



PROD. TEC. ITV DS - N017/2022  
DOI 10.29223/PROD.TEC.ITV.DS.2022.17.Henriques

## RELATÓRIO TÉCNICO ITV DS

# **ANÁLISE DO RETORNO SOBRE INVESTIMENTO NO SISTEMA DE ANALISADORES ON-LINE DA QUALIDADE DOS EFLUENTES DA BARRAGEM DO GELADO – PARAUPEBAS – PARÁ**

## RELATÓRIO FINAL DO PROJETO

André Knop Henriques  
José Tasso Felix Guimarães  
Renato Oliveira da Silva Junior

Belém / PA

Outubro / 2022

<b>Título:</b> Análise do retorno sobre investimento no sistema de analisadores on-line da qualidade dos efluentes da Barragem do Gelado – Parauapebas - Pará.	
<b>PROD. TEC. ITV DS N017/2022</b>	<b>Revisão</b>
<b>Classificação:</b> ( ) Confidencial ( ) Restrita ( ) Uso Interno (x) Pública	<b>00</b>

**Informações Confidenciais** - Informações estratégicas para o Instituto e sua Mantenedora. Seu manuseio é restrito a usuários previamente autorizados pelo Gestor da Informação.

**Informações Restritas** - Informação cujo conhecimento, manuseio e controle de acesso devem estar limitados a um grupo restrito de empregados que necessitam utilizá-la para exercer suas atividades profissionais.

**Informações de Uso Interno** - São informações destinadas à utilização interna por empregados e prestadores de serviço

**Informações Públicas** - Informações que podem ser distribuídas ao público externo, o que, usualmente, é feito através dos canais corporativos apropriados

#### **Citar como**

HENRIQUES, André Knop; GUIMARÃES, José Tasso Félix; SILVA JÚNIOR, Renato Oliveira da. **Análise do retorno sobre investimento no sistema de analisadores on-line da qualidade dos efluentes da Barragem do Gelado - Parauapebas - Pará.** Belém: 2022. (Relatório Técnico N017/2022) DOI 10.29223/PROD.TEC.ITV.DS.2022.17.Henriques

#### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

H519      Henriques, André Knop  
             Análise do retorno sobre investimento no sistema de analisadores on-line da qualidade dos efluentes da Barragem do Gelado – Parauapebas - Pará. / André Knop Henriques, José Tasso Félix Guimarães - Belém: 2022.  
             39 p. : il.

            Relatório Técnico (Instituto Tecnológico Vale) – 2022  
             PROD.TEC.ITV.DS –N017/2022  
             DOI 10.29223/PROD.TEC.ITV.DS.2022.17.Henriques

            1. Reprocessamento do rejeito. 2. Monitoramento on-line.  
             3. Valoração de impacto I. Guimarães, José Tasso Félix. II. Silva Júnior, Renato Oliveira. III. Título.

Bibliotecário responsável: Eddie Saraiva / CRB 2 – 058P

## RESUMO EXECUTIVO

Os estudos demonstram que com o Reprocessamento do Rejeito da Barragem do Gelado serão retomados 14,2 Mtpa (milhões de toneladas por ano) de rejeito da Barragem do Gelado, para uma produção 10,6 Mtpa de *pellet feed*. De forma a monitorar o Risco de Negócio relacionado ao não atendimento das condicionantes da Licença de Operação, se faz necessário o acompanhamento dos parâmetros físico-químicos nas águas efluentes da estrutura de barramento. Nesse sentido, foi desenvolvida a solução denominada Sistema de Analisadores On-line. Ressalta-se que o investimento nessa solução não implicará em uma melhoria de processo. Todavia, a tecnologia tem foco na gestão de riscos, especialmente àquele relacionado a alteração da qualidade das águas do igarapé Gelado decorrente do reprocessamento do rejeito estocado na barragem e menor exposição de pessoal em áreas de barragem. Este relatório técnico avaliou a retorno sobre o investimento no Sistema de Analisadores On-line utilizando metodologias como determinação do período de recuperação do investimento (*payback*) e a valoração dos impactos da alteração da qualidade das águas. Nesse contexto, foi demonstrado que o período de recuperação do investimento no sistema de analisadores ocorre antes do ano 3 frente a contratação de um laboratório terceiro para a realização de serviços de coleta, transporte e análises físico-químicas na frequência máxima possível de ser executada pelo sistema de analisadores on-line. Quanto a valoração dos impactos da alteração da qualidade das águas, foram demonstrados ganhos próximos a BRL 305 milhões nas esferas Meio Ambiente, órgãos Regulatórios e Saúde.

## RESUMO

Este estudo tem como objetivo avaliar a viabilidade econômica de implantação de uma solução de monitoramento da qualidade dos efluentes que vertem da barragem de rejeitos do Gelado, em Parauapebas, no estado do Pará. Com o Projeto de Reprocessamento do Rejeito da Barragem do Gelado, que consiste na lavra pelo método de dragagem dos rejeitos depositados ao longo dos anos na Barragem do Gelado, estima-se a produção de 10,6 Mtpa de *pellet feed* em durante o período de 10 anos. Sendo o atendimento integral aos padrões de lançamento uma condicionante da Licença de Operação, foi desenvolvida uma solução para o monitoramento *on-line* e em tempo real, de modo a acompanhar o comportamento da qualidade dos efluentes do vertedouro da barragem do Gelado, e o emprego de algoritmos de aprendizado de máquina para gerar modelos capazes de prever tendências dos valores de parâmetros relevantes e enviar alertas, agilizando as tomadas de decisões. Para o estudo foi adaptada uma das metodologias empregadas em análise de retorno de investimento denominada período de recuperação do investimento (*payback*). Para isso, comparou-se o custo do investimento e operação da solução de monitoramento *on-line* com o custo de contratação de um laboratório para execução dos serviços de coleta, transporte e análises das amostras, sendo a intercessão entre as curvas o período de recuperação do investimento. Adicionalmente, estimou-se valoração dos impactos da alteração da qualidade das águas do igarapé Gelado (corpo receptor dos efluentes da barragem) nas esferas Meio Ambiente, Órgãos Reguladores e Saúde que poderiam ser mitigados considerando a solução de monitoramento em tempo real, o qual o tempo de resposta à identificação de um eventual desvio nos padrões de lançamento é significativamente menor em detrimento a proposta de contratação de um laboratório. Conclui-se com base nos resultados obtidos que o período de retorno é menor que 3 anos e a valoração dos impactos da alteração da qualidade das águas do igarapé Gelado para as esferas analisadas alcançaram o montante superior a BRL\$ 300 milhões.

**Palavras-chave:** reprocessamento do rejeito; monitoramento *on-line*; análise de retorno de investimento; valoração dos impactos.

## ABSTRACT

This study aims to evaluate the economic feasibility of implementing a solution for monitoring the quality of the effluents that flow from the Gelado tailings dam, in Parauapebas, in the state of Pará. With the Gelado Dam Tailings Reprocessing Project, which consists of mining by dredging the tailings deposited over the years in the Gelado Dam, it is estimated the production of 10.6 Mtpy of pellet feed in during the period of 10 years. Since full compliance with the release standards is a condition of the Operating License, a solution was developed for on-line and real-time monitoring, in order to monitor the behavior of the quality of the effluents from the spillway of the Gelado dam, and the employment of machine learning algorithms to generate models capable of predicting trends in the values of relevant parameters and sending alerts, speeding up decision making. For the study, one of the methodologies used in investment return analysis called the payback period was adapted. For the study, one of the methodologies used in investment return analysis called the payback period was adapted. For this, the cost of investment and operation of the online monitoring solution was compared with the cost of hiring a laboratory to perform the collection, transport and analysis of samples, with the intersection between the curves being the recovery period. of the investment. Additionally, it was estimated the valuation of the impacts of changing the water quality of the Gelado stream (receiving body of the dam's effluents) in the Environment, Regulatory Agency and Health spheres, which could be mitigated considering the real-time monitoring solution, which the response time to the identification of a possible deviation in the release standards is significantly lower in detriment to the proposal of hiring a laboratory. Based on the results obtained, it is concluded that the payback period is less than 3 years and the valuation of the impacts of changing the water quality of the Gelado stream for the analyzed spheres reached an amount greater than BRL\$ 300 million.

**Keywords:** *tailings reprocessing; on-line monitoring; return on investment analysis; valuation of he impacts.*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> – Mapa de localização das estruturas licenciadas para a operação das minas de N4 e N5.....	15
<b>Figura 2</b> – Mapa de localização do Sistema de Analisadores <i>on-line</i> e limitação das áreas da APAIG e da ZAS.....	18
<b>Figura 3</b> - Projeto conceitual do abrigo móvel para o Sistema de Analisadores <i>on-line</i> .....	22
<b>Figura 4</b> – Valores acumulados CAPEX e TCO (em BRL\$ 1.000). ....	29
<b>Figura 5</b> - <i>Payback</i> descontado para o investimento no Sistema de Analisadores <i>On-line</i> .....	32

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Composição do Sistema de Analisadores <i>on-line</i> instalado à jusante da barragem do Gelado. ....	19
<b>Tabela 2</b> - Comparação entre o Sistema de Analisadores <i>on-line</i> <i>versus</i> Laboratório contratado. ....	20
<b>Tabela 3</b> – Memória de cálculo para o Investimento de Capitais no Sistema de Analisadores <i>on-line</i> da barragem do Gelado. ....	30
<b>Tabela 4</b> – Memória de cálculo para o custo total de propriedade no Sistema de Analisadores <i>on-line</i> da barragem do Gelado. ....	30
<b>Tabela 5</b> – Custos anuais para as propostas de serviços do Laboratório (em BRL\$). ....	30
<b>Tabela 6</b> – Custo estimado da valoração do impacto na esfera órgãos Reguladores (em BRL\$). ....	34
<b>Tabela 7</b> - Custo estimado para abastecimento de água potável. ....	35
<b>Tabela 8</b> - Custo estimado para abastecimento de água para consumo humano. ...	35

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>14</b>
2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	14
2.2. O SISTEMA DE ANALISADORES ON-LINE .....	19
2.3. METODOLOGIA.....	23
2.3.1. Premissas adotadas .....	23
2.3.2. CAPEX+TCO .....	24
2.3.3. OPEX.....	25
2.3.4. Período de recuperação do investimento ( <i>payback</i> ).....	25
2.3.5. Valoração dos impactos da alteração da qualidade das águas .....	25
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>29</b>
3.1. CAPEX+TCO .....	29
3.2. OPEX .....	30
3.3. PERÍODO DE RECUPERAÇÃO DO INVESTIMENTO ( <i>PAYBACK</i> ) .....	31
3.4. VALORAÇÃO DOS IMPACTOS DA ALTERAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS.....	32
3.4.1. Valoração do impacto na esfera ambiental.....	32
3.4.2. Valoração do impacto na esfera órgãos Reguladores .....	33
3.4.3. Valoração do impacto na esfera Saúde .....	34
<b>4. CONCLUSÃO</b> .....	<b>36</b>



## 1. INTRODUÇÃO

As jazidas de Carajás, ricas em minério de ferro (Fe) e outros metais, foram descobertas em 31 de julho de 1967 a partir da expedição da *US Steel*, uma siderúrgica norte-americana, que na época procurava manganês na Amazônia para abastecer suas usinas nos Estados Unidos (VALE, 2018).

