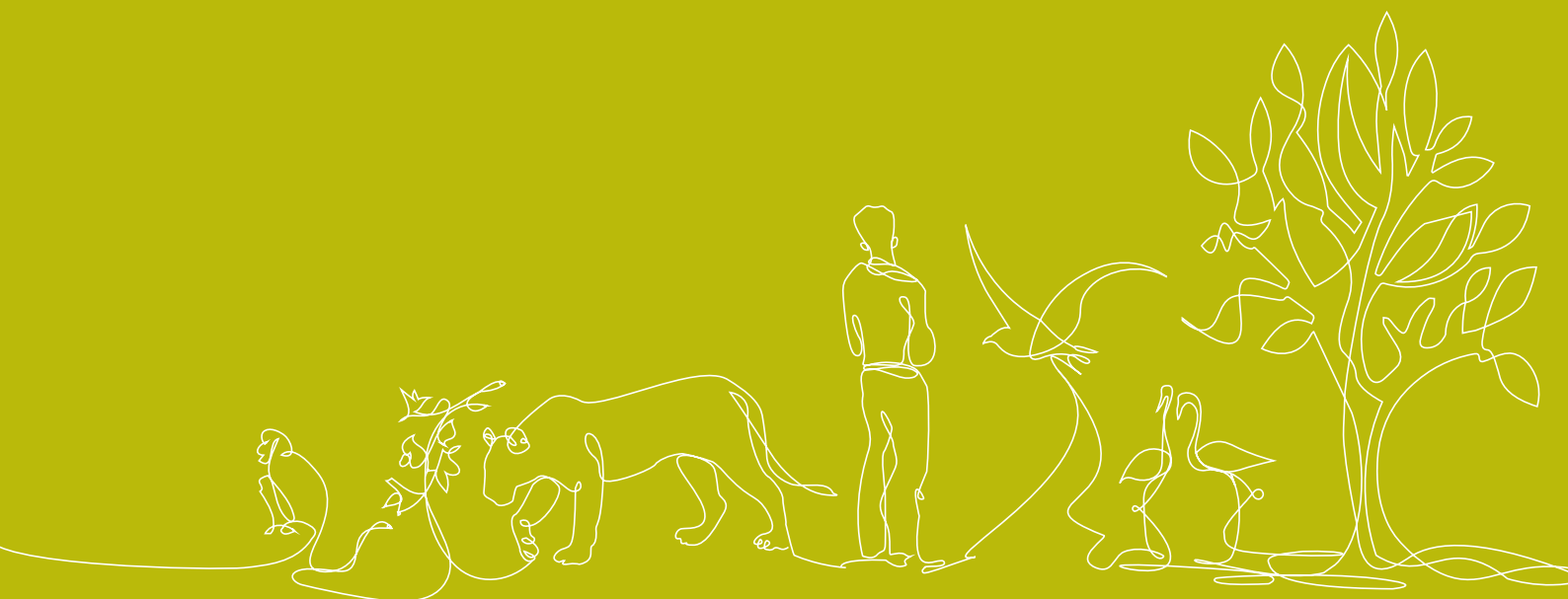


Parecer Técnico sobre a Nota Técnica Intercâmaras nº 02/2021

Agosto • 2021



ÍNDICE

1 -	Apresentação	1/69
2 -	Contextualização	2/69
3 -	Dinâmica dos Pulsos de Inundação	5/69
	3.1 - Dados Históricos de Precipitação e Nível do rio Doce	6/69
	3.2 - Conexão rio Doce e Solos da Região de Degredo	9/69
4 -	Aquíferos de Degredo.....	17/69
	4.1 - Mapa Potenciométrico	20/69
	4.2 - Áreas de Recarga.....	22/69
5 -	O Rejeito da Barragem de Fundão	26/69
	5.1 - pH do Rejeito	26/69
	5.2 - Composição do Rejeito	26/69
6 -	Qualidade Ambiental do rio Doce e Lagoa Monsarás	29/69
	6.1 - Lagoa Monsarás.....	29/69
	6.2 - Estuário do rio Doce.....	35/69
7 -	Qualidade da Água de Degredo	37/69
	7.1 - Águas Superficiais.....	37/69
	7.2 - Águas Subterrâneas	39/69
8 -	Análise da Hipótese do Pulso de Inundação.....	41/69
9 -	Sinergia de Atividades	49/69
	9.1 - Indústria do Petróleo.....	50/69
	9.2 - Uso do Solo.....	54/69
10 -	Análise das Evidências.....	59/69
11 -	Referências	60/69
12 -	Equipe Técnica.....	69/69

1 - APRESENTAÇÃO

O documento aqui apresentado tem por objetivo fornecer subsídios técnicos à Fundação Renova, em resposta à **Nota Técnica Intercâmaras nº 02 de 2021/CT-IPCT/CT-Bio/CT-Saúde/CT-GRSA/CTSHQA/CIF**, posteriormente aqui referida apenas por NT 02/2021, protocolada no Comitê Interfederativo (CIF) em abril/2021. Nesta NT 02/2021 foi feita a análise do estudo “Compilação e avaliação de estudos ambientais realizados antes e após o rompimento da barragem de Fundão - Litoral norte do Espírito Santo” de junho de 2020 solicitado pela Fundação Renova, cujo conteúdo é de responsabilidade da consultoria ambiental Tetra Tech (TETRA TECH, 2020). A referida nota técnica apresentou como desdobramentos a determinação da realização de monitoramento da qualidade das águas superficiais e subterrâneas no território da comunidade quilombola de Degredo e apresentação de relatórios trimestrais com os resultados parciais desse monitoramento pela Fundação Renova.

O presente documento foi estruturado de forma a trazer no item **2) Contextualização** - a cronologia dos principais estudos, ofícios e Notas Técnicas elaborados em função da avaliação da qualidade da água na região de Degredo-ES, até a emissão da NT 02/2021, bem como as evidências levantadas e seus desdobramentos. Na sequência, são discutidos elementos da Nota Técnica em itens específicos: **3) Dinâmica do pulso de inundação; 4) Aquíferos de Degredo; 5) Rejeito da barragem de Fundão; 6) Qualidade ambiental do rio Doce e lagoa Monsarás; e 7) Qualidade da água de Degredo.**

No item **8) Análise da hipótese do pulso de inundação** é feita uma avaliação de cada premissa apontada na NT 02/2021 que sustentam a hipótese de que o rejeito da barragem de Fundão tenha alcançado aquíferos da região de Degredo através do evento de cheia registrado em 2016. No item **9) Sinergia de atividades** são levantadas outras possíveis fontes de impacto na região de Degredo-ES por meio do levantamento de estudos realizados nesta região, utilizando de diversas fontes. Por fim, no item **10) Análise das evidências** é feita uma ponderação entre as evidências que suportam a hipótese trazida pela NT 02/2021 e as levantadas na análise de outros estudos que apresentam interface direta com os corpos d'água da região de Degredo.

Ao final são apresentadas as **Referências bibliográficas** que nortearam este documento e a **Equipe Técnica** responsável pela elaboração.

2 - CONTEXTUALIZAÇÃO

Em 5 de novembro de 2015, uma barragem de rejeitos da mineradora Samarco (barragem de Fundão) rompeu-se, liberando aproximadamente 43,7 milhões de metros cúbicos de rejeitos. Uma parte (aproximadamente 7 milhões de metros cúbicos) ficou retida dentro da própria área da mineradora. O restante desceu pelo córrego Santarém e seguiu pelos rios Gualaxo do Norte, do Carmo e Doce até o mar. No trajeto da onda de rejeitos, cerca de 20 milhões de metros cúbicos se espalharam por calhas, margens e planícies dos cursos d'água até a Usina Hidrelétrica (UHE) Risoleta Neves, distante 113 km de Fundão. Calcula-se que 10 milhões de metros cúbicos tenham se depositado ao longo do reservatório da referida usina hidrelétrica (UHE). O restante, a parte mais fina do rejeito, passou por esta barragem. A onda de rejeitos percorreu cerca de 550 km, depositando-se ao longo da calha do rio Doce e seu estuário (foz do rio Doce), até alcançar o mar (RENOVA, 2018). Desde então, para dimensionar as alterações ambientais causadas pelo rompimento da barragem, a Fundação Renova tem demandado estudos de avaliação dos impactos no meio físico, biótico e socioeconômico advindos do evento, considerando o ambiente terrestre, continental e costeiro.

