

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 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.

Cliente: Alunorte – Alumina do Norte do Brasil

Identificação do Projeto: Auditoria Processo Produtivo, Tratamento de Efluentes e Gestão de Águas

Código Cliente: Não se aplica

Código Tractebel: W.002610.001-D-MN00-N-RE-006

0	15/09/2025	Vitor Albernaz	Nelson Castro	Viviane Magalhães
B	22/08/2025	Vitor Albernaz	Nelson Castro	Viviane Magalhães
A	19/12/2024	A. de Wasseige	A. Simplicio	N. Castro
REVISÃO	DATA DA ELABORAÇÃO	ELABORADOR	VERIFICADOR	APROVADOR

SUMÁRIO

1 IDENTIFICAÇÃO DO REPRESENTANTE LEGAL DO EMPREENDEDOR	3
2 EQUIPE TÉCNICA	3
3 GLOSSÁRIO	4
4 INTRODUÇÃO	6
5 ESCOPO	7
6 OBJETIVO.....	8
7 METODOLOGIA	8
7.1 ANÁLISE DA APLICABILIDADE DO MODELO EXISTENTE AO OBJETIVO DA AUDITORIA - MOHID.....	9
7.2 ANÁLISE DA MODELAGEM MATEMÁTICA AMBIENTAL 3D	10
7.3 PREMISSAS ADOTADAS PARA AUDITORIA	12
8 DADOS UTILIZADOS	13
9 DESCRIÇÃO GERAL	18
9.1 LOCALIZAÇÃO	18
10 ANÁLISE DE CONFORMIDADE	20
10.1 ANÁLISE DE INFORMAÇÕES SOBRE A GESTÃO EMPRESARIAL	20
10.2 VALIDAÇÃO DO MODELO HIDRODINÂMICO EXISTENTE -DADOS DE ENTRADA ...	21
10.3 AVALIAÇÃO DOS CENÁRIOS DE DISPERSÃO DE EFLUENTE NO RIO PARÁ.....	32
11 CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
12 RECOMENDAÇÕES.....	44
13 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

1 IDENTIFICAÇÃO DO REPRESENTANTE LEGAL DO EMPREENDEDOR

Tabela 1-1 - Identificação do empreendedor

EMPREENDEDOR	ALUNORTE - ALUMINA DO NORTE DO BRASIL S/A
CNPJ	05.848.387/0003-16
ENDEREÇO	Rodovia PA, 481, km 12, Distrito de Murucupi, Barcarena, Pará
CONTATO	Evandro Leão
E-MAIL	leao.evandro.gomes@hydro.com

Tabela 1-2 - Identificação do empreendimento

EMPREENDIMENTO	Planta industrial da Alunorte em Barcarena - PA
ENDEREÇO	Rodovia PA, 481, km 12, Distrito de Murucupi, Barcarena, Pará

Tabela 1-3 - Identificação da empresa responsável pela auditoria

EMPRESA AUDITORA	TRACTEBEL ENGINEERING LTDA
CNPJ	33.633.561/0001-87
ENDEREÇO	Rua Paraíba, 1122 Conjunto 1401, 14º andar, Funcionários, Belo Horizonte – MG, CEP 30130-918
CONTATO	Cristiane Vieira
E-MAIL	cristiane.vieira@tractebel.engie.com

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
Antoine De Wasseige	Engenharia Ambiental e Recursos Hídricos	Engenheiro Hidrólogo
Alexandre Lessa	Hidroeólogo	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

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

COEMA – 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

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).

A auditoria técnica envolveu uma análise minuciosa dos documentos relacionados à modelagem hidrodinâmica do escoamento de efluentes líquidos provenientes dos processos da refinaria para o estuário do rio Pará. O objetivo principal deste item foi avaliar as zonas de influência referente ao lançamento de efluente tratado da Alunorte no rio Pará e seus efeitos nas praias de Itupanema, Caripi, Conde, Beja, Ilha Trambioca e Ilha do Capim, através da realização de simulações de cenários voltados ao atendimento do escopo do Termo de Referência via modelagem hidrodinâmica.

A metodologia da auditoria consistiu na revisão crítica dos relatórios técnicos, dados de monitoramento, parâmetros e condições de contorno utilizados nas simulações computacionais, além da análise das representações gráficas geradas pelos modelos hidrodinâmicos. O modelo utilizado foi o sistema MOHID, estruturado em três domínios aninhados com diferentes escalas, adotando-se a técnica de *downscaling* para incorporar a influência das marés oceânicas e dos principais afluentes aos estuários dos rios Amazonas e Pará. O primeiro domínio abrange os estuários dos rios Amazonas e Pará até o oceano aberto; o segundo, todo o estuário do rio Pará; e o terceiro, a área local de estudo.

A modelagem da pluma de efluente foi realizada por meio do módulo de traçadores lagrangeanos do MOHID, utilizando os campos de velocidade derivados do modelo hidrodinâmico. As marés simuladas foram comparadas em termos de amplitude com dados observados em duas estações localizadas no domínio reduzido, como forma de verificação da aderência do modelo à realidade local.

Como conclusão dessa auditoria, destaca-se que a modelagem atende aos requisitos necessários para representar a pluma de efluentes, demonstrando que sua dispersão no estuário, impulsionada pelas vazões do rio e pela maré, assegura altas taxas de diluição. Dessa forma, não há comprometimento da qualidade da água em áreas sensíveis como Itupanema, Caripi, Conde, Beja, Ilha Trambioca e Ilha do Capim.

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

Avaliar, através das evidências dispostas neste relatório, se a Alunorte está cumprindo todos os requisitos necessários para a segurança operacional do processo produtivo considerando o item E do TAC 4.1.

7 METODOLOGIA

A auditoria do estudo de modelagem matemática ambiental tridimensional, com foco na avaliação das zonas de influência associadas ao lançamento de efluentes no rio Pará, foi conduzida por meio da análise crítica de arquivos, documentos técnicos e bases de dados disponibilizadas pela Alunorte. A atividade teve como objetivo inicial verificar a conformidade metodológica do modelo hidrodinâmico e de dispersão. Em seguida, foram executadas simulações de cenários voltados ao atendimento do escopo do Termo de Referência.

A etapa inicial consistiu na avaliação do modelo existente, disponibilizado pela Alunorte. A principal ferramenta utilizada para subsidiar a auditoria foram os arquivos relativos ao modelo hidrodinâmico de dispersão e documentação correlata, bem como discussões técnicas com representantes da Universidade de Lisboa acerca da referida modelagem. Dentre os principais documentos auditados de ser referenciado o Relatório Técnico (RT-4600012367-WL005-97-Z-00001) datado de 29/11/24, em sua revisão 1, elaborado pela AQUAFLOW CONSULTORIA AMBIENTAL, as informações detalhadas constam no Quadro 8-1 e Tabela 8-1 deste relatório. Neste tópico, serão apresentadas a Análise da Modelagem Matemática Ambiental 3D (7.2) e as Premissas adotadas para auditoria (7.3).

O modelo utilizado nas simulações foi desenvolvido com base no software MOHID (Modelo Hidrodinâmico), que é uma ferramenta tridimensional amplamente utilizada para simular sistemas aquáticos complexos, como estuários, está baseada na integração de processos físicos e biogeoquímicos em diferentes escalas. Dessa forma, modelos computacionais, como o MOHID, possibilitam a simulação e a previsão de variáveis hidrodinâmicas – como níveis d'água, correntes e transportes de massa – em diferentes cenários operacionais e ambientais. No contexto da modelagem de dispersão de plumas de efluentes, esses modelos permitem avaliar, por exemplo, a extensão da pluma de dispersão do efluente ou o tempo necessário para que essa pluma alcance determinada área e a taxa de depuração promovida pelo corpo hídrico receptor.

7.1 Análise da aplicabilidade do modelo existente ao objetivo da auditoria - MOHID

O MOHID (Modelo Hidrodinâmico) é um sistema avançado de modelagem tridimensional de corpos d'água, desenvolvido desde 1985 pelo MARETEC – Centro de Tecnologia Marinha e Ambiental do Instituto Superior Técnico (IST), pertencente à Universidade de Lisboa. Criado inicialmente para apoiar estudos oceanográficos e de gestão costeira, o MOHID evoluiu ao longo de quase quatro décadas, incorporando continuamente novas funcionalidades para atender a demandas de pesquisa, monitoramento e engenharia ambiental.

Estruturado em linguagem ANSI Fortran95 e seguindo a filosofia de programação orientada a objetos, o MOHID adota uma arquitetura modular baseada em volumes finitos. Essa configuração permite a integração de múltiplos processos físicos, biogeoquímicos e hidrológicos, abrangendo diferentes escalas espaciais e temporais. Sua flexibilidade possibilita a modelagem integrada de sistemas estuarinos, rios, bacias hidrográficas, aquíferos e zonas costeiras, inclusive por meio de modelos aninhados que conectam domínios de maior e menor escala.

O sistema conta com dois módulos principais:

- **MOHID Water** – voltado para a simulação hidrodinâmica tridimensional de corpos d'água superficiais, como estuários, lagos, zonas costeiras e ambientes marinhos, permitindo a análise de circulação, estratificação, transporte e dispersão de poluentes.
- **MOHID Land** – destinado à modelagem hidrológica e de transporte em bacias de drenagem e aquíferos, incluindo o balanço hídrico e as interações solo-água.

A integração entre MOHID Water e MOHID Land viabiliza estudos abrangentes do ciclo hidrológico e da qualidade da água, com aplicações diretas na avaliação de processos hidrodinâmicos complexos e na previsão da dispersão de contaminantes em regiões sensíveis, como estuários, zonas portuárias e áreas costeiras sujeitas a pressões antrópicas. No caso do modelo hidrodinâmico, por exemplo, é possível simular condições de níveis e vazões e a sua propagação para a região do entorno. No caso da modelagem de dispersão da pluma de efluentes é possível avaliar a extensão da pluma ou em quanto tempo a pluma alcança determinada região bem como qual a depuração realizada pelo corpo receptor. Ferramentas de pré e pós-processamento, integradas a interfaces gráficas, facilitam a configuração de cenários, a execução de simulações e a análise detalhada dos resultados, oferecendo suporte robusto a projetos de pesquisa, licenciamento ambiental e gestão de recursos hídricos. (Fonte: repositório oficial do software <https://github.com/Mohid-Water-Modelling-System/Mohid>)

Neste sentido, a auditoria entendeu que o modelo apresentado é ideal para avaliação necessária para responder pontos contidos no item E da auditoria da TAC 4.1. Restou-se avaliar se os critérios utilizados para a seleção dos dados de entrada e a escolha das configurações do modelo atende as boas práticas de trabalhos de modelagem matemática.

7.2 Análise da Modelagem Matemática Ambiental 3D

Os auditores da Tractebel solicitaram diversas informações técnicas do modelo e a Alunorte forneceu um conjunto básico destas informações (será apresentado no **Capítulo 8**). Contudo, para uma avaliação técnica completa, a Tractebel solicitou informações complementares, as quais foram disponibilizadas, junto com o contato direto com os especialistas envolvidos no desenvolvimento do modelo.

Ao longo da auditoria, foram realizadas reuniões técnicas e entrevistas com essas equipes para esclarecimento de dúvidas relativas às premissas adotadas, dados utilizados, etapas de calibração e validação do modelo. Essas interações foram fundamentais para que a Tractebel pudesse avaliar com profundidade a conformidade do modelo frente às boas práticas de modelagem ambiental e às normativas legais aplicáveis.

A Alunorte disponibilizou informações iniciais do modelo existente e utilizado em projetos anteriores, em específico o “Estudo da Dispersão da Descarga do Efluente da Alunorte no Estuário do Rio Pará”, em sua revisão 2, desenvolvido pela LAPMAR, pelo Instituto Técnico de Lisboa e pela GESA, em abril de 2019 (Doc. nº 5). Esse estudo inicial tinha como escopo principal avaliar o aprimoramento do sistema de lançamento do efluente existente, ao estudar diferentes configurações de emissários submarinos. O estudo considerou cinco cenários diferentes acerca da localização do lançamento do efluente, sendo um cenário base com a situação conforme ocorre atualmente com o lançamento do efluente na margem, e com quatro configurações diferentes de emissários, além de para cada um desses cenários, considerar também duas configurações acerca do período chuvoso e seco, e duas configurações de vazão de lançamento. Dessa forma, totaliza-se no total 20 cenários analisados.