O Complexo Minerador Ferro Carajás está inserido na Floresta Nacional de Carajás, município de Parauapebas, estado do Pará. Nessa unidade de mineração da VALE, a exploração<sup>1</sup> de minério de ferro é realizada pelo método convencional de lavra a céu aberto, perfuração, detonação e carregamento. O minério explotado é transportado por caminhões fora-de-estrada para a Usina de Beneficiamento, onde é processado e estocado. Posteriormente, esse produto é escoado por via ferroviária até o Terminal Marítimo de Ponta da Madeira em São Luís, no estado do Maranhão (PIMENTA DE ÁVILA, 2014).

A exploração mineral na Serra Norte teve início em 1985, ano em que foi construída a barragem do Gelado. A conclusão das obras e início da operação da estrutura se deu em meados de 1986 e ocorre até os dias atuais. Nesse período, a barragem do Gelado foi alteada<sup>2</sup> duas vezes, sendo o primeiro alteamento em 1995 e o segundo em 2002.

Desde sua construção, por razões de mercado e de desenvolvimento tecnológico, parte do “*pellet feed*”<sup>3</sup> gerado no beneficiamento não pôde ser aproveitado, tendo sido, ao longo dos anos, estocado na barragem do Gelado. (AMPLO, 2018)

Em 2008, a Vale iniciou o estudo de formas de reaproveitamento do rejeito depositado na barragem do Gelado, em que os projetos atuais vislumbram a produção de *pellet feed* com teor de 64,6% Fe. O Projeto de Reprocessamento

---

<sup>1</sup> Explorar economicamente os recursos naturais de determinada porção de terra. (DICIONÁRIO AURÉLIO, 2022)

<sup>2</sup> Quaisquer incrementos de altura do maciço de barragens, a partir de um maciço inicial existente, projetados e construídos para aumento de capacidade volumétrica, elevação de lâmina de água, aumento de altura de amortecimento de cheias, ou outro motivo, tornando necessário ou desejável tal procedimento. (ABNT NBR 13028,2017)

<sup>3</sup> Minério de ferro com granulometria abaixo de 0,15 mm. (VALE, 2022)

do Rejeito da Barragem do Gelado consiste na dragagem <sup>4</sup>dos rejeitos depositados ao longo dos anos na Barragem do Gelado, assim como seu processamento. Os estudos demonstram que serão retomados 14,2 Mtpa (milhões de toneladas por ano) de rejeito da Barragem do Gelado, para uma produção 10,6 Mtpa de *pellet feed*. Em 2010, a Vale recebeu a Licença de Instalação (LI), a qual efetivamente foi iniciada apenas em 2018. O tempo de operação previsto é de 10 anos. (AMPLLO, 2018).

Por se tratar a barragem do Gelado como um sistema de controle, uma vez que recebe o rejeito do beneficiamento do minério de ferro, e estar situado muito próximo da comunidade, por vezes o empreendimento é interpelado com relação às possíveis alterações da qualidade da água do Igarapé Gelado (corpo receptor).

Em razão do Projeto de Reprocessamento do Rejeito da Barragem do Gelado, que envolve a atividade de dragagem do material depositado e consequente ressuspensão de material sedimentável com possível disponibilização de elementos químicos estabilizados, se faz necessário o acompanhamento dos parâmetros físico-químicos nas águas efluentes da estrutura de barramento, de forma a garantir do atendimento aos padrões de lançamento definidos na Resolução CONAMA Nº 430/2011. O atendimento integral aos padrões de lançamento é uma condicionante da Licença de Operação, cujo descumprimento é classificado como um Risco de Negócio<sup>5</sup>, já que nessa condição fica passível à suspensão da licença. E, mais do que isso, reflete a preocupação da empresa em não estar deteriorando a qualidade das águas do Igarapé Gelado que são utilizadas pela comunidade da Área de Proteção Ambiental do Igarapé Gelado (APAIG) seja na agricultura, piscicultura, dessedentação<sup>6</sup> de animais, lazer e para consumo humano.

Diante do desafio de encontrar uma solução para o monitoramento e análise em tempo real do comportamento da qualidade dos efluentes do

---

<sup>4</sup> Ato de retirada de material e sedimentos do leito dos corpos d'água, com finalidade específica (NORMAM 11, 2017)

<sup>5</sup> Os riscos de negócio são os riscos potenciais relevantes que, em caso de ocorrência, possam impactar pessoas, comunidades, meio ambiente, continuidade operacional, reputação e a realização dos objetivos gerais de negócio e estratégia da empresa. (VALE, 2021)

<sup>6</sup> Saciar a sede. (DICIONÁRIO AURÉLIO, 2022)

vertedouro da barragem do Gelado, o Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável (ITV DS), junto com outras partes interessadas, desenvolveu a solução denominada Sistema de Analisadores *On-line*. Essa solução atende a necessidade de monitoramento contínuo, *on-line*, em tempo real (ou *quasi real*) e com alta resolução e precisão analítica para múltiplos parâmetros.

A pesquisa de tecnologias na busca do desenvolvimento sustentável, como a apresentada no Sistema de Analisadores On-line, envolve investimentos que para esse caso estiveram relacionados ao conjunto de equipamentos, infraestrutura e os custos operacionais. Portanto, esta pesquisa tem como propósito a determinação do Retorno sobre Investimento (ROI, do inglês *Return on Investment*) no Sistema de Analisadores on-line, por meio da relação entre os Investimentos e os Ganhos proporcionados por essa solução tecnológica.

Nesse sentido, o presente relatório técnico apresenta o retorno sobre o investimento em um sistema de monitoramento *on-line* utilizando um conjunto de analisadores na barragem do Gelado, Parauapebas – Pará. De forma específica, foram determinados o valor do investimento inicial e operacional no sistema de analisadores, os custos envolvidos considerando o monitoramento convencional (Contratação de serviços de terceiros para coleta e análises químicas), para então identificar, definir e quantificar os ganhos obtidos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Barragem Gelado é uma estrutura contemplada na Licença de Operação (LO) das Minas de N4 e N5 do Complexo de Carajás. Constitui-se de um barramento construído no alto igarapé Gelado, situada entre a Floresta Nacional de Carajás (FLONACA) e APAIG.

A estrutura foi construída em 1986 para atender à regularização das vazões, captação para o abastecimento de águas para a Usina de Beneficiamento de Minério de Ferro, para a contenção de toda a demanda de rejeitos oriundos do processo de beneficiamento e contenção de sedimentos de pilhas de estéril das minas N4 e N5 do Complexo Carajás. O empreendimento está localizado no município de Parauapebas, sudeste do Pará, inserido na bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas, na sub-bacia do rio Parauapebas (**Figura 1**).

A altura máxima atual e licenciada da barragem do Gelado é de 34,0 m, com crista na elevação de 217,4 m; sendo 6,0 m de largura e 998,50 m de comprimento (projeto) e 991,0 m (atual). O reservatório possui uma área de 13.409.280 m<sup>2</sup> e volume atual de 141.187.217 m<sup>3</sup>, tendo sido licenciado o volume de 163.391.056,49 m<sup>3</sup> (GEOESTÁVEL, 2020 e ANM, 2022).

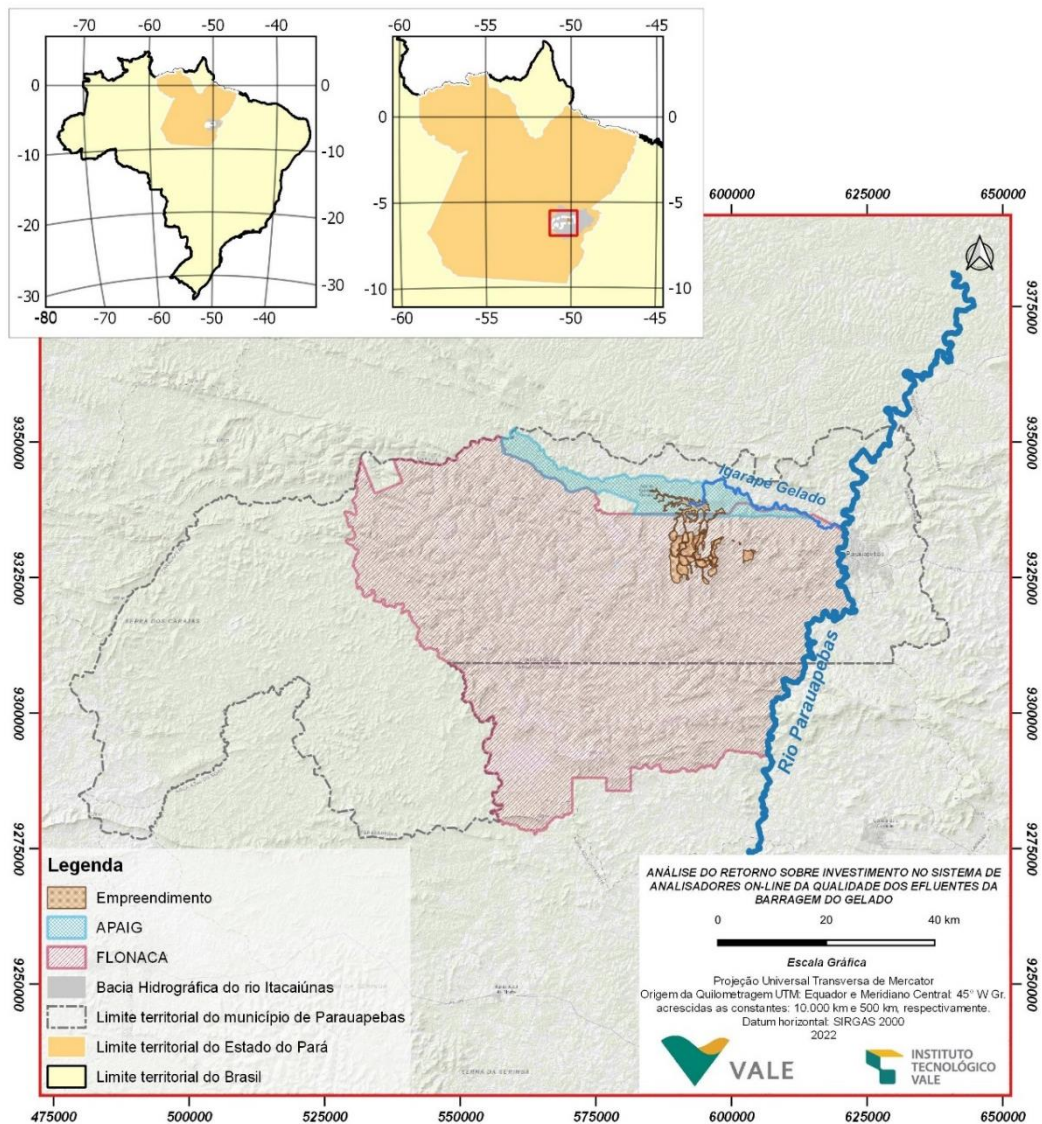
Com o final da operação (lançamento de rejeitos) na barragem do Gelado previsto para 2027, foram definidas no plano de fechamento de mina as seguintes etapas: 1. Construção de uma “ensecadeira<sup>7</sup> filtrante” de enrocamento, que seria lançada no reservatório em forma de semicírculo, abraçando o trecho da barragem que seria escavada para abertura de brecha; 2. Escavação da brecha, e a descarga gradual da água para jusante; 3. Construção de canais periféricos, para que as águas pluviais sejam coletadas e direcionadas para áreas a jusante da barragem; 4. Secagem do rejeito e a colocação de pequena camada de aterro, permitindo, assim, novos usos futuros para a área do reservatório. No caso em que se decida apenas pela revegetação no pós-fechamento, foi recomendado o

---

<sup>7</sup> barragens provisórias com a finalidade de fechar uma região do curso d'água, de forma a deixar seca uma área onde serão executados os trabalhos.

plântio de espécies biomineralizadoras para impermeabilização da superfície do rejeito e aceleração da secagem do rejeito. (TÜV SUD-BUREAU, 2015)

**Figura 1** – Mapa de localização das estruturas licenciadas para a operação das minas de N4 e N5.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Em 2016, a Vale desenvolveu um trabalho de caracterização das atividades econômicas associadas aos usos do solo do perímetro de influência da barragem do Gelado, em especial para as áreas mais sensíveis ao evento hipotético de ruptura da barragem (AMPLO, 2016). Neste trabalho foram catalogadas informações sobre as edificações e infraestrutura e população vinculada às edificações.

Na área da APAIG, o inventário de edificações apontou um total de 227 edificações mapeadas (120 na Zona de Auto Salvamento - ZAS<sup>8</sup> e 107 nas demais áreas da APAIG), sendo cadastradas em campo 206 (108 na ZAS e 98 nas demais áreas da APAIG). Para outras 21 edificações não foi possível o acesso e, conseqüentemente, não foram cadastradas.

Das estruturas cadastradas, aquelas com maior representatividade foram os domicílios e as estruturas vinculadas aos domicílios. Dentre as edificações pertencentes ao universo cadastrado na ZAS, destaca-se a Estação do Conhecimento APA do Gelado, pertencente a Vale, com um total de 8 estruturas destinadas a oferecer apoio à bovinocultura leiteira, avicultura, fruticultura, olericultura e piscicultura, atividade de apoio que são oferecidas às famílias que residem na região da APAIG, que recebem orientações técnicas e educativas nessas temáticas. Já nas demais áreas da APAIG destacou-se maior variedade de estruturas na medida em que foram cadastradas 15 estruturas comerciais, porém, é preciso observar que todas estão vinculadas a um único estabelecimento comercial, o Balneário do Joca.

Ainda no trabalho de caracterização das atividades econômicas associadas aos usos do solo do perímetro de influência da barragem do Gelado (AMPLO, 2016), em relação à população vinculada aos domicílios entrevistados na ZAS, registrou-se um total de 82 residentes. Já nas demais áreas da APAIG de acordo com pesquisa de campo realizada, a existência de 98 residentes.

A pesquisa de campo do referido trabalho, que consistiu na aplicação de um formulário<sup>9</sup> em formato digital, indicou que não foram constatados domicílios

---

<sup>8</sup> Zona de Autossalvamento - ZAS: região do vale à jusante da barragem em que se considera que os avisos de alerta à população são da responsabilidade do empreendedor, por não haver tempo suficiente para uma intervenção das autoridades competentes em situações de emergência, devendo-se adotar a maior das seguintes distâncias para a sua delimitação: a distância que corresponda a um tempo de chegada da onda de inundação igual a trinta minutos ou 10 km.

<sup>9</sup> O formulário elaborado para a caracterização das edificações e famílias vinculadas teve como tópicos: código da edificação, característica da edificação, estruturas vinculadas à edificação principal, tipologia do material construtivo, tipologias do uso/finalidade (domiciliar, comercial, industrial, pública, religiosa ou outra), número de pavimentos, horário de funcionamento (para edificações não domiciliares), número de trabalhadores (comercial, industrial, pública, religiosa ou outra), número total de residentes (dos domicílios), além de características da população residente (dos domicílios), onde se incluem dados sobre faixas etárias vulneráveis, portadores de necessidades especiais e grau de deficiência, dentre outras informações.

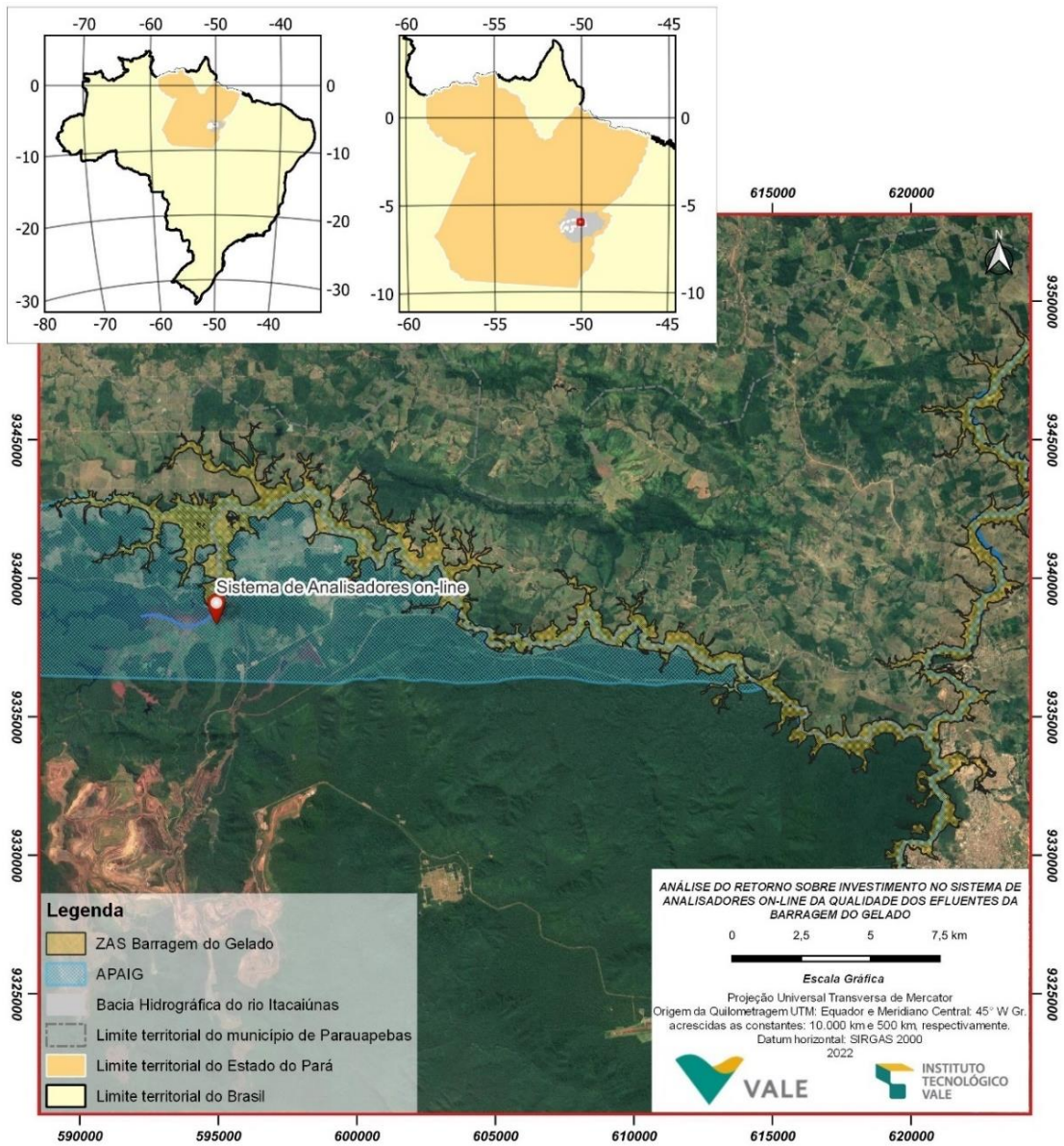
que fazem uso direto da água do igarapé Gelado na ZAS do segmento da APAIG. As principais formas de acesso a água são através de poços artesianos ou escavados, sendo que somente 5 domicílios principais fazem uso da água de cursos d'água: 2 em nascentes, 2 de afluentes do igarapé Gelado e 1 não soube informar o nome do curso d'água. No entanto, nas demais áreas da APAIG os respondentes declararam utilizar diretamente o curso d'água para abastecimento. Ademais, foram ainda colhidas indicações de usos da água em nascentes (8 declarantes) e poços e cisternas (14).

Na

**Figura 2** é apresentado o mapa de localização do Sistema de Analisadores *On-line*, bem como as delimitações da APAIG e da ZAS da barragem do Gelado



**Figura 2** – Mapa de localização do Sistema de Analisadores *on-line* e limitação das áreas da APAIG e da ZAS.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

## 2.2. O SISTEMA DE ANALISADORES ON-LINE

Este sistema é uma solução desenvolvida para automatizar a coleta e análise de água em intervalos curtos e periódicos e com precisão analítica. Os dados obtidos das análises serão transmitidos por meio de tecnologia GSM, 3G ou 4G para uma sala de situação no ITV DS e/ou Centro de Controle Ambiental (CCA) da Gerência de Meio Ambiente Serra Norte e Serra Sul - Diretoria Operacional Corredor Norte. Esse sistema de analisadores tem o objetivo de realizar o monitoramento e análise em tempo real do comportamento da qualidade do efluente do vertedouro<sup>10</sup> da barragem do Gelado, mas também é possível a realização de análises em amostra pontual. Isso significa que há a possibilidade de se coletar uma amostra em outro curso d'água e levá-la para ser analisada pelo sistema de analisadores, interrompendo a rotina automática de análises do efluente do vertedouro da barragem do Gelado por aquele momento e, após concluídas as análises da amostra pontual, retomar a rotina de análises. Os itens que compõem este sistema são apresentados na **Tabela 1**.

**Tabela 1** - Composição do Sistema de Analisadores *on-line* instalado à jusante da barragem do Gelado.

Referência	Descrição
Analisador online PROCESS IC NCM: 9027.80.99 METROHM PROCESS ANALYTICS	Analisador online, microprocessado, modelo <i>Process IC</i> , para determinação de cátions pelo método cromatográfico em uma corrente de amostragem, com saída analógica 4-20 mA para envio de resultados ao SDCD.
Analisador online 2045 TI NCM: 9027.80.99 METROHM PROCESS ANALYTICS	Analisador online, microprocessado, modelo 2045TI, para determinação de fósforo total, pH em uma corrente de amostragem, com saída analógica 4-20 mA para envio de resultados ao SDCD.
Analisador online 2045 VA NCM: 9027.80.99 METROHM PROCESS ANALYTICS	Analisador online, microprocessado, modelo 2045VA, para determinação de mercúrio em uma corrente de amostragem, com saída analógica 4-20 mA para envio de resultados ao SDCD.
Analisador online condutividade	Sensor de condutividade de 2 polos. Faixa de condutividade de 0 a 2.000 µS/cm. Inclui transmissor com alimentação de 24 VDC de 2 fios, e saída 4-20 mA com proteção NEMA 4X (IP66). Inclui sensor e cabo de 4,6 metros. Sensor tipo submersível, constante de cela 0.50 e sensor de temperatura tipo pt1000 interno. Faixa de temperatura -20 a 60°C.
Analisador online turbidez	Fonte de iluminação IR de 680 nm (ISO 7027/EN 27027). Sensor tipo submersível, com cabo incluso de 10 metros. Inclui transmissor com alimentação 100-240 VAC, 2 saídas isoladas 4-20 mA, 3 relays, display LCD e proteção NEMA 4X (IP66). Faixa de 0-200,0 NTU, precisão de 0,5% e repetibilidade de 0,3%.
Analisador online Oxigênio dissolvido	Sensor para indicação de oxigênio dissolvido.
Abrigo móvel	Abrigo móvel para analisadores de processo Metrohm <i>Process Analytics</i> .

Fonte: Metrohm, 2019.

<sup>10</sup> Sistema extravasor que possibilita o escoamento da água até a bacia de dissipação e seguindo para o lançamento em corpo receptor.

Portanto, o Sistema de Analisadores *On-line* fornecerá o acesso rápido e preciso à informação sobre a qualidade dos efluentes além de contar com o desenvolvimento de modelos de aprendizado de máquina, que consiste no emprego de algoritmos para gerar modelos capazes de prever tendências de concentração dos elementos analisados e enviar alertas. Com essa ferramenta, será possível atuar antecipadamente à eventos ambientais relacionados à alteração da qualidade das águas do igarapé Gelado decorrentes da operação do Projeto de Reprocessamento do Rejeito da Barragem do Gelado.

Na **Tabela 2**, é apresentado o comparativo entre o Sistema de Analisadores *On-line* e o Laboratório com contrato vigente com a Vale para a realização das análises de água/efluentes no Complexo Carajás. São listados os parâmetros que serão analisados, bem como algumas características tais como a unidade de medida, o *range*, que é a faixa de concentrações quantificáveis, o limite de detecção e o método de análise. Destaca-se aqui a diferença entre os métodos de análise para os metais, sendo utilizada no sistema de analisadores a separação dos elementos pela aplicação de cromatografia<sup>11</sup> líquida e detecção por UV enquanto o Laboratório contratado utiliza a Espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente. Especificamente para o parâmetro Mercúrio total, os métodos utilizados são Voltametria de redissolução anódica, no sistema de analisadores, e Espectrometria de absorção atômica e vapor a frio gerador de hidretos, no laboratório contratado.

**Tabela 2** - Comparação entre o Sistema de Analisadores on-line *versus* Laboratório contratado.

Parâmetro	Unidade	Sistema de Analisadores On-line			Laboratório contratado		
		Range	Limite de Detecção	Método	Range	Limite de Detecção	Método
Amônia	mg/L	0 - 1	0,01	CL/UV	*	0,07	CL/UV
Cádmio total	mg/L	0 - 1	0,01	CL/UV	*	0,001	ICP/OES
Cálcio total	mg/L	0 - 5	0,005	CL/UV	*	0,15	ICP/OES
Cloreto total	mg/L	0 - 1	0,005	CL/UV	*	1	CL/UV

<sup>11</sup> Método físico de separação em que os componentes a serem separados são distribuídos entre duas fases, uma das quais é estacionária (fase estacionária) enquanto a outra (fase móvel) se move em uma direção definida. (ETTRE, 1993)

Parâmetro	Unidade	Sistema de Analisadores On-line			Laboratório contratado		
		Range	Limite de Detecção	Método	Range	Limite de Detecção	Método
Chumbo total	mg/L	0 - 1	0,01	CL/UV	*	0,02	ICP/OES
Cobalto total	mg/L	0 - 1	0,01	CL/UV	*	0,04	ICP/OES
Cobre total	mg/L	0 - 1	0,01	CL/UV	*	0,07	ICP/OES
Ferro dissolvido	mg/L	0 - 1	0,01	CL/UV	*	0,12	ICP/OES
Fluoreto total	mg/L	0 - 1	0,005	CL/UV	*	0,05	CL/UV
Lítio total	mg/L	0 - 1	0,005	CL/UV	*	0,03	ICP/OES
Magnésio total	mg/L	0 - 5	0,005	CL/UV	*	0,1	ICP/OES
Manganês total	mg/L	0 - 1	0,01	CL/UV	*	0,04	ICP/OES
Níquel total	mg/L	0 - 1	0,01	CL/UV	*	0,1	ICP/OES
Nitrato	mg/L	0 - 5	0,005	CL/UV	*	0,1	CL/UV
Nitrito	mg/L	0 - 1	0,005	CL/UV	*	0,02	CL/UV
Potássio total	mg/L	0 - 1	0,005	CL/UV	*	0,6	ICP/OES
Sódio total	mg/L	0 - 5	0,005	CL/UV	*	0,1	ICP/OES
Sulfato total	mg/L	0 - 5	0,005	CL/UV	*	1	CL/UV
Mercurio total	mg/L	0 - 0,1	0,001	ASV	*	0,001	EAA-VF
Fósforo total	mg/L	0 - 40	0,01	COLOR.	*	0,02	COLOR.
Alumínio dissolvido	mg/L	0 - 1,0	0,04	COLOR.	*	0,01	ICP/OES
pH	-	0 - 12	-	POT.	1 - 13	-	POT.
Oxigênio dissolvido	mg/L	0 - 20	-	ES	0 - 10	2	ES
Turbidez	UNT	0 - 5000	-	NEF.	*	0,3	NEF.
Condutividade elétrica	µS/cm	-	-	COND.	*	0,01	COND.

Fontes: Metrohm, SGS Geosol Laboratórios, 2020.

Legenda:

CL/UV: Cromatografia líquida com detecção por UV

ASV: Voltametria de redissolução anódica

COLOR.: Colorimetria (Medição de absorbância)

POT.: Potenciometria

ES: Eletrodo seletivo

NEF.: Nefelometria

COND.: Condutimetria

ICP/OES: Espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente

EAA-VF: Espectrometria de absorção atômica e vapor a frio gerador de hidretos

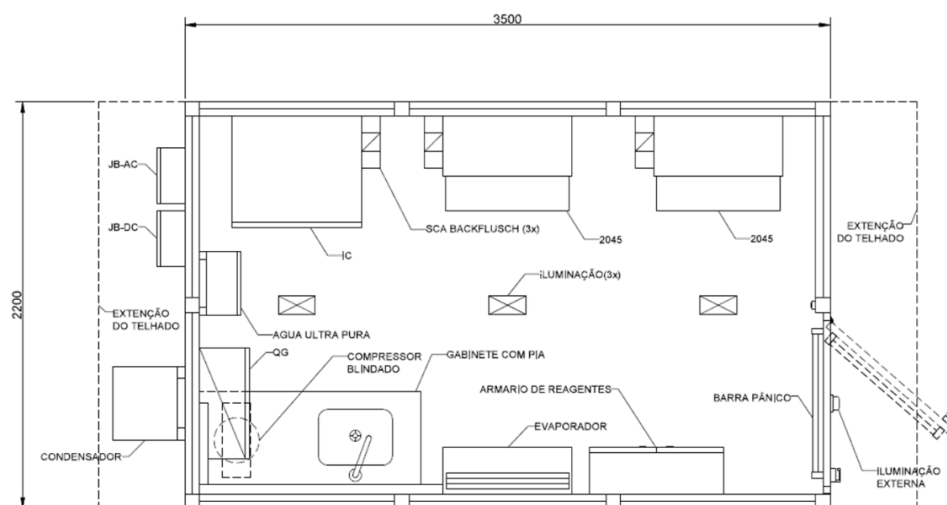
ICP/MS: Espectrometria de massa por plasma indutivamente acoplado

\* Sem informação na especificação técnica

Além das análises químicas, que precisam ser realizadas por técnicas clássicas e obrigatoriamente não correlacionadas, há toda a estrutura física de suporte para assegurar o funcionamento dos sistemas analíticos, como abrigo móvel e em especificação adequada para acondicionamento de equipamentos sensíveis e reagentes.

A seguir, na **Figura 3**, é apresentado o projeto conceitual do Sistema de Analisadores On-line, com a disposição dos equipamentos no interior do abrigo móvel (também denominado *shelter* ou casa de analisadores).

**Figura 3** - Projeto conceitual do abrigo móvel para o Sistema de Analisadores on-line.



Fonte: Metrohm, 2019.

Nesse projeto, o ITV DS contou com as parcerias da Gerência de Suporte à Operações, o apoio da Metrohm Brasil Instrumentação Analítica LTDA, representante exclusivo da Metrohm Applikon B.V. no Brasil, que é o fornecedor do conjunto de analisadores, e a Gerência de Meio Ambiente Serra Norte e Serra Sul, apoiando na implementação da infraestrutura.

Além do desenvolvimento de projeto, com desenho de abrigo móvel, equipamentos, instalação e construção de suporte local para o sistema analítico, todos já definidos entre a parceria mencionada acima, o desenvolvimento das aplicações, importantes para assegurar a medição correta dos parâmetros, foi amplamente desenvolvida em laboratório do fornecedor, com metodologias clássicas, com a separação dos elementos em coluna de troca catiônica<sup>12</sup> com fase móvel (cromatografia líquida de processo) e detectados por técnica de espectrofotometria e voltametria, e que contemplam a eliminação de interferentes químicos.

Vale ressaltar que toda a documentação de projeto, desenhos técnicos, requisitos de funcionamento, relatórios de desenvolvimento e testes estão em

---

<sup>12</sup> É a troca de íons de mesmo sinal, neste caso positivo (+), entre uma solução e um corpo sólido muito insolúvel. (polímeros portadores de carga elétrica que possuem íons ativos que permutam reversivelmente de posição com outros íons de uma solução).

posse da Vale. A parceria trouxe para a Vale o primeiro Sistema Analítico On-line para monitoramento de parâmetros químicos em barragens.

## 2.3. METODOLOGIA

Neste item será abordada a metodologia adotada para a análise do investimento na solução do monitoramento *on-line* da qualidade dos efluentes que vertem da barragem do Gelado.

Destaca-se que o investimento no sistema de analisadores não implicará em uma melhoria de processo. Trata-se de aquisição de equipamentos para aprimorar a gestão do risco, em especial o risco ambiental e reputacional, associado ao projeto de dragagem do rejeito da barragem do Gelado.

A metodologia empregada nesta pesquisa baseia-se na determinação do período de recuperação do investimento (*payback*). Porém, este será calculado a partir da comparação entre as opções de investimento CAPEX+TCO e OPEX para a implantação do monitoramento na barragem do Gelado. Nesse sentido, se faz necessária a adoção de algumas premissas.

### 2.3.1. Premissas adotadas

A primeira premissa a ser considerada é o Intervalo de Tempo, que foi considerado como 10 anos, correspondente ao período de operação previsto para o Projeto de Reprocessamento do Rejeito da Barragem do Gelado.

Outra premissa é relacionada à Taxa de Desconto (custo de oportunidade), para a qual definiu-se o valor de 10% ao ano para o investimento nos equipamentos do Sistema de Analisadores *On-line*. Já para os custos operacionais, definiu-se a Taxa de Desconto baseada no Cenário Base do Relatório de Acompanhamento Fiscal Nº 41 (IFI, 2020), em que são apresentadas as projeções macroeconômicas 2020-2030, em que os custos futuros foram trazidos para os valores atuais considerando inflação de 3,5% ao ano. A diferença entre os valores de Taxa de Desconto estabelecidos para o investimento nos equipamentos e para os custos operacionais deve-se aos riscos das modalidades. No caso do investimento em equipamentos há o desembolso de todo o montante de capital na fase inicial do projeto e, especificamente para a solução tecnológica

em avaliação, a dependência de um fornecedor exclusivo. Enquanto para os custos operacionais os pagamentos ocorrem de forma mensal e possuem maior flexibilidade de negociação.

### 2.3.2. CAPEX+TCO

Em relação ao CAPEX, os valores investidos no Sistema de Analisadores On-line foram obtidos a partir da proposta comercial enviada ao ITV DS pela Metrohm Brasil. Para os anos 3, 6 e 9 foram considerados novos aportes para substituição de componentes no valor de 5% do investimento inicial nos equipamentos a uma Taxa de Desconto de 10% ao ano.

Os valores relacionados à infraestrutura foram informados à Gerência de Meio Ambiente Serra Norte e Serra Sul pelas áreas executoras das obras e se prevê a substituição dos componentes do sistema hidráulico a cada 2 anos. Concernente ao custo total de propriedade (TCO), o consumo de energia foi estipulado a partir da informação disponível na proposta técnica enviada ao ITV DS pela Metrohm Brasil e considerando as tarifas praticadas pela empresa de distribuição e geração de energia na região.

Os custos das manutenções avançadas foram estimados pela Metrohm Brasil, considerando um cronograma de manutenção preventiva especializada dos analisadores a cada 6 meses, em que estão inclusas 5 diárias técnicas necessárias para manutenção (2 dias para deslocamento + 3 dias para manutenção total), passagens aéreas + hotel + transporte terrestre, desconsiderando os valores de peças que porventura necessitem substituição.

Ademais, os serviços para realização de inspeções e manutenções preventivas no sistema de analisadores, incluindo-se o *shelter*, o conjunto de Analisadores (2045VA, 2045TI, Processos IC) e sensores instalados/conectados aos analisadores, além da aquisição, manipulação, guarda, preparo de soluções, troca regular dos reagentes e eluentes<sup>13</sup> utilizados nos analisadores, corridas de

---

<sup>13</sup> Solução usada em excesso contendo um íon que é menos fortemente fixado do que qualquer íon das amostras a serem analisadas. Também denominada fase móvel, um tipo de solvente que vai interagir com as amostras e promover a separação dos componentes.

padrões e calibração sistemática do equipamento, serão realizados por um laboratório terceirizado.

Para os serviços listados como TCO foi considerada a taxa de desconto de 3,5% ao ano.

### 2.3.3. OPEX

Quanto às despesas operacionais para execução de um monitoramento contínuo tradicional no vertedouro da barragem do Gelado, foram levantados os custos com o monitoramento que envolve a amostragem/coleta, transporte, armazenamento em conformidade com a norma ABNT NBR 9898:1987 e método 1060 – “*Collection and preservation of samples*” do *Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater*, literatura que também norteia os métodos analíticos empregados, além de pessoal habilitado para a execução dos serviços, que realizado por um laboratório contratado para os próximos 10 anos com 2 propostas:

#1-) a cada duas horas; e

#2-) a cada seis horas.

Os custos das análises das propostas foram baseados nos valores praticados em contrato vigente na Gerência de Meio Ambiente de Serra Norte e Serra Sul adicionados os encargos extras. Nesse caso foi considerada a taxa de desconto de 3,50% ao ano.

### 2.3.4. Período de recuperação do investimento (*payback*)

Para a determinação do período de retorno foi proposta uma adaptação ao método de *payback* descontado, considerado a interseção das curvas geradas pelos valores dos investimentos no sistema de analisadores on-line (CAPEX+TCO) e os custos da realização das coletas e análises por um laboratório contratado (OPEX). Dessa forma, será obtida a informação de quanto tempo o investimento se paga.

### 2.3.5. Valoração dos impactos da alteração da qualidade das águas



Em 2016, como subsídio para a elaboração dos Planos de Ações Emergenciais de Barragens de Mineração (PAEBM), a Vale realizou mapeamento do uso e ocupação do solo do perímetro de inundação simulado pelo Dam Break das Barragens do Gelado, Geladinho e da Pera. (AMPLO, 2016)

Um dos produtos deste trabalho foi a valoração das consequências via dados primários barragem do Gelado, as quais foram elaboradas por meio de metodologias específicas para cada tipo de dano associado, e baseadas em esferas de consequências (Saúde e Segurança, Meio Ambiente, Econômica, Imagem da Empresa, Social e Órgãos Reguladores).

Considerando os riscos de alteração da qualidade das águas do igarapé Gelados devido ao projeto de reprocessamento do rejeito, foram identificados os seguintes impactos:

- Meio Ambiente: alteração da qualidade das águas superficiais
- Órgãos Reguladores: violação dos Artigos 61 e 62 do Decreto Federal nº 6.514/2008 e itens II e III do Artigo 118 da Lei Estadual nº 5.887/1995
- Saúde: fornecimento de água potável à comunidade da APAIG que tem como fonte de abastecimento o igarapé Gelado

#### Valoração do impacto na esfera Meio Ambiente

Foram consideradas as legislações vigentes e referências bibliográficas, em especial COSTANZA *et al.*, 2014. Dessa maneira, será adotada a metodologia Valor de Uso Indireto (VUI): estimativa dos custos dos serviços ambientais prestados por rios e lagos.

Para a estimativa da área dos cursos d'água atingidos, utilizou-se uma Área de Preservação Permanente (APP) de 50 metros para toda a extensão do igarapé Gelado, desde o ponto a jusante do vertedouro da barragem do Gelado até sua confluência com o rio Parauapebas sendo a largura média do curso d'água assumida de 10 metros. Para a extensão do curso d'água foi considerada a informação obtido do *shapefile* disponibilizado pela Agência Nacional de Águas. Destaca-se que para a determinação do período de comprometimento dos recursos hídricos foi considerado 01 (um) ano, visto que se trata de uma situação controlada. Ou seja, a alteração da qualidade das águas se cessaria diante a

implementação de outras medidas de controle ou a suspensão da operação de dragagem do rejeito da barragem do Gelado.

#### Valoração do impacto na esfera órgãos Reguladores

Concernente a valoração nesta esfera, a partir da análise da legislação vigente buscou-se estimar uma ordem de grandeza e uma faixa de valores associados às penalidades previstas para crimes ambientais, no que tange a alteração da qualidade das águas.

As legislações consideradas na valoração desta esfera foram o Decreto Federal nº 6.514, de 22 de julho 2008, que dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações, e dá outras providências, e a Lei Estadual 5.887, de 09 de maio de 1995, que dispõe sobre a Política Estadual do Meio Ambiente e dá outras providências no estado do Pará.

#### Valoração do impacto na esfera Saúde

Para a valoração do impacto nesta esfera, foi considerada a necessidade de suspensão do abastecimento de água cuja fonte fosse o igarapé Gelado. Dessa forma, considerou-se o abastecimento via caminhão-pipa como uma solução alternativa emergencial de curto prazo para o abastecimento de água de consumidores, levando em consideração a metodologia empregada no diagnóstico da situação atual e soluções alternativas para os sistemas públicos de abastecimento e soluções alternativas para os consumidores privados dos municípios localizados dentro da área da mancha de inundação da barragem Gelado, localizada no município Parauapebas, executado por ARCADIS (2021).

Para estimativa da quantidade necessária de caminhões-pipa para suprir o abastecimento em um eventual comprometimento da qualidade das águas do igarapé Gelado, adotou-se como premissa que, o número de caminhões de 6m<sup>3</sup> (6.000L), deve considerar que:

- Consumo médio de água por habitante de 226,20 L/(hab.dia) (SNIS/Ministério das Cidades, 2020)

- No 1º dia deverá ser suprido o abastecimento de água para a demanda total das áreas impactadas pela perda da captação, devido à necessidade de limpeza das áreas, isto é, 100%;
- A partir do 2º dia o fornecimento será reduzido para 25% da demanda.
- Custo no m³ (SABESP)

Vale ressaltar que a água potável a ser fornecida por meio de caminhões-pipa, se destinará a outras finalidades de uso, que não à ingestão, uma vez que, para ingestão, a população atingida receberá em média cerca de 2 litros de água mineral/habitante/dia.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

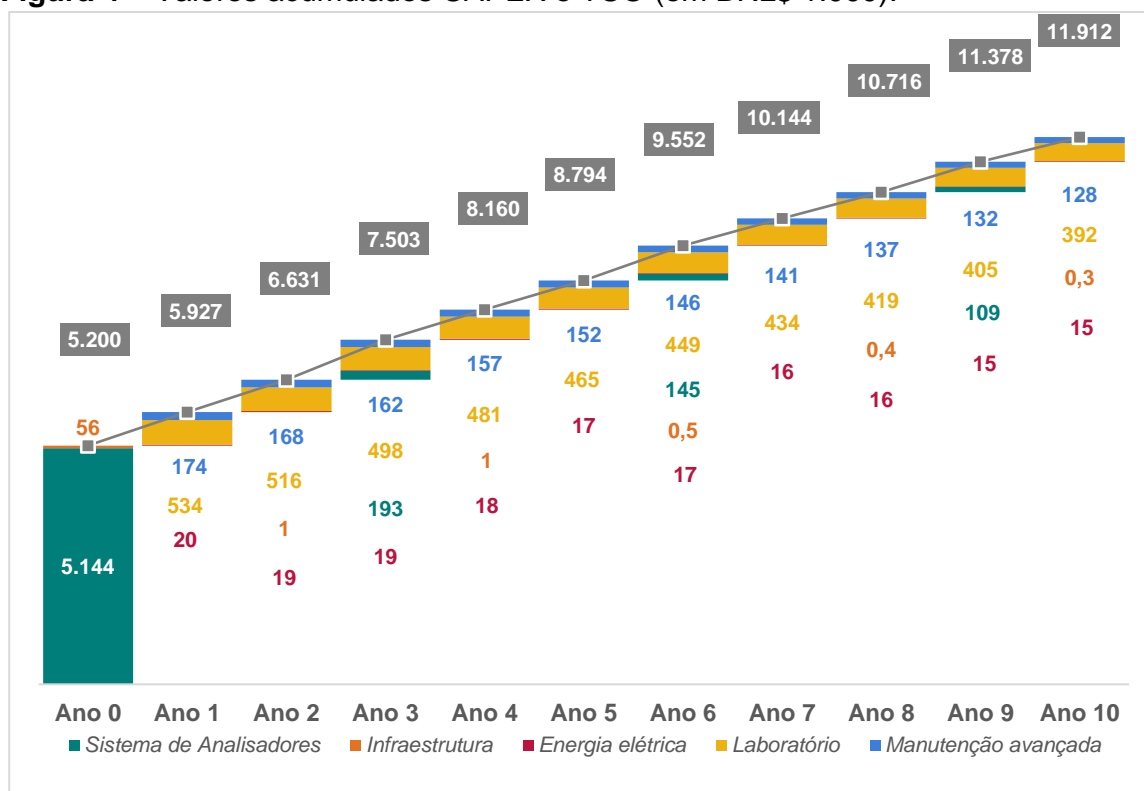
#### 3.1. CAPEX+TCO

A seguir são apresentadas as memórias de cálculos adotadas para o detalhadamente de todos os valores que foram considerados para a determinação do resultado do CAPEX+TCO.

Para o item 1. Sistema de analisadores foi adotado o valor estabelecido na proposta comercial enviada ao Instituto Tecnológico Vale (ITV) pela Metrohm Brasil (PP-153797\_19REV3 - ITV – Comercial, 2019). Já para o item 2. Infraestrutura, as benfeitorias necessárias para a implementação do projeto foram realizadas por prestadoras de serviços com contrato vigente na Vale, sendo todos os custos repassados para a Gerência de Meio Ambiente Serra Norte e Serra Sul.

A **Figura 4** representado o gráfico acumulado do aporte inicial e custos operacionais. A **Tabela 3** e **Tabela 4** apresentam os dados brutos em milhares de reais (em BRL\$ 1000).

**Figura 4** – Valores acumulados CAPEX e TCO (em BRL\$ 1.000).



**Tabela 3 – Memória de cálculo para o Investimento de Capitais no Sistema de Analisadores on-line da barragem do Gelado.**

		Taxa de Desconto (custo de oportunidade)											
		10,00%											
CAPEX													
Nº	Item	BRL\$ 1.000	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
1	Sistema de Analisadores	5.143,67	5.143,67			193,23			145,17			109,07	
2	Infraestrutura	56,00	56,00		0,73		0,60		0,50		0,41		0,34
2.1	Radier	2,35											
2.2	Rede Elétrica	43,85											
2.2.1	Projeto	2,00											
2.2.2	Materiais	19,50											
2.2.3	Serviços	15,10											
2.2.4	Manutenção do Canteiro	7,25											
2.2.5	Aterramento	4,10											
2.3	Rede Hidráulica	0,88			0,73		0,60		0,50		0,41		0,34
2.4	Portão	4,82											

**Tabela 4 – Memória de cálculo para o custo total de propriedade no Sistema de Analisadores on-line da barragem do Gelado.**

		Taxa de Desconto (custo de oportunidade)											
		3,50%											
TCO													
Nº	Item	BRL 1.000	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
1	Energia elétrica	20,67		19,97	19,30	18,65	18,01	17,41	16,82	16,25	15,70	15,17	14,65
2	Laboratório	552,34		533,66	515,62	498,18	481,33	465,06	449,33	434,13	419,45	405,27	391,56
3	Manutenção avançada	180,00		173,91	168,03	162,35	156,86	151,56	146,43	141,48	136,69	132,07	127,61

### 3.2. OPEX

Para a determinação dos valores relacionados à execução de serviço de coleta, transporte e análise laboratoriais foram adotados os preços praticados pelo laboratório com contrato vigente na Vale. Foi incluído também o custo diário para mobilização de uma equipe de coleta, considerando 04 (quatro) técnicos revezando turno no esquema 12x36.

A **Tabela 5** apresenta os valores unitários praticados no contrato do Laboratório para os parâmetros analíticos e os custos anuais para as Propostas #1 e #2, sem considerar o custo diário de mobilização da equipe.

**Tabela 5 – Custos anuais para as propostas de serviços do Laboratório (em BRL\$).**

Parâmetro	Custo Unit.	Proposta_1	Proposta_2
Alumínio Dissolvido	11,33	49.625,40	16.541,80
Amônia (Como Nh3)	18,15	79.497,00	26.499,00
Cádmio Total	11,33	49.625,40	16.541,80
Cálcio Total	11,33	49.625,40	16.541,80
Chumbo Total	11,33	49.625,40	16.541,80

Parâmetro	Custo Unit.	Proposta 1	Proposta 2
Cloreto Total	20,60	90.228,00	30.076,00
Cobalto Total	11,33	49.625,40	16.541,80
Cobre Total	11,33	49.625,40	16.541,80
Condutividade Elétrica	7,85	34.383,00	11.461,00
Ferro Total	11,33	49.625,40	16.541,80
Fluoreto Total	20,60	90.228,00	30.076,00
Fósforo Total	20,60	90.228,00	30.076,00
Lítio Total	11,33	49.625,40	16.541,80
Magnésio Total	11,33	49.625,40	16.541,80
Manganês Total	11,33	49.625,40	16.541,80
Mercurio Total	51,00	223.380,00	74.460,00
Níquel Total	11,33	49.625,40	16.541,80
Nitrato	20,60	90.228,00	30.076,00
Nitrito	20,60	90.228,00	30.076,00
Oxigênio Dissolvido	7,85	34.383,00	11.461,00
Ph	7,85	34.383,00	11.461,00
Potássio	11,33	49.625,40	16.541,80
Sódio	11,33	49.625,40	16.541,80
Sulfato Total	20,60	90.228,00	30.076,00
Temperatura Da Água	7,85	34.383,00	11.461,00
Turbidez	7,85	34.383,00	11.461,00
<b>TOTAL</b>		<b>2.244.855,85</b>	<b>1.137.329,05</b>

Proposta #1: previsão orçamentária anual para execução de monitoramento a cada duas horas

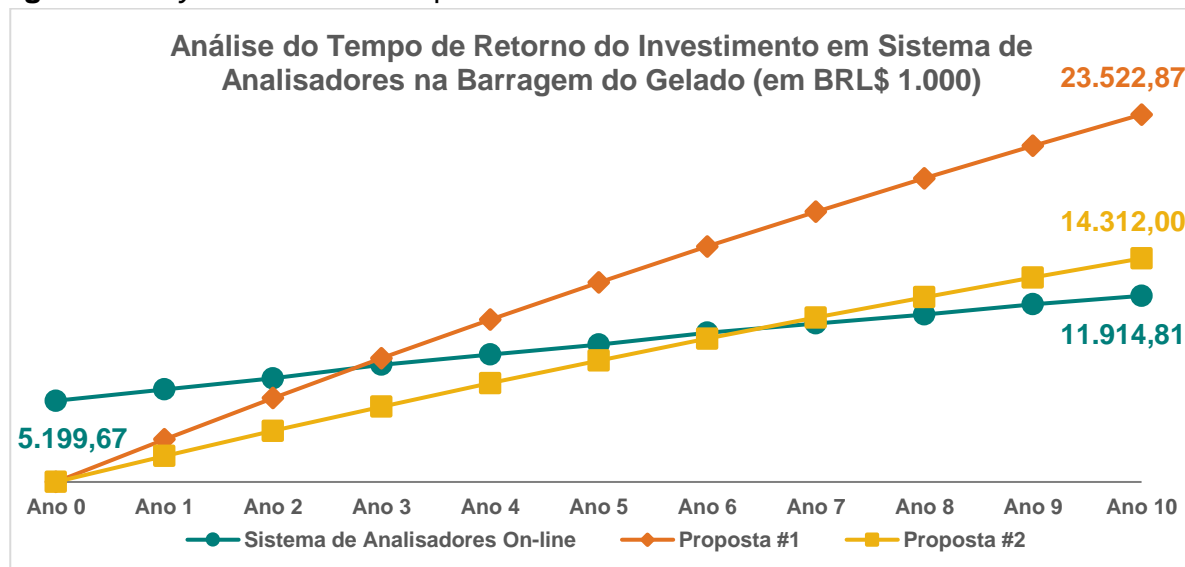
Proposta #2: previsão orçamentária anual para execução de monitoramento a cada seis horas

Fonte: Vale e SGS Geosol Laboratórios, 2020.

### 3.3. PERÍODO DE RECUPERAÇÃO DO INVESTIMENTO (PAYBACK)

A Figura 4 apresenta o *Payback* descontado, ou seja, o tempo de retorno considerando os valores dos investimentos no sistema de analisadores on-line (CAPEX+TCO) e os custos da realização das coletas e análises por um laboratório contratado (OPEX) a um valor presente com base na Taxa de Desconto. Apesar de não ser uma ferramenta ideal para a análise de viabilidade econômica de um projeto, ele traz a informação de que o investimento no Sistema de Analisadores On-line se paga antes mesmo do ano 3 (2 anos e 9 meses), na comparação com a Proposta #1 do Laboratório contratado, que é a coleta e análise de amostras a cada 2 horas. Considerando a Propostas #2, o investimento se pagaria antes do ano 7 (6 anos e 6 meses).

**Figura 5 - Payback descontado para o investimento no Sistema de Analisadores On-line.**



### 3.4. VALORAÇÃO DOS IMPACTOS DA ALTERAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS

#### 3.4.1. Valoração do impacto na esfera ambiental

Em COSTANZA *et al.* (1997) é apresentada a metodologia para de determinação do valor global médio dos serviços ecossistêmicos anuais. Considerando os serviços ecossistêmicos de rios e lagos, esse valor anual seria de 8.498,00 USD\$/ha/ano. Convertendo o valor de USD\$ para BRL\$, considerando a cotação do dólar de 15/05/1997 (BRL\$ 1,067) e a inflação de Mai/1997 à Dez/2021 obtém-se o valor 39.480,82 BRL\$/ha/ano. Por outro lado, considerando apenas a cotação média de do dólar em 2021 tem-se o valor atual de 45.873,12 BRL\$/ha/ano.

Para determinação da área do curso d'água atingido, conforme metodologia proposta neste estudo, foi considerada largura média do curso d'água de 10 metros e APP de 50 metros para cada margem. Diante disso, a área para a estimativa dos custos dos serviços ambientais prestados por rios e lagos resultante foi de 631,01 ha.

Tomando como base os dois valores de cotação tem-se a estimativa dos custos dos serviços ambientais prestados por rios e lagos em BRL\$ 24.912.781,17

(vinte e quatro milhões, novecentos e doze mil, setecentos e oitenta e um reais e dezessete centavos) e BRL\$ 28.946.381,87 (vinte e oito milhões, novecentos e quarenta e seis mil, trezentos e oitenta e um reais e oitenta e sete centavos).

#### 3.4.2. Valoração do impacto na esfera órgãos Reguladores

A partir da análise da legislação vigente, buscou-se estimar uma ordem de grandeza de valores associados às penalidades previstas nos Artigos 61 e 62 do Decreto Federal nº 6.514/2008 (BRASIL, 2008) e os Artigos 118, 120 e 122 da Lei Estadual 5.887/1995, do estado do Pará.

Pelo Decreto Federal nº 6.514/2008, em caso de constatação de poluição hídrica as infrações aplicáveis devido à poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da biodiversidade (Artigo 62), o valor da multa é de BRL\$ 5.000 (cinco mil reais) a BRL\$ 50.000.000 (cinquenta milhões de reais). Adicionalmente, incorre nas mesmas multas causar a poluição hídrica que torne necessária a interrupção do abastecimento público de água de uma comunidade e provocar pela emissão de efluentes ou carreamento de materiais o perecimento de espécimes da biodiversidade (Artigo 62). Dessa maneira, considerando o pior cenário, ou seja, a aplicação do maior valor possível para as multas, o valor total com base no Decreto Federal nº 6.514/2008, seria da ordem de BRL\$ 150.000.000,00 (cento e cinquenta milhões de reais).

A partir dos artigos 118, 120 e 122 da Lei 5.887/1995, foi considerado para efeito de valoração: a regra de 1.500.000 vezes o valor nominal da Unidade de Padrão Fiscal do Estado do Pará (UPF-PA), com UPF-PA estipulado em BRL\$ 4,1297 (PARÁ, 2022); os Parágrafos 3º e 6º do Artigo 122, que considera o triplo da multa em caso de reincidência, e aumentada em três vezes, se constatada a ineficácia da multa. O custo final baseado na Lei Estadual 5.887/1995 será da ordem de BRL\$ 111.501.900,00 (cento e onze milhões, quinhentos e um mil e novecentos reais). Portanto, será adotado como premissa para a valoração da esfera órgãos reguladores, o valor de BRL\$ 261.501.900,00 (duzentos e sessenta e um milhões, quinhentos e um mil e novecentos reais).

A **Tabela 6** resume os custos estimados da valoração dos impactos na esfera órgão Reguladores.



**Tabela 6 – Custo estimado da valoração do impacto na esfera órgãos Reguladores (em BRL\$).**

<b>Infração Aplicável</b>	<b>Legislação</b>	<b>Multa</b>	<b>Valor Considerado</b>	<b>Valoração Final</b>
Causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da biodiversidade.	Decreto Federal nº 6.514/2008	5.000,00 a 50.000.000,00	50.000.000,00	
Causar poluição hídrica que torne necessária a interrupção do abastecimento público de água de uma comunidade.	Decreto Federal nº 6.514/2008	5.000,00 a 50.000.000,00	50.000.000,00	
Provocar pela emissão de efluentes ou carreamento de materiais o perecimento de espécimes da biodiversidade.	Decreto Federal nº 6.514/2008	5.000,00 a BRL 50.000.000,00	50.000.000,00	261.501.900,00
Emitir ou despejar efluentes ou resíduos líquidos, sólidos ou gasosos, em desacordo com as normas legais ou regulamentares, relativas à proteção do meio ambiente	Lei Estadual 5.887/1995	206.489,13 a 6.194.550,00*	55.750.950,00	
causar poluição hídrica que torne necessária a interrupção do abastecimento público de comunidade	Lei Estadual 5.887/1995	206.489,13 a 6.194.550,00*	55.750.950,00	

\* deve ser avaliados os agravantes.

Ressalta-se que a estimativa apresentada é uma ideia de valores possíveis, uma vez que cabe somente às autoridades e aos órgãos competentes o julgamento dos fatos e a determinação de sanções e outras penalidades.

### 3.4.3. Valoração do impacto na esfera Saúde

Uma vez constatada a poluição do curso d'água utilizado como fonte de abastecimento de comunidade da APAIG, fica a cargo do responsável o fornecimento de água potável se destinará a outras finalidades de uso, que não à ingestão. Para o consumo humano considera-se a disponibilização de galões de água mineral.

Conforme estudo desenvolvido, a população da APAIG que faz o uso do recurso se limitaria a 04 respondentes. De forma a garantir o atendimento à água de qualidade confiável no perímetro de influência da barragem do Gelado, foi considerada na estimativa de custos toda a população residente inventariada no estudo.

Com relação à distribuição de água para o consumo humano (ingestão), foi considerado o custo de fornecimento praticado pelo fornecedor à Vale no contrato vigente em 2022 de BRL 13,37 para o galão de 20 litros.

Assim como para a valoração do impacto na esfera ambiental, neste caso também foi considerado o período de 01 (um) ano de abastecimento da população envolvida.

A **Tabela 7** e **Tabela 8** apresentam os custos estimados para o fornecimento de água potável para os diversos usos e para o consumo humano, respectivamente.

**Tabela 7** - Custo estimado para abastecimento de água potável.

Custo do m <sup>3</sup> (BRL)	População atendida (hab)	Volume per capita (m <sup>3</sup> /mês)	Volume Diário Consumido - 100% (m <sup>3</sup> )	Volume Diário Consumido - 25% (m <sup>3</sup> )	Custo por dia - 100% da Demanda (BRL)	Custo por dia - 25% da Demanda (BRL)	Custo Anual (BRL)
105,78	180	6,79	1.221,48	305,37	129.208,15	32.302,04	11.887.150,20

**Tabela 8** - Custo estimado para abastecimento de água para consumo humano.

Custo do Galão de 20L (BRL)	População atendida (hab)	Volume per capita (L/mês)	Volume Diário Consumido	Custo por dia (BRL)	Custo Anual (BRL)
13,37	180	60	10.800	7.220	2.635.227

## 4. CONCLUSÃO

O investimento no projeto do Sistema de Analisadores *On-line* da barragem do Gelado desenvolvido pelo ITV DS e colaboradores não implicará em uma melhoria de processo. Todavia, a tecnologia tem foco na gestão de riscos, especialmente àquele relacionado a alteração da qualidade das águas do igarapé Gelado decorrente do reprocessamento do rejeito estocado na barragem e menor exposição de pessoal em áreas de barragem.

A comparação entre os indicadores de CAPEX+TCO e OPEX demonstrou que o período de recuperação do investimento no sistema de analisadores antes do ano 3 se considerada a proposta de contratação de um laboratório terceiro para a realização de serviços de coleta, transporte e análises físico-químicas com amostragens a cada 2 horas, frequência máxima possível de ser executada pelo sistema de analisadores *on-line*.

A valoração dos impactos da alteração da qualidade das águas para as esferas Meio Ambiente, Órgão Reguladores e Saúde alcançaram o montante de BRL\$ 304.970.659,07 (BRL\$ 28.946.381,87 + BRL\$ 261.501.900,00 + BRL\$ 14.522.377,20, respectivamente).

Em síntese, o retorno sobre o investimento no Sistema de Analisadores *On-line* da barragem do Gelado é efetivo, visto que o investimento de BRL\$ 11.914.807,59 em 10 anos, sendo BRL\$ 5.199.671,08 (44% do total) no primeiro ano do investimento, propicia ganhos significativamente superior, BRL\$ 304.970.659,07.

Portanto, diante da viabilidade da produção 10,6 Mtpa de *pellet feed* sem intercorrências relacionadas ao risco de alteração da qualidade das águas do igarapé Gelado que desencadeariam ações nas esferas Meio Ambiente, órgãos Regulatórios e da Saúde da comunidade da APAIG, com um período de retorno de menos de 3 anos quando comparado com serviços de um laboratório contratado e, além de tudo, o desenvolvimento de uma tecnologia inovadora de monitoramento de barragens, conclui-se que o investimento no projeto de monitoramento *on-line* da barragem do Gelado possui viabilidade econômica.

Destaca-se que essa avaliação foi dedicada especificamente para o cenário apresentado nesta pesquisa. Para a determinação de viabilidade de outros projetos há a necessidade de uma avaliação de suas especificidades.

## REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13028: **Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2017.

AMPLO ENGENHARIA E GESTÃO DE PROJETOS LTDA. **Avaliação dos impactos decorrentes da ruptura da barragem no perímetro de influência do Dam Break das Barragens do Gelado, Geladinho e Pera**. Belo Horizonte. 2017.

AMPLO ENGENHARIA E GESTÃO DE PROJETOS LTDA. **Caracterização das Atividades Econômicas Associadas aos Usos do Solo do Perímetro de Influência do Dam Break da Barragem do Gelado**. Belo Horizonte. 2017.

AMPLO ENGENHARIA E GESTÃO DE PROJETOS LTDA. **Projeto de Reprocessamento do Rejeito da Barragem do Gelado. Plano Básico Ambiental**. Parauapebas. 2018.

AMPLO ENGENHARIA E GESTÃO DE PROJETOS LTDA. **Projeto de Reprocessamento do Rejeito da Barragem do Gelado. Relatório de Controle Ambiental**. Parauapebas. 2018.

ARCADIS. **Diagnóstico da situação atual e soluções alternativas para os sistemas públicos de abastecimento e soluções alternativas para os consumidores privados dos municípios impactados pela mancha de inundação da barragem do Gelado**. Belo Horizonte. 2021.

BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO. **Como Integrar Questões Sociais a Projetos de Desenvolvimento**. Avaliação de impacto social. 2017.

BONA, A. **Conheça os métodos de análise de investimentos**. Disponível em: <https://andrebona.com.br/analise-de-investimentos/>. Acesso em: 04. Abr. 2020.

BRASIL. **Código Florestal. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o Novo Código Florestal. Revogada pela lei nº 12.615, de 25 de maio de 2012**. Brasília. 2012. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm). Acesso em: 07. Fev. 2022.

BRASIL. **Decreto Federal nº 6.514, de 22 de julho de 2008. Dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações, e dá outras providências**. Brasília. 2008. Disponível em:

[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2007-2010/2008/decreto/d6514.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2008/decreto/d6514.htm).

Acesso em: 21 Mai. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, Resolução. 357/2005, 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.** Brasília. 2005. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 13. Abr. 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA, Resolução. 430/2011, 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA.** Brasília. 2011. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 13. Abr. 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Ofício. 02001.011952/2015-69 COMOC/IBAMA. Possível contaminação do Igarapé Gelado - Complexo Ferro Carajás.** Brasília. 2015

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **PAR. 02001.000955/2016-58 COMOC/IBAMA. Parecer sobre o Relatório Técnico “Avaliação da Qualidade das Águas do Igarapé Gelado - Área de Proteção Ambiental do Igarapé Gelado”.** Brasília. 2016

COSTANZA, R. et al. **The value of the world’s ecosystem services and natural capital.** Nature. Volume 387, p. 253-260, 1997.

CRONO ENGENHARIA LTDA. **Avaliação da Qualidade das Águas da Sub-bacia do Igarapé Gelado – Área de Proteção Ambiental do Igarapé Gelado Rede Dedicada de Monitoramento da Qualidade das Águas Complexo Minerador de Carajás - Pará.** Belo Horizonte. 2018.

CRONO ENGENHARIA LTDA. **Avaliação da Qualidade das Águas da Sub-bacia do Igarapés Gelado. Área de Proteção Ambiental do Igarapé Gelado. Complexo Minerador de Carajás – Pará.** Belo Horizonte. 2015.

CRONO ENGENHARIA LTDA. **Relatório de Avaliação dos Resultados do Monitoramento da Rede Dedicada da Qualidade das Águas Superficiais e dos Efluentes. Sub-Bacias dos Igarapés Gelado e Geladinho, Jacaré, Serraria e Calunga (São Paulo) Ano 2. Complexo Minerador de Carajás – Pará.** Belo Horizonte. 2018.

DA MOTTA, Ronaldo Seroa. **Manual para valoração econômica de recursos ambientais**. IPEA/MMA/PNUD/CNPq, 1998.

DA SILVA JÚNIOR, R. O., et al. **Desenvolvimento de metodologia para monitoramento online de água superficial em bacias de rejeitos**. Belém: ITV. 2019.

DE CAMARGO, R. F. **Como o método Payback pode ajudar na Análise do Tempo de Retorno do Investimento em Projetos**. Disponível em: <https://www.treasy.com.br/blog/payback-tempo-de-retorno-do-investimentos/>. Acesso em: 04. Abr. 2020.

DE SOUZA, L. R. B.; VOESE, S. B. **O Estado da Arte sobre o Custo Total de Propriedade no Brasil**. Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC. 2013.

ETTRE, Leslie S. Nomenclature for chromatography (IUPAC Recommendations 1993). **Pure and Applied Chemistry**, v. 65, n. 4, p. 819-872, 1993.

FERNANDES, D. P. Taxa de desconto: saiba como avaliar os investimentos melhor. Disponível em: <https://www.treasy.com.br/blog/taxa-de-desconto/>. Acesso em: 04. Abr. 2020.

FONSECA, Y. D.; BRUNI, A. L. **Técnicas de avaliação de investimentos: uma breve revisão da literatura**. 2003.

GEOESTÁVEL CONSULTORIA E PROJETOS LTDA. **Engenharia de Registros (EoR) & Relatório de Inspeção de Segurança Regular (RISR) Barragem Gelado**. Parauapebas. 2020

GOLDER ASSOCIATES BRASIL. **Relatório de controle ambiental – RCA Projeto de Reprocessamento do Rejeito da Barragem do Gelado do Complexo Minerador de Carajás**. Belo Horizonte. 2008.

INSTITUIÇÃO FISCAL INDEPENDENTE. **Relatório de Acompanhamento Fiscal – Nº 41**. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/ifi/publicacoes-ifi>. Acesso em: 31. Ago. 2020.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Taxa de câmbio comercial para compra: real (R\$) / dólar americano (US\$) - média**. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/ExibeSerie.aspx?serid=38590&module=M>. Acesso em 15. Set. 2022.

MARINHA, DO BRASIL. NORMAM-11/DPC. **Diretoria de Hidrografia e Navegação. Normas da autoridade marítima para obras, dragagens, pesquisa e lavra de minerais sob, sobre e às margens das águas sob jurisdição nacional. 1ª revisão**. Rio de Janeiro, 2017.

MELLO, G. M.; SAHOO, P. K.; DALL'AGNOL, R. **Baseline Geoquímico e influência sazonal e de atividades antrópicas na água da sub-bacia do Igarapé Gelado, Carajás**. Belém: ITV, 2021.

METROHM BRASIL. **Projeto Conceitual Sistema Analítico Online para Monitoramento da Saída da Barragem do Gelado - Analisador 2045VA, 2045TI e IC**. São Paulo. 2019.

METROHM BRASIL. **Proposta Comercial Sistema Analítico Online para Monitoramento da Saída da Barragem do Gelado Metrohm Process Analytics**. São Paulo. 2019.

METROHM BRASIL. **Proposta Técnica Sistema Analítico Online para Monitoramento da Saída da Barragem do Gelado Metrohm Process Analytics**. São Paulo. 2019.

PARÁ. **Lei nº 5.887, de 09 de maio de 1995. Dispõe sobre a Política Estadual de Meio Ambiente e dá outras providências**. Belém. 1995.

PARÁ. Secretaria da Fazenda do Governo do Pará. Disponível em: <http://www.sefa.pa.gov.br/index.php/receitas-despesas/info-fazendarias/3010-upfpa>. Acesso em 04. Abr. 2022.

TOSO, F. A. R. **Análise de investimentos em máquinas e equipamentos na CESA (Companhia Estadual de Silos e Armazéns)**. 2007.

VALE. **Conheça mais sobre a história de Carajás, a maior mina de minério de ferro do mundo**. Disponível em: <<http://www.vale.com/hotsite/PT/Paginas/conheca-mais-sobre-historia-carajas-maior-mina-minerio-ferro-mundo.aspx>>. Acesso em: 25. Jul. 2020.

VALE. **PGS-004828 Diretrizes para análise de Make or Buy de serviços**. Revisão 01. Sistema de Padronização Vale - SISPAV. 2021. [b]

VALE. **PRO-032381 Elaboração de Projeção de Investimento**. Revisão 00. Sistema de Padronização Vale - SISPAV 2021. [a]