Algumas comunidades litorâneas na costa do Espírito Santo apontaram que os mananciais de água estariam contaminados pelos resíduos de sedimentos provenientes do mencionado rompimento da barragem. Assim, neste contexto, foi realizado o estudo AVALIAÇÃO DAS COMUNIDADES AFETADAS PELA TURBIDEZ NA COSTA DO ESPÍRITO SANTO, de autoria da consultoria técnica RHAMA (RHAMA, 2019). O objetivo do estudo foi identificar mananciais das comunidades selecionadas pela Fundação Renova e avaliar a possibilidade destes mananciais terem contato com a água do mar na costa do Espírito Santo. O estudo indicou que algumas localidades avaliadas apresentam potencial para ter contato com a água do mar. Contudo, o estudo aponta que o contato com a água do mar por si só não seria suficiente para garantir o transporte de material decorrente do rompimento da barragem até o local avaliado. Além disso, com exceção das comunidades cuja captação de água ocorre diretamente do rio Doce (e, portanto, impactadas diretamente pelo rompimento da barragem), a maioria das comunidades avaliadas não perceberam impactos na água usada no abastecimento. No entanto, a comunidade de Degredo, onde a população realiza captação por poços alega que a qualidade das águas destes se deteriorou após o rompimento.

Assim, motivado pelas alegações da comunidade de Degredo-ES, foram realizados outros estudos na região. O primeiro, ESTUDO E INVESTIGAÇÃO DAS ALTERAÇÕES DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA NA REGIÃO DE DEGREDO, LINHARES-ES, teve por objetivo dar suporte à FUNDAÇÃO RENOVA na avaliação das possíveis causas das não conformidades encontradas nas análises da qualidade de água dos poços artesianos existentes na região de São Mateus/Degredo, com bases em resultados analíticos obtidos para os anos de 2018 a 2019, desenvolvido pela Tetra Tech (TETRA TECH, 2019), sendo o fenômeno da “decoada” uma das possíveis hipóteses para essa alteração na qualidade da água. O estudo, no entanto, concluiu que os processos de alterações de qualidade da água não correspondem aos processos identificados para o fenômeno descrito para o Pantanal Mato-grossense denominado de “decoada”. Mas verificou-se eutrofização das águas do rio Ipiranga e em alguns canais de drenagem na região de Degredo, presença abundante de plantas aquáticas, e valores de pH da água variando de 3,37 a 7,46. O outro estudo realizado foi o RELATÓRIO DE ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS NA REGIÃO DE DEGREDO, LINHARES/ES, de autoria da consultoria MDGEO (2020), cujo objetivo foi realizar a caracterização hidrogeológica da região de Degredo, a fim de responder ao questionamento da comunidade que alegou ter observado uma piora na qualidade da água local. Os resultados observados sugerem não haver conectividade entre rio-aquífero localizado na comunidade de Degredo. O estudo demonstrou ser pouco provável que os rejeitos provenientes da barragem de Fundão tenham subido o rio Ipiranga e alcançado os poços da comunidade, uma vez que o sentido de fluxo do mapa potenciométrico e do rio Ipiranga são contrários.

Estes estudos antes mencionados compuseram o documento COMPILAÇÃO E AVALIAÇÃO DE ESTUDOS AMBIENTAIS REALIZADOS ANTES E APÓS O ROMPIMENTO DA BARRAGEM DO FUNDÃO conduzido pela Tetra Tech (TETRA TECH, 2020), cujo objetivo foi a compilação dos estudos desenvolvidos pela Fundação Renova no litoral Norte do Espírito Santo, com atenção especial à região de Degredo, localizada no município de Linhares (ES), com o intuito de entender os impactos do rompimento da barragem. O estudo apresentou como conclusões:

1. Baixa probabilidade de ocorrência de contaminação dos mananciais provenientes do mar, tendo em vista que para sua ocorrência seria necessário o atendimento simultâneo de 3 premissas: maré anômala, redução na vazão dos rios e a pluma de sedimentos estar no local nesse mesmo momento. Os estudos que simulam a dispersão da pluma do rio Doce mostram que a maior parte do rejeito deslocou para o Sul da foz e não para o litoral Norte (onde estão as localidades analisadas), não comprovando onexo causal;

2. Baixa probabilidade de uma contaminação dos aquíferos provenientes do rio Doce, tendo em vista que a grande maioria dos fluxos é direcionada para o rio, exceto as regiões em que apresentam poços que tendem a alterar o fluxo devido à pressão de retirada da água. Estas alterações de fluxos são locais e mínimas, e ocorrem somente na região de Linhares e em poços com grande demanda de extração;
3. Alguns parâmetros acima do valor de referência legal nos poços utilizados pela comunidade, principalmente os de Ferro e Alumínio, estão associados às características do solo natural da região.

Este estudo de compilação de dados (TETRA TECH, 2020), foi avaliado no âmbito da NT 02/2021, pelo Comitê Interfederativo (CIF) e Câmara Técnica Indígena e Povos e Comunidades Tradicionais (CT-IPCT), protocolado no CIF em abril de 2021. Como desdobramento desta NT, ficou definida a responsabilização da Fundação Renova para a realização de monitoramento da qualidade das águas superficiais e subterrâneas no território da comunidade quilombola do Degredo e apresentação de relatórios trimestrais com os resultados parciais desse monitoramento. Esta definição foi suportada pelo estudo de modelagem hidrodinâmica realizado pela LACTEC (2020), o qual indica que as águas do rio Doce extrapolaram a calha fluvial em janeiro de 2016 e inundaram a região do entorno da CRQ do Degredo. Desta forma, a NT 02/2021 apresenta que, com este evento de inundação de 2016, os rejeitos da barragem de Fundão teriam alcançado os solos e as águas superficiais da região de Degredo, comprometendo os aquíferos que abastecem a comunidade local. Dentre outras ponderações que serão discutidas ao longo deste documento sobre esta hipótese, cabe ressaltar que o próprio estudo da LACTEC (2020) pondera que “as limitações de representação de feições internas no modelo de terreno também podem resultar em superestimação das áreas inundáveis”. Portanto, as inferências feitas pela NT 02/2021, com base nesta modelagem, são limitadas.

Através do Ofício FR.2021.0245-05, a Fundação Renova manifestou a discordância em relação ao conteúdo da NT 02/2021, trazendo, entre outras questões, o entendimento de que não há nexo de causalidade entre a qualidade da água que abastece a CRQ de Degredo e o rompimento da barragem de Fundão e que é necessário avaliar e identificar o processo histórico de ocupação e de uso do solo, especialmente aqueles relacionados às condições naturais do solo, e em relação à presença de empreendimentos de significativo impacto ambiental que influenciam a qualidade da água e sua utilização para seus diversos fins.

Diante do exposto pelo Ofício FR.2021.0245-05 da Fundação Renova, a Câmara Técnica Indígena e Povos e Comunidades Tradicionais CT-IPCT/CIF emitiu o Ofício nº 005/2021 - CT-IPCT/CIF, reiterando o conteúdo da NT 02/2021, trazendo ainda que “A afirmação por parte da Fundação Renova que outros empreendimentos podem ter causado a contaminação das águas subterrâneas precisa ser comprovada com dados”.