Como o escopo delimitado no estudo inicial extrapolava a condição de diagnóstico da situação, e também ao considerar os apontamentos feitos pela equipe da Tractebel, na fase da auditoria do modelo matemático, acerca de pontos que não estavam claros no estudo disponibilizado, a Alunorte complementou as informações e proporcionou uma reunião técnica, realizada em 05/11/2025, com os responsáveis pelo estudo. Na reunião foram verificados os processos de definição dos dados de entrada, premissas do modelo, discussões sobre os efeitos de maré e diferentes vazões nos períodos seco e chuvosos, calibração e validação. Desta forma, foi possível avaliar a consistência do modelo existente e a adequabilidade para o uso no processo de avaliações necessárias as respostas ao TAC 4.1, ou seja, avaliar a dispersão do efluente tratado com objetivo de observar os efeitos nas regiões das praias de Itupanema, Caripi, Conde, Beja, Ilha Trambioca e Ilha do Capim.

A partir da reunião realizada foi indicada pela auditoria a utilização do modelo para avaliação de seis cenários adicionais para refletir diferentes arranjos hidrológicos, percentis de vazões Q95 e Q05 nos rios Tocantins, Xingu e Amazonas, e diferentes condições de lançamento do efluente tratado.

Após as simulações, os resultados foram analisados e estão apresentados neste relatório. Ressalta-se que os novos cenários simulados, bem como considerações acerca dos questionamentos da Tractebel, estão consolidados no “Relatório Técnico – Cenários de Simulação – Taxa de Diluição” (RT- 4600012367-WL005-97-Z-00001), em sua revisão 1 e datado de 29/11/24.

Neste sentido, em resumo, a metodologia de avaliação da conformidade foi realizada seguindo os aspectos a seguir:

I) Validação do Modelo Hidrodinâmico Existente:

a. Dados Utilizados

- i. **Topografia e Batimetria:** Informações detalhadas sobre a forma e a profundidade do leito do rio.
- ii. **Dados de Vazão:** quantidade de fluxo d'água que escoam através do rio em diferentes períodos.
- iii. **Dados de Maré:** Informações sobre as variações do nível da água devido às marés de quadratura e de sizígia.
- iv. **Dados de Níveis de Água:** Registros dos níveis d'água ao longo do tempo nas estações de monitoramento.
- v. **Dados Meteorológicos** - Informações sobre as condições climáticas, como vento, chuva e temperatura.

b. Construção do Modelo Hidrodinâmico e de Dispersão

- i. **Software:** verificação do objetivo do modelo.
- ii. **Abordagem Hidrodinâmica:** Tipo de modelagem utilizada (1D, 2D, 3D) para representar o comportamento da água.

c. Premissas do Modelo

- i. **Condições de Contorno:** Definição das condições nas bordas do modelo, como entradas e saídas de água.
- ii. **Premissas de Cálculo e Parâmetros de Modelagem:** Hipóteses e valores utilizados para realizar os cálculos no modelo.

d. Avaliação da Calibração dos Resultados Hidrodinâmicos do Modelo: Verificação da precisão do modelo comparando os resultados simulados com dados observados.

II) Avaliação dos Cenários de Dispersão de Efluente no Rio Pará:

- e. **Definição dos Cenários de Análise** - Identificação e descrição dos diferentes cenários considerados na análise, como variações sazonais e operacionais.
- f. **Apresentação dos Resultados da Análise de Dispersão de Plumas:** - Exposição dos resultados obtidos para cada cenário, mostrando como os efluentes se dispersam no rio.
- g. **Atendimento dos Resultados de Dispersão aos Padrões de Qualidade:** Análise de conformidade dos resultados de dispersão com os padrões de qualidade da água estabelecidos.

A conformidade do modelo e dos resultados estão apresentadas no Capítulo 10, deste relatório.

7.3 Premissas adotadas para auditoria

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.
- O modelo matemático tridimensional existente foi auditado e não foi necessário a elaboração de novo modelo tridimensional para avaliação dos cenários hidrodinâmicos de dispersão da pluma de efluentes.
- Foi previsto a elaboração de um relatório preliminar (esta edição) e após a revisão das partes signatárias um relatório final por item previsto (A a J) no TAC. Durante a execução da auditoria identificou-se a oportunidade de agrupar os itens D e F relativos a parâmetros de lançamento de efluentes e qualidade da água que terão um relatório conjunto pela similaridade do tema.
- 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.
- 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 Quadro 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.

Quadro 8-1 - Dados utilizados

N	Item (Documento, desenho, plano, licença, informação)	Tipo	Referência	Esclarecimentos/encaminhamentos efetuados durante a reunião específica do item D/F	Data Recebimento	Documento disponibilizado/ Observações
1	Dados de topografia e batimetria					
1.1	Dados detalhados de elevação para todo o domínio do estudo, incluindo áreas terrestres e aquáticas. Essas informações são cruciais para representar com precisão o terreno e as profundidades da água.	relatórios, <i>raster</i> (MDT), <i>shapes</i>	Meio Ambiente	SOLICITAÇÃO TRACTEBEL: Disponibilizado o MODELO DIGITAL DE TERRENO gerado e imputado ao MOHID.	9/9/2024	A batimetria para o MOHID foi gerada com base na digitalização de dezenas de cartas náuticas da Marinha Brasileira e levantamentos realizados em estudos anteriores pela UFPA. Documento disponibilizado de forma <i>online</i>
2	Condições de contorno					
2.1	Dados de vazão de Estações Fluviométricas da RHN e/ou da Alunorte	relatório, planilhas	Meio Ambiente	SOLICITAÇÃO TRACTEBEL: os cenários de vazão no rio Amazonas foram estipulados a partir da série de dados de vazões de qual estação fluviométrica? Encaminhar dados utilizados.	9/9/2024	Os dados de vazão utilizados são provenientes da Estação de Óbidos (17050001). Os dados encontram-se no arquivo: SerieVazao_Graficos.xlsx Documento disponibilizado de forma <i>online</i>
2.2	Dados de precipitação de Estações Pluviométricas da RHN e/ou da Alunorte	relatório, planilhas	Meio Ambiente	OK	9/9/2024	Documento disponibilizado de forma <i>online</i>
2.3	Dados de maré: Informações sobre elevações e correntes de maré nos limites do modelo.	relatório, planilhas	Meio Ambiente	OK	9/9/2024	Documento disponibilizado de forma <i>online</i>
2.4	Dados meteorológicos: precipitação, velocidade e direção do vento, pressão atmosférica e temperatura do ar.	relatório, planilhas	Meio Ambiente	SOLICITAÇÃO TRACTEBEL: Não está claro se foram imputados ao modelo dados de temperatura, pressão, vento. Tais dados foram utilizados? Se sim, encaminhar.	9/9/2024	Estudos anteriores mostraram que não há influência significativa da intrusão salina na área de lançamento do efluente da Alunorte, por isso, a estratificação da coluna d'água na região da descarga é desprezível. Dessa forma, o modelo hidrodinâmico foi implementado em modo barotrópico, ou seja, sem considerar forças baroclínicas causadas por variações na densidade da água na hidrodinâmica. Ademais, os dados de temperatura e pressão não foram necessários.
2.5	Dados da onda (se aplicável): altura significativa da onda, período da onda e direção da onda.	relatório, planilhas	Meio Ambiente	SOLICITAÇÃO TRACTEBEL: Foi imputado dados de vento? Se sim, encaminhar.	9/9/2024	A influência da maré, somada com as vazões dos rios, é predominante para hidrodinâmica (velocidades da água) e dispersão dos efluentes lançados no rio Pará. Portanto, o efeito do vento não foi considerado relevante para os objetivos do estudo. Pela mesma razão não foi considerado o efeito das ondas.
3	Dados de geração de malha geométrica					
3.1	Especificações da malha computacional: Definição da malha computacional (estruturada ou não estruturada) e os tamanhos das células.	relatório, <i>shapes</i>	Meio Ambiente	Atendido parcialmente. O documento "(cód. 200) ULISBOA, 2019. UOL - ALN - Modelagem de dispersão de efluentes.pdf" apresenta a definição da malha. Falta o arquivo vetorial da malha e/ou modelo matemático. SOLICITAÇÃO TRACTEBEL: Encaminhar <i>shapefiles</i> dos três domínios de simulação.	9/9/2024	Arquivos da malha com a batimetria interpolada no formato do MOHID para os três domínios simulados: Amazonas_GridData.dat, RioPara_GridData.dat, Hydro_Griddata.dat Documento disponibilizado de forma <i>online</i>
3.2	Condições de contorno para células de malha (por exemplo, limites abertos , limites terrestres).	relatório, <i>shapes</i>	Meio Ambiente	Atendido parcialmente, informação sobre as condições de contorno não fica bem clara no relatório. SOLICITAÇÃO TRACTEBEL: Esclarecer condições de contorno utilizadas.	9/9/2024	As condições de contorno foram impostas no modelo de maior escala. Nas fronteiras com os rios foram impostas as vazões. Nas fronteiras sólidas foi imposto fluxo de água e de quantidade de movimento nulos (o atrito exerce-se essencialmente no fundo). Na fronteira oceânica foram impostos níveis de maré do modelo global FES2014. A solução do modelo global foi usada para impor as condições de contorno nos submodelos interpolando os resultados e usando uma condição de radiação para deixar sair o ruído gerado pelas diferenças de resolução das malhas dos modelos. Documento disponibilizado de forma <i>online</i>
4	Parâmetros hidrodinâmicos do módulo					

N	Item (Documento, desenho, plano, licença, informação)	Tipo	Referência	Esclarecimentos/encaminhamentos efetuados durante a reunião específica do item D/F	Data Recebimento	Documento disponibilizado/ Observações
4.1	Coeficientes de rugosidade de Manning para diferentes superfícies (por exemplo, terra, vegetação, água).	relatório, <i>shapes</i>	Meio Ambiente	SOLICITAÇÃO TRACTEBEL: encaminhar coeficiente de rugosidade calibrado para os domínios de simulação	9/9/2024	Para representar a resistência ao fluxo de água, foi utilizado no modelo hidrodinâmico o parâmetro altura de rugosidade com o valor de 2,5 mm. O coeficiente de Manning é outra forma de quantificar a resistência ao fluxo de água, mais usado em modelos hidrodinâmicos 2D, do que em 3D.
4.2	Parâmetros de turbulência (por exemplo, viscosidade) para modelar a dinâmica do fluxo.	relatório, <i>shapes</i>	Meio Ambiente	SOLICITAÇÃO TRACTEBEL: esclarecer os parâmetros de turbulência utilizados. Foram usados os valores <i>default</i> ?	9/9/2024	A difusão horizontal no modelo Hidrodinâmico é pouco relevante e por isso o modelo utiliza um valor uniforme função do passo espacial da malha. Foram utilizados valores de 200m ² /s, 200m ² /s e 10m ² /s respetivamente nos modelos global, intermédio e local. No modelo lagrangeano a dispersão da pluma foi calculada utilizando os conceitos de velocidade aleatória e de comprimento de mistura associados ao maior vórtice não resolvido pelo modelo (vórtice de diâmetro da ordem do passo espacial). A velocidade aleatória considerada foi de 10% da velocidade instantânea. Verificou-se que o a dispersão devida à excursão de maré e à assimetria das correntes, é dominante.
5	Cenários Analisados (se modelo existente)					
5.1	Quantidades, descrições dos cenários analisados e parâmetros utilizados/analísados	relatório, planilhas	Meio Ambiente	SOLICITAÇÃO TRACTEBEL: esclarecer a escolha dos cinco cenários de simulação.	9/9/2024	Os cenários de simulação foram baseados em ciclos de 14 dias, de modo a incluírem escoamentos em maré de quadratura e de sizígia, em situações de período seco e chuvoso (vazões mínima e máxima dos rios) para diferentes regimes de vazão da descarga de efluente.
6	Dados de poluentes					
6.1	Manual de operação da ETEI: descrição dos processos, vazão de projeto (ou vazão máxima lançada), monitoramento do efluente lançado	relatório, planilhas	ETEI	OK		Documento disponibilizado de forma <i>online</i>
6.2	Concentrações iniciais de poluentes: informações sobre a distribuição de poluentes no início da simulação.	relatório, planilha, <i>shapes</i>	Meio Ambiente	OK		Documento disponibilizado de forma <i>online</i>
6.3	Fontes e sumidouros de poluentes: Locais e taxas de entrada de poluentes (por exemplo, fontes pontuais, escoamento difuso)	relatório, planilha, <i>shapes</i>	Meio Ambiente	SOLICITAÇÃO TRACTEBEL: No relatório comenta emissários de 2,5 km e dois de 1,25 km. Encaminhar <i>shapefile</i> com localização dos pontos de lançamento.	9/9/2024	Neste caso a concentração só decai como resultado da dispersão. A única fonte considerada foi a descarga da fábrica, pelo que as imagens das concentrações devem ser lidas como a perturbação aos valores de background. Efetivamente o modelo empregado é conservador, uma vez que o estudo de fontes difusas requer um estudo de caráter regional, o qual deve incluir o estudo da matéria particulada em suspensão para considerar os processos de transferência entre as frações dissolvida e particulada. Os arquivos <i>shapefile</i> foram disponibilizados no link a seguir. Documento disponibilizado de forma <i>online</i>
6.4	Taxas de decaimento de poluentes: Se aplicável, especifique as taxas de decaimento devido a processos biológicos ou químicos.	relatório, planilha, <i>shapes</i>	Meio Ambiente	SOLICITAÇÃO TRACTEBEL: esclarecer se foram utilizadas taxas de decaimento.	9/9/2024	De forma conservadora, não foi considerado decaimento.
7	Dados de transporte de sedimentos (se modelar o transporte de sedimentos)					
7.1	Propriedades do sedimento: Distribuição granulométrica, velocidade de sedimentação, taxas de erosão e deposição.	relatório, planilhas	Meio Ambiente	SOLICITAÇÃO TRACTEBEL: caso tenha sido efetuada medições de descarga líquida e granulometria de sedimento de fundo, encaminhar?		A modelagem de sedimentos não foi o foco da auditoria
7.2	Coeficientes de rugosidade do leito para cálculos de transporte de sedimentos.	relatório, planilhas	Meio Ambiente	SOLICITAÇÃO TRACTEBEL: encaminhar coeficiente de rugosidade calibrado para os domínios de simulação	9/9/2024	Para representar a resistência ao fluxo de água, foi utilizado no modelo hidrodinâmico o parâmetro altura de rugosidade com o valor de 2,5 mm.
8	Dados de qualidade da água (se modelar a qualidade da água)					

N	Item (Documento, desenho, plano, licença, informação)	Tipo	Referência	Esclarecimentos/encaminhamentos efetuados durante a reunião específica do item D/F	Data Recebimento	Documento disponibilizado/ Observações
8.1	Oxigênio dissolvido, nutrientes (nitrogênio, fósforo) e outros parâmetros de qualidade da água.	relatório, planilhas	Meio Ambiente	SOLICITAÇÃO TRACTEBEL: Encaminhar dados relativos ao corpo receptor, caso disponível.	9/9/2024	Os dados para a água superficial que compõem a rotina de automonitoramento da Alunorte foram fornecidos através dos RIAA, na Lista de Documentos 02 e disponibilizados no link a seguir. Documento disponibilizado de forma on line
8.2	Estudos de processos biológicos (por exemplo, fotossíntese, respiração) que afetam a qualidade da água no estuário.	relatório, planilhas	Meio Ambiente	OK		Documento disponibilizado de forma <i>online</i>
Itens Identificados após inspeção						
9	Relatórios técnicos Modelagem da Qualidade da Água e arquivos dos modelos					
9.1	Relatório de auditoria do Modelo matemático de qualidade da água (Empresa Ramboll)	relatório	Meio Ambiente	SOLICITAÇÃO TRACTEBEL: Encaminhar relatório de avaliação da Ramboll	9/9/2024	Conforme esclarecido em reunião, o relatório da Ramboll, não incluiu a avaliação da modelagem da dispersão de efluentes da Alunorte.

A partir das informações disponibilizadas pela Alunorte, foi realizado um levantamento inicial abrangente de todos os documentos recebidos. Em seguida, procedeu-se a uma triagem técnica, com o objetivo de identificar os arquivos diretamente relacionados ao tema do subitem E do TAC 4.1. A Tabela 8-1 apresenta os documentos analisados de forma detalhada, por conterem informações rastreáveis e que serviram como evidência para a auditoria.

Tabela 8-1 - Relação de documentos auditados pertinentes ao subitem E do item 4.1 do TAC

N	Item (Documento, desenho, plano, licença, informação)	Data Recebimento
1	SerieVazao_Graficos.xlsx	18/07/2024
2	(T41-282) Batimetria_RioPará_CartasNáuticas.xyz Amazonas_GridData.dat, Hydro_Griddata.dat, RioPara_GridData.dat	18/07/2024
3	Constituintes_Harmônicas_FES2014.dat	18/07/2024
4	ÁREA 97 – GERAL PROJETO ESTUDO DE DISPERSÃO DE EFLUENTES RELATÓRIO TÉCNICO - CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO – TAXA DE DILUIÇÃO - RT-4600012367-WL005-97-Z-00001 – 29/11/2024	06/12/2024
5	Estudo da Dispersão da Descarga do Efluente da Alunorte no Estuário do Rio Para-Modelagem - Prova de Conceito - Abril de 2019	18/07/2024
6	Licença de operação	18/07/2024
7	OUTORGA Nº 645, DE 14 DE ABRIL DE 2021. Documento nº 02500.014543/2021-31	24/07/2024
8	ÁREA 54A/B – DEPÓSITOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS – DRS1 E DRS2 - ATUALIZAÇÃO DOS ESTUDOS DE CHUVAS INTENSAS - RT-469133-54-G-003 – 22/02/2022	24/07/2024
9	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS - ÁREA 82F - NOVEMBRO - 2019	24/07/2024
10	Resultados de modelagem (rasters) – cenário 1 (P50, P95, Máximo), cenário 2 (P50, P95, Máximo), cenário 3 (P50, P95, Máximo), cenário 4 (P50, P95, Máximo), cenário 5 (P50, P95, Máximo), cenário 6 (P50, P95, Máximo).	06/12/2024
11	DISPERSÃO DE EFLUENTES - Submetido à Alunorte - 07 de junho de 2024 – LEGASYS Industrial Solutions	18/07/2024
12	AVALIAÇÃO DE BIOTA AQUÁTICA E VEGETAÇÃO CILIAR DA HIDROGRAFIA QUE INFLUENCIA A BACIA DO MURUCUPI E ARREDORES DA ALUNORTE	24/07/2024
13	RIAA: (cód 189) RIAA. Refinaria (LO nº 10423-2017) - Ano base 2017-2018	18/07/2024
14	RIAA: (cód 190) RIAA. Refinaria (LO nº 10423-2017) - Ano base 2018-2019	18/07/2024
15	RIAA: (cód 191) RIAA. Refinaria (LO nº 10423-2017) - Ano base 2019-2020	18/07/2024
16	RIAA: (cód 192) RIAA. Refinaria - Ano base 2020-2021	18/07/2024
17	RIAA: (cód 193) RIAA. Refinaria - Ano base 2021 (julho a dezembro de 2021)	18/07/2024
18	RIAA: (cód 194) RIAA. Refinaria - Ano base 2022 (janeiro a dezembro de 2022)	18/07/2024

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, floculantes 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.

9.1 Localização

A refinaria da Alunorte e seus respectivos Depósitos de Resíduos Sólidos 1 (DRS1) e 2 (DRS2) estão situados no município de Barcarena, no estado do Pará, a aproximadamente 110 km de Belém. O DRS1 está localizado nas proximidades da rodovia PA-481, entre a planta industrial da Alunorte e o DRS2, conforme apresenta figura a seguir.

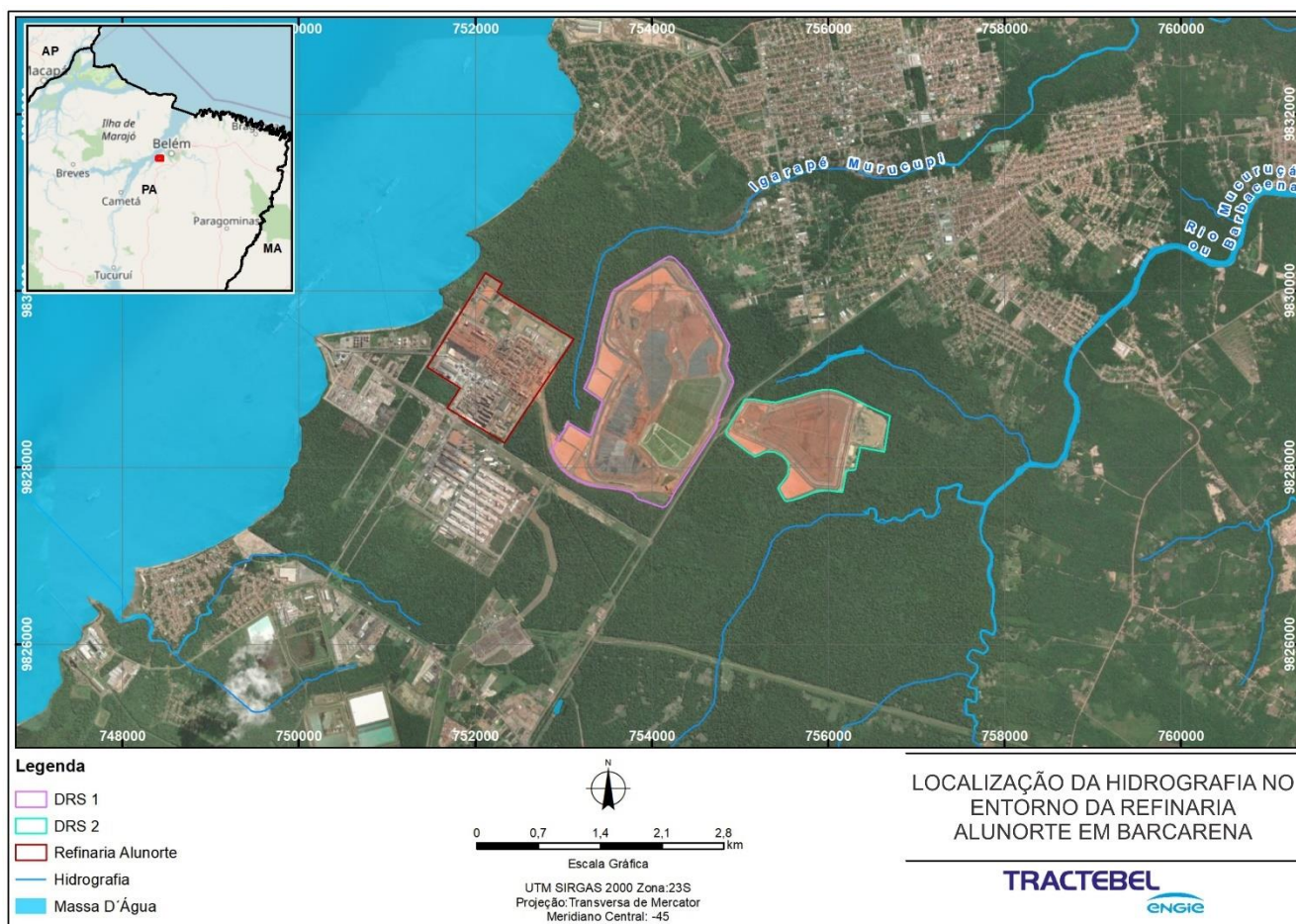


Figura 9-1 - Mapa de localização da planta geral das instalações da Alunorte
Elaboração: TRACTEBEL, 2025.

10 ANÁLISE DE CONFORMIDADE

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 à 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.

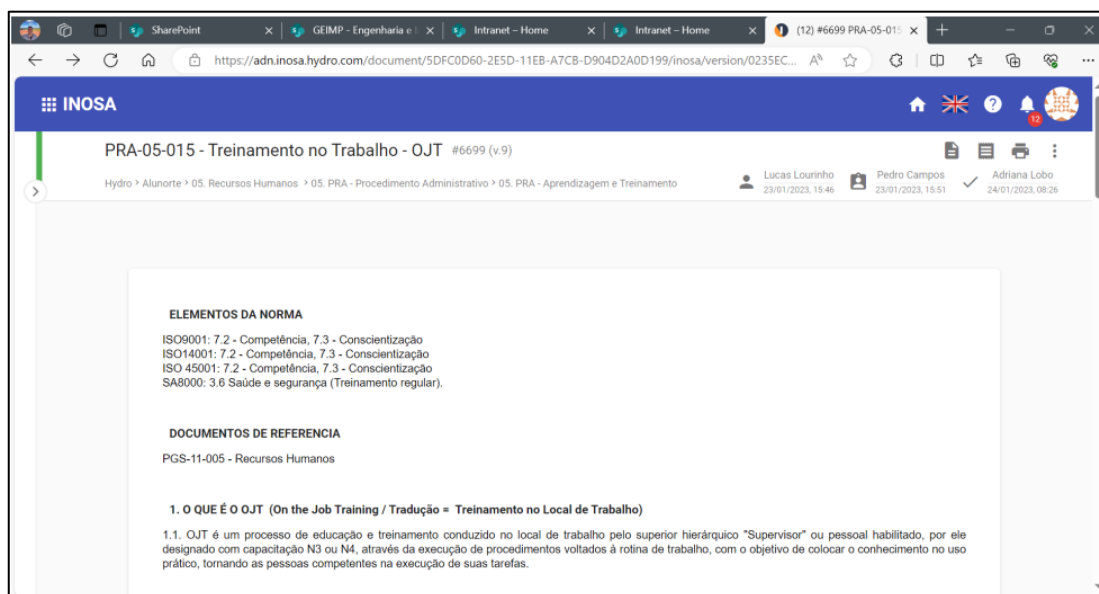


Figura 10-1 - Plataforma INOSA – Apresentação de treinamento para trabalhar.


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).

10.2 Validação do Modelo Hidrodinâmico Existente -Dados de Entrada

Tópico	DADOS DE ENTRADA
Área	Topografia e batimetria
Documento (s)	(T41-282) Batimetria_RioPará_CartasNáuticas.xyz
Figura (s)	NA
Evidência	A batimetria para o MOHID foi gerada com base na digitalização de dezenas de cartas náuticas da Marinha Brasileira e levantamentos realizados em estudos anteriores pela UFPA e da base de dados GEBCO para o oceano aberto
Conformidade	(X) Em conformidade () Não conformidade () Oportunidade de Melhoria () Observação
Observação	-

Tópico	DADOS DE ENTRADA
Área	Dados de vazão
Documento (s)	SerieVazao_Graficos.xlsx
Figura (s)	NA
Evidência	Os dados de vazão utilizados são provenientes da Estação de Óbidos (17050001) para o Rio Amazonas, da Estação UHE Tucuruí para o Rio Tocantins e da Estação UHE Belo Monte (19152 e 19156) para o Rio Xingu. Os dados encontram-se no arquivo: SerieVazao_Graficos.xlsx.
Conformidade	(X) Em conformidade () Não conformidade () Oportunidade de Melhoria () Observação
Observação	O código da estação UHE Tucuruí não foi indicado no documento avaliado.

Tópico	DADOS DE ENTRADA
Área	Dados de níveis de maré
Documento (s)	RT- 4600012367-WL005-97-Z-00001 - RELATÓRIO TÉCNICO - CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO – TAXA DE DILUIÇÃO
Figura (s)	NA
Evidência	O FES2014 é um dos modelos mais avançados para a previsão de marés globais, oferecendo alta precisão devido ao seu desenvolvimento baseado em mais de 20 anos de dados de altimetria por satélite e modelagem hidrodinâmica. Isso garante que as condições de maré utilizadas no modelo hidrodinâmico sejam extremamente confiáveis.
Conformidade	(X) Em conformidade () Não conformidade () Oportunidade de Melhoria () Observação
Observação	-

Tópico	DADOS DE ENTRADA
Área	Dados de níveis de água
Documento (s)	RT- 4600012367-WL005-97-Z-00001 - RELATÓRIO TÉCNICO - CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO – TAXA DE DILUIÇÃO
Figura (s)	NA
Evidência	<p>Os dados de níveis de água utilizados são provenientes das estações Abaetetuba (PP_000005) e Barcarena (PP_000004) localizadas a jusante do ponto de lançamento de efluente dentro do estuário do Rio Pará. As estações consideradas no estudo, conforme apresentado no Relatório Técnico da Modelagem estão representados na figura a seguir (Figura 10-2):</p>  <p>Figura 10-2 – Marégrafos com dados disponibilizados pelo Observatório da Costa Amazônica.</p>
Conformidade	(X) Em conformidade () Não conformidade () Oportunidade de Melhoria ()
Observação	-

Tópico	DADOS DE ENTRADA
Área	Dados meteorológicos
Documento (s)	RT- 4600012367-WL005-97-Z-00001 - RELATÓRIO TÉCNICO - CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO – TAXA DE DILUIÇÃO
Figura (s)	NA
Evidência	<p>A empresa apresentou o relatório descritivo que contempla a abordagem conceitual, escolha de dados de entrada e os resultados dos cenários solicitados. Contudo, o relatório não discriminou o uso ou não de dados meteorológicos. Observou-se nos arquivos de configuração do modelo (como exemplo do Cenário 5: "Hydrodynamic_1.dat" na linha 12 com WIND : 0) que o módulo de vento não foi acionado.</p> <p>Ressalta-se que esse ponto foi tratado nas discussões com a empresa responsável pela modelagem e foi justificado que forçantes meteorológicas como o vento e a temperatura possuem pouco impacto em modelagens estuarinas costeiras como as elaboradas pelo estudo. Sendo as forçantes predominantes as vazões dos rios e a maré.</p> <p>Apesar de disponíveis, os dados meteorológicos são pouco significativos para o resultado da simulação, quando comparados aos efeitos de maré.</p> <p>A literatura sobre o tema demonstra (Rosario, 2016) que não há influência significativa da intrusão salina na área de lançamento do efluente da Alunorte, por isso, a estratificação da coluna d'água na região da descarga é desprezível. Dessa forma, o modelo hidrodinâmico foi implementado em modo barotrópico, ou seja, sem considerar forças baroclínicas causadas por variações na densidade da água na hidrodinâmica.</p> <p>Além disso, a temperatura do efluente da Alunorte é próxima da temperatura da água do rio. Portanto, não se configura como uma descarga térmica relacionada com a liberação de água aquecida ou resfriada.</p> <p>Dados de nível mostram oscilações superiores a 3,0 m causadas pelo efeito da maré, promovendo correntes intensas, logo, a influência da maré somada às vazões do rio é predominante para a hidrodinâmica. Ademais, o vento também foi considerado um fator irrelevante, pois trata-se de uma força de superfície de rápido impacto na corrente da camada superficial e uma redução quasi-exponencial na coluna d'água. Por fim, oportuno acrescer na seção de metodologia explicação acerca das condições meteorológicas e pouca influência do fluxo dos ventos para o modelo. Dessa forma, o item foi considerado "em conformidade" com a oportunidade de melhoria dos relatórios utilizados como base de avaliação da modelagem contemple as discussões anteriores.</p>
Conformidade	(X) Em conformidade () Não conformidade (X) Oportunidade de Melhoria () Observação
Observação	

10.2.1 Construção do Modelo Hidrodinâmico e de Dispersão

Tópico	CONSTRUÇÃO DO MODELO HIDRODINÂMICO E DE DISPERSÃO
Área	Software
Documento (s)	RT- 4600012367-WL005-97-Z-00001 - RELATÓRIO TÉCNICO - CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO – TAXA DE DILUIÇÃO
Figura (s)	NA
Evidência	O software MOHID 3D é indicado para modelagem hidrodinâmica 2D e dispersão 3D de efluentes devido à sua capacidade de simulação tridimensional e flexibilidade

	modular. Ele integra processos físicos e biogeoquímicos, proporcionando uma análise abrangente. Desenvolvido pelo MARETEC, é continuamente atualizado com as mais recentes inovações. Essas características fazem do MOHID 3D uma boa ferramenta para a finalidade prevista neste item.
Conformidade	(X) Em conformidade () Não conformidade () Oportunidade de Melhoria () Observação
Observação	-

Tópico	CONSTRUÇÃO DO MODELO HIDRODINÂMICO E DE DISPERSÃO
Área	Abordagem hidrodinâmico (1D, 2D, 3D)
Documento (s)	RT- 4600012367-WL005-97-Z-00001 - RELATÓRIO TÉCNICO - CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO – TAXA DE DILUIÇÃO
Figura (s)	NA
Evidência	A construção do modelo hidrodinâmico segue a metodologia de <i>downscaling</i> , permitindo considerar a influência da maré e dos principais rios afluentes aos sistemas estuarinos dos rios Amazonas, Tocantins e Xingu, conectados pelo Estreito de Breves. Foram utilizados três domínios encaixados nas simulações dos cenários. O domínio de maior dimensão abrange os estuários dos rios Amazonas Tocantins e Xingu, estendendo-se até o oceano aberto, utilizando a maré como condição de fronteira, com amplitudes e fases das constituintes harmônicas obtidas do modelo global de maré FES2014. O segundo domínio cobre todo o estuário do rio Pará com uma modelagem hidrodinâmica 2D e resolução de 460m. O terceiro domínio foca especificamente na área de estudo, utilizando uma malha mais detalhada de 100m de resolução e uma abordagem hidrodinâmica 3D com camadas verticais sigma.
Conformidade	(X) Em conformidade () Não conformidade () Oportunidade de Melhoria () Observação
Observação	-

10.2.2 Premissas do Modelo

Tópico	PREMISSAS DO MODELO
Área	Condições de contorno
Documento (s)	RT- 4600012367-WL005-97-Z-00001 - RELATÓRIO TÉCNICO - CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO – TAXA DE DILUIÇÃO

Figura (s)

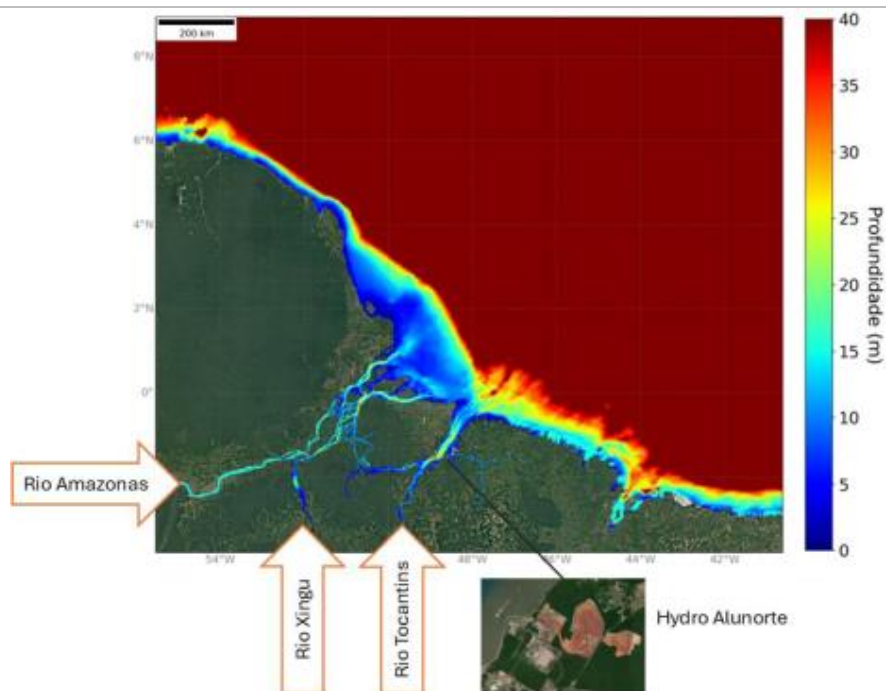


Figura 10-3– Domínio 1 – Sistemas estuarinos Amazonas e Pará.

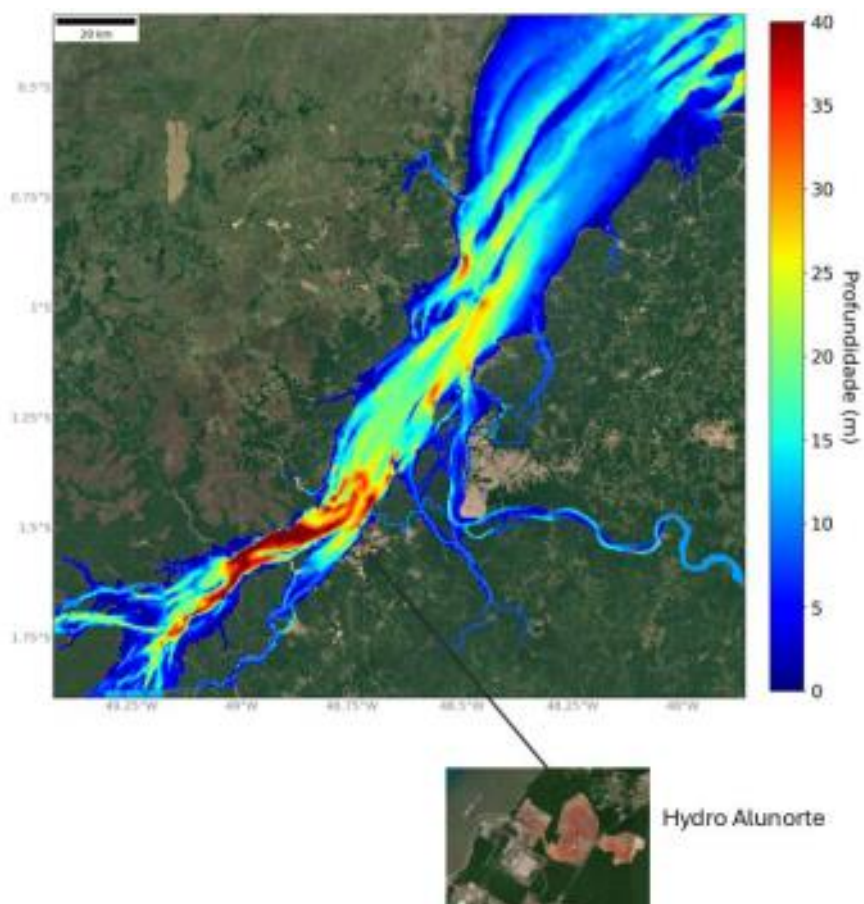


Figura 10-4– Domínio 2 – Estuário do rio Pará.

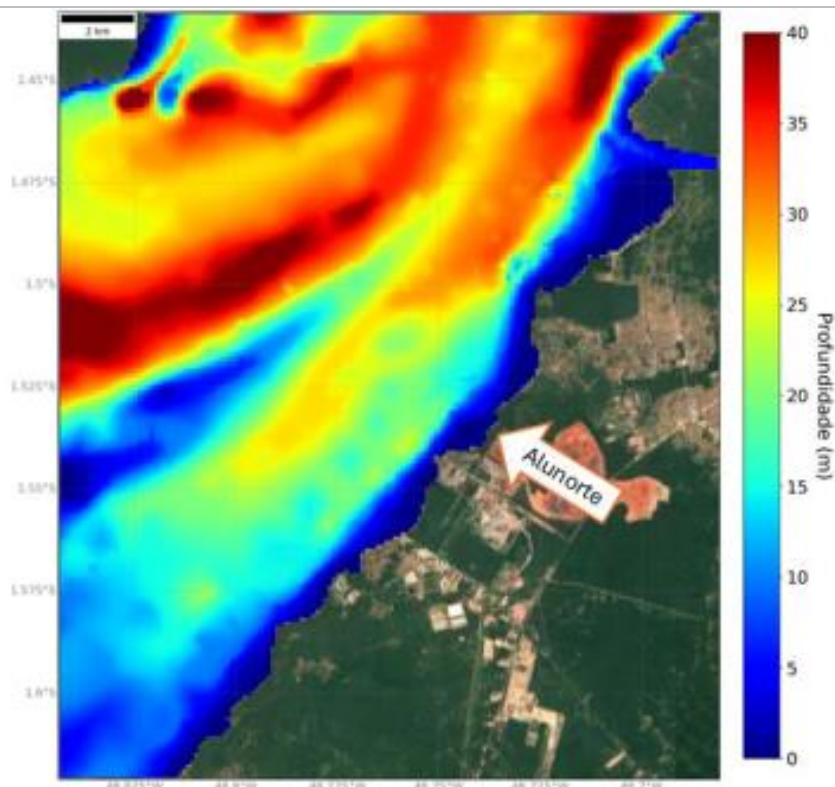


Figura 10-5– Alunorte e região de estudo da dispersão do efluente.

Evidência	As condições de contorno foram definidas no modelo de maior escala (Figura 10-3). Nas fronteiras com os rios, foram impostas as vazões características dos rios Amazonas, Tocantins e Xingu. Nas fronteiras sólidas, foi imposto fluxo de água e quantidade de movimento nulos, com o atrito exercendo-se principalmente no fundo. Na fronteira oceânica, foram utilizados os níveis de maré do modelo global FES2014. A solução do modelo global foi aplicada para definir as condições de contorno nos submodelos, interpolando os resultados e utilizando uma condição de radiação para eliminar o ruído gerado pelas diferenças de resolução das malhas dos modelos. Os três domínios são apresentados na Figura 10-3 , Figura 10-4 e Figura 10-5 . A calibração do modelo será abordada no item 10.2.3.
Conformidade	(X) Em conformidade () Não conformidade () Oportunidade de Melhoria () Observação
Observação	

Tópico	PREMISSAS DO MODELO
Área	Premissas de cálculo e parâmetro de modelagem
Documento (s)	RT- 4600012367-WL005-97-Z-00001 - RELATÓRIO TÉCNICO - CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO – TAXA DE DILUIÇÃO
Figura (s)	NA
Evidência	<p>O relatório menciona que o módulo de traçadores Lagrangeanos com camada sigma de 10 m foi utilizado para a modelagem 3D da dispersão de efluentes. Além disso, o relatório justifica o uso desse módulo com base em outro estudo, demonstrando que os resultados obtidos fornecem uma representação precisa da dispersão.</p> <p>No entanto, embora os logs computacionais indiquem os valores dos parâmetros, e o modelo hidrodinâmico apresente resultados de calibração coerentes e compatíveis com os dados de monitoramento dos níveis de água, é importante que o relatório detalhe as premissas adotadas para os parâmetros hidrodinâmicos, como rugosidade, turbulência e coeficiente de dispersão. Isso é fundamental para garantir</p>

	<p>a robustez das simulações, permitindo uma melhor compreensão e validação dos resultados apresentados para quaisquer interessados.</p> <p>Dessa forma, entende-se que o item está “em conformidade” porém, conforme indicado, é recomendado que os parâmetros utilizados estejam de forma clara e explicitada nos documentos de referência.</p>
Conformidade	(X) Em conformidade () Não conformidade (X) Oportunidade de Melhoria () Observação
Observação	Embora os logs computacionais justifiquem os valores adotados para os parâmetros hidrodinâmicos, o relatório deve detalhar as premissas adotadas para esses parâmetros. Isto é válido também para a influência das ondas e forças baroclínicas.

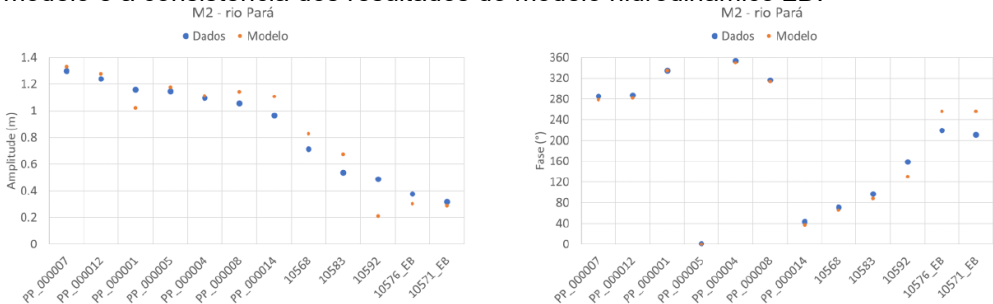
Tópico	PREMISSAS DO MODELO
Área	Premissas de cálculo e parâmetro de modelagem
Documento (s)	RT- 4600012367-WL005-97-Z-00001 - RELATÓRIO TÉCNICO - CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO – TAXA DE DILUIÇÃO
Figura (s)	NA
Evidência	Estudos anteriores mostraram que não há influência significativa da intrusão salina na área de lançamento do efluente da Alunorte, por isso, a estratificação da coluna d'água na região da descarga é desprezível. Dessa forma, o modelo hidrodinâmico foi implementado em modo barotrópico, ou seja, sem considerar forças baroclínicas causadas por variações na densidade da água na hidrodinâmica. Ademais, os dados de temperatura e pressão não foram necessários.
Conformidade	(X) Em conformidade () Não conformidade () Oportunidade de Melhoria () Observação
Observação	

Tópico	PREMISSAS DO MODELO
Área	Premissas de cálculo e parâmetro de modelagem
Documento (s)	RT- 4600012367-WL005-97-Z-00001 - RELATÓRIO TÉCNICO - CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO – TAXA DE DILUIÇÃO
Figura (s)	N. A. (Não Aplicável)
Evidência	A influência da maré, somada com as vazões dos rios, é predominante para hidrodinâmica (velocidades da água) e dispersão dos efluentes lançados no rio Pará. Portanto, o efeito do vento não foi considerado relevante para os objetivos do estudo. Pela mesma razão não foi considerado o efeito das ondas.
Conformidade	(X) Em conformidade () Não conformidade () Oportunidade de Melhoria () Observação
Observação	

Tópico	PREMISSAS DO MODELO
Área	Premissas de cálculo e parâmetro de modelagem
Documento (s)	RT- 4600012367-WL005-97-Z-00001 - RELATÓRIO TÉCNICO - CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO – TAXA DE DILUIÇÃO
Figura (s)	N. A. (Não Aplicável)
Evidência	Na modelagem foi considerada a premissa mais conservadora de que a concentração adota uma propriedade conservativa dissolvida no efluente.. Essa abordagem assume que os processos de advecção e difusão são mais eficazes na redução das concentrações nas proximidades do ponto de lançamento do efluente do que os processos de decaimento e sedimentação, sendo, portanto, uma abordagem conservadora para a determinação da zona de mistura do efluente.
Conformidade	(X) Em conformidade () Não conformidade () Oportunidade de Melhoria () Observação
Observação	

Tópico	PREMISSAS DO MODELO
Área	Premissas de cálculo e parâmetro de modelagem
Documento (s)	RT- 4600012367-WL005-97-Z-00001 - RELATÓRIO TÉCNICO - CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO – TAXA DE DILUIÇÃO
Figura (s)	N. A. (Não Aplicável)
Evidência	As premissas do modelo hidrodinâmico foram calibradas e validadas com base nos dados de monitoramento.
Conformidade	(X) Em conformidade () Não conformidade () Oportunidade de Melhoria () Observação
Observação	-

10.2.3 Avaliação da Calibração e Resultados Hidrodinâmicos do Modelo

Tópico	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO ITEM E
Área	AVALIAÇÃO DA CALIBRAÇÃO E RESULTADOS HIDRODINÂMICOS DO MODELO
Documento (s)	RT- 4600012367-WL005-97-Z-00001 - RELATÓRIO TÉCNICO - CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO – TAXA DE DILUIÇÃO
Figura (s)	Figura 6: Comparação entre as amplitudes (esquerda) e fases (direita) da constituinte M2 obtidas da análise harmônica dos dados e dos resultados de nível da água nos marégrafos localizados ao longo do estuário do rio Pará.
Evidência	<p>A análise dos resultados demonstrou que o modelo hidrodinâmico implementado é capaz de representar a propagação da maré ao longo dos estuários dos rios Amazonas e Pará. Foram realizadas análises harmônicas dos dados de maré monitorados e resultados do modelo para verificar a amplitude e a fase da principal constituinte da maré (M2) ao longo dos estuários.</p> <p>O modelo fornece resultados calibrados que representam de forma consistente o comportamento hidrodinâmico da maré e das vazões dos rios ao longo do estuário do Rio Pará. Observa-se que a amplitude e a fase da maré são consistentes entre os dados do modelo e os dados monitorados, confirmando assim a calibração do modelo e a consistência dos resultados do modelo hidrodinâmico 2D.</p>  <p>Figura 10-6 - Resultado de calibração - amplitude e fase da maré</p>
Conformidade	(X) Em conformidade () Não conformidade () Oportunidade de Melhoria () Observação
Observação	-

Tópico	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO ITEM E
Área	AVALIAÇÃO DA CALIBRAÇÃO E RESULTADOS HIDRODINÂMICOS DO MODELO
Documento (s)	RT- 4600012367-WL005-97-Z-00001 - RELATÓRIO TÉCNICO - CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO – TAXA DE DILUIÇÃO
Figura (s)	Figura 7: Comparação entre os dados e resultados de nível da água no marégrafo localizado em Abaetetuba (esquerda) e Barcarena (direita).
Evidência	<p>A Figura 7 apresenta uma comparação entre os níveis de água observados em marégrafos nas proximidades da Alunorte e os resultados do modelo.</p> <p>Observa-se uma aderência entre os dados monitorados e os resultados do modelo em termos de fase e amplitude. Nota-se que em alguns momentos o modelo apresenta uma amplitude maior do que a observada nos marégrafos, porém, tal resultado não compromete as conclusões acerca da confiabilidade dos resultados da dispersão da pluma de efluentes.</p> <div data-bbox="609 728 1222 1547" data-label="Figure"> </div> <p>Figura 10-7 - Resultado de calibração - Comparação dos dados de monitoramento com resultados do modelo</p> <p>De forma a validar os níveis de água simulados, buscou-se artigos elaborados para a região que tratem de modelagem hidrodinâmica costeira. Azevedo et al. (2023) estudaram a região com o uso do software SisBahia para, no caso, avaliar o potencial de gerar energia com as marés. O modelo desenvolvido no artigo considerou uma estação maregráfica em Barcarena (denominada no caso de Porto Vila do Conde), em que encontrou amplitude modelada da sizígia de 3,75 (3,28-(-0,47)) m e 2,06 (2,23-0,17) m para quadratura, valores semelhantes aos levantados no estudo em folha que encontrou a amplitude da sizígia de 3,45 (1,9-(-1,55)) m e 2,0 (0,75-(-1,25)) m, indicando dessa forma que os valores estão coerentes com demais estudos para a região.</p> <p>Além da apresentação da calibração dos valores modelados frente os dados mareográficos, cabe adicionar que foi apresentado no relatório resultados hidrodinâmicos para as condições de enchente e vazante para marés de sizígia e quadratura. Apresenta-</p>

se a seguir na Figura 10-8 e na Figura 10-9, respectivamente, o campo de velocidades na condição de vazante na quadratura e sizígia, e na condição de enchente na quadratura e sizígia. Desta forma é possível avaliar que na condição de vazante (vetores do campo velocidade em direção para fora do estuário) nas marés de quadratura e sizígia, as velocidades se apresentam com menor e maior intensidade, respectivamente (Figura 10-8). Da mesma forma, na condição de enchente observa-se a direção inversa das velocidades (para dentro do estuário) nas marés de quadratura e sizígia, as velocidades se apresentam com menor e maior intensidade, respectivamente (Figura 10-9).

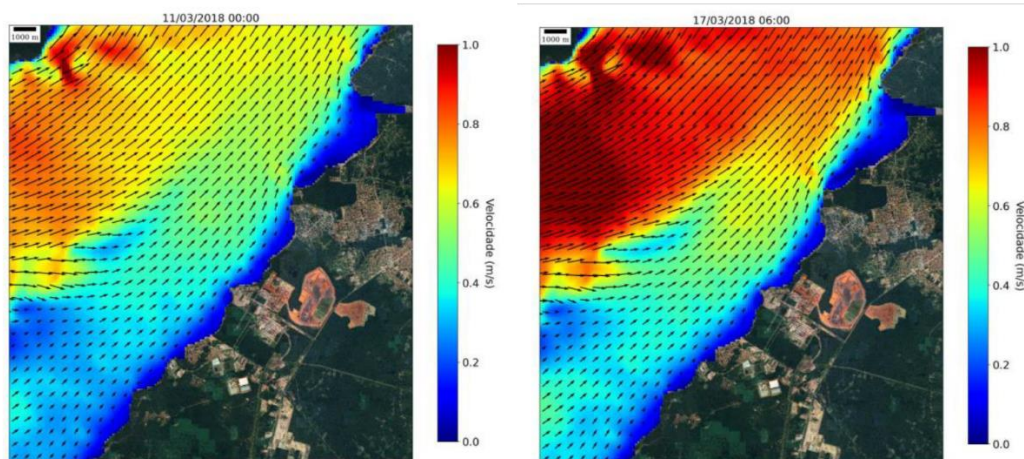


Figura 10-8 – Campo de velocidades em vazante na quadratura (esquerda) e sizígia (direita)

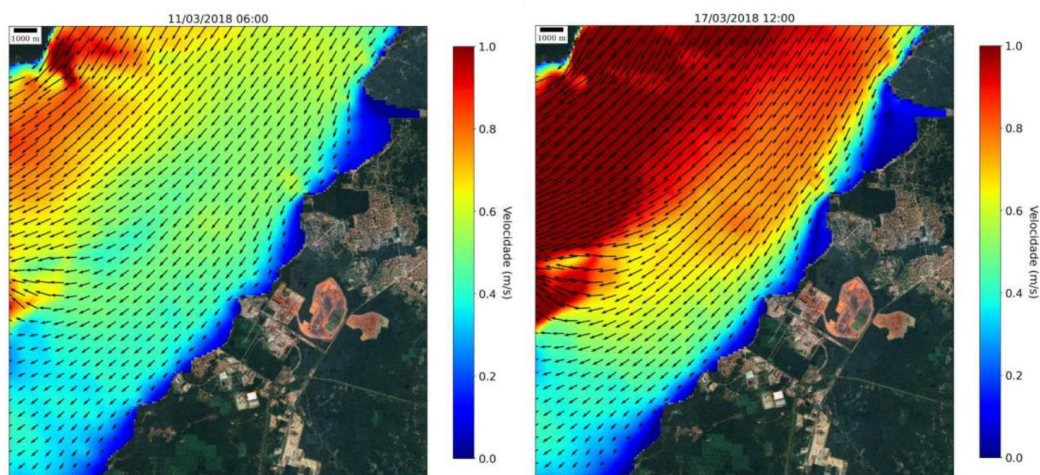


Figura 10-9 – Campo de velocidades em enchente na quadratura (esquerda) e sizígia (direita)

Conformidade	(X) Em conformidade () Não conformidade () Oportunidade de Melhoria () Observação
Observação	-

10.3 Avaliação dos Cenários de Dispersão de Efluente no Rio Pará

10.3.1 Definição dos Cenários de Análise

Os cenários de simulação foram definidos pela auditora e os resultados e a evidência da utilização desses foram materializados no documento RT- 4600012367-WL005-97-Z-00001 - RELATÓRIO TÉCNICO - CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO – TAXA DE DILUIÇÃO (ver Tabela 8-1). Nesse sentido, a análise de conformidade aqui realizada tem como base esse documento, e tem por intuito aferir se este atende os cenários estipulados pela auditora como relevantes ao subitem E do TAC 4.1.

Tópico	DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS DE ANÁLISE																					
Área	Rio Pará																					
Documento (s)	RT- 4600012367-WL005-97-Z-00001 - RELATÓRIO TÉCNICO - CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO – TAXA DE DILUIÇÃO																					
Figura (s)	NA																					
Evidência	<p>O modelo hidrodinâmico se propõe a determinar a taxa de diluição do efluente tratado pela ETEI, em função dos cenários de vazão pré-definidos, conforme apresentado na Tabela 10-1, considerando o ciclo completo de maré (quadratura e sizígia). No que se refere ao embasamento teórico do modelo, o racional aplicável é que a pluma de dispersão é expressa na forma de taxa de diluição, podendo ser aplicada para quaisquer parâmetros do efluente tratado.</p> <p>Os seis cenários de análise solicitados pela auditora consideram as vazões de descarga de efluente em diversas condições, abrangendo tanto situações normais quanto adversas, e levando em conta a sazonalidade extrema das vazões dos rios:</p> <ul style="list-style-type: none">• Período seco (Q_{95%}): vazões com permanência de 95% no tempo;• Período chuvoso (Q_{5%}): vazões com permanência de 5% no tempo. <p>Durante o período seco, espera-se uma <u>menor taxa de diluição</u>, aumentando o risco de alta concentração de poluentes nas praias. Em contrapartida, no período chuvoso, espera-se uma <u>maior taxa de diluição</u>, resultando em uma pluma de diluição de efluente mais extensa dentro do estuário do Rio Pará.</p> <p>Cinco dos seis cenários consideraram as possíveis vazões de descarga de efluente no rio Pará, com 3.000 m³/h representando uma descarga baixa (descarga de lançamento típica da Alunorte conforme documento 5 da Tabela 8-1) e 16.500 m³/h representando uma descarga alta (vazão máxima de lançamento outorgada pela Portaria de Outorga nº 645, de 14 de abril de 2021 emitida pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA.). Enquanto, um cenário considerando a vazão máxima atual (14.000 m³/h) da estação de tratamento de efluentes com duração de 1 dia. Esses 6 cenários permitem avaliar os efeitos do lançamento de efluentes, tanto em condições normais de operação, quanto em situações extremas de efluente decorridas da operação planta.</p> <p style="text-align: center;">Tabela 10-1 - Cenários de simulação</p> <table><tr><th>Cenário</th><th>Vazão rios afluentes</th><th>Vazão do efluente (m³/h)</th></tr><tr><td>1</td><td>Q95</td><td>3.000</td></tr><tr><td>2</td><td>0</td><td>3.000</td></tr><tr><td>3</td><td>Q95</td><td>16.500</td></tr><tr><td>4</td><td>Q05</td><td>3.000</td></tr><tr><td>5</td><td>Q05</td><td>16.500</td></tr><tr><td>6</td><td>Q95</td><td>14.000*</td></tr></table>	Cenário	Vazão rios afluentes	Vazão do efluente (m³/h)	1	Q95	3.000	2	0	3.000	3	Q95	16.500	4	Q05	3.000	5	Q05	16.500	6	Q95	14.000*
Cenário	Vazão rios afluentes	Vazão do efluente (m³/h)																				
1	Q95	3.000																				
2	0	3.000																				
3	Q95	16.500																				
4	Q05	3.000																				
5	Q05	16.500																				
6	Q95	14.000*																				

	<p>Observação: * Vazão máxima de 14.000 m³/h durante 1 dia e de 3.000 m³/h para o restante da simulação.</p> <p>Nos cenários 3 e 5, considerou-se condições extremas em termos da vazão do efluente, onde considerada uma vazão máxima de 16.500 m³/hora (máximo autorizado pela Portaria de Outorga nº 645). Dessa forma, pode-se inferir que o efeito das vazões dos rios tem pouco impacto nos cenários analisados.</p> <p>Dado que a capacidade máxima da estação de tratamento de água, de 14.000 m³/hora, esses cenários com vazões de efluente mais elevadas são mais críticos. Os resultados foram avaliados como positivos e em conformidade conforme será apresentado no item 10.3.2 Apresentação dos Resultados da Análise de Dispersão de Plumas.</p>
Conformidade	(X) Em conformidade () Não conformidade () Oportunidade de Melhoria () Observação
Observação	

10.3.2 Apresentação dos Resultados da Análise de Dispersão de Plumas

Tópico	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE DE DISPERSÃO DE PLUMAS
Área	Rio Pará
Documento (s)	RT- 4600012367-WL005-97-Z-00001 - RELATÓRIO TÉCNICO - CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO – TAXA DE DILUIÇÃO
Figura (s)	Figura 12-13-14-15-16-17
Evidência	<p>Os resultados apresentados consideraram a pluma máxima da razão de concentração de água ($C_{\text{água}}$) por concentração de efluente (C_{efluente}), e também o percentil de 95% dessa razão. Os mapas de resultado também contaram com isolinhas representando o limite para 4% de diluição, ou seja, o limite para a diluição de 1:25 vezes.</p> <p>O relatório do “Estudo da Dispersão da Descarga do Efluente da Alunorte no Estuário do Rio Pará – Modelagem – Prova de Conceito – Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, Abril de 2019” considerou nos seus domínios a inclusão da ilha do Capim para avaliar um possível alcance naquela região. Entretanto, os resultados apresentados evidenciaram diluições de 1.000 vezes (limite da escala) à quilômetros de distância da ilha do Capim.</p> <p>Desta forma, o modelo desenvolvido para atendimento do Item E considerou uma malha de maior resolução para o modelo hidrodinâmico com menor área de abrangência para redução do custo computacional, tendo como base a dimensão da pluma obtida no estudo desenvolvido em 2019. Este modelo foi utilizado para simulação dos cenários solicitados para o atendimento ao tópico 10.3.1.</p> <p>Em relação a ilha do Capim, os resultados do modelo indicam que a região não é afetada pela dispersão do efluente, uma vez que demonstram que a pluma de dispersão mantém-se distante dessa região. Mesmo nos cenários mais arrojados, considerando vazões superiores às máximas de lançamento previstas para a estação de tratamento, observou-se que a extensão da pluma reduziu-se significativamente, sem qualquer aproximação relevante à ilha, corroborando com os resultados do estudo realizado em 2019.</p> <p>Apresenta-se a seguir o raster de resultados do modelo reduzido do Cenário 6, indicando que o domínio não alcançou a ilha, onde também pode-se observar que a pluma de percentil de 95% da dispersão está distante da Ilha do Capim.</p>

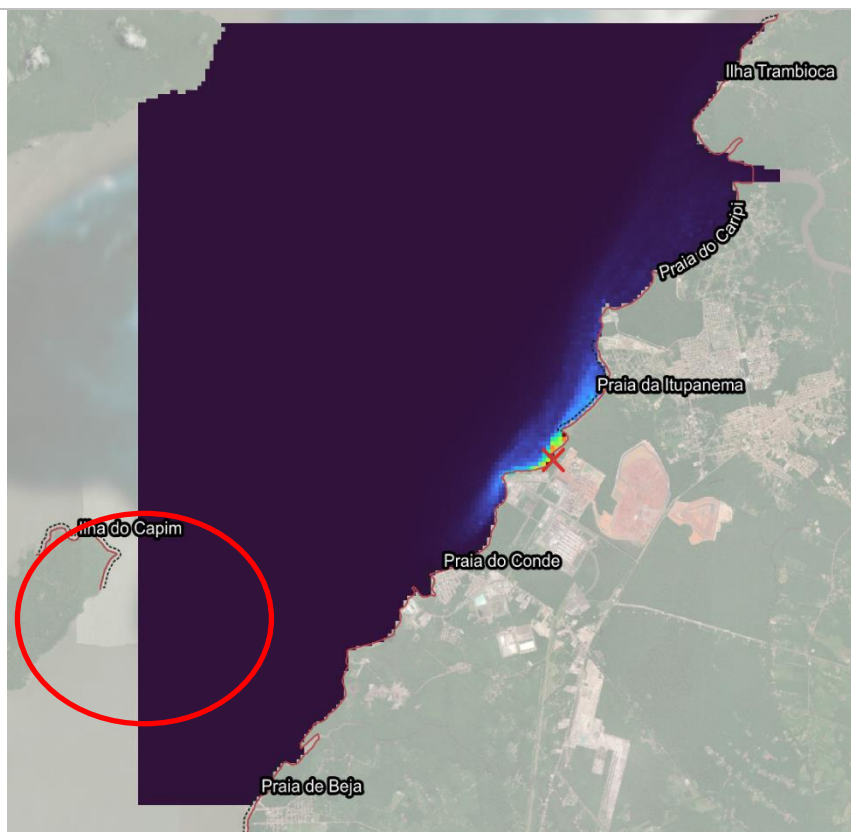


Figura 10-10 - Extensão do modelo

Conformidade	(X) Em conformidade () Não conformidade () Oportunidade de Melhoria () Observação
Observação	

Tópico	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE DE DISPERSÃO DE PLUMAS
Área	Rio Pará
Documento (s)	RT- 4600012367-WL005-97-Z-00001 - RELATÓRIO TÉCNICO - CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO – TAXA DE DILUIÇÃO
Figura (s)	Figura 12 – Cenário 1 (Vazão: $Q_{95\%}$ e lançamento de $3.000\text{m}^3/\text{h}$)
Evidência	O objetivo do Cenário 1 é simular o comportamento de diluição da pluma em condições de baixa vazão dos rios (período seco) e baixa vazão de lançamento de efluentes. A figura abaixo interpreta os resultados da modelagem em termos de taxas de diluição do efluente inicial em um raio de 100 metros das 5 praias sensíveis com base no Percentil 95 de diluição.

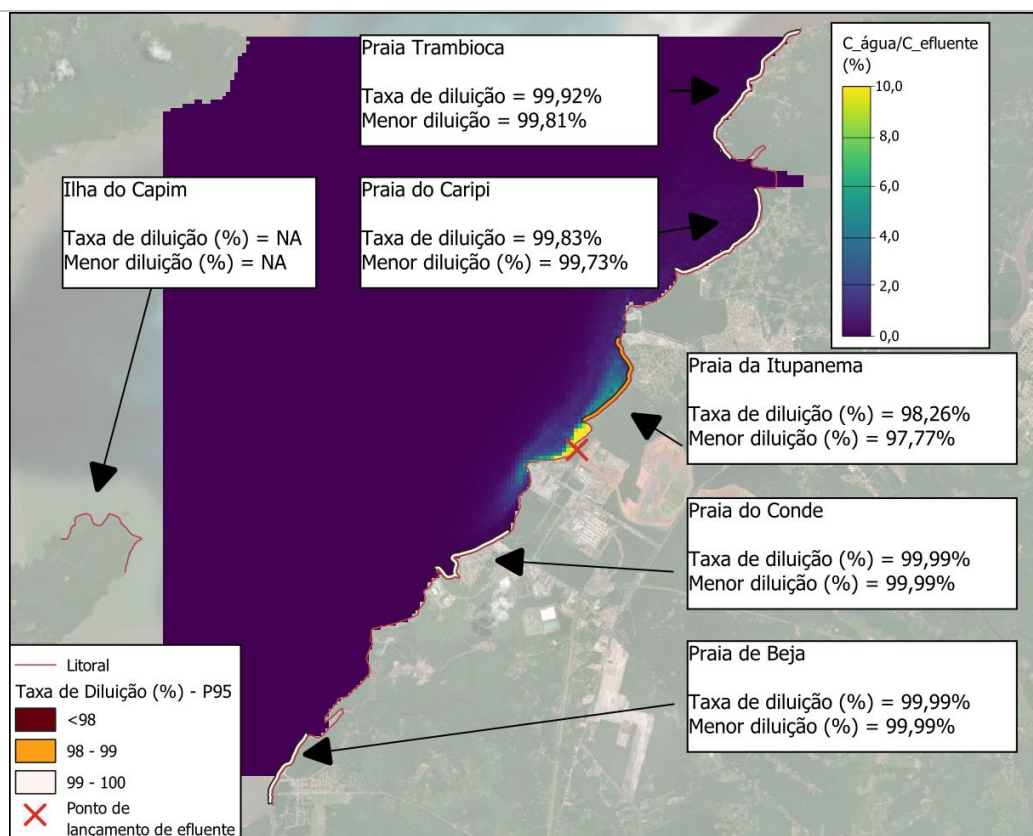


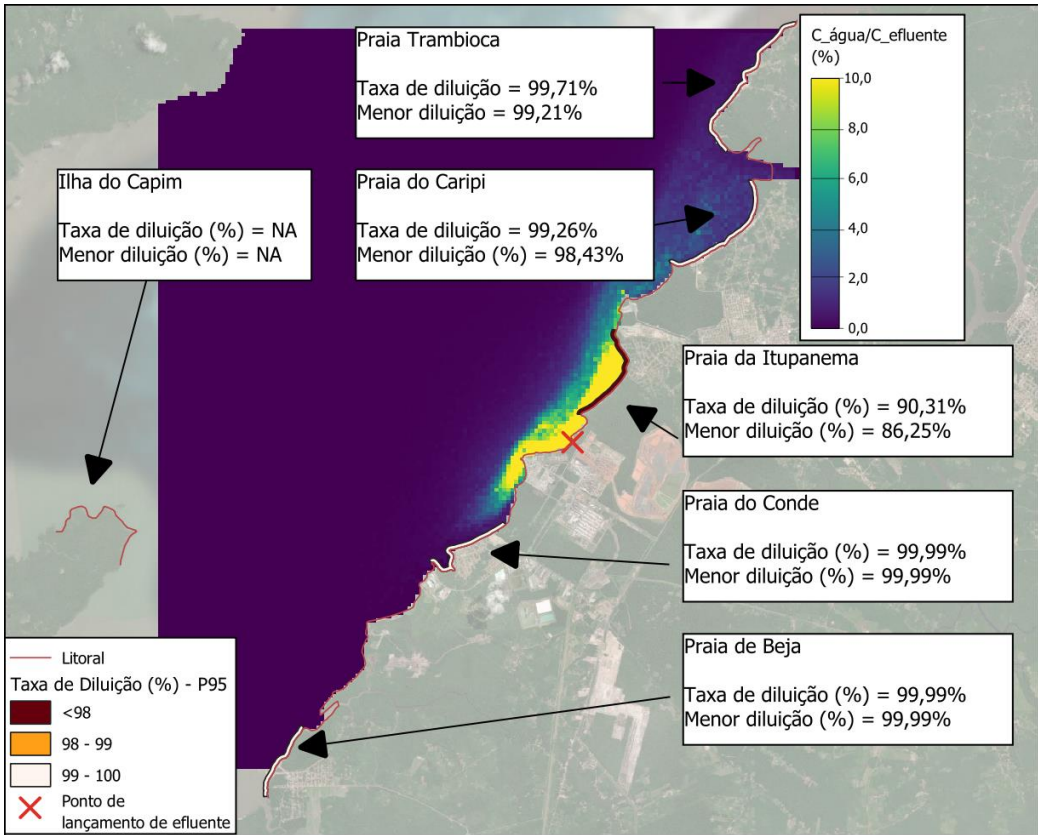
Figura 10-11 - Cenário 1 (P95)

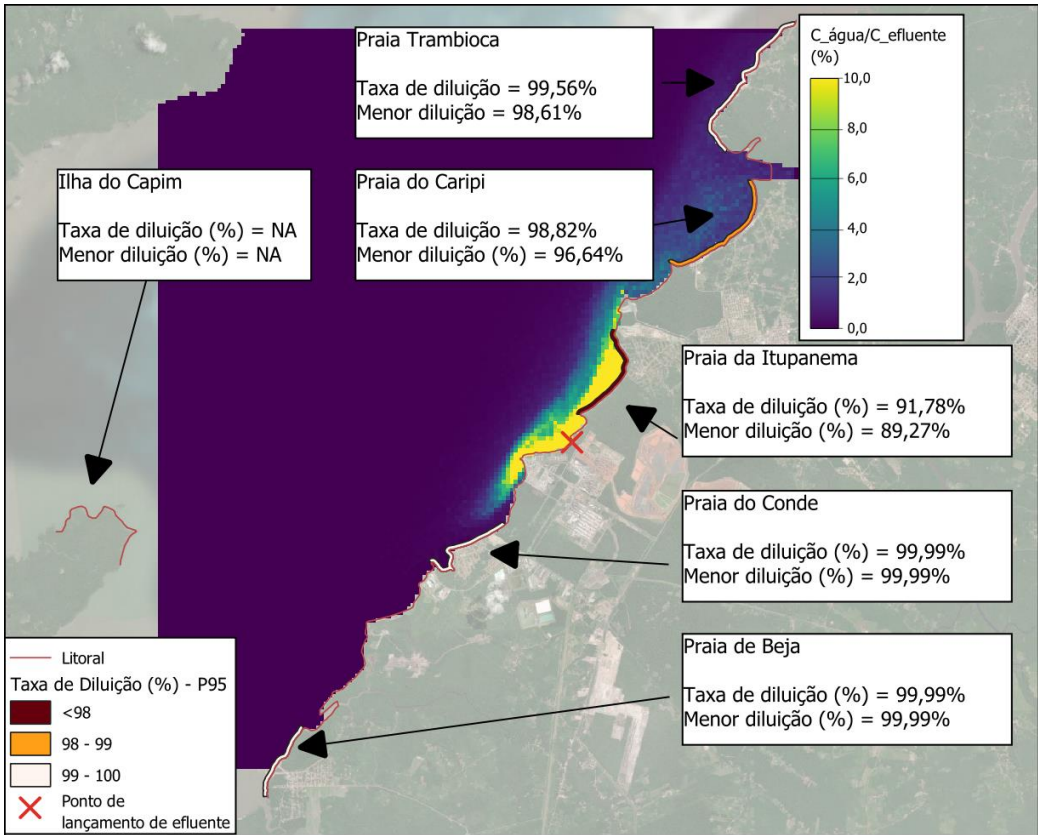
Conforme indicado na figura acima, referente ao resultado de diluição P95 do Cenário 1, observam-se as taxas medianas de diluição do efluente em um raio de 100 metros das praias sensíveis. Destaca-se que, no Cenário 1, apenas a praia de Itupanema apresenta valores medianos da diluição (percentil 95) entre 98% e 99% da concentração inicial do efluente lançado.

Em condições normais de operação da planta, os dados de monitoramento da qualidade da água já devem atender aos requisitos estabelecidos na outorga de lançamento de efluente no meio aquático natural. Portanto, atendendo aos padrões de lançamento estipulados na Outorga nº 645, de 14 de abril de 2021 e na Resolução CONAMA nº 430 de 13/05/2011, a operação normal da planta não gera riscos no Cenário 1 (período seco e baixa descarga de efluente).

Conformidade	(X) Em conformidade () Não conformidade () Oportunidade de Melhoria () Observação
Observação	-

36

Tópico	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE DE DISPERSÃO DE PLUMAS
Área	Rio Pará
Documento (s)	RT- 4600012367-WL005-97-Z-00001 - RELATÓRIO TÉCNICO - CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO – TAXA DE DILUIÇÃO
Figura (s)	Figura 14 – Cenário 3 (Q95 & 16.500m³/h)
Evidência	<p>O objetivo do Cenário 3 é simular o comportamento de diluição da pluma em condições de baixa vazão dos rios (período seco) e alta vazão de lançamento de efluentes. A figura abaixo demonstra os resultados da modelagem em termos de taxas de diluição do efluente inicial em um raio de 100 metros das 5 praias sensíveis com base no Percentil95 de diluição.</p>  <p>Figura 10-13- Cenário 3 (P95)</p> <p>Conforme indicado na figura acima, referente ao resultado de diluição P95 do Cenário 3, observam-se as taxas medianas de diluição do efluente em um raio de 100 metros das praias sensíveis. Destaca-se que, no Cenário 3, apenas a praia de Itupanema apresenta valores medianos da diluição (percentil 95) no entorno de 90,31% da concentração inicial do efluente lançado e valor mínimo de diluição 86,25% da concentração inicial</p> <p>Em condições normais de operação da planta, os dados de monitoramento da qualidade da água já devem atender aos requisitos estabelecidos na outorga de lançamento de efluente no meio aquático natural. Portanto, atendendo aos padrões de lançamento estipulados na Outorga nº 645, de 14 de abril de 2021 e na Resolução CONAMA nº 430 de 13/05/2011, a operação normal da planta não gera riscos no Cenário 3 (baixa vazão dos rios e alta descarga de efluente).</p>
Conformidade	(X) Em conformidade () Não conformidade () Oportunidade de Melhoria () Observação
Observação	-
Tópico	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE DE DISPERSÃO DE PLUMAS
Área	Rio Pará

Tópico	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE DE DISPERSÃO DE PLUMAS
Área	Rio Pará
Documento (s)	RT- 4600012367-WL005-97-Z-00001 - RELATÓRIO TÉCNICO - CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO – TAXA DE DILUIÇÃO
Figura (s)	Figura 16 – Cenário 5 (Q5 & 16.500m³/h)
Evidência	<p>O objetivo do Cenário 5 é simular o comportamento de diluição da pluma em condições de alta vazão dos rios (período chuvoso) e alta vazão de lançamento de efluentes. A figura abaixo demonstra os resultados da modelagem em termos de taxas de diluição do efluente inicial em um raio de 100 metros das 5 praias sensíveis com base no Percentil95 de diluição.</p>  <p>Figura 10-15- Cenário 5 (P95)</p> <p>Conforme indicado na figura acima, referente ao resultado de diluição P95 do Cenário 5, observam-se as taxas medianas de diluição do efluente em um raio de 100 metros das praias sensíveis. Destaca-se que, no Cenário 5, as praias de Itupanema e de Caripi apresentam valores medianos do diluição (percentil 95) no entorno abaixo de 98%. A pluma de efluente atinge uma diluição de 91,78% da concentração inicial nas proximidades da praia de Itupanema. Já na praia de Caripi, que não está impactada nos outros cenários, a diluição da pluma varia entre 98% e 99% da concentração inicial do efluente.</p> <p>Em condições normais de operação da planta, os dados de monitoramento da qualidade da água já devem atender aos requisitos estabelecidos na outorga de lançamento de efluente no meio aquático natural. Portanto, atendendo aos padrões de lançamento estipulados na Outorga nº 645, de 14 de abril de 2021 e na Resolução CONAMA nº 430 de 13/05/2011, a operação normal da planta não gera riscos no Cenário 5 (alta vazão dos rios e alta descarga de efluente).</p>
Conformidade	(X) Em conformidade () Não conformidade () Oportunidade de Melhoria () Observação
Observação	-

40

10.3.3 Atendimento dos Resultados de Dispersão aos Padrões de Qualidade

Tópico	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO ITEM E
Área	ATENDIMENTO DOS RESULTADOS DE DISPERSÃO AOS PADRÕES DE QUALIDADE
Documento (s)	RT- 4600012367-WL005-97-Z-00001 - RELATÓRIO TÉCNICO - CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO – TAXA DE DILUIÇÃO
Figura (s)	N. A. (Não Aplicável)
Evidência	O modelo hidrodinâmico do estuário do rio Pará foi validado utilizando dados de monitoramento de níveis de água. Embora, As diferenças observadas entre os dados de monitoramento e os resultados do modelo são aceitáveis e intrínsecas ao processo de simulação e calibração de modelos hidrodinâmicos e de dispersão de plumas de poluentes.
Conformidade	(X) Em conformidade () Não conformidade () Oportunidade de Melhoria () Observação
Observação	-

Tópico	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO ITEM E
Área	ATENDIMENTO DOS RESULTADOS DE DISPERSÃO AOS PADRÕES DE QUALIDADE
Documento (s)	TAC 4.1 - ITEM C - RT-4610606-82-G-003: ÁREA 82 – SISTEMA DE EFLUENTES – BACIA 82F-2ª PLANO DE AÇÃO DE EMERGÊNCIA (PAE)
Figura (s)	N. A. (Não Aplicável)
Evidência	Existe um plano de emergência para a Bacia de Contenção 82F-2A, de propriedade da Alunorte, localizada na planta industrial da empresa, no município de Barcarena, no estado do Pará. A bacia faz parte do sistema de tratamento de efluentes da Área 82 e foi projetada e construída como uma estrutura segura, com suas condições e desempenho verificados periodicamente pela equipe técnica da Alunorte, juntamente com consultores externos, em conformidade com todos os requisitos legais estabelecidos.
Conformidade	(X) Em conformidade () Não conformidade () Oportunidade de Melhoria () Observação
Observação	-

Tópico	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO ITEM E
Área	ATENDIMENTO DOS RESULTADOS DE DISPERSÃO AOS PADRÕES DE QUALIDADE
Documento (s)	OUTORGA Nº 645, DE 14 DE ABRIL DE 2021. - Documento nº 02500.014543/2021-31
Figura (s)	N. A. (Não Aplicável)
Evidência	<p>O objetivo deste ITEM E é avaliar as zonas de influência do lançamento de efluentes no Rio Pará, considerando as oscilações noturnas e diurnas, o regime de marés, a sazonalidade e o uso das praias de Itupanema, Caripi, Conde, Beja, Ilha Trambioca e Ilha do Capim.</p> <p>O lançamento do efluente no Rio Pará está em conformidade com as normativas de qualidade da água para Classe 2 do Rio Pará e com as normativas de qualidade da água para balneabilidade (confere relatório do TAC4.1 ITEM 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). A qualidade do efluente é monitorada continuamente antes de ser lançada no estuário e respeita os limites definidos na outorga de água e de lançamento de efluente (conforme OUTORGA Nº 645, DE 14 DE ABRIL DE 2021. - Documento nº 02500.014543/2021-31).</p>

	Enquanto a qualidade do efluente estiver de acordo com os padrões estabelecidos na outorga 645 de 14 de Abril de 2021, não se espera observar alteração da qualidade da água nas proximidades das praias mencionadas.
Conformidade	(X) Em conformidade () Não conformidade () Oportunidade de Melhoria () Observação
Observação	-

11 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo hidrodinâmico 2D da dispersão da pluma de efluentes do processo produtivo da refinaria Alunorte, no estuário do Rio Pará, atende aos requisitos necessários e fornece percepções sobre o comportamento da pluma de dispersão de efluentes no seu entorno.

Este modelo foi calibrado usando dados observados, garantindo sua precisão na representação das condições hidrodinâmicas e dos padrões de dispersão dos efluentes no estuário.

A capacidade do modelo de simular a propagação das marés, os fluxos dos rios e a interação entre essas forças permite uma compreensão abrangente de como a pluma de efluentes se dispersa sob várias condições de fluxo. Os resultados obtidos do modelo estão aderentes aos dados monitorados, confirmando sua confiabilidade e eficácia na previsão do comportamento da dispersão.

Com base nos resultados da modelagem hidrodinâmica 2D e 3D da dispersão do efluente da planta da Alunorte, não denota comprometimento na qualidade da água no entorno das praias sensíveis de Itupanema, Caripi, Conde, Beja, Ilha Trambioca e Ilha do Capim em condições normais de operação da planta. Essa conclusão parte do análise de que o lançamento já atende ao padrões estipulados pela Outorga nº 645, de 14 de abril de 2021 e pela Resolução CONAMA nº 430 de 13/05/2011 (item C do TAC 4.1), bem como da capacidade de diluição do estuário rio Pará que dilui a concentração do efluente em taxas que variam em média entre 86,25% a 99,99% nas praias consideradas.

Face o apresentado, avaliza-se a segurança do lançamento do efluente tratado, visto a sua dispersão no estuário do rio Pará, ditada pelas vazões do próprio rio e pelo efeito da maré propagada do oceano Atlântico, garante taxas de diluição elevadas que não comprometem a qualidade da água nas praias de Itupanema, Caripi, Conde, Beja, Ilha Trambioca e Ilha do Capim.

12 RECOMENDAÇÕES

Na presente auditoria foram avaliados seis cenários de condições ordinárias de escoamento de água, operação da planta e taxas de descarga de efluentes no rio Pará. No entanto, cenários extremos e extraordinários de descarga não foram considerados (por exemplo, lançamento sem tratamento), pois fogem das condições normais de operação da planta. No âmbito da elaboração dos Planos de Ação de Emergência (PAE), uma possível melhoria no controle e gestão dos efluentes seria realizar uma análise de cenários críticos alinhada com as condições de emergência definidas. O objetivo seria antecipar a dispersão da pluma de rejeito, prever possíveis efeitos deletérios causados pelo efluente e identificar mecanismos de emergência e ações a serem incorporadas no PAE. Isso permitiria uma resposta mais eficaz e proativa em situações de emergência, garantindo a segurança ambiental e operacional da planta.

13 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Estudo da Dispersão da Descarga do Efluente da Alunorte no Estuário do Rio Para - Modelagem - Prova de Conceito - Instituto Superior Técnico Universidade de Lisboa, Abril de 2019
- Normas Técnicas da ABNT - NBR 9897 e NBR 12216.
- OUTORGA Nº 645, DE 14 DE ABRIL DE 2021. Documento nº 02500.014543/2021-31
- PROJETO ESTUDO DE DISPERSÃO DE EFLUENTES RELATÓRIO TÉCNICO - CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO – TAXA DE DILUIÇÃO - RT- 4600012367-WL005-97-Z-00001 – WORLEY & AQUAFLOW - 29/11/2024
- <https://github.com/Mohid-Water-Modelling-System/Mohid>