Projeto de Expansão 2, tendo atingido a plena capacidade de produção, elevando para 4,4 milhões de toneladas/ano a capacidade da planta. No 4º trimestre de 2008 entraram em produção as linhas 6 e 7 do Projeto de Expansão 3, tendo atingido a plena capacidade de produção, por meio do processo químico Bayer, elevando para 6,3 milhões de toneladas/ano a capacidade da planta. Em dezembro de 2021, ocorreu a aprovação final para início da fase de execução do projeto Alunorte Fuel Switch (AFS), que tem como objetivo fazer a substituição do óleo BPF, usado como combustível para parte do parque de caldeiras de geração de vapor e dos calcinadores (última etapa da produção de alumina) por gás natural. (Relatório de Administração da Alunorte, 2023).

No processo produtivo da Alumina são utilizados alguns insumos principais como: bauxita, soda cáustica, água e carvão para as caldeiras. Além destes citados, diversos produtos químicos como aditivos, floclulantes e ácido sulfúrico são necessários para o tratamento de águas industriais. No entanto, a geração de resíduos deve ser avaliada no âmbito também de uma planta industrial de enormes dimensões, onde se tem no dia a dia inúmeras condições que geram resíduos como refeitórios, reformas de prédios, reformas de vias, manutenção de máquinas e equipamentos, entre outros.





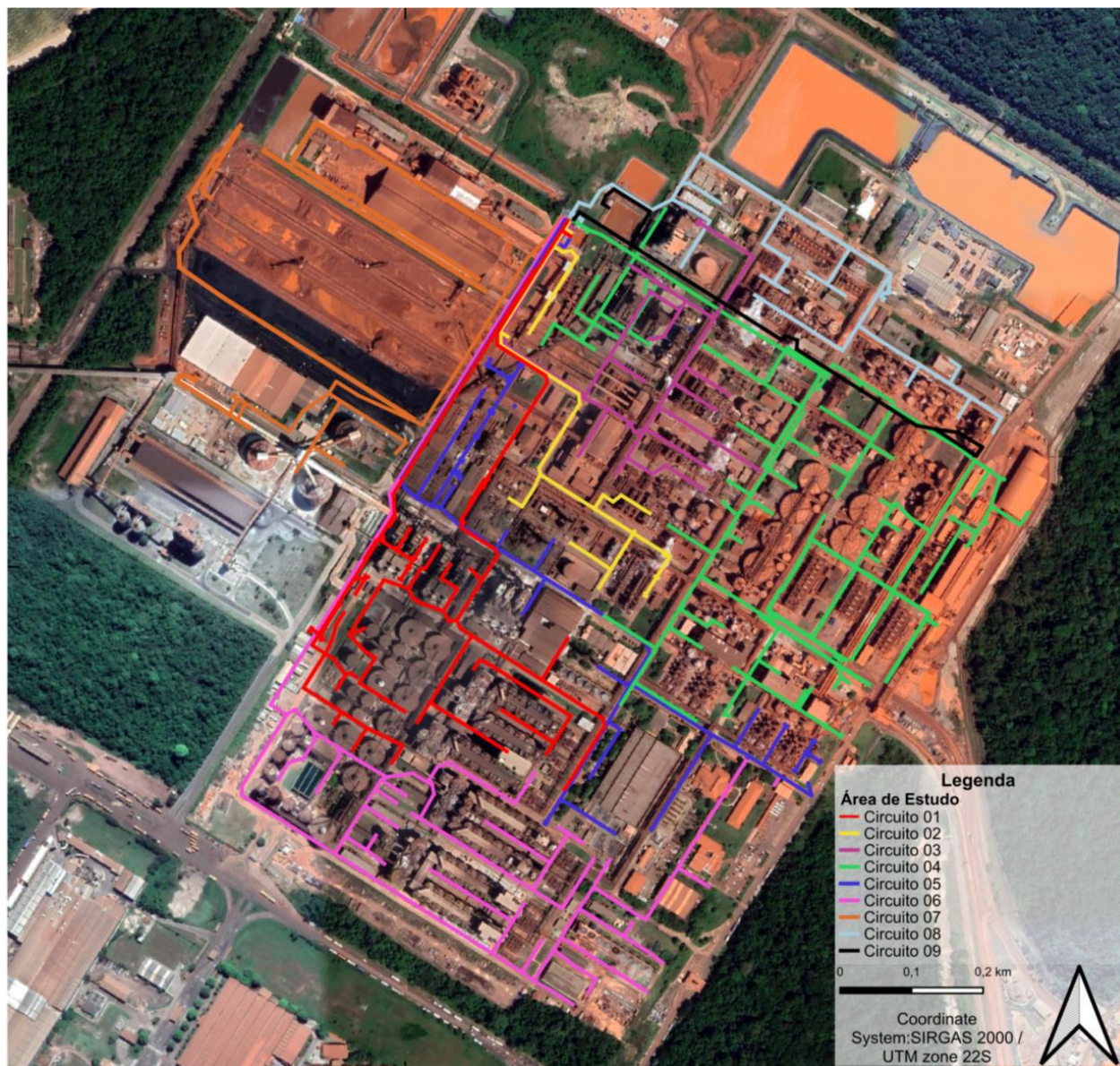
**Figura 9-1 - Mapa de localização da planta geral das instalações da Alunorte**

**Elaboração:** TRACTEBEL, 2025.

## 9.1 Caracterização do Sistema de Drenagem da Alunorte

A drenagem superficial da área da refinaria da Alunorte é composta por 9 (nove) circuitos independentes de galerias de águas pluviais, ramais, poços de visita, sarjetas e bueiros/bocas de lobos, cobrindo uma área de aproximadamente 91,1 ha. Esses circuitos são designados pela Alunorte pelo acrônimo C seguido pela numeração de 1 a 9. Cada um dos circuitos findam na área 82A, onde defluem a água superficial coletada em eventos de precipitação em uma caixa de mistura, sendo posteriormente direcionados para a Estação de Tratamento de Efluentes Industriais (ETEI), onde passa por tratamento em tanques de neutralização e clarificação. A Figura 9-2 ilustra os circuitos de drenagem C1 ao C09.





**Figura 9-2 -Circuitos de drenagem da refinaria da Alunorte em Barcarena/PA.**

Esses circuitos compreendem as seguintes áreas da refinaria:

- **Circuitos C1 e C7:** compreendem a região oeste da planta, onde estão as instalações relacionadas ao processamento de hidrato, à calcinação e estocagem de alumina.
- **Circuitos C2 e C3:** drenam a porção norte da planta e coletam o escoamento das águas pluviais oriundas das áreas destinadas ao processamento de bauxita.
- **Circuito C4:** drena a porção leste da planta. Neste são coletadas as águas pluviais das áreas auxiliares do processo produtivo da alumina e das regiões destinadas ao processamento de bauxita, licor e, lavagem e transferência de lama.
- **Circuito C8:** também contempla a região leste da planta e abrange áreas com características semelhantes às do C4.
- **Circuitos C5 e C6:** abrangem a porção sul da planta, estando instalados nas adjacências do limite da área da Alunorte. o circuito C6 drena a maior porção da refinaria dentre todos os circuitos.
- **Circuito C9:** intercepta os C3, C4 e C8, coletando as contribuições de parte das águas de alguns prédios da fábrica e alguns pontos da drenagem superficial das ruas.

As áreas de contribuição (ou áreas de drenagem) dos circuitos de drenagem estão dispostas **Quadro 9-1**. Conforme descritivo dado acima, o circuito C6 drena a maior área dentre os nove circuitos, cerca de 23,8 ha. Na sequência, tem-se o circuito C4 com 22,4 ha. O circuito que tem a menor área de drenagem é o C9, com apenas 0,3 ha.

**Quadro 9-1: Áreas de contribuição dos circuitos C1 ao C9.**

CIRCUITO	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	TOTAL
Área Efetiva	11,9	3,8	4,5	20,7	11,6	22,8	4,5	5,4	0,3	93,9%
Área Total	12,4	4,3	5,6	22,4	11,6	23,8	4,5	6,2	0,3	100,0%






Cabe pontuar que as áreas de drenagem dispostas no quadro acima foram calculadas pela auditora com base nas áreas de contribuição estabelecidas nos documentos D1-3542-54-G-037-R01 ao D1-3542-54-G-053-R01 e com base na interpretação dessas e eventuais correções pontuais realizadas na distribuição espacial dessas. Por exemplo, o Circuito C09 não tem as suas áreas de contribuição delimitadas nos documentos supracitados, logo, foi necessário a incorporação dessas áreas e uma correção da delimitação dos circuitos com interface a este. O entendimento espacial em relação a essas novas áreas de contribuição foi aferido e validado em conjunto com a Alunorte.



Ao que se refere a área efetiva no **Quadro 9-1**, essas são as áreas que devidamente contribuem ao escoamento superficial na refinaria, de onde foram descontadas as áreas “muretadas” que constituem bacias de contenção em regiões específicas de processamento e que drenam o escoamento para as bomba poço onde são inseridas no processo. Mais detalhes são apresentados a seguir.



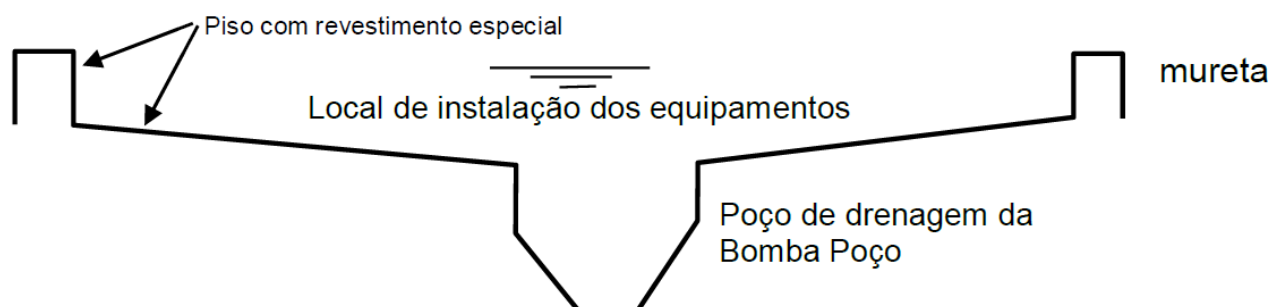
Os principais dispositivos que fazem parte do sistema de microdrenagem pluvial da planta industrial estão descritos no **Quadro 9-2**.

**Quadro 9-2: Dispositivos de microdrenagem superficial da refinaria da Alunorte em Barcarena/PA.**

DISPOSITIVOS	DESCRIÇÃO	DIMENSÃO	IMAGEM DO DISPOSITIVO
Sarjeta	Dispositivos de drenagem instalados junto ao meio-fio das calçadas com o objetivo de coletar o escoamento superficial e lançá-los nas bocas de lobo.	Seção triangular, de 0,45 m de largura e meio-fio de 0,15 m de altura.	
Canaleta	Construídas em concreto e instaladas primordialmente nas áreas dos depósitos de bauxita e carvão, que coletam o escoamento superficial produzido e direcionam até as bacias instaladas na área. Canaletas retangulares com alturas variáveis também são observadas no C04.	Geometria retangular ou trapezoidal e dimensões variáveis de acordo com a vazão de projeto	
Boca de lobo simples (BLS) e dupla (BLD)	As BLS são fechadas com grades metálicas que previnem a passagem de materiais com dimensão elevada. A BLD é o resultado de duas BLS alinhadas entre si, no mesmo ponto baixo da sarjeta. Possuem a função de encaminhar aos poços de visita o escoamento superficial proveniente das canaletas/sarjetas.	Geometria retangular com dimensões iguais a 0,90 x 0,30 m, e profundidade típica de 1,40 m;	
Boca de lobo de guia	Constituída por uma abertura vertical no meio-fio, que permite a entrada da água pluvial superficial provinda das sarjetas.	Variável	
Ramais (Conexões entre BL e PV)	Tubulações construídas em concreto que funcionam como dispositivo de saída das bocas de lobo e direcionam o fluxo coletado por esses dispositivos até os poços de visita	Diâmetro de 300 mm e com declividade média de 2% e mínima de 0,5%	Elemento Interno
Galerias Pluviais	Tubulações construídas em concreto e instaladas sob as vias. A principal função é conduzir o escoamento superficial produzido em suas respectivas áreas de contribuição até o ponto de lançamento dos circuitos de drenagem (Área 82A)	Dimensões e declividades que variam de acordo com suas vazões de projeto e locais de instalação.	Elemento Interno
Tubos de queda (telhados)	Coletam o escoamento superficial produzido na superfície dos edifícios da fábrica, transportando-os para as sarjetas.	Variável dependendo do local onde está instalado e da área vinculada ao escoamento.	

DISPOSITIVOS	DESCRIÇÃO	DIMENSÃO	IMAGEM DO DISPOSITIVO
Tubos de queda (purga)	Tubos que coletam primordialmente condensado da Área 30, purga das torres de resfriamento e purga contínua das caldeiras. Esses efluentes são direcionados para os circuitos por meio das bocas de lobo.	Variável.	
Poço de visita (PV)	Construídos em concreto e funcionam como dispositivos de inspeção e manutenção das galerias e do sistema de drenagem. O objetivo do dispositivo é conectar os ramais que saem das bocas de lobo e as galerias de drenagem.	Variável. Depende das dimensões das tubulações de entrada e saída.	

Por fim, coexiste um dispositivo de drenagem acessório que não se classifica como parte do sistema drenagem superficial propriamente dito, mas tem o papel de segregar possíveis contaminações em decorrência de vazamentos industriais. Esse dispositivo se situam em áreas de processo da planta e se configuram como bacias de contenção, denominadas áreas “muretadas”. Essas possuem piso especial e sistema bomba-poço, cuja finalidade é coletar qualquer tipo de material de processo e retorná-lo para o processo industrial sem alcançar os circuitos de drenagem. A **Figura 9-3** mostra um desenho esquemático dessas áreas muretadas ao passo que a **Figura 9-4** exemplifica essa área avista in loco no dia 06/08/2024 pela equipe da Tractebel.



**Figura 9-3: Configuração da área muretada.**



**Figura 9-4: Exemplo de área mureta vista in loco. Registro realizado em 06/08/2024.**

## 10 ANÁLISE DE CONFORMIDADE

A análise de conformidade do item B do TAC 4.1 desenvolveu-se a partir da análise de documentação encaminhada pela Alunorte, conforme disposto no Capítulo 8 e inspeção *in loco* realizada pela Tractebel no dia 06/08/2024.

O parecer da Tractebel para diversos tópicos estreitamente ligados a suficiência ou não da drenagem superficial da área da refinaria da Alunorte são abordados nos itens a seguir.

### 10.1 Análise de Informações sobre a Gestão Empresarial

Cabe registrar que para os técnicos da auditoria chegarem as análises aqui descritas, além da metodologia principal de avaliação documental e visita *in loco*, foram verificadas documentações relativas a gestão empresarial no que tange aos processos de certificação padrão ISO como por exemplo: Gestão de Ativos (ISO 55001) e Responsabilidade Social (SA 8000), Saúde e Segurança (ISO 45001), Meio Ambiente (ISO 14001), Qualidade (ISO 9001) e *Aluminium Stewardship Initiative* (ASI). Todas estas normas são indicadores de realização de boas práticas dentro da indústria e consequente minimizações de riscos operacionais, ou seja, para alcançar tais certificações é preciso que a empresa realize uma série de ações recorrentes visando padronizar processos e treinar os colaboradores e apresentar evidências de melhoria contínua.

A implementação dos padrões ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 e ISO 45001:2018 traz benefícios para a segurança das operações em uma indústria de alumínio. A ISO 9001:2015, focada na gestão da qualidade, assegura que os processos produtivos sejam padronizados e continuamente melhorados, reduzindo a ocorrência de falhas e aumentando a confiabilidade dos produtos. Isso minimiza riscos operacionais que poderiam comprometer a segurança dos trabalhadores e do ambiente de trabalho.

A ISO 14001:2015, que trata da gestão ambiental, é crucial para uma indústria de alumínio mitigar possíveis impactos ao meio ambiente. A adoção deste padrão ajuda a identificar e controlar os aspectos ambientais das operações, promovendo práticas sustentáveis e a conformidade com a legislação ambiental. Isso não apenas protege o meio ambiente, mas também reduz o risco de acidentes ambientais que poderiam afetar a saúde e a segurança dos trabalhadores e da comunidade ao redor.

Por fim, a ISO 45001:2018, que se concentra na gestão de saúde e segurança ocupacional, é essencial para garantir um ambiente de trabalho seguro e saudável. Este padrão ajuda a identificar perigos, avaliar riscos e implementar controles eficazes para prevenir acidentes e doenças ocupacionais. Em uma indústria de alumínio, onde os trabalhadores estão expostos a diversos riscos, a implementação da ISO 45001:2018 é fundamental



para proteger a integridade física e mental dos colaboradores, promovendo uma cultura de segurança e bem-estar no local de trabalho.

No âmbito do Sistema de Gestão Integrado (SGI) uma consideração importante para a análise desta auditoria foi a existência de processos de trabalho padronizados que auxiliam o dia a dia das equipes da operação. Outro ponto avaliado foi a existência dos procedimentos de treinamentos para novos colaboradores visando a garantia da do repasse da informação operacional necessária para o colaborador trabalhar na refinaria. A Figura 10-1 apresenta uma das telas do sistema INOSA utilizado para armazenar os procedimentos administrativos como treinamentos para novos colaboradores, por exemplo.

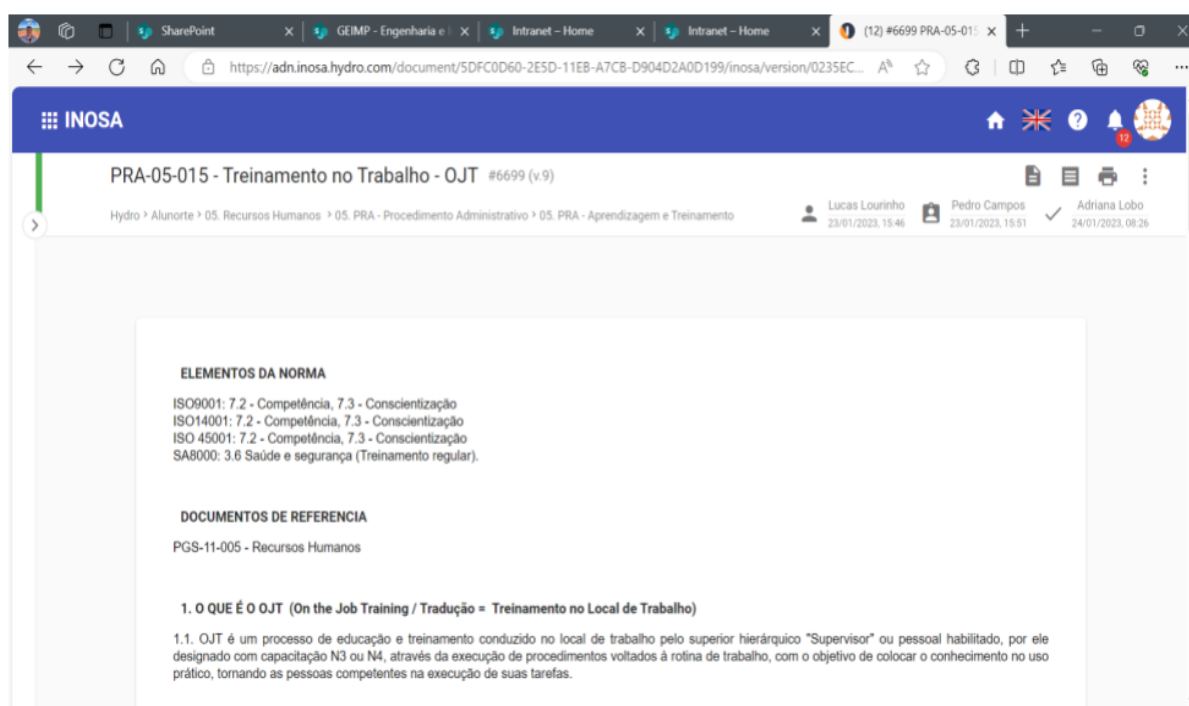


Figura 10-1 – Plataforma INOSA – Apresentação de treinamento para trabalhar.

Outras iniciativas puderam ser conferidas como a Conecta (programa interno de melhoria), aplicação da filosofia BABS (Bauxite and Alumina Business System) que é a utilização de princípios de Processos de Trabalhos Padronizados, Relações Definidas entre Cliente e Fornecedor, Fluxo Otimizado, Equipes Dedicadas e Liderança Visível. A Alunorte conta com a utilização de software para registro, monitoramento e acompanhamento da evolução das tratativas de desvios e perdas, perante a alta direção (aplicação de conceitos de FCA, sigla em inglês para Falha, Causa e Ação).

Todas estas ações e normas são indicadores da intenção de realização de boas práticas dentro da indústria e consequente minimizações de riscos operacionais, ou seja, para alcançar tais certificações é preciso que a


empresa realize uma série de ações recorrentes visando padronizar processos e treinar os colaboradores e apresentar evidências de melhoria contínua.

## 10.2 Evidências de Inspeção

<b>Tópico</b>	<b>Inspeção dos Circuitos de Drenagem da Refinaria – Obstruções e Falta de Manutenção</b>
<b>Área</b>	Circuito C1, C2, C3, C4., C5, C7 e C8
<b>Documento (s)</b>	N. A. (Não Aplicável)
<b>Figura (s)</b>	 <p><b>Figura 10-2: Acúmulo de lixo e obstrução em bocas de lobo simples (BLS) nos circuito C1 (<i>superior esquerda e direita</i>). Gradil deteriorado em BLS do circuito C4 (<i>inferior esquerda</i>). Acúmulo de detritos em BLS do circuito C4 (<i>inferior direita</i>).</b></p>
<b>Evidência</b>	<p>Durante inspeção realizada pela auditora no dia 06/08/2024 foram detectadas situações que chamaram atenção da equipe de auditoria. Essas situações concernem a descuidos e ausência de manutenção de alguns bueiros dos diversos circuitos de drenagem da refinaria da Alunorte. Dentre essas, destacam-se:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Detecção de material plástico, semelhante a saco de material de construção, obstruindo parte da seção de escoamento da sarjeta e de bueiro no circuito C1 (<b>Figura 10-2, superior esquerda</b>);</li> <li>• Deterioração do gradil favorece a entrada de materiais diversos a rede de drenagem de águas pluviais, implicando um possível obstrução das seções de escoamento (<b>Figura 10-2, superior direita</b>);</li> <li>• Acúmulo de detritos obstruindo parte da seção de escoamento de bueiro no circuito C4 (<b>Figura 10-2, inferior esquerda</b>);</li> <li>• Tampa de proteção sobre um beiro do circuito C1 colocada com o intuito de evitar que detritos de obras no entorno sejam carregados para as galerias de drenagem. No entanto, a tampa de proteção foi esquecida no local e não havia sinalização de obra no entorno (<b>Figura 10-2, inferior direita</b>).</li> </ul> <p>Ressalta-se que a inspeção foi realizada no período de estiagem, não tendo sido detectadas alturas de precipitação nos cinco dias anteriores à inspeção (consulta à</p>




	<p>série histórica de precipitação das estações da Alunorte, ver documento Série histórica - Dados pluviométricos 2018-2024 – Alunorte).</p> <p>A conformidade do item analisado pode ser verificado considerando a observação das obstruções pontuais e que devem ser acompanhadas por meio de inspeções que recobrem todo o sistema.</p>
<b>Conformidade</b>	<p>( X ) Em conformidade ( ) Não conformidade ( ) Oportunidade de Melhoria</p> <p>( X ) Observação</p>

<b>Tópico</b>	<b>Inspeção dos Circuitos de Drenagem da Refinaria – Obstruções e Falta de Manutenção</b>
<b>Área</b>	Circuito C8 e em trecho com interface entre os circuitos C1, C2, C3 e C5.
<b>Documento (s)</b>	N. A. (Não Aplicável)
<b>Figura (s)</b>	 <p><b>Figura 10-3: Deterioração de bueiro e poço de visita no circuito C8 (acima) e em poço situado em via cortada pelos circuitos C1, C2, C3 e C5 (abaixo).</b></p>
<b>Evidência</b>	<p>Tráfego intenso de veículos ocasionou a deterioração do concreto asfáltico ao redor de poço de visita em via onde estão aterradas galerias pluviais dos circuitos C1, C2, C3 e C5. Apesar disso, não se nota afundamento do poço ou dificuldades de abertura do mesmo para inspeções de rotina. Apesar disso, faz-se necessário a efetuação de medida de caráter corretivo, de forma a restabelecer a camada asfáltica e prevenir o carreamento de material particulado à rede de drenagem.</p> <p>Situação similar foi observada em poço de visita situação em via cortada pelos circuitos C1, C2, C3 e C5. Devido ao constante tráfego de veículos pesados nessa via, nota-se um afundamento do poço de visita e do bueiro. Nesse caso, é necessário a efetuação de medida de caráter corretivo, de forma restabelecer o poço a sua elevação original, bem como a realização de inspeção para avaliar a integridade do</p>

	<p>mesmo. O eventual seccionamento interno e ruptura dessa estrutura pode causar obstrução do escoamento e o seu extravasamento, alagando a via.</p> <p>Face o exposto, a auditora classificou o tópico como em conformidade e atribuiu o status de Oportunidade de melhoria frente à essa evidência.</p>
<b>Conformidade</b>	<p>( X ) Em conformidade ( ) Não conformidade ( X ) Oportunidade de Melhoria ( ) Observação</p>


<b>Tópico</b>	<b>Inspeção dos Circuitos de Drenagem da Refinaria – Obstruções e Falta de Manutenção</b>
<b>Área</b>	Circuito C1
<b>Documento (s)</b>	N. A. (Não Aplicável)
<b>Figura (s)</b>	 <p><b>Figura 10-4: Ampliação das galerias de drenagem do circuito C1.</b></p>
<b>Evidência</b>	<p>Obras de ampliação dos dispositivos de drenagem do circuito C1. A melhoria corrente desses dispositivos, visando o aumento da sua capacidade de condução de vazões, é essencial para a segurança da planta da refinaria, visto que contribuem para a garantia do livre tráfego de pessoas e equipamentos durante a estação úmida, evitando possíveis intercorrências. A obra está cercada e bem sinalizada, sendo efetuada em período de estiagem.</p>
<b>Conformidade</b>	<p>( X ) Em conformidade ( ) Não conformidade ( ) Oportunidade de Melhoria ( ) Observação</p>


<b>Tópico</b>	<b>Inspeção dos Circuitos de Drenagem da Refinaria – Obstruções e Falta de Manutenção</b>
<b>Área</b>	Circuito C1
<b>Documento (s)</b>	N. A. (Não Aplicável)

<b>Figura (s)</b>	 <p><b>Figura 10-5: Saída de vapor d'água em bueiro do circuito C1.</b></p>
<b>Evidência</b>	<p>Segundo a Alunorte existem tubulações responsáveis pela realização da purga do condensado proveniente das diversas etapas do processo de obtenção da alumina. A água condensada purga é destinada ao sistema de drenagem da refinaria e emerge dos bueiros em diversos pontos da refinaria.</p> <p>Segundo a NBR 8890/2020 (Tubo de concreto de seção circular para água pluvial e esgoto sanitário — Requisitos e métodos de ensaios) a produção do tubo para água pluvial pode utilizar qualquer tipo de cimento Portland, sendo que os parâmetros de preparação do concreto e seleção do cimento devem respeitar a classe de agressividade de exposição das peças, conforme classificação estipulada pela NBR 6118/2014.</p> <p>Não se sabe a especificação do concreto das galerias de águas pluviais da refinaria da Alunorte, dessa forma, assumindo que seja de concreto feito com Cimento Portland Comum, cuja especificação é definida pela NBR 5732/1991, é admito que o lançamento do vapor de água nos circuitos de drenagem não é danoso às galerias de águas pluviais. Segundo estudo de Tanash <i>et al.</i> (2023), observa-se um incremento de resistência do concreto comum quando submetido a temperaturas entre 20 e 300°C. Decréscimo de resistência é observado em temperaturas acima de 300°C. Como o vapor de água atinge uma temperatura máxima de 100°C ao nível do mar, tais condições não são passíveis de observação na planta da refinaria da Alunorte em Barcarena/PA.</p>
<b>Conformidade</b>	<p><input checked="" type="checkbox"/> <b>Em conformidade</b> <input type="checkbox"/> Não conformidade <input type="checkbox"/> Oportunidade de Melhoria <input type="checkbox"/> Observação</p>

<b>Tópico</b>	<b>Inspeção dos Circuitos de Drenagem da Refinaria – Obstruções e Falta de Manutenção</b>
<b>Área</b>	Circuito C4
<b>Documento (s)</b>	N. A. (Não Aplicável)



<b>Figura (s)</b>	 <p><b>Figura 10-6: Bomba-poço em bacia de contenção situada em área do circuito C4.</b></p>
<b>Evidência</b>	Evidência de existência de bomba poço em bacia de contenção em área do circuito C1. Apesar na presença do estado aparente de desgaste e material encrustado, a bomba estava operando sem contratempos.
<b>Conformidade</b>	( X ) Em conformidade ( ) Não conformidade ( ) Oportunidade de Melhoria ( ) Observação

<b>Tópico</b>	<b>Inspeção dos Circuitos de Drenagem da Refinaria – Obstruções e Falta de Manutenção</b>
<b>Área</b>	Circuito C1
<b>Documento (s)</b>	N. A. (Não Aplicável)
<b>Figura (s)</b>	 <p><b>Figura 10-7: Bacia de contenção em área de processo na região do circuito C1.</b></p>
<b>Evidência</b>	Bacia de contenção segregada da área da drenagem superficial de modo que eventuais vazamentos não se misturem com o escoamento resultante de eventos pluviométrico e afluam aos circuitos de drenagem. A imagem ainda ilustra o tubo de queda do telhado da estrutura, o qual conduz apenas água da chuva e a destina às áreas dos circuitos de drenagem.
<b>Conformidade</b>	( X ) Em conformidade ( ) Não conformidade ( ) Oportunidade de Melhoria ( ) Observação

### 10.3 Evidências Documentais

<b>Tópico</b>	<b>Estudos de Chuvas Intensas</b>																										
<b>Área</b>	Refinaria, DRS 1 e DRS2																										
<b>Documento (s)</b>	Área 54A/B – Depósitos de Resíduos Sólidos – DRS1 e DRS2 - Atualização dos Estudos de Chuvas Intensas - RT-469133-54-G-003 (GWS, 2022)																										
<b>Figura (s)</b>	<p><b>Análise de Frequência: Estação Vila do Conde x Estação Fábrica - 24h</b></p> <p>Tempo de Retorno - TR (anos)</p> <p>1 1,25 2 2,5 3,3 5 10 20 25 33,3 50 100 200 500 1.000 2.500 5.000 10.000</p> <p>Precipitação (mm)</p> <p>600 500 400 300 200 100 0</p> <p>100,00 10,00 1,00 0,10 0,01</p> <p>Probabilidade de Excedência (%)</p> <p>— Fábrica (GWS - 2021) — Vila do Conde (GWS - 2021)</p> <p>546,1 mm +34,7%</p> <p>405,4 mm</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Duração</th> <th>Distribuição</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>24 horas</td> <td>Gumbel</td> </tr> <tr> <td>2 dias</td> <td>LogNormal</td> </tr> <tr> <td>3 dias</td> <td>LogNormal</td> </tr> <tr> <td>5 dias</td> <td>LogNormal</td> </tr> <tr> <td>7 dias</td> <td>LogNormal</td> </tr> <tr> <td>10 dias</td> <td>LogNormal</td> </tr> <tr> <td>15 dias</td> <td>GEV</td> </tr> <tr> <td>20 dias</td> <td>Gumbel</td> </tr> <tr> <td>25 dias</td> <td>LogNormal</td> </tr> <tr> <td>30 dias</td> <td>Gumbel</td> </tr> <tr> <td>45 dias</td> <td>Gumbel</td> </tr> <tr> <td>60 dias</td> <td>Gumbel</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Figura 10-8 – Análise comparativa dos quantis pontuais de precipitação de projeto: Estação Vila do Conde x Estação Fábrica. Distribuições estatísticas da Estação Fábrica.</b></p>	Duração	Distribuição	24 horas	Gumbel	2 dias	LogNormal	3 dias	LogNormal	5 dias	LogNormal	7 dias	LogNormal	10 dias	LogNormal	15 dias	GEV	20 dias	Gumbel	25 dias	LogNormal	30 dias	Gumbel	45 dias	Gumbel	60 dias	Gumbel
Duração	Distribuição																										
24 horas	Gumbel																										
2 dias	LogNormal																										
3 dias	LogNormal																										
5 dias	LogNormal																										
7 dias	LogNormal																										
10 dias	LogNormal																										
15 dias	GEV																										
20 dias	Gumbel																										
25 dias	LogNormal																										
30 dias	Gumbel																										
45 dias	Gumbel																										
60 dias	Gumbel																										
<b>Evidência</b>	<p>A atualização do Estudo de Chuvas Intensas da região esteve a cargo da GWS ENGENHARIA, cujo documentos com os resultados do estudo foi emitido em fev/2022, sob a codificação Alunorte RT-469133-54-G-003. Este estudos consistiu na análise de frequência pontual das precipitações máximas anuais para diversas durações e Tempos de Retorno associados com o intuito de se conhecer os dos eventos pluviais críticos, essenciais ao dimensionamento e à verificação de estruturas hidráulicas da Alunorte</p> <p>Antes dessa atualização, a atualização anterior havia sido desenvolvida pela empresa PIMENTA DE ÁVILA CONSULTORIA em 2018, que já tinha incorporado a análise do evento de chuva ocorrido em fevereiro de 2018 (239,4 mm). Entretanto, a ocorrência de evento de maior magnitude no ano seguinte, (255,6 mm, evento monitorado de 1 dia de duração ocorrido em 04/04/2019), a Alunorte entendeu que era necessária uma nova atualização dos estudos de chuvas intensas.</p> <p>Para a atualização do estudo, o relatório da GWS considerou as seguintes estações pluviométricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Estação Pluviométrica Vila do Conde (código 00148011): Operada pela Agência Nacional das Águas (ANA)<sup>1</sup> e Serviços Geológicos do Brasil (CPRM), com dados diários de precipitação de janeiro de 1980 a agosto de 2019 → <b>39 anos de dados (excluindo os anos com falhas)</b>;</li> <li>o Estação Meteorológica Fábrica: Operada pela Alunorte, com dados diários de precipitação de janeiro de 2004 a setembro de 2021 e com dados sub-diários de precipitação de janeiro de 2015 a dezembro de 2020 → <b>18 anos de dados</b>;</li> </ul> <p>Em decorrência de premissas adotadas pelo estudo, a Tractebel destaca os seguintes pontos de atenção:</p>																										

**1. Das análises da qualidade dos ajustes das distribuições estatísticas (pág. 12):**

*“Análises da qualidade dos ajustes das distribuições estatísticas: Foram realizadas com base nos testes estatísticos de aderência de Kolmogorov-Smirnov e Qui-Quadrado (com auxílio do software HEC-SSP), pela avaliação do erro residual calculado para as diferentes distribuições estatísticas analisadas (com o auxílio de rotinas desenvolvidas em planilha Excel) e pela análise gráfica visual (aderência ao processo físico inerente à dinâmica das chuvas → alturas de chuva sempre crescentes na medida que as durações de chuva fossem ser tornando maiores).”*

ANÁLISE DA AUDITORA: A aplicação dos testes de Kolmogorov-Smirnov e Qui-Quadrado é adequada. Apesar disso, Naghettini (2007) apresenta alternativas metodológicas como as de Anderson-Darling e de Filliben.. Neste sentido, quando da reavaliação do estudo de chuvas intensas no futuro, indica-se avaliar a aplicabilidade desses testes alternativos em complementação aos testes de Kolmogorov-Smirnov e Qui-Quadrado.

**2. Da consistências de dados de precipitação (págs. 16 e 17):**

*“...conclui-se que as chuvas máximas diárias dos anos hidrológicos de 2012 (09/08 → 459,4 mm) e de 2019 (15/02 → 485,2 mm; 15/03 → 485,2 mm; 24/07 → 454,4 mm) foram indicadas como observações atípicas (outliers) na série de precipitações máximas diárias anuais da estação pluviométrica Vila do Conde ... Como não existem evidências para que esses eventos de chuva realmente tenham ocorrido na região e os mesmos ultrapassam muito o limite físico de volume de chuva diária esperada para essa área, os mesmos foram retirados das análises.”*

ANÁLISE DA AUDITORA: em consulta ao banco de dados da estação Vila do Conde (cód. ANA 00148011), foi constatado que essas alturas de precipitação foram classificadas como sendo valores duvidosos ou acumulados segundo a Agência Nacional de Água e Saneamento (ANA):

- 09/08/2012 → 459,4 mm - status: 3 duvidoso;
- 15/02/2019 → 485,2 mm - status: 4 acumulado;
- 15/03/2019 → 485,2 mm - status: 3 duvidoso;
- 24/07/2019 → 454,4 mm - status: 4 acumulado;

A série de dados e o status do nível de qualidade desses podem ser consultados no Portal Hidroweb da ANA, onde a agência disponibiliza bancos de dados que contém todas as informações coletadas pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN).

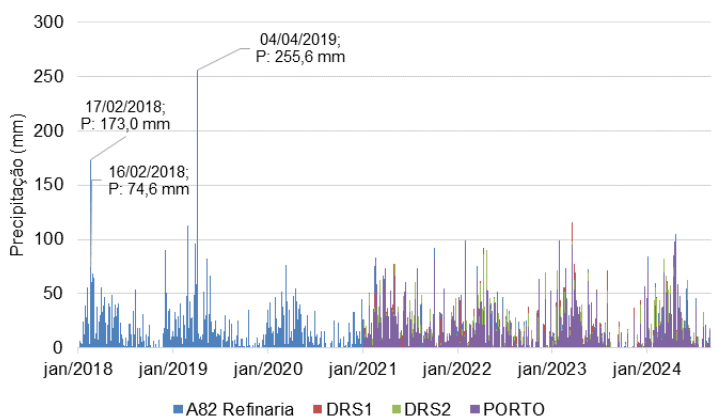
Em decorrência desses status atribuído pela entidade máxima em recursos hídricos no país, considera-se que a desconsideração desses dados uma abordagem correta para a análise de eventos extremos na região.

**3. Da desagregação dos dados em intervalos sub-diários (pág. 29):**

*“Não obstante, foi considerada a desagregação das chuvas em intervalos sub-diários, mediante a aplicação das curvas de intensidade-duração-frequência (IDF) da estação pluviográfica de Belém/PA, constante no trabalho publicado por Pfafstetter (1957). Essa é uma metodologia clássica de desagregação de chuvas aplicada em todo o Brasil.”*

ANÁLISE DA AUDITORA: o estudo de Pfafstetter (1957) é referência para estudos de avaliação de chuvas intensas, porém, os coeficientes de desagregação determinados por este fundamentaram-se na análise de 98 postos pluviográficos e pluviométricos espalhados por todo o país inclusive a estação de Belém/PA. Essa abordagem é amplamente utilizada em estudos dessa natureza, sendo inclusive

	<p>usada na elaboração das Equação de Intensidade-Duração-Frequência do município de Belém feita pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM (CPRM, 2014). Nesse sentido, considera-se a abordagem apropriada.</p> <p><b>4. Dos resultados dos ajustes das chuvas de 24 horas e 30 dias para as estações Vila do Conde (cód. ANA 00148011) e Fábrica (operada pela Alunorte) (págs. 43 e 45) :</b></p> <p><i>“Em particular, o quantil de chuva associado ao Tempo de Retorno de 10.000 anos e duração de 24 horas calculado para a estação Fábrica é cerca de <b>35% maior</b> do que aquele calculado para a estação Vila do Conde. Já o quantil de chuva associado ao Tempo de Retorno de 10.000 anos e duração de 30 dias calculado para a estação Fábrica é cerca de <b>2% menor</b> do que aquele calculado para a estação Vila do Conde. Vale ressaltar a diferença da extensão da série histórica entre ambas as estações (Vila do Conde → 39 anos; Fábrica → 18 anos), o que pode ter contribuído, também, para as diferenças dos resultados.”</i></p> <p><i>“No dia 08/11/2021 foi definido pela equipe da Alunorte, por meio de e-mail, a definição da estação Vila do Conde como referência para os estudos de trânsito de cheias nos DRS1 e DRS2.”</i></p> <p><b>ANÁLISE DA AUDITORA:</b> A Organização Mundial de Meteorologia (WMO) indica que a extensão mínima de série de dados climatológicos para análises de cunho estatístico seja de 30 anos (WMO, 1989). Dessa forma, pode-se dizer que a escolha da estação Vila do Conde como referência para a definição de chuvas intensas para diversos tempos de retorno é embasada em referência técnica. Entretanto, é salutar evidenciar um fenômeno conhecido no monitoramento climatológico que é a não-estacionariedade de séries temporais, onde dados climatológicos não são constantes <i>“no tempo e a série hidrológica/hidrometeorológica, como uma amostra única, não pode ser considerada homogênea e nem utilizada para a inferência estatística”</i> (Naghetini, 2007).</p> <p>As análises expressas no relatório RT-469133-54-G-003 (GWS, 2022) para a estação Vila do Conde mostram uma tendência de diminuição da intensidade dos eventos de precipitação entre os anos 1981-2006, seguido por um período de aumento na intensidade dos índices pluviométrico entre os anos de 2007-2019, sugerindo uma quebra na estacionariedade da série de precipitações máximas anuais. A estação Fábrica tem a sua extensão de monitoramento praticamente toda restrita a essa janela com tendência de aumento da intensidade da precipitação (2004 a 2019). Isto posto, é compreensível que a análise de frequência de precipitações para a referida estação tenha resultado em quantis superiores para a chuva de 24 horas quando comparada a estação Vila do Conde.</p> <p>Não se sabe se essa tendência deverá se manter ao longo dos próximos anos, porém, em condição de mudanças climáticas é sabido que, além do aumento de temperatura, espera-se mudanças no regime de precipitação (Ommetto <i>et al.</i>, 2022).</p> <p><b>CONCLUSÃO DA AUDITORA EM RELAÇÃO AO DOCUMENTO:</b></p> <p>Conclui-se que o estudo de chuvas intensas está conforme, entretanto, recomenda-se que em relatórios futuros a Alunorte utilize métodos complementares para verificar ajuste das distribuições teóricas às distribuições empíricas de probabilidades. Além disso, é recomendada a avaliação da estacionariedade dos dados da estação Vila do Conde, com o intuito de avaliar quebras na tendência das precipitações máximas da estação..</p>
<b>Conformidade</b>	<p><b>( X ) Em conformidade</b> ( ) Não conformidade ( X ) Oportunidade de Melhoria ( ) Observação</p>


<b>Tópico</b>	<b>Monitoramento pluviométrico</b>
<b>Área</b>	Refinaria, Porto, DRS 1 e DRS2
<b>Documento (s)</b>	Série histórica - Dados pluviométricos 2018-2024 – Alunorte.pdf
<b>Figura (s)</b>	 <p><b>Figura 10-9 – Séries de precipitação das estações pluviométricas (últimos 80 meses) mantidas pela Alunorte. Destaque para os eventos de 2018 (dias 16 e 17/02/2018) e para a maior altura de precipitação registrada na série histórica da estação A82 Refinaria (255,6 mm em 04/04/2019).</b></p>
<b>Evidência</b>	<p>A Alunorte conta com 4 pluviômetros automáticos nas áreas da refinaria:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estação A82 Refinaria ou Fábrica: 01/01/2004</li> <li>• Estação Porto: início de operação em 01/01/2021;</li> <li>• Estação DRS1: início de operação em 01/01/2021;</li> <li>• Estação DRS2: início de operação em 01/01/2021.</li> </ul> <p><b>CONCLUSÃO DA AUDITORA EM RELAÇÃO AO DOCUMENTO:</b></p> <p>A pedido desta auditora, a Alunorte encaminhou as séries históricas de precipitação dos últimos 80 meses, compreendendo o período de janeiro de 2018 a agosto de 2024. Os dados encaminhados não possuem falhas diárias, demonstrando diligência na manutenção dos equipamentos de monitoramento pluviométrico. Os dados das quatro estações apresentam comportamento sazonal, com períodos úmidos e de estiagem bem marcados, conforme esperado para região, demonstrando que as alturas de precipitação registradas estão consistentes. Também acrescenta-se que as fichas descritivas das estações meteorológicas foram disponibilizadas.</p> <p>Nesse sentido, a auditora atribuiu o status de Em Conformidade ao monitoramento pluviométrico.</p>
<b>Conformidade</b>	<p><b>(X) Em conformidade</b> ( ) Não conformidade ( ) Oportunidade de Melhoria ( ) Observação</p>

<b>Tópico</b>	<b>Levantamento Cadastral do Sistema de Drenagem da Refinaria</b>
<b>Área</b>	Refinaria
<b>Documento (s)</b>	Área 97A - Circuitos da planta – Folhas 1/12 a 10/12: desenhos D0-3515-97-G-001 001 ao D0-3515-97-G-001 010





	A conformidade é atestada com Oportunidade de Melhoria e recomenda-se a inclusão das cotas das tampas de dos poços de visita e bocas de lobo, bem como a indicação nos desenhos do diâmetro dos ramais.
<b>Conformidade</b>	(X) Em conformidade ( ) Não conformidade ( X ) Oportunidade de Melhoria ( ) Observação

<b>Tópico</b>	<b>Levantamento Cadastral do Sistema de Drenagem da Refinaria</b>
<b>Área</b>	Refinaria
<b>Documento (s)</b>	Áreas de contribuição para os sistemas de drenagem - Planta Geral - D1-3542-54-G-037-R01 Áreas de contribuição para os sistemas de drenagem. - FOLHAS 1 a 16: D1-3542-54-G-038-R01 a D1-3542-54-G-053-R01
<b>Figura (s)</b>	 <p><b>Figura 10-11 – Planta da refinaria da Alunorte em Barcarena/PA.</b></p>
<b>Evidência</b>	<p>Os arquivos apresentam a divisão das áreas de contribuição correspondentes aos dispositivos de drenagem superficial de toda a extensão da planta da refinaria. No total, são 17 arquivos, dos quais:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• D1-3542-54-G-037-R01: planta geral em escala 1:2500 indicando subdivisão da refinaria em 16 quadrantes que detalham as áreas de drenagem. Nesse arquivo constam as camadas de 8 (oito) circuitos de drenagem da refinaria. Na época da elaboração destes documentos constavam apenas 8 circuitos;</li> <li>• FOLHAS 1 a 16: D1-3542-54-G-038-R01 a D1-3542-54-G-053-R01: folhas respectivas aos quadrantes definidos no documento D1-3542-54-G-037-R01. Detalham as áreas de contribuição dos 8 circuitos de drenagem em escala 1:500.</li> </ul> <p><b>CONCLUSÃO DA AUDITORA EM RELAÇÃO AO DOCUMENTO:</b> As últimas atualizações dos arquivos D0-3515-97-G-001 001 ao D0-3515-97-G-001 01 datam do ano de 2022 e indicam um novo circuito de drenagem, o circuito C9. Dessa forma, o ponto foi considerado “Em conformidade” e com “Oportunidade de Melhoria” frente a possibilidade de atualização do levantamento de forma a incorporar as áreas de contribuição do circuito C9, e por consequente atualização das demais áreas que possuem interface com esse novo circuito.</p>
<b>Conformidade</b>	(X) Em conformidade ( ) Não conformidade ( X ) Oportunidade de Melhoria ( ) Observação

## 10.4 Evidências Analíticas

Como parte do escopo do TAC, foi requerida análise da rede de drenagem da refinaria da Alunorte em Barcarena/PA.

Cabe ressaltar que, dentre a documentação disponibilizada pela Alunorte, foi encaminhada nota técnica onde foi realizada a aferição da capacidade dos diversos dispositivos de drenagem de conduzir suas vazões de projeto, considerando o atual cenário pluviométrico da região onde as atividades da Alunorte estão situadas. Em exame a essa nota, foi identificada discordância entre os dados imputados nos cálculos e os dados brutos altimetria presente nos documentos de levantamento cadastral da rede de drenagem. Em decorrência disso e, visto que o escopo da auditoria inclui a realização dessa análise de forma independente, tal nota não foi utilizada para discorrer conclusões acerca da suficiência da rede drenagem da refinaria. As conclusões aqui atestadas partem das análises e cálculos realizados pela própria auditora.

Face o exposto, os itens a seguir apresentam metodologia, premissas e resultados da avaliação realizada.

### *10.4.1 Análise do dimensionamento da rede de drenagem, considerando o regime pluviométrico regional de Barcarena, suas oscilações e outras contribuições*

#### 10.4.1.1 Diretrizes e normativas utilizadas

A análise do dimensionamento da rede drenagem da refinaria da Alunorte em Barcarena considerou-se as seguintes manuais e diretrizes técnicas:

- **Manual de drenagem de rodovias**, 2ª ed. DNIT: 2006.
- **Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem**, 2ª ed. DNIT: 2005.
- **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: aspectos tecnológicos; fundamentos**. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano (SMDU) de São Paulo: 2012.
- **Plano Diretor de Drenagem para a Bacia do Rio Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba**. Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. SUDERHSA. Curitiba: 2002.

#### 10.4.1.2 Dados utilizados

A suficiência do dimensionamento foi analisada a partir da verificação dos seguintes dispositivos hidráulicos:

- Sarjetas;
- Bocas de Lobo;
- Galerias de águas pluviais;
- Poços de visita.

As informações geométricas dessas estruturas foram extraídas dos documentos encaminhados pela Alunorte, sendo eles:

- Cadastro geométrico dos dispositivos de drenagem:
  - ÁREA 97 - Arruamento e pavimentação: Projeto Geométrico, Plantas, Cortes e Detalhes - D0-5310-97-G-020-R0;
  - Área 97A - Circuitos da planta 1/12 a 10/12 - D0-3515-97-G-001 001 ao D0-3515-97-G-001 010.
- Áreas de contribuição dos circuitos de drenagem:
  - Áreas de contribuição para os sistemas de drenagem - Planta Geral - D1-3542-54-G-037-R01;
  - Áreas de contribuição para os sistemas de drenagem - FOLHAS 1/16 a 16/16 - D1-3542-54-G-038-R01 a D1-3542-54-G-053-R01.

Conforme discorrido no **item 9**, a rede de drenagem da refinaria da Alunorte é composta por 9 circuitos independentes, logo, as análises aqui efetuadas deverão considerar essa configuração.

#### 10.4.1.3 Premissas de cálculo

Para a verificação da suficiência do sistema de drenagem foram consideradas as seguintes premissas de cálculo:

- Chuva de projeto com Tempo de Retorno de 10 anos, conforme manuais de drenagem urbana de diversas capitais brasileiras (*Belém*: UCP-PROMABEN, 2020; *Rio de Janeiro*: RIO-ÁGUAS, 2020; *Curitiba*: SUDERHSA, 2002; *São Paulo*: SMDU, 2012; *Belo Horizonte*: DGAU, 2022; *Porto Alegre*: IPH, 2005);
- Tempo de concentração na cabeceira das áreas de drenagem como sendo de 10 minutos. Essa premissa está consonância com as seguintes referências:
  - o DNIT (2006): “o tempo de concentração mínimo adotado em sistemas urbanos é de  $t = 10$  minutos”;
  - SUDERHSA (2002): *tempo de concentração inicial nos trechos de cabeceira de rede, que corresponde ao tempo de escoamento superficial pelos quarteirões, vias e sarjetas, é muitas vezes, adotado como sendo de dez minutos*”.
- Curva Intensidade-Duração-Frequência (IDF) elaborada pela GWS no documento “Área 54A/B – Depósitos de Resíduos Sólidos – DRS1 e DRS2 - Atualização dos Estudos de Chuvas Intensas”. Nesse caso, a auditora considerou a curva resultante das análises realizadas para a estação pluviométrica Vila do Conde (cód. ANA 00148011), operada pela Agência Nacional de Águas e Saneamento, e cuja série histórica possui mais de 30 anos de monitoramento pluviométrico;
- Coeficiente de escoamento superficial igual a 0,9 (Áreas Industriais Densas), conforme DNIT (2005).
- Conforme discorrido no **item 10.4.1.2**, serão consideradas as áreas de contribuição dos dispositivos hidráulicos, conforme documentos D1-3542-54-G-037-R01 a D1-3542-54-G-053-R01 elaborado pela Alunorte. Ressalta-se que as áreas de contribuição referentes ao circuito C9 não estavam contempladas

nestes documentos, logo, foram a inserção destas e eventuais alterações nas áreas de interface com os demais circuitos foram realizadas;

- Para o cálculo da capacidade das sarjetas foi considerada uma inclinação padrão dos arruamentos de 0,005 m/m;
- Funcionamento das galerias de águas pluviais:
  - *Funcionamento como canal*: ocorre quando a relação entre o nível d'água nas galerias (y) e o diâmetro (D) for inferior a 0,85 (y/D). Nesse caso a conferência hidráulica utiliza a equação de Manning;
  - *Funcionamento em orifício*: ocorre quando a relação y/D é superior a 0,85. Nesse caso, considera-se que necessário uma sobre-elevação do nível d'água a montante para que a vazão seja conduzida, demandando o cálculo pela equação de orifício.
- Galerias de águas pluviais em concreto, logo, o coeficiente de rugosidade de Manning utilizado foi de 0,015, conforme Chow (1959);
- Utilização do Método Racional para calcular o escoamento superficial destinado às sarjetas, bocas de lobo e galerias de águas pluviais (DNIT, 2005; SUDERHSA, 2002).

#### 10.4.1.4 Dados Hidrológicos

##### 10.4.1.4.1 Chuva de projeto

O componente inicial para a verificação hidráulica dos dispositivos hidráulicos que integram a rede drenagem da Alunorte em Barcarena/PA é a estimativa das chuvas de projeto. Para isso, serão utilizadas chuvas resultantes d análise de frequência feita pela GWS (2022) no estudo “Área 54A/B – Depósitos de Resíduos Sólidos – DRS1 e DRS2 - Atualização dos Estudos de Chuvas Intensas”. Essa análise resultou em diversos quantis de intensidade de chuvas para diferentes tempos de duração e de retorno. Os valores resultantes dessa análises são reproduzidos no **Quadro 10-1**.

**Quadro 10-1 – Valores de Intensidade de chuvas (mm/h) calculados a partir da análise de frequência de precipitações máximas anuais a partir de dados da estação pluviométrica Vila do Conde (cód. ANA 00148011).**

Duração	TEMPO DE RETORNO (ANOS)										
	2	5	10	25	50	100	200	500	1000	5000	10000
5 min	170,4	208,8	230,4	254,4	271,2	286,8	302,4	319,2	332,4	356,4	364,8
10 min	126,0	154,2	170,4	189,6	202,8	216,0	228,0	243,6	254,4	277,2	285,6
15 min	107,2	135,6	152,4	172,0	185,6	198,0	209,6	224,0	234,4	254,8	262,4
20 min	91,8	116,7	131,7	149,4	161,7	173,1	184,2	197,7	207,3	227,4	235,2
25 min	80,9	103,4	117,1	133,4	144,7	155,8	166,3	179,5	188,9	208,8	216,7
30 min	72,6	93,4	106,2	121,4	132,4	143,0	153,2	166,0	175,4	195,8	203,8
45 min	57,1	74,8	85,9	99,3	109,1	118,4	127,6	139,2	147,7	166,5	174,1
1 hora	47,9	63,9	74,2	86,8	96,0	104,9	113,5	124,7	132,9	151,4	159,0

Fonte: modificado de GWS, 2022.

#### 10.4.1.4.2 Tempo de Concentração

O tempo de concentração em redes de drenagem é determinado pela soma dos tempos de concentração dos diferentes trechos. O tempo de concentração de uma determinada seção é composto por duas parcelas:

$$tc_i = tc_{i-1} + tp_i$$

onde:

$tc_{i-1}$ : tempo de concentração do trecho anterior ;

$tp_i$ : tempo de concentração do trecho i.

O tempo de concentração inicial nos trechos de cabeceira de rede, que corresponde ao tempo de escoamento superficial pelos quarteirões, vias e sarjetas, é frequentemente, adotado como sendo de dez minutos (SUDERHSA, 2002). Essa consideração foi adotada para o cálculo do tempo de concentração inicial da rede da Alunorte.

O tempo de concentração é o maior tempo de deslocamento do escoamento dentro da área de contribuição, sendo obtido pelo somatório dos tempos de cada trecho na equação:

$$tc = \frac{1}{60} \sum_i^m \frac{L_i}{v_i}$$

Onde:

$tc$  é o tempo de concentração da bacia em minutos;

$L_i$  é o comprimento do trecho i;

$v_i$  a velocidade do trecho i, obtida por uma das equações anteriores e;

$m$  o número de sub-trechos.

#### 10.4.1.4.3 Vazão de projeto

A estimativa da vazão para a análise da capacidade do sistema de drenagem da refinaria da Alunorte foi realizada por meio do Método Racional.

O método racional é largamente utilizado na determinação da vazão máxima de projeto para bacias pequenas (<2 km<sup>2</sup>). Os princípios básicos dessa metodologia são (SUDERHSA, 2002):

- A duração da precipitação máxima de projeto é igual ao tempo de concentração da bacia. Admite-se que a bacia é pequena para que essa condição aconteça, pois a duração é inversamente proporcional à intensidade;
- Adota-se um coeficiente único de perdas, denominado C, estimado com base nas características da bacia;
- Não avalia o volume da cheia e a distribuição temporal das vazões.

A equação do método é dada por:

$$Q_{proj} = 0,278CIA$$

Onde:

$Q_{proj}$ : vazão de projeto ( $m^3/s$ );

C: coeficiente de escoamento médio superficial ponderado;

I: intensidade da precipitação (mm/h)

A: área da bacia de contribuição ( $km^2$ ).

#### 10.4.1.5 Metodologia para Verificação Hidráulica

A seguir, são apresentadas os equacionamento usados para a verificação da capacidade hidráulica dos diversos dispositivos que integram a rede da refinaria da Alunorte em Barcarena/PA.

##### 10.4.1.5.1 Sarjetas

A verificação hidráulica de sarjetas consiste na determinação da capacidade hidráulica a partir de uma seção transversal existente. Para isso, é comparada a vazão projeto (ver **item 10.4.1.4.3**) e a capacidade de vazão da sarjeta.

A capacidade hidráulica máxima da sarjeta é obtida pela equação de Manning.

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} I^{1/2}$$

Onde:

Q: vazão suportada pela sarjeta [ $m^3/s$ ]

n: coeficiente de Manning;

A: área molhada [ $m^2$ ];

$I$ : declividade longitudinal da via [m/m].

De acordo com o documento, D0-5310-97-G-020-R04 a seção típica de projeto das sarjetas do arruamento da refinaria da Alunorte apresentam seção triangular, com meio-fio de 0,15 m de altura e 3,00 m de largura.

A declividade longitudinal das vias foi admitida como sendo 0,5%, ou 0,005 m/m.

#### 10.4.1.5.2 Bocas de Lobo

Segundo ensaios realizados no laboratório de hidráulica do "Bureau of Public Roads", a boca-de-lobo simples pode funcionar basicamente sob duas condições de escoamento (DNIT, 2006):

- Escoamento com superfície livre, no qual a boca-de-lobo funciona como um vertedor;
- Escoamento afogado, no qual a boca-de-lobo funciona como orifício.

Para alturas d'água até a altura da abertura ( $y/h \leq 1$ ), a boca-de-lobo funciona como vertedor, sendo a vazão dada pela fórmula:

$$\frac{Q}{P} = 1,655y^{3/2}$$

Sendo:

$h$ : altura da abertura no meio-fio [m];

$P$ : Perímetro molhado da abertura [m];

$Y$ : altura da água na entrada [m];

$Q$ : vazão máxima esgotada pela boca-de-lobo [m³/s].

As bocas-de-lobo com grelha funcionam como um vertedor de soleira livre para profundidade de lâmina de até 12 cm. Para profundidades de lâmina maiores que 42 cm, a vazão é calculada por (SUDERHSA, 2002):

$$Q = 2,91Ay^{1/2}$$

$A$ : área da grade, excluídas as áreas ocupadas pelas barras [m²];

$y$ : altura de água na sarjeta sobre a grelha [m].

De acordo com SUDERHSA (2002), na faixa de transição entre 12 e 42 cm, a carga a ser adotada é definida segundo julgamento do projetista. A capacidade teórica de esgotamento das bocas-de-lobo combinadas é igual, aproximadamente, à somatória das vazões pela grelha e pela abertura na guia, consideradas isoladamente.



Ao que concerne à rede drenagem da refinaria da Alunorte, o sumaria o número de bocas de lobo por circuitos, distinguindo-as por bocas de lobo simples (BLS) e bocas de lobo duplas (BLD).

**Quadro 10-2 – Quantitativo de bocas de lobo por circuito.**

CIRCUITO DE DRENAGEM	BOCA DE LOBO SIMPLES	BOCA DE LOBO DUPLA
C01	154	1
C02	57	-
C03	83	-
C04	315	2
C05	95	2
C06	246	-
C07	22	-
C08	109	-
C09	13	-

Para efeitos de cálculo, a geometria das bocas de lobo foram consideradas como tendo 0,30 m por 0,87 m.

#### 10.4.1.5.3 Galerias de águas pluviais

De acordo com SUDERHSA (2002). galerias pluviais serão projetadas para funcionamento a seção plena com a vazão de projeto. Segundo Azevedo Neto (2018), em galerias de seções circulares, seção plena corresponde à 95% do diâmetro da tubulação ( $y=0,95D$ ), ao passo que para a o DNIT (2006), esse valor é de 85% ( $y=0,85$ ). Para a presente análise, é a adota a relação 85% conforme DNIT para considerar a seção das galerias da Alunorte operando a seção plena.

Quanto a galeria está funcionando a seção plena, entende-se que o controle hidráulico imposto ao escoamento é do tipo canal, logo, a verificação da capacidade hidráulica desses dispositivos é dada pelas equações de Manning, Chezy e outras. Adaptando a equação de Manning para seção circular, tem-se:

$$Q = \frac{\pi D^2}{4n} \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} I^{1/2}$$

A galeria deve ser projetada para conduzir a vazão resultante dos estudos hidrológicos e partir da determinação da vazão de projeto ( $Q_{proj}$ ) pelo Método Racional, conforme **item 9.3.1.4.3**. Entretanto, visto que se trata de uma verificação hidráulica, o escoamento nas galerias da rede drenagem da Alunorte não, necessariamente, irão ocupar do a seção da galeria, logo, tem-se uma relação  $Q/Q_{proj}$ . Por meio desta, é possível determinar a altura da lâmina da água ( $y$ ) na galeria conforme tabela de condutos circulares parcialmente cheios baseadas na equação de Manning (AZEVEDO NETO, 2015).

Quando razão  $y/D$  supera o valor 0,85, ocorre uma sobre-elevação do nível d'água a montante o funcionamento da galeria passa de um controle em canal para um controle de orifício. Nesse caso a vazão na galeria é dada pelo seguinte equacionamento:

$$Q_{or} = C_d A \sqrt{2gy}$$

Onde:

$Q_{or}$ : é a vazão na galeria considerando controle por orifício [ $m^3/s$ ];

$C_d$ : é o coeficiente de descarga;

$A$ : área do orifício [ $m^2$ ];

$g$ : é a aceleração da gravidade [ $m/s^2$ ];

$y$ : é a carga hidráulica sobre o centro do orifício [ $m$ ].

De acordo com Pinheiro (2011), o coeficiente de descarga pode variar entre 0,607 e 0,653 recomendando-se o valor médio de 0,61. Nesse sentido, esse valor médio adotada para a presente análise.

#### 10.4.1.5.4 Poços de visita

Os poços de visita devem atender às mudanças de direção, de diâmetro e de declividade, à ligação das bocas de lobo, ao entroncamento dos diversos trechos e ao afastamento máximo admissível.

O regime de escoamento ideal para o funcionamento eficiente de sistemas de microdrenagem é o escoamento como canal, no qual a água se desloca sob a ação da gravidade no interior das galerias de águas pluviais, com a superfície livre em contato com o ar. O escoamento por orifício caracteriza um regime transitório, em que a água escoar de uma seção com superfície livre (montante) para outra completamente preenchida (jusante). A vazão, nesse caso, depende da altura da lâmina d'água, inclinação e configuração das galerias. Já o escoamento por conduto forçado ocorre quando toda a seção transversal do conduto encontra-se preenchida por água ao longo de sua extensão. Nesse regime, a movimentação do fluido é impulsionada por uma pressão interna superior à pressão atmosférica, ocasionando o aumento da capacidade de vazão na saída do circuito de drenagem.

Nesse contexto, a limitação hidráulica de um poço de visita (PV) está condicionada pela limitação das galerias à jusante. Quando a capacidade de escoamento das galerias é inferior às vazões aportadas à montante, existe uma sobre-elevação do nível no PV, ocorrendo o controle do escoamento na galeria por orifício. Essa sobre-elevação é uma conversão da energia cinética em energia potencial necessária para que o escoamento seja devidamente conduzido. Caso esse nível d'água ultrapasse a cota do nível da rua, ocorre o extravasamento.

Visto que nos documentos D0-5310-97-G-020-R0 e D0-3515-97-G-001 001 ao D0-3515-97-G-001 010 não indicam as cotas de elevação dos arruamentos internos à refinaria Alunorte, não é possível indicar quais PV extravasariam em decorrência das chuvas de projeto determinadas no item 9.3.1.4. Em outras palavras, sem

essas informações detalhadas, não é possível determinar com exatidão a diferença de nível entre a superfície do terreno (arruamento) e o nível d'água estimado no PV.

Dessa forma, adotou-se uma abordagem conservadora: para todas as galerias de drenagem nas quais se verificou que o escoamento não funciona como canal, considerou-se que o PV imediatamente à montante possui um potencial de extravasamento. Essa suposição baseia-se no fato de que, nesses casos, o nível de água pode ultrapassar a cota da tampa do PV, gerando o risco de retorno de águas pluviométricas para a via.

#### 10.4.1.6 Resultados da Verificação Hidráulica dos Circuitos de Drenagem da Alunorte

Com base na aplicação metodológica, premissas e dados descritos nos itens anteriores, a auditora chegou aos seguintes resultados para cada um dos dispositivos analisados, para cada um dos circuitos que compõem a rede de drenagem.

##### 10.4.1.6.1 Sarjetas e Bocas de Lobo

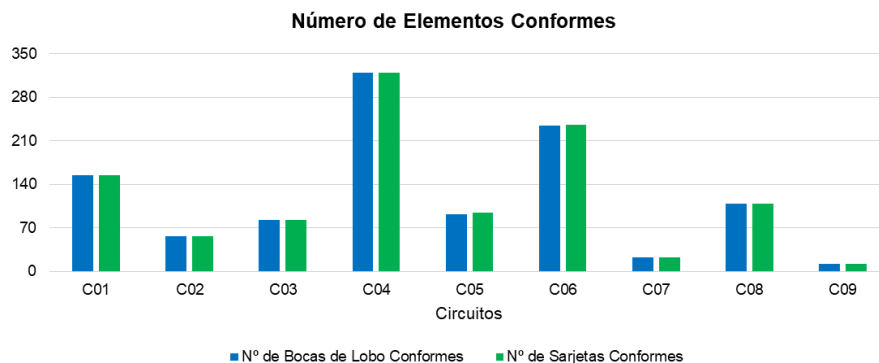
A suficiência das sarjetas e bocas de lobo foram analisadas à luz das premissas indicadas no **item 10.4.1.3**, utilizando o método racional para o cálculo da vazão das vazões de projeto, onde considerou-se um período de retorno de 10 anos e um tempo de concentração fixo de 10 minutos.

O **Quadro 10-3** sumaria os números obtidos com os cálculos das vazões as bocas de lobo e bueiros suportam e a vazão demandada desses (vazão de projeto), evidenciando, assim, o número de elementos conforme e não-conformes.

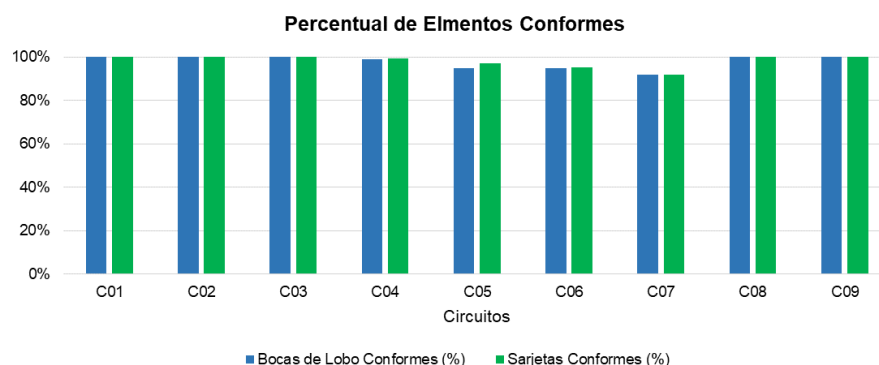
**Quadro 10-3 – Bocas de lobo e sarjetas conformes.**

CIRCUITO	Nº BOCAS DE LOBO/SARJETAS	Nº DE BOCAS DE LOBO CONFORMES	BOCAS DE LOBO CONFORMES (%)	Nº DE SARJETAS CONFORMES	SARJETAS CONFORMES (%)
C01	155	155	100%	155	100%
C02	57	57	100%	57	100%
C03	83	83	100%	83	100%
C04	322	319	99%	320	99%
C05	97	92	95%	94	97%
C06	248	235	95%	236	95%
C07	25	23	92%	23	92%
C08	109	109	100%	109	100%
C09	12	12	100%	12	100%

Os dados dispostos no **Quadro 10-3** também podem ser visualizados de forma gráfica na **Figura 10-12** e na **Figura 10-13**.



**Figura 10-12 – Número de elementos conformes.**



**Figura 10-13 – Percentual de elementos conformes.**

O **Quadro 10-3**, a **Figura 10-12** e a **Figura 10-13** mostram que as bocas de lobo e as sarjetas da maioria dos circuitos comportam totalmente as vazões de projeto designadas, com exceção dos circuitos C04, C05, C06 e C07. No caso desses circuitos, o percentual de bocas de lobo e sarjetas conformes variam de 92% a 99%. Esses resultados denotam que, em alguns pontos de vias que esses circuitos atravessam, pode haver alguma dificuldade de engolimento das bocas de lobo e extravasamentos das sarjetas em direção às calçadas da refinaria. Essas situação demandaria a inclusão de novas bocas de lobo de modo a diminuir o volume aportado pelas sarjetas e bocas de lobos atuais. Apesar disso, não é esperado que essa situação comprometa a segurança das operações da refinaria.

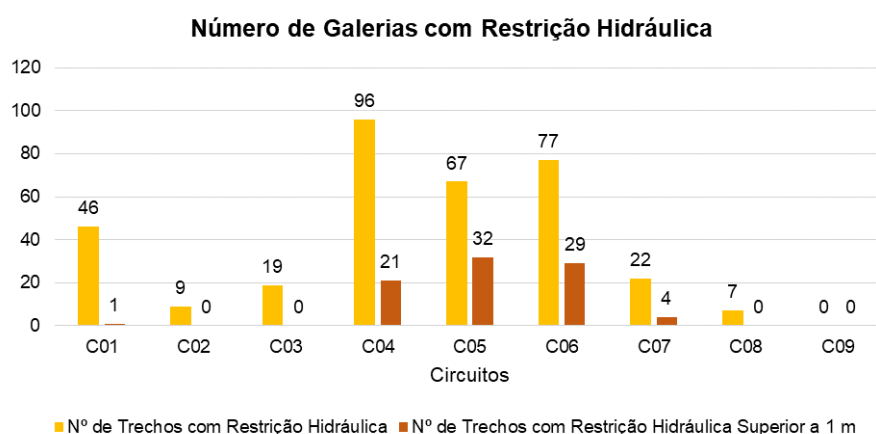
Os resultados completos da avaliação conduzida estão disponíveis no **Anexo 01**.

#### 10.4.1.6.2 Galerias de águas pluviais

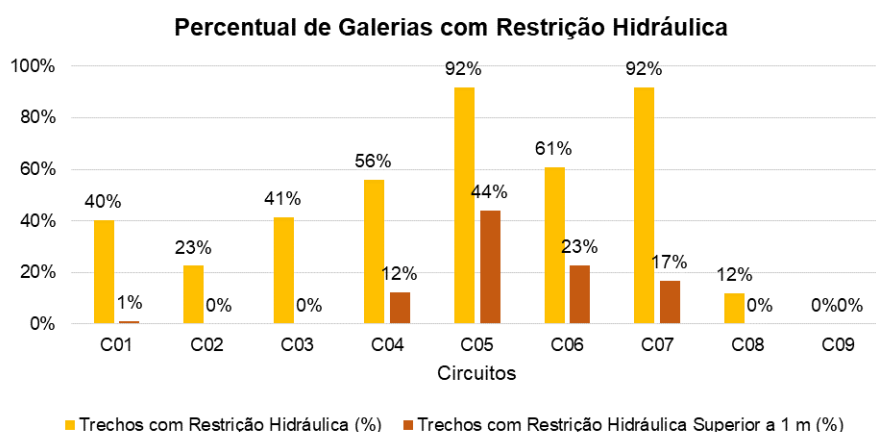
Conforme descrito no **item 10.4.1.5.3**, as galerias de águas pluviais apresentam restrição hidráulica quando a relação entre o nível da água e o diâmetro da tubulação ( $y/D$ ) é superior a 0,85. Quando essa situação ocorre, a premissa é que o bueiro passa a operar como orifício, o que implica em uma sobre-elevação no nível de montante. Essa situação revela um insuficiência hidráulica da tubulação, correndo riscos de extravasamento pelos bueiros e poços de visita.

Pontua-se que não são reportados nos levantamentos cadastrais do sistema de drenagem da refinaria da Alunorte (ver **item 10.3**), a elevação das vias e das tampas dos poços de visita. Logo, não é possível reconhecer, com precisão, se existem extravasamentos desses poços ou não.

Face a essa situação, considerou-se que tubulações que demandam uma elevação do nível d'água a montante superior a 1 m possuem potencial de extravasamento. O percentil e número de galerias de águas pluviais que possuem restrição hidráulica, por circuito, são apresentados de forma gráfica na **Figura 10-14 e Figura 10-15**.



**Figura 10-14 – Percentual de galerias com restrição hidráulica.**



**Figura 10-15 – Percentual de galerias com restrição hidráulica.**

Os resultados da análise mostra que todos os circuitos possuem galerias com insuficiência para conduzir a vazão resultante de uma chuva de projeto com 10 anos de período de retorno. Em termos absolutos, o circuito C04 possui o maior número de galerias com restrição hidráulica, cerca de 96 elementos. Em termos percentuais, esse número equivale à 56% das galerias com restrição. No caso de galerias com carga hidráulica a montante superior a 1 m, esse circuito conta com 21 galerias nessa condição ou 12% do total, o que suscita possibilidade de extravasamento dos poços de visita a montante dessas galerias.



Destaca-se também o circuito C05, onde que possui 67 galerias, ou 92% dessas, com alguma restrição hidráulica. Elementos com carga hidráulica superior a 1 metro nesse circuito totalizam 32, ou 44% de todo o circuito.

Os resultados completos da avaliação conduzida estão disponíveis no **Anexo 02**.

## 11 RESULTADOS

Seguindo a estruturação desse presente relatório de auditoria, os resultados obtidos são discutidos de acordo com as evidências de inspeção, documentais e analíticas conduzidas. Nesse sentido, tem-se:

### **Resultados das evidências de Inspeção**

Durante a inspeção conduzida pela auditora no dia 06 de agosto de 2024, foram detectadas evidências com *status* de **Observação na manutenção dos dispositivos de microdrenagem** da refinaria da Alunorte. Essas referem-se sobretudo a limpeza de algumas bocas de lobo que apresentavam obstruções por material orgânico ou resíduos de obras, bem como a necessidade de condução de manutenção corretiva em alguns de poços de visita que apresentavam deterioração superficial em decorrência do tráfego de veículos pesados em algumas vias da refinaria.

Na ocasião dessa inspeção, foram observadas também ações de manutenção da rede de drenagem, bem como o arranjo e o funcionamento de elementos de drenagem adjacentes a rede principal, tais como bacias de contenção em caso de vazamentos em tubulação em áreas de refino, bombas poço para bombear o fluido vazado novamente ao processo de refino e, por fim, purga de vapor direto a rede de drenagem. Essas constatações foram **averiguadas conformes pela auditora**.

### **Resultados das evidências documentais**

A análise documental de materiais referentes à rede de drenagem da Alunorte resultaram em *status* de “Em conformidade” e “Oportunidade de melhorias”, conforme apresentado no **item 10**.

O estudo de chuvas intensas, com base na estação Vila do Conde (cód. ANA 00148011) (GWS, 2022), demonstra a utilização de premissas e metodologia com embasamento teórico consistente, estando portanto **em conformidade**. Apesar disso, foi recomendado que em estudos futuros, utiliza-se de métodos complementares para verificar a ‘bondade’ de ajuste - do termo em inglês *goodness-of-fitness*, conforme Naghettini (2007) – das distribuições teóricas às distribuições empíricas de probabilidades. De forma complementar, o estudo mostra que a escolha da estação Vila do Conde em detrimento da estação Fábrica para embasar as verificações hidráulico-hidrológicas possui forte relação com a extensão da série de dados de ambas as estações. Enquanto a primeira possui 39 anos de monitoramento, a segunda possui 18 anos. Segundo a Organização Mundial de Meteorologia (WMO, 1989), estudos hidrológicos devem contar séries de dados com extensão mínima de 30 anos, tornando a escolha da estação Vila do Conde como sendo a mais apropriada.

Ao que tange o levantamento cadastral dos dispositivos de drenagem, verificou-se que esses dados foram levantados de forma extensiva em toda a refinaria, propiciando um quase pleno entendimento do funcionamento e segregação da rede de drenagem. Apesar disso, verificou-se **oportunidades de melhoria**, sobretudo ao que concerne à detalhamentos de seções típicas e elevações de poços de visita. Dentre as documentações avaliadas

constam também os desenhos com a definição as áreas de contribuição de escoamento superficial dos circuitos de drenagem, porém, visto que esses remetem ao ano de 2019, não apresentam as áreas do circuito C9, cujo levantamento cadastral apresenta-se apenas a partir de 2020 no documento D0-3515-97-G-001 010.

As séries históricas de dados de precipitação de quatro estações pluviométricas (A82 Refinaria ou Fábrica, Porto DRS1 e DRS2) foram disponibilizadas à auditora e ensejam ser consistentes e não possuir falhas de monitoramento. A auditora atestou o monitoramento como sendo conforme.

### **Resultados das evidências analíticas**

Em decorrência da não conformidade do estudo de análise da rede drenagem fornecido pela Alunorte, a auditora procedeu com análise própria.

Os resultados demonstraram que, de forma geral, as sarjetas e as bocas de lobo da refinaria possuem capacidade suficiente para lidar com os eventos de precipitação com 10 anos de período de retorno, conforme critério de projeto recomendado por diversos manuais de drenagem urbana de cidades brasileiras (Belém: UCP-PROMABEN, 2020; Rio de Janeiro: RIO-ÁGUAS, 2020; Curitiba: SUDERHSA, 2002; São Paulo: SMDU, 2012; Belo Horizonte: DGAU, 2022; Porto Alegre: IPH, 2005); com exceção de elementos nos circuitos C04, C05, C06 e C07. Apesar disso, não é esperado que essa situação comprometa a segurança das operações da refinaria para este tempo de retorno.

Ao que tange às galerias de águas pluviais da rede drenagem da refinaria, os resultados indicaram que diversos circuitos de drenagem – no total são 9 (nove) circuitos independentes – possuem tubulações que não atendem aos critérios estabelecidos para dimensionamento desse tipo de dispositivo. Os critérios estabelecidos recomendam que as galerias tenham funcionamento hidráulico semelhante à canais. Ou seja, a capacidade de condução da galeria deve ser dada principalmente pela sua declividade, área da seção da tubulação e rugosidade do material que a constitui. Caso a capacidade de condução da tubulação seja insuficiente, o comportamento hidráulico será regido por um escoamento do tipo orifício. Nesse caso, o escoamento demanda uma carga hidráulica, ou uma sobre-elevação d'água, no início da tubulação que deverá *'forçar'* o escoamento através da galeria. Porém, a depender do nível da carga hidráulica necessário para isso acontecer, pode ocorrer extravasamentos em bueiros e poços de visita.

A análise dos resultados reportados **item 10.4.1.6.2**, indicam que os circuitos C04, C05, C06 e C07 possuem galerias com números relevantes com potencial de extravasamento pelos poços de visita e bueiros, ou seja, galerias que demandam um carga hidráulica superior a 1 metro. Esses circuitos apresentaram os respectivos percentuais de galerias nessa situação: 12%, 44%, 23% e 17%. Pontua-se que esse critério carga hidráulica de 1 metro foi adotado visto que os documentos com os levantamentos cadastrais dos dispositivos de drenagem não indicam a seção típica de poços de visita, bem como as suas respectivas elevações. Logo, não é possível afirmar, plenamente, se esse poços suportam essa sobre-elevação dos níveis d'água sem extravasar.

Entende-se que esse percentual elevado de galerias com capacidade insuficiente para a condução das vazões de projeto se deve à atualização das séries de precipitação após a etapa de projeto e implantação da refinaria. Os estudos hidrológicos conduzidos pela GWS (2022) mostram um aumento recente na intensidade das precipitações frente aos dados pretéritos. Das 10 maiores alturas de precipitações registradas na série histórica da estação Vila do Conde (considerando o monitoramento entre 1981-2019, segundo precipitações máximas anuais reportadas no relatório de GWS, 2022), 7 foram registradas após 1995, ano de início de operação da refinaria. Essa mudança no padrão e intensidade dos eventos de precipitação penalizaram o dimensionamento inicial do sistema de drenagem da refinaria.

Essa situação não é intrínseca somente à Alunorte, mas também à quaisquer empreendimentos e loteamentos urbanos que possuem dispositivos de drenagem superficial e cujos projetos não tenham abarcado os níveis pluviométricos registrados nos anos recentes. Comparações aqui realizadas entre os estudos de intensidade-duração-frequência de chuvas realizados pela Alunorte (estudo da GWS, 2022) e pela SGB-CPRM (2018), ambos utilizando a mesma estação pluviométrica Vila do Conde (cód. ANA 00148011), denotam um aumento que varia entre 21% a 30% na intensidade de chuvas com 10 minutos a 1 hora de duração e com 10 anos de período de retorno. Essa diferença é observada apenas com a incorporação de 2 anos a mais de dados no estudo da GWS (2022) – série de precipitações máximas anuais de 1981 a 2019 - frente ao estudo da SGB-CPRM (2018) – série de precipitações máximas anuais de 1980 a 2017.

Face o apresentado, atesta-se por meio dos resultados gerados **que a rede de drenagem da refinaria da Alunorte não está em conformidade com as boas práticas e critérios** de dimensionamento de galerias de águas pluviais ditadas por manuais de drenagem urbana de diversas capitais e pelo Manual de Drenagem de Rodovias do DNIT (2006) para enfrentar o atual cenário de precipitação que se impõem na região onde opera. Apesar desse cenário, entende-se que essa **deficiência na rede de drenagem não compromete a segurança ambiental e operacional da refinaria**, porém, enseja atenção para possíveis transtornos e possíveis alagamentos pontuais nas vias de circulação internas à refinaria poderiam causar às atividades da Alunorte.

Do ponto de vista ambiental, a refinaria conta com áreas '*muretadas*' que desempenham o papel de bacias de contenção (verificar **Figura 9-4 no item 9**) em áreas onde o processo de refinamento é realizado. Dessas áreas é segregado o escoamento superficial que pode conter alguma contaminação devido à vazamentos na tubulação de modo que este não entre em contato com demais áreas cujo escoamento superficial é conduzido à rede de drenagem comum. Nessas áreas '*muretadas*', o escoamento é direcionada ao processo por meio de bombas poço. Em decorrência desse sistema de segregação, compreende-se que, mesmo com possíveis extravasamentos em bocas de lobo e poços de visita na rede de drenagem ocasionados pelo cenário atual de precipitações intensas, a possibilidade de contaminação desse escoamento é remoto.

## 12 RECOMENDAÇÕES FINAIS

A auditoria conduzida no âmbito do item B do TAC 4.1 - Termo de Compromisso de Ajustamento de Conduta (TAC), resultante do Inquérito Civil - IC nº 001/2018-MP (SIMP nº 000654-710/2018) MPPA, Inquérito Civil nº 000980-040 /2018 (Portaria nº 12/2018) MPPA, Inquérito Civil nº 1.23.000.000498/2018-98 MPF (MPF) – que trata da análise do dimensionamento da rede de drenagem, considerando o regime pluviométrico regional de Barcarena, suas oscilações e outras contribuições, mostram que o parte dos circuitos de drenagem da refinaria da Alunorte **tem o seu dimensionamento defasado devido ao aumento da intensidade pluviométrica registrada desde o início do início da sua operação em 1995**. Apesar disso, a auditoria entende que essa deficiência não compromete a segurança ambiental e operacional da refinaria. No entanto, demanda atenção, bem como a adoção de medidas preventivas e corretivas.

Considerando todo o processo de análise documental, inspeção in situ e verificações analíticas de projeto, a auditora elenca as seguintes recomendações concernentes à rede drenagem da refinaria:

### 1. Ações preventivas e corretivas de manutenção dos dispositivos drenagem:

**1.a.** Recomenda-se que sejam verificados com regularidade eventuais obstruções nos dispositivos de drenagem da refinaria, sobretudo nos meses que antecede o período chuvoso. Durante as inspeções foram notados alguns pontos de obstrução com matéria orgânica, lixo e placa posta sobre um bueiro para prevenir a entrada de detritos de obra realizada, mas que foi no esquecida no local;

**1.b.** Inspeção e manutenção de poços de visita em áreas com intenso tráfego de veículos pesados. Eventuais seccionamentos internos desses poços podem causa a obstrução do escoamento e, conseqüentemente, causar alagamentos na rede a montante do poço durante períodos de precipitação intensa.

### 2. Estudo de chuvas intensas

**2.a.** Em futuras atualizações do estudo, recomenda-se avaliar a aplicabilidade desses testes alternativos (Anderson-Darling e Filliben) de modo complementar aos testes de Kolmogorov-Smirnov e Qui-Quadrado.;

**2.b.** Recomenda-se monitoramento contínuo, evitando-se falhas na estação Fábrica, sobretudo na estação chuvosa, de forma a utilizar essa estação como referência para os estudos de chuvas intensas futuros, visto que essa representa de forma mais fidedigna o regime pluviométrico local;

**2.c.** Em atualização futura do estudo, deve-se avaliar se que os dados da estação Vila do Conde são estacionários e, caso haja quebra na tendência das precipitações máximas de estação, recomenda-se que estudos futuros utilizem os dados da estação Fábrica.

### 3. Levantamentos cadastrais dos dispositivos de drenagem

**3.a.** Recomenda-se manter atualizados os desenhos com os dispositivos de drenagem da refinaria frente a modificações que essa possa a sofrer no futuro, decorrentes de ações de readequação e ampliação da capacidade de escoamento dessa;



**3.b.** Com a incorporação de novos dispositivos de drenagem, recomenda-se a constante atualização dos desenhos com as respectivas áreas de contribuição destes;

**3.c.** Recomenda-se a incorporação aos desenhos de seções típicas e dimensões dos poços de visita da rede de drenagem, evidenciando as elevações das tampas desses nos desenhos. Esse dado é essencial para avaliar possíveis extravasamentos, caso o poço não tenha profundidade o suficiente para conter a carga hidráulica que decorre da incapacidade de galerias a jusante de conduzir as vazões em regime de canal;

#### **4. Monitoramento de estações pluviométricas**

**4.a.** Recomenda-se a elaboração e a constante atualização de fichas descritivas das estações pluviométricas que estão na área da Alunorte, sendo inclusas nessas croqui da localização, modelos dos equipamentos, coordenadas geográficas, data de implantação da estação. Apesar de as estações da Alunorte não integrarem a Rede Hidrométrica Nacional (RHN), de onde surge a demanda oficial de elaboração de fichas descritivas, ter a disposição essas fichas contribuem para o entendimento das informações relevantes das estações que podem influenciar nos dados que essas registram, tais como localização e modelo do equipamento. Para modelos de fichas descritivas consultar Manual de Procedimentos para Instalação, Operação e Manutenção de Estações Pluviométricas Convencionais (ANA, 2016).

#### **5. Suficiência da rede drenagem**

**5.a.** Recomenda-se que a Alunorte realize o redimensionamento da rede de drenagem, considerando o atual cenário de precipitação na região e, estancando deficiências pontuais e gargalos nesta. A utilização de reservatórios de retenção em pontos estratégicos da rede pode vir a aliviar a rede drenagem existente, demandando intervenções menos extensivas.

### 13 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. **Manual de Procedimentos Para Instalação, Operação e Manutenção De Pluviômetros Convencionais**. Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5732: Cimento Portland comum**. Rio de Janeiro. 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 8890: Tubo de concreto de seção circular para água pluvial e esgoto sanitário — Requisitos e métodos de ensaios**. Rio de Janeiro. 2020.

AZEVEDO, NETO; ALVAREZ, C. A. **Manual de Hidráulica**, 9ª Ed. Edgard Blücher, São Paulo, 2015.

AZEVEDO, T. N. A.; EL-ROBRINI, M.; SAAVEDRA, O. R. **Assessment of tidal current potential in the Pará River Estuary (Amazon Region – Brazil)**. *Cleaner Energy Systems*, v. 6. 2023.

CPRM (2015). **Atlas Pluviométrico do Brasil; Equações Intensidade-Duração-Frequência (Desagregação de Precipitações Diárias)**. Município: Belém. Estação Pluviométrica: Belém Códigos 00148002 (ANA) e 82191 (INMET). Porto Alegre: CPRM, 2015.

DGAU. **Instrução Técnica para Elaboração de Estudos e Projetos de Drenagem Prefeitura Municipal de Belo Horizonte**. DGAU – Diretoria de Gestão De Águas Urbanas. Belo Horizonte: 2022

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de drenagem de rodovias**, 2ª ed. Rio de Janeiro, 2006.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem**, 2ª ed. Rio de Janeiro, 2005.

IPH. **Plano Diretor de Drenagem Urbana. Manual de Drenagem Urbana – Volume IV**. IPH - Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Porto Alegre: 2005.

NAGHETTINI, M., & PINTO, É. J. D. A. (2007). *Hidrologia estatística*. CPRM.

OMETTO, J.P., K. KALABA, G.Z. ANSHARI, N. CHACÓN, A. FARRELL, S.A. HALIM, H. NEUFELDT, AND R. SUKUMAR. **Cross Chapter Paper 7: Tropical Forests**. In: **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 2369–2410, doi:10.1017/9781009325844.024.

PFAFSTETTER, O. **Chuvas intensas no Brasil**. 1. ed. Rio de Janeiro: DNOS, 1957. 419 p

PINHEIRO, M. C. **Diretrizes para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamentos hidráulicos em obras de mineração**. Porto Alegre: ABRH, 2011.

RIO-ÁGUAS. **Instruções Técnicas para Elaboração de Estudos Hidrológicos e Dimensionamento Hidráulico de Sistemas de Drenagem Urbana**. Prefeitura da cidade do Rio De Janeiro. 2ª versão, 2019.

SMDU. **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: aspectos tecnológicos; fundamentos.** Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano (SMDU). São Paulo: 2012

SUDERHSA. **Plano Diretor de Drenagem para a Bacia do Rio Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba.** Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Curitiba, 2002

TANASH, A. O.; ABU BAKAR, B.H. ; MUTHUSAMY, K. AL BIAJAWI, M. I. (2023). **Effect of elevated temperature on mechanical properties of normal strength concrete: An overview.** Materials Today: Proceedings, 2023.

TE CHOW, Ven. **Open channel hydraulics.** 1959.

UCP-PROMABEN. **Revisão do Plano Municipal de Saneamento Básico, do Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos e Respectivas Políticas Municipais.** Belém, 2020.

WMO. **Calculation of monthly and annual 30-year standard normals.**,. World Meteorological Organization Tech. Doc. 341, WCDP, p. 10-11, 1989.

## 14 ANEXOS

Anexo 01 – Planilha de Verificação – Bocas de Lobo e Sarjetas



Anexo 01 – Planilha  
de Verificação – Boc

Anexo 02 – Planilha de Verificação – Galerias de Águas Pluviais



Anexo 02 – Planilha  
de Verificação – Gali