Assim, este documento foi elaborado no intuito de fornecer subsídios técnicos à Fundação Renova, avaliando a hipótese trazida pela NT 02/2021 através de estudos já mencionados, elaborados para a região, além de outros recentemente concluídos, a saber: RELATÓRIO TÉCNICO CONSOLIDADO DA REGIÃO DELTÁICA (GOLDER, 2021a), APLICAÇÃO DO PLANO DE MANEJO DE REJEITOS NO TRECHO 16 (GOLDER, 2021b), ESTUDO DE LINHA-BASE ANTERIOR AO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FUNDÃO (MG): CARACTERIZAÇÃO E DIAGNÓSTICO DE QUALIDADE AMBIENTAL PARA A REGIÃO DE LINHARES-ES (ECOLOGY, 2021). Complementam o embasamento deste parecer, ainda, estudos acadêmicos e demais referências bibliográficas relevantes à área e ao objeto de estudos.

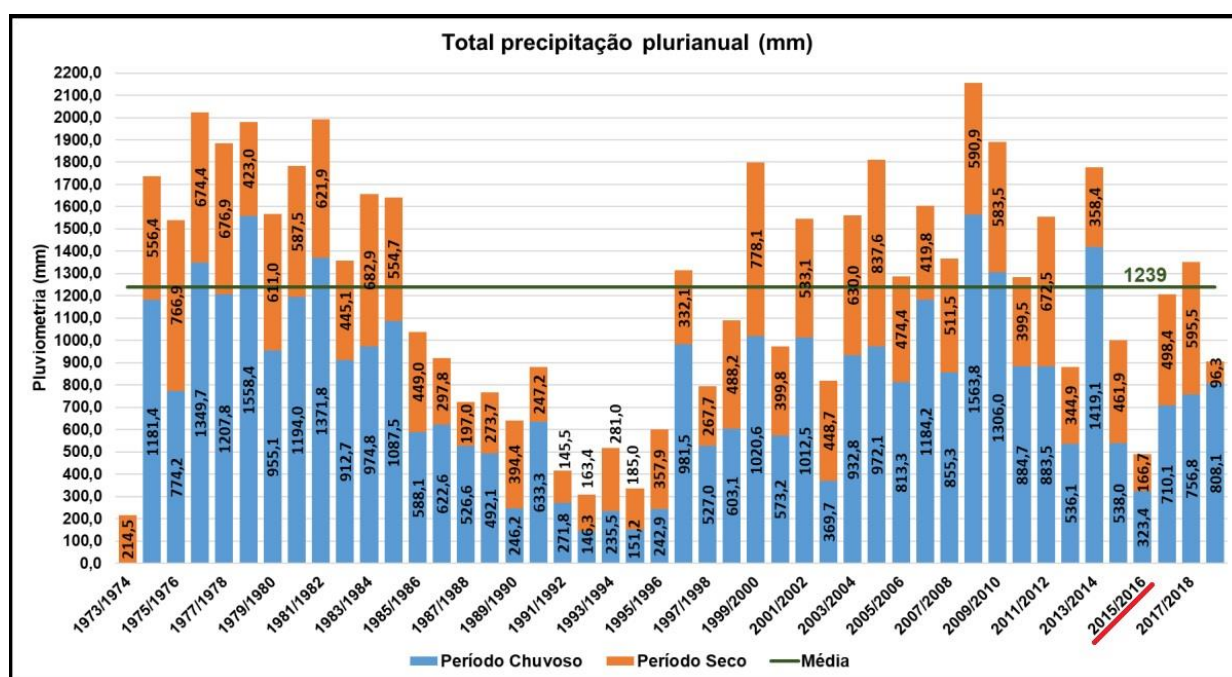
3 - DINÂMICA DOS PULSOS DE INUNDAÇÃO

A NT 02/2021 indica que o rejeito atingiu a área de Degredo, baseada em duas hipóteses para o ocorrido: i) devido à onda de rejeitos ou ii) à cheia do rio Doce. Contudo, a primeira hipótese pode ser descartada, pois a onda de rejeitos provocada pela ruptura da barragem de Fundão foi absorvida, em grande parte, pelo reservatório e barragem de Candonga (UHE Risoleta Neves), tendo o rejeito depositado nos leitos e nas margens dos rios a montante desta barragem, e no próprio reservatório. Associado a isto, na época do desastre, a bacia do rio Doce encontrava-se com baixa vazão natural, sendo assim, a cheia originada pela ruptura a jusante de Candonga foi de baixa magnitude, não chegando a transbordar, de maneira significativa, da calha natural do rio Doce (LACTEC, 2016).

Quanto à segunda hipótese, faz-se necessária a análise dos dados históricos de precipitação e nível do rio Doce, bem como a conexão deste rio com os solos e as sub-bacias hidrográficas da região de Degredo, a fim de caracterizar as inundações do rio Doce e, assim, verificar a possibilidade deste rejeito ter sido carregado até a região de Degredo.

3.1 - DADOS HISTÓRICOS DE PRECIPITAÇÃO E NÍVEL DO RIO DOCE

De acordo com os dados de precipitação plurianual da estação de Povoação levantados pela MDGEO (2020), considerando-se o ano hidrológico com início em outubro, a média de precipitação observada para o período 1973/1974 - 2018/2019 foi de 1239 mm/ano, conforme ilustrado na Figura 3-1. A média do período chuvoso, por sua vez, é de 789,1 mm/ano o que representa aproximadamente 64,0% da precipitação anual, enquanto no período seco a precipitação média é de 449,9 mm/ano.



Fonte: modificado de MDGEO (2020). Estação: Povoação (Código 01939002 - ANA - Período: 1973 - 2019).

Figura 3-1 - Gráfico de precipitação plurianual dos anos hidrológicos da região deltaica do rio Doce, com indicação do ano de rompimento da barragem de Fundão em vermelho (2015/2016).

A análise do gráfico apresentado na Figura 3-1 permite observar períodos de maior precipitação, marcadamente entre os anos hidrológicos 1974/1975 e 1984/1985, além de períodos com menor registro pluviométrico, como entre 1985/1986 e 1995/1996, além da grande variabilidade interanual entre anos secos e anos chuvosos, registrada após 1995/1996.

Nesse sentido, cabe destacar que a variabilidade interanual das precipitações foi observada no ano hidrológico em que ocorreu o rompimento da barragem, uma vez que este foi um ano com baixa precipitação na região deltaica do rio Doce, conforme ilustrado na **Figura 3-1**. Da mesma forma, também é possível observar que o ano anterior ao rompimento da barragem foi um ano de grande seca, com precipitação abaixo da média e que o total de precipitação do ano do evento de rompimento da barragem foi de apenas 490,1 mm, o que equivale a aproximadamente 40% da média histórica de precipitação anual.

Em relação aos episódios de cheias registrados em 2013 e 2016, utilizados na modelagem realizada pela Lactec (2020), é importante individualizar os aspectos pluviométricos associados aos dois eventos na região da planície deltaica do rio Doce.

Os dados da estação pluviométrica de Povoação (ANA, 2021) apontam que em janeiro de 2016 houve um total de precipitação de 162,2 mm, valor próximo à média histórica de 117,7 mm (MDGEO, 2020), enquanto o total mensal em dezembro de 2013 foi de 773,2 mm, o que representa um valor cerca de quatro vezes acima da média histórica de 171,3 mm (MDGEO, 2020). Em relação à máxima diária, em janeiro de 2016 foi registrado o valor máximo de 22,6 mm no dia 20, enquanto o valor máximo de precipitação diária em dezembro de 2013 foi de 140,6 mm, registrado no dia 19. Por fim, em janeiro de 2020 choveu 163 mm na estação Povoação (ANA, 2021), um valor próximo ao registrado em janeiro de 2016, e no dia 5 houve o maior índice de precipitação diária, de 38,3mm.

Nesse sentido, em função da discrepância dos eventos pluviométricos registrados em dezembro de 2013, em comparação aos observados em janeiro de 2016 e 2020, é importante registrar que a área úmida ilustrada na imagem de satélite Landsat 8 durante a cheia de 2013 (**Figura 3-2**) é consequência de um evento pluviométrico extremo, com características bem distintas das registradas em janeiro de 2016 e janeiro de 2020.



Fonte: Lactec (2020).

Figura 3-2 - Imagem do satélite Landsat 8 durante a cheia de 2013 (imagem de 26/12/2013).

Em função da dinâmica de recarga da planície ser realizada fundamentalmente pela precipitação, conforme detalhado no **item 4 - Aquíferos de Degredo** do presente parecer, a área úmida ilustrada na **Figura 3-2** na região de Degredo reflete o processo natural de formação de áreas alagadas na planície litorânea pela proximidade do lençol freático com a superfície. Portanto, é natural intuir que quando há o extravasamento das águas do rio doce para além de sua calha, estas encontram solos já saturados, assim como seus aquíferos. Portanto, neste cenário não há condições favoráveis para que ocorram interações entre as águas superficiais e subterrâneas.

Sendo assim, a utilização da imagem de satélite de dezembro de 2013 na avaliação realizada pela Lactec (2020) não permite avaliar com precisão a real influência do evento de cheia na região de Degredo pois, além de representar um evento pluviométrico que não possui qualquer equivalência com os registros de janeiro de 2016 e 2020, não considera a dinâmica natural dessa região, que é marcada pela existência de grandes áreas úmidas que são naturalmente caracterizadas pela proximidade do lençol freático com a superfície.

3.2 - CONEXÃO RIO DOCE E SOLOS DA REGIÃO DE DEGREDO

A NT 02/2021 indica conexão entre as águas e material particulado em suspensão (MPS) do rio Doce e, conseqüentemente, do rejeito, com a comunidade do Degredo, ocorrendo principalmente através da lagoa Monsarás, através do canal de ligação (entre o rio Doce e a lagoa Monsarás) e pelo mar, pois houve a ruptura da barra desta lagoa. Além disto, este documento indica uma relação desta lagoa com “paleocanais” se conectando com o rio Ipiranga.

Visando esclarecer estas informações faz-se necessário caracterizar a área quanto à geomorfologia e hidrografia da área.

As principais unidades geomorfológicas da área, de acordo com os dados de geomorfologia do Serviço Geológico Brasileiro (CPRM) são: Tabuleiros, Planície Fluvio Marinha, Planície Costeira e as Planícies Fluviais ou Flúvio Lacustres (**Figura 3-3**). Estas informações são relevantes para caracterizar a área indicada como “paleocanais” na NT 02/2020. Estas representam as Planícies Fluviais ou Flúvio Lacustres e tratam-se, principalmente, da antiga área ocupada pelo rio Doce, ao longo da evolução deste Delta, ou seja, representam os paleocanais e cordões litorâneos (Pleistocênicos e Holocênicos) que se desenvolveram a partir da dinâmica sedimentar do delta do rio Doce associado às sucessivas oscilações do nível do mar. Paleocanais também podem ser descritos como antigos canais pelos quais o rio escoava e, devido à dinâmica erosiva e deposicional, foram naturalmente assoreados e abandonados, passando o rio a escoar por novos canais. Sendo assim, estes paleocanais não representam uma real conexão entre os rios da área e sim uma rugosidade, ou anteparo para este escoamento.

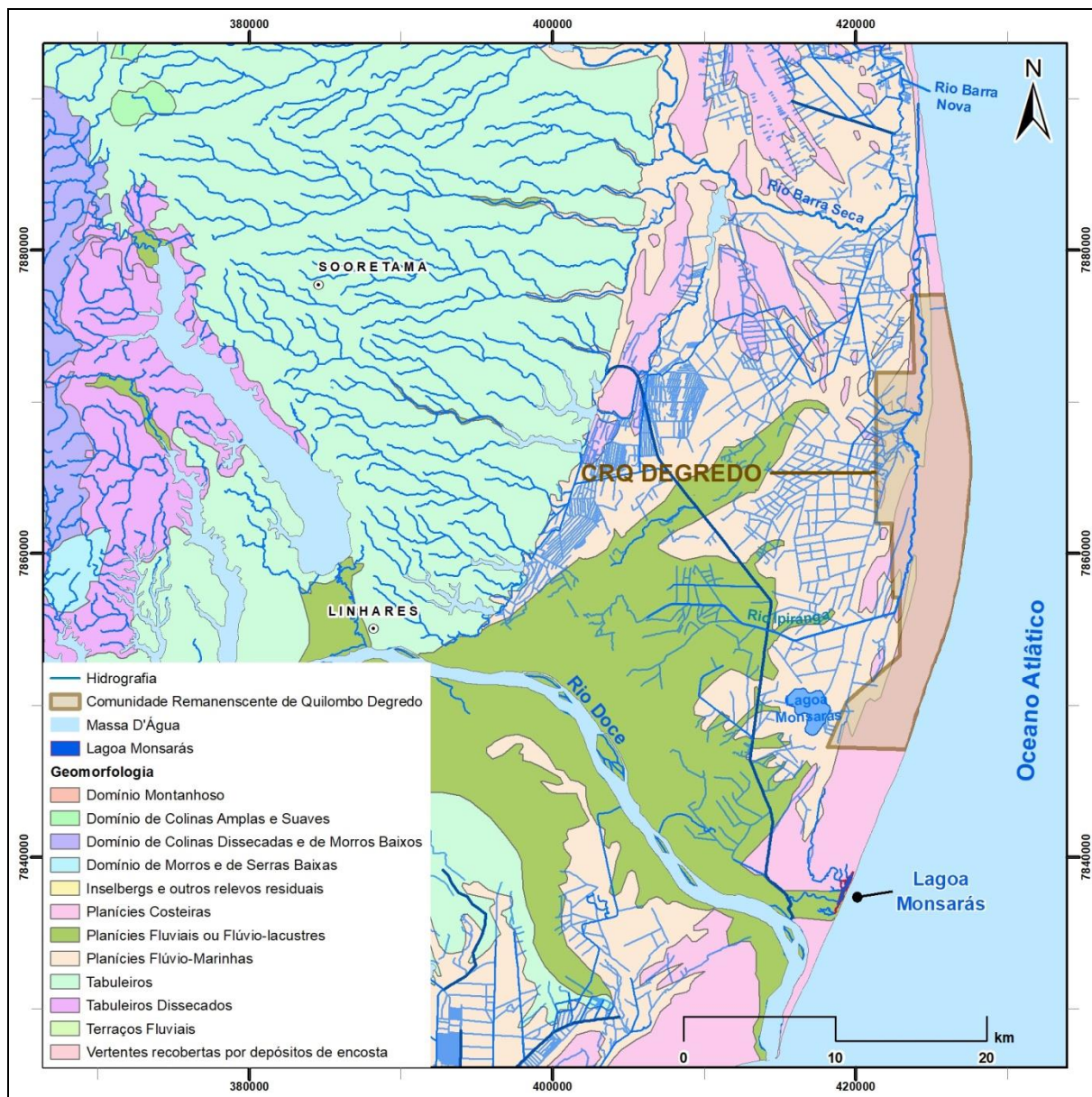


Figura 3-3 - Geomorfologia e hidrografia da região de Degredo. Em destaque o canal de drenagem (DNOS), que escoam em direção ao Rio Doce e conecta ao Rio Monsarás.

Neste sentido, vale destacar a unidade geomorfológica Planícies Fluviais ou Flúvio Lacustres, representada por uma área úmida que escoam em direção ao rio Doce. Além disso, esta área vem sofrendo, desde a década de 60, diversas modificações em sua dinâmica natural, devido à construção de canais de drenagem pelo Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS) e retificação de alguns rios, como é o caso do Rio Ipiranga nas proximidades da sua nascente (Figura 3-5).

Além disso, a dinâmica hidrológica da região de Degredo apresenta intensa relação com a dinâmica hidrológica da unidade geomorfológica Tabuleiros, associados às rochas da Formação Barreiras e que contém uma rede de drenagem dendrítica que escoam em direção ao mar, dando origem aos rios encontrados na Planície Costeira, como o Barra Seca, o Barra Nova e o Ipiranga, além de diversos outros córregos, contribuindo diretamente com o aporte hídrico e sedimentar proveniente desses Tabuleiros e que escoam em direção a área de Degredo. Esta rede de drenagem compõe a sub-bacia rio Barra Seca/rio Mucuri, descrita a seguir.

Bacias hidrográficas são definidas como áreas da superfície terrestre que drenam água, sedimentos e materiais dissolvidos, de um determinado ponto de um canal fluvial para outros corpos d'água, como outros canais fluviais, lagoas ou oceano (COELHO NETTO, 1988). Estas podem ser subdivididas em sub-bacias, interligando-se com a bacia de ordem hierárquica superior (SANTANA, 2003). Neste contexto, visando esclarecer a dinâmica hidrográfica da área, a análise será na esfera das sub-bacias hidrográficas ottocódigo nível 4 que compõe a região de Degredo. Estas sub-bacias estão inseridas em duas bacias hidrográficas, e a relação entre estas bacias e sub-bacias, são apresentadas no **Quadro 3-1**, a seguir.

Quadro 3-1 - Relação entre as bacias e sub-bacias na área de Degredo.

Bacia Hidrográfica (Ottocódigo Nível 03)	Sub-Bacia Hidrográfica (Ottocódigo Nível 04)
Foz do rio Doce	Foz do rio Doce
Costeira do Atlântico Leste	Rio Barra Seca/Rio Mucuri Rio São Mateus

A coleção hídrica destas três sub-bacias hidrográficas é composta por um conjunto de rios, lagos, lagoas, áreas brejosas, córregos de origem natural e canais de drenagem artificiais. Dentre os cursos d'água de regime permanente mais relevantes, podemos citar: rio Barra Seca, rio Mariricu, rio Monsarás, rio Ibiriba, rio Ipiranga e o Córrego Barra Nova. Além destes, citamos os canais de drenagem construídos pelo Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS).

Outra característica importante observada na área de Degredo é a presença significativa de lagoas costeiras, paralelas à linha de costa, formadas nos cordões litorâneos. Dentre estas, podemos destacar a lagoa Monsarás, formada a partir de uma paleo-desembocadura do rio Doce, resultado da forte erosão causada pela inversão de sentido do transporte litorâneo, que ocorreu devido a mudanças no clima de ondas que ocorreu no Holoceno (FIRMINO, 2020).

Quanto à conexão destes cursos d'água e lagoas com o rio Doce, apenas um dos canais de drenagem artificiais (DNOS) conecta diretamente com este rio. Contudo, vale destacar que este canal de drenagem (DNOS) (**Figura 3-3**), **escoa em direção ao rio Doce**, podendo receber em sua confluência aporte de água e material particulado em suspensão (MPS) deste rio apenas em episódios de cheia máxima. Ou seja, para esta conexão ser possível, a cheia deste rio deve ser de proporções máximas, fazendo com que as águas “subam” até esta confluência, ou extravasem suas margens de forma significativa atingindo os canais de drenagem, configurando eventos raros para a região, apresentando tempo médio de recorrência de 10 anos (NACENTES et al., 2018). Além disso, como apontado no item 3.1 - **Dados Históricos de Precipitação e Nível do rio Doce**, os episódios de cheias registrados em 2016 e 2020 não apresentaram níveis de cheia compatíveis com estes eventos pluviométricos extremos citados.

Vale destacar também, que nestes eventos de grande proporção de inundação, parte desta água seria absorvida e filtrada pelo solo, não chegando a atingir alguns dos canais mais distantes. E que o escoamento superficial principal desta área ocorre em direção ao rio Doce e não em direção aos canais de drenagem (DNOS).

A lagoa de Monsarás recebe água e Material Particulado em Suspensão (MPS) provenientes deste canal de Drenagem (DNOS), do rio Monsarás, do Rio do Norte e de outros pequenos córregos sem toponímia. Já os Canais de Drenagem (DNOS) se conectam com o rio Ibiriba, rio Ipiranga e com diversos cursos d'água que escoam da região de Linhares, e estão contidos na sub-bacia hidrográfica rio Barra Seca/rio Mucuri.

A **Figura 3-3** mostra estas unidades geomorfológicas e o sistema de drenagem da área, na qual é possível observar que o escoamento das águas e sedimentos na área de Degredo é proveniente, predominantemente, da rede de drenagem dendrítica formada nos Tabuleiros.

Já a área da sub-bacia da foz do rio Doce, composta pela unidade geomorfológica Planícies Fluviais ou Flúvio Lacustres, em sua margem esquerda, apresenta uma série de canais de drenagem artificiais, construídos pelo DNOS a partir do final da década de 60, que alteram a dinâmica da área que passa a receber maior contribuição de águas e sedimentos da rede de drenagem pertencente à sub-bacia hidrográfica rio Barra Seca/rio Mucuri. Estes canais drenam os campos hidromórficos, onde predominam os Gleissolos e Organossolos Tiomórficos.

Como citado, a construção destes canais modificou a dinâmica de drenagem superficial da margem esquerda do Delta do rio Doce, pois estes canais conectaram a área a outros rios, passando a drenar em outra direção e não diretamente para o rio Doce, ou seja, a sub-bacia da foz do rio Doce reduziu sua área, passando a escoar em direção aos rios e córregos da sub-bacia hidrográfica rio Barra Seca/rio Mucuri. Estes canais também foram conectados a estes rios a montante, recebendo aporte de água e MPS desta rede de drenagem.

A proveniência do MPS, com elementos químicos adsorvidos, está associada à geologia e pedologia local que apresenta grande quantidade de aluminossilicatos como minerais do grupo dos feldspatos, micas (biotita, muscovita), caulinitas e esmectitas, além de hidróxidos de alumínio (mineral gibbsita) e óxidos de ferro (goethitas) formados a partir da alteração das camadas lateríticas que recobrem as rochas da Formação Barreiras.

Além destas características, a área apresenta um clima tropical sob influência sazonal de inundações, que foram modeladas no Parecer Técnico sobre a área de passagem e deposição dos rejeitos advindos do rompimento da barragem de Fundão ao longo dos rios afetados, realizado por LATEC (2020), e direcionado ao Ministério Público, no qual apresenta simulações hidrodinâmicas bidimensionais realizadas com o modelo HEC-RAS para os eventos de cheia 2013-2014 e 2015-2016, que permitiram obter estimativas da mancha de inundação para a porção mais baixa do rio Doce, localizada entre Colatina e a foz do rio Doce. Nestas modelagens a área de Degredo, principalmente a área próxima à lagoa Monsarás e os Canais de Drenagem (DNOS) são atingidos por estas cheias (**Figura 3-4**). Contudo, vale destacar que, se trata de uma área de inundação atingida pela cheia máxima dos rios e córregos da área, e não de uma área de passagem e deposição da lama (ADPL), como afirma a NT 02/2021. Pois, de acordo com as características descritas anteriormente, esta área de inundação recebe contribuição hídrica de outras bacias hidrográficas, como já citado, a coleção hídrica desta área compreende 3 sub-bacias, predominando, na região de Degredo, a rede de drenagem de padrão dentrítico que compõe a sub-bacia rio Barra Seca/rio Mucuri.

Sendo assim, deve-se considerar que a porção norte desta mancha de inundação (**Figura 3-4** - retângulo roxo) tem contribuição de água e MPS dos rios Barra Seca, rio Ibiriba, rio Ipiranga, bem como os rios e córregos que drenam os tabuleiros costeiros que compõe a região de Linhares, e mesmo que atingidas por episódios de cheia máxima, onde o rio Doce extravasa de suas margens, teria a água e material particulado, diluído devido à intensa contribuição destes outros rios e córregos.



Figura 3-4 - Figura 91 do parecer da Latec, 2020 - Apresenta o resultado da mancha de inundação máxima para o evento de janeiro de 2016. Retângulo vermelho destaca a área da lagoa Monsarás e Retângulo roxo destaca a área de inundação, que corresponde à sub-bacia hidrográfica rio Barra Seca/rio Mucuri.

Desta forma, devido às características topográficas, geológicas, hidrográficas e sedimentares, a contribuição de água e sedimentos do rio Doce se restringe às áreas próximas às margens destes rios e ao rio Monsarás e, conseqüentemente, à lagoa de Monsarás. Também é possível afirmar que a contribuição significativa de água e MPS da rede de drenagem que compõe o rio Barra Seca/rio Mucuri colabora para a diminuição da concentração dos rejeitos que possam ter atingido a área devido ao contato com a águas do rio Doce. Vale destacar, que a própria concentração de metais no rio Doce e nos sedimentos, reduziu após o rompimento da barragem, fato que pode ser confirmado pela menor concentração dos rejeitos quando comparados aos sedimentos naturais.

A partir destas informações é possível afirmar também que não há conexão entre o rio Ipiranga e a lagoa Monsarás, pois, apesar de se encontrarem na mesma cota topográfica, ambos escoam em direção opostas a caminho do mar (Figura 3-5).

Além disso, para esta lagoa a menor contribuição é a do rio Doce, uma vez que é restrita a episódios de cheia. Sendo assim, esta lagoa tem sua água e sedimentos, como anteriormente citado, provenientes dos Canais de Drenagem (DNOS), do rio do Norte e de alguns córregos sem toponímia, contribuindo para a diminuição da concentração de metais e sedimentos relacionados aos rejeitos que possam ter atingido a lagoa Monsarás devido a presença das águas e sedimentos do rio Doce. Esta lagoa recebe contribuição da água do mar, contudo esta contribuição se restringe a episódios de rompimento de areia. Este aporte de água do mar também contribui para a diminuição da concentração dos metais e sedimentos provenientes dos rejeitos que possam ter atingido a lagoa.

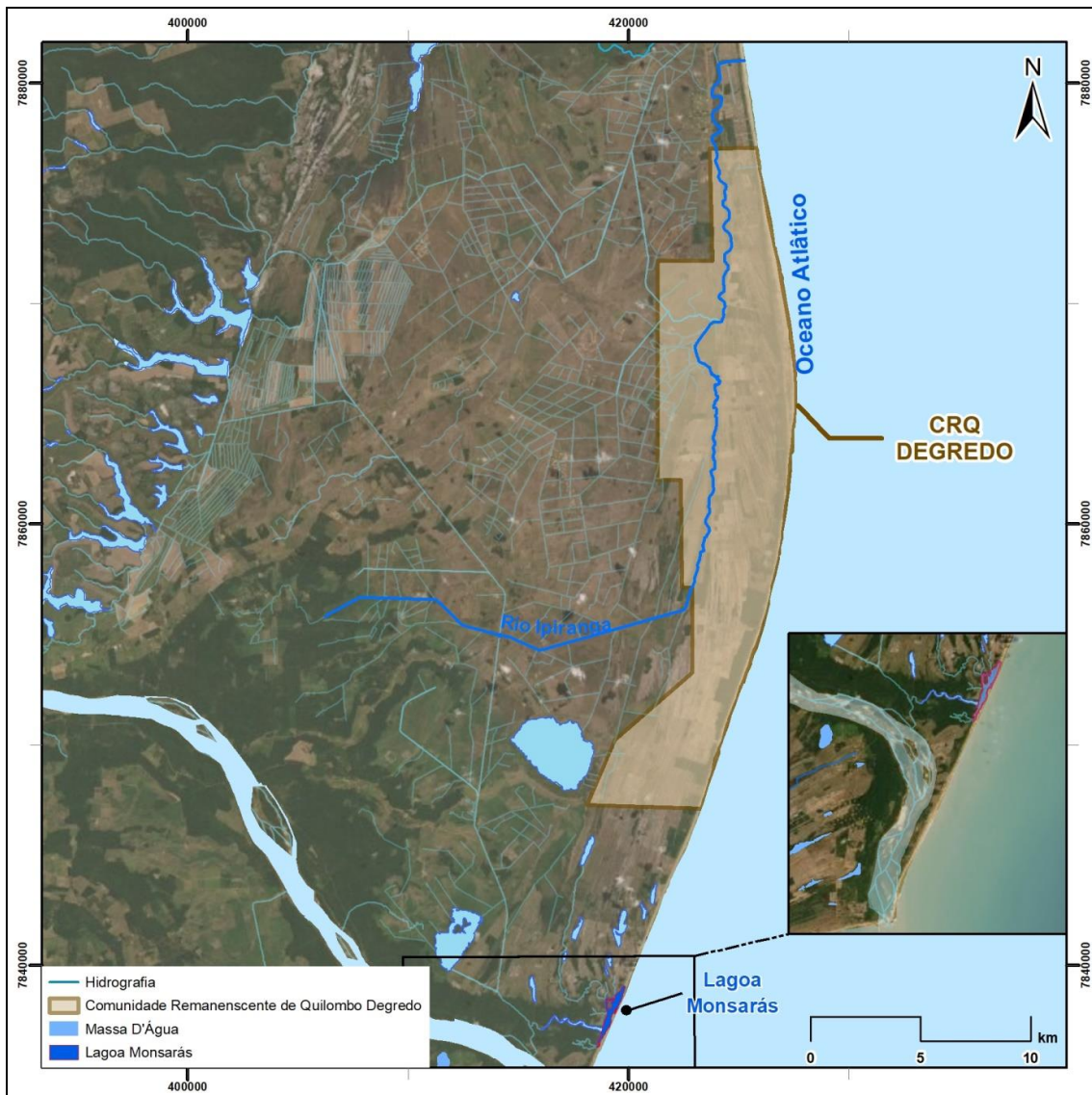


Figura 3-5 - Hidrografia da área de Degredo, destacando a lagoa Monsarás e o Rio Ipiranga, demonstrando que não há conexão entre estes.

A **Figura 3-6**, apresentada no parecer do Lactec (2020), mostra uma imagem de satélite de fevereiro de 2016, ou seja, após o evento de cheia que ocorreu em janeiro de 2016. Nesta imagem, apesar da grande quantidade de nuvens, é possível observar que a área da lagoa Monsarás não apresenta indicações de ter sido atingida pela cheia, ou seja, esta cheia pode não ter atingido o nível máximo de inundação.



Fonte: planet.com Apud Lactec, 2020.

Figura 3-6 - Figura 93 do parecer da Lactec, 2020 - Imagem de satélite Planet pós evento da cheia de 2016, em 09/02/2016. Retângulo em vermelho destaca a área da lagoa Monsarás.

4 - AQUÍFEROS DE DEGREGO

Este item apresenta a caracterização do aquífero granular costeiro, presente na área de Degredo com a finalidade de esclarecer a dinâmica hidrológica e assim verificar as possíveis hipóteses de contaminação indicadas na NT 02/2021. Este aquífero é caracterizado de acordo com a geologia da área, principalmente o tipo de permeabilidade das rochas. Sendo assim, os aquíferos granulares da região de Degredo estão relacionados à cobertura sedimentar, composta pelos sedimentos paleógenos da Formação Barreiras e quaternários dos depósitos litorâneos, que podem ser aluvionares fluviais e fluvio-marinhos.

Com o objetivo de esclarecer algumas das informações contidas na NT 02/2021, o presente documento irá destacar os **Aquíferos dos Depósitos Litorâneos - QI**, que compreendem os depósitos marinhos, geralmente formados por terraços arenosos, pântanos e mangues; e os depósitos continentais, que podem ser flúvio-lagunares e aluvionares, dando origem a aquíferos porosos, livres, descontínuos hidráulicamente, e que apresentam extensão limitada. São aquíferos com potencial local elevado, com vazões de até 11m³/h e capacidade específica média de até 7,2m³/h/m (MOURÃO et al., 2002). Esta exploração deve ser gerenciada a fim de garantir que o equilíbrio entre este aquífero e a cunha salina seja mantido.

A recarga destes aquíferos ocorre em sua maioria por infiltração em uma região (**Figura 4-2**) predominantemente coberta por Organossolos e Gleissolos Tiomórficos, ou seja, solos ácidos, que apresentam disponibilidade de metais e elementos químicos de forma natural. Os **itens 4.1 - Mapa Potenciométrico** e **4.2 - Áreas de Recarga** apresentam as características e detalhamento das zonas de recarga destes aquíferos.

Estas características, associadas à sazonalidade observada na área, com períodos de cheia e seca da região, ocasionando variação entre ambientes redutores e oxidantes, favorecendo a mobilidade destes elementos químicos em superfície, principalmente o ferro (Fe), mas também em menor grau, alumínio (Al), arsênio (As), cádmio (Cd), cobalto (Co), níquel (Ni), zinco (Zn) e outros elementos. Estes elementos são disponibilizados a partir da dissolução dos minerais presentes nestes solos. Sendo assim, a área apresenta, de forma natural, uma disponibilidade de metais e elementos inorgânicos que podem ser lixiviados para o aquífero, ou seja, a presença destes elementos não indica a presença de rejeito, ou influência do rejeito na qualidade da água do aquífero.

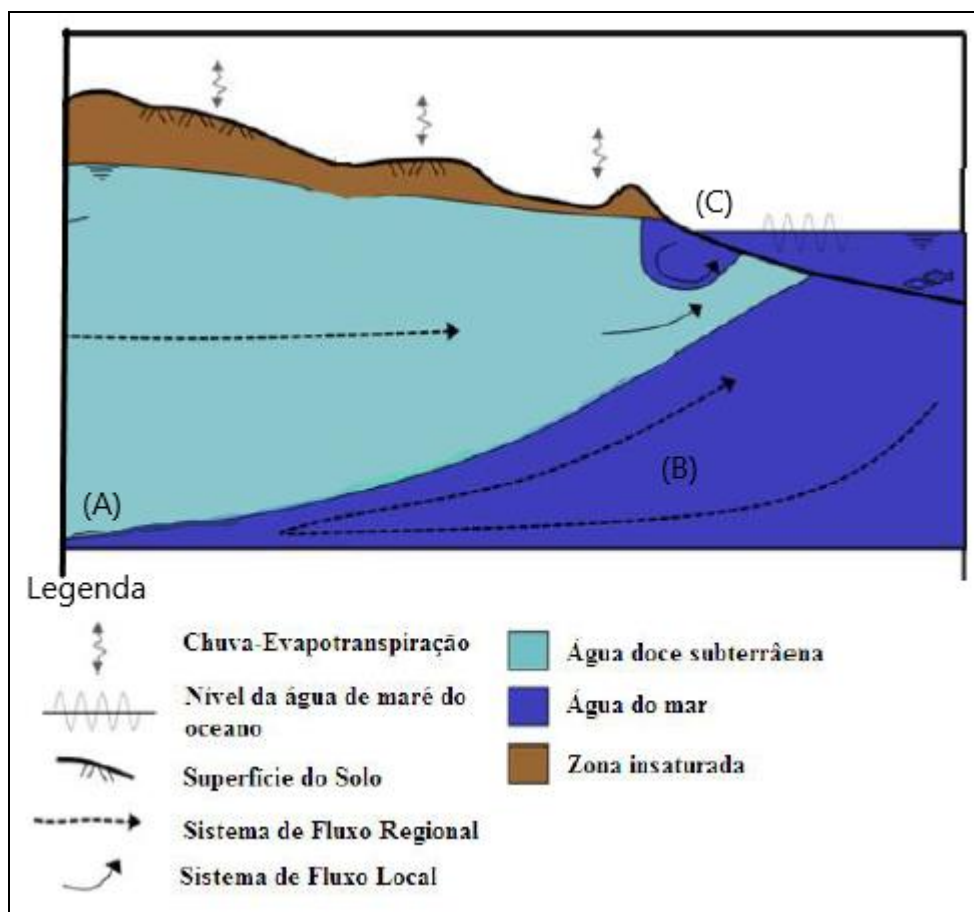
Segundo o Relatório de Estudos Hidrogeológicos na Região de Degredo, Linhares-ES (MDGEO, 2020) cerca de 84% dos poços cadastrados na área de Degredo apresentaram profundidades inferiores a 6 metros. Este mesmo estudo indica que 87% destes poços apresentam potencial de oxirredução (Eh) entre 0 e 300 mV o que caracteriza um ambiente de transição para oxidante. Além disso, em mais de 90% o pH verificado varia entre 5,0 e 7,0, ou seja, um pH levemente ácido à neutro, restringindo a mobilidade destes elementos disponíveis no solo conforme aumenta o pH e diminui o Eh.

Contudo, uma intensa exploração das águas subterrâneas pode potencializar a vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação (MOURÃO et al. 2002). Esta contaminação pode ser relacionada tanto às atividades antrópicas, quanto relacionada à variação da cunha salina. Por exemplo, estes poços podem apresentar sérias deficiências construtivas ou serem inadequadamente abandonados, se tornando um conduto para a entrada e propagação de compostos e elementos nocivos aos aquíferos. De fato, segundo estudo prévio desenvolvido na região de Degredo, os poços cadastrados não seguem o padrão para a construção estabelecido pelas normas brasileiras, aumentando a vulnerabilidade das águas subterrâneas à contaminação (TETRA TECH, 2019).

Já a cunha salina relaciona-se com o excesso de exploração da água destes aquíferos, causando um desequilíbrio e um avanço desta cunha em direção ao continente. Em uma situação natural, ou seja, em que não haja este desequilíbrio, o gradiente hidráulico do aquífero induz o fluxo de água doce em direção ao mar, mantendo a cunha salina numa posição de equilíbrio (**Figura 4-1**). Nestas condições a água doce, menos densa que a água salgada, flutua sobre a água salina delimitando uma interface difusa denominada zona de mescla (ALMEIDA, 2007).

Na zona de mescla ocorre uma pequena entrada de água salgada no aquífero, provocando uma perda de carga ao longo desta zona e a conseqüente diminuição da profundidade teórica que ocorreria para uma interface entre líquidos imiscíveis (CRUZ et al., 2006, apud ALMEIDA, 2007).

Estas características descartam a possibilidade de contaminação devido à entrada de água do mar (contaminada pela pluma de rejeito) no aquífero em quantidade suficiente para que haja uma contaminação.

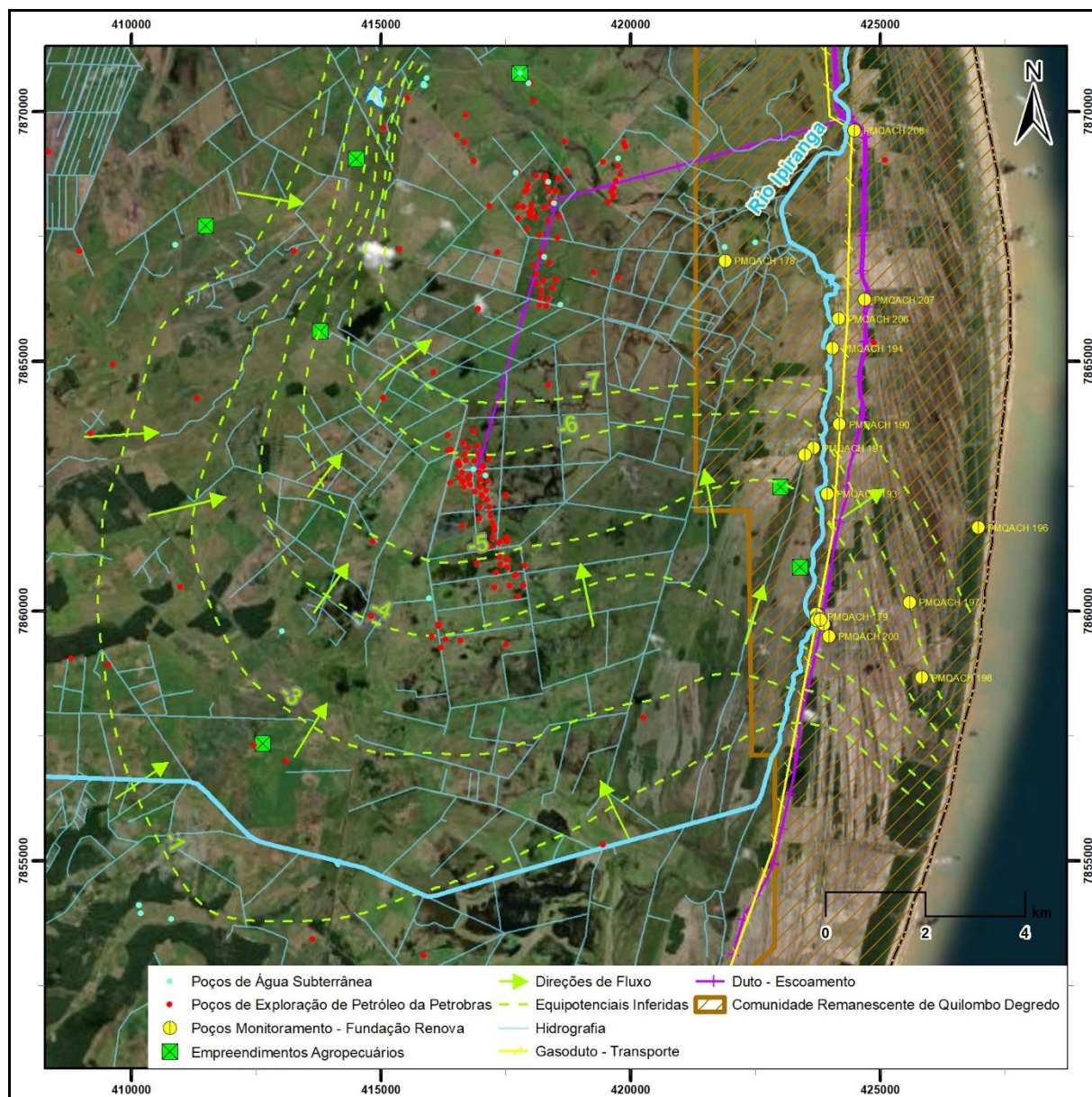


Fonte: Adaptado de Werner et al, 2013 Apud Oliveira, 2016.

Figura 4-1 - Desenho esquemático do fluxo natural da água doce em direção ao mar, mantendo a interface em equilíbrio. (A) indica o limite da intrusão da cunha salina; (B) circulação de acordo com a densidade da água do mar; (C) Zona de recirculação superior da água do mar.

4.1 - MAPA POTENCIOMÉTRICO

Conforme é possível observar na **Figura 4-2**, que ilustra o fluxo da água subterrânea na região de Degredo, elaborado pela MDGEO (2020), as cargas hidráulicas, definidas pelas cotas das linhas equipotenciais, variam de -1,0 a -7,0 metros.



Fonte: Equipotenciais Inferidas e Direções de Fluxo (MDGEO, 2020); Hidrografia (GEOBASES ES, 2015); Poços de Exploração, Gasoduto e Duto (EPE, 2021); Poços de Água Subterrânea (ANP, 2021).

Figura 4-2 - Mapa potenciométrico da região de Degredo.

Na imagem também é possível observar que as curvas equipotenciais possuem um espaçamento uniforme, que é consequência da geologia local ser caracterizada pela ocorrência de uma única unidade, formada por Depósitos Quaternários, e do terreno possuir um aspecto predominantemente plano. Nesse sentido, é importante contrapor a afirmação da NT 02/2021 de que “há na região que engloba o delta do rio Doce uma interação intensa de canais comunicantes em subsuperfície que influenciam, tanto a quantidade, quanto a qualidade das águas” (TETRA TECH, 2019), uma vez que esta é uma afirmação que caracteriza uma dinâmica que pode ocorrer de forma geral na planície deltaica do rio Doce. Entretanto, a análise das curvas equipotenciais elaboradas especificamente para a região de Degredo, permite avaliar que estas possuem um aspecto uniforme, sem indício de fluxo e uma interação mais intensa de canais comunicantes em subsuperfície, conforme apontado na NT 02/2021.

Em relação às linhas de fluxo, na **Figura 4-2** é possível verificar que estas indicam que há uma direção de fluxo preferencial da água subterrânea que vai da porção sudoeste para nordeste, em direção ao rio Ipiranga. Dessa forma, as linhas de fluxo preferencial em direção ao rio Ipiranga indicam que o fluxo subterrâneo na região de Degredo contribui para o fluxo de base deste rio e ajuda a compreender o comportamento efluente (água subterrânea alimenta o escoamento de base) dos rios existentes nessa porção da planície deltaica do rio Doce, o que limita a possibilidade de eventual contaminação do aquífero pelas águas superficiais do rio Doce, apontada na NT 02/2021.

Nesse contexto, é importante ressaltar que essa direção de fluxo faz com que as águas subterrâneas atravessem diversas atividades e intervenções na paisagem, como campos de produção de petróleo, dutos/gasodutos, empreendimentos agropecuários e canais de drenagem retificados sobre Gleissolos antes de alimentar o fluxo de base do rio Ipiranga, conforme ilustrado na **Figura 4-2**. Essas atividades e alterações na paisagem evidenciam que as águas subterrâneas na região de Degredo potencialmente sofrem com as problemáticas associadas a diversos atores e que intervenções como a abertura de canais, instalação de poços de petróleo e passagem de dutos ocorrem na região deste aquífero muito antes do rompimento da barragem (HERKENHOFF & PRATES, 2018; FIRMINO, 2020; FIOCRUZ, 2021).

Em relação à potencial troca com o mar, cabe destacar que as linhas de fluxo ilustradas na **Figura 4-2**, em sua porção leste, com sentido preferencial para nordeste, indicam que o fluxo da água subterrânea nessa porção da planície litorânea, no ambiente geomorfológico dos cordões arenosos, se dá do continente em direção ao mar. Ou seja, o mar configura um ponto de descarga da água subterrânea. Essa mesma dinâmica foi observada próximo à foz do rio Doce pela MDGEO (2016), cujos resultados do mapeamento de fluxo subterrâneo na região de Linhares apontaram para o mar, as lagoas e o rio Doce, como os principais pontos de descarga do aquífero.

4.2 - ÁREAS DE RECARGA

Conforme apresentado no estudo realizado pela MDGEO (2020), há na região de Degredo apenas um único sistema aquífero, denominado Sistema Aquífero Quaternário (SAQ), que é formado por sedimentos de origem fluvial e fluviomarinhas de idade quaternária, que pertencem geologicamente à unidade dos Depósitos Quaternários.

O SAQ é um sistema aquífero granular no que se refere à porosidade e um sistema aquífero livre no que diz respeito ao confinamento, sendo também caracterizado como raso em relação a sua profundidade (MDGEO, 2020; CTA, 2010).

Nesse sistema de aquífero, que comumente é chamado de lençol freático ou aquífero livre, não há condições artesianas de confinamento, sendo uma das suas principais características a sua recarga por meio das águas pluviais (FITTS, 2015). Esse aspecto reconhecido da recarga de um sistema aquífero livre por meio das águas pluviais foi demonstrado pela MDGEO (2020) especificamente para região de Degredo, através da caracterização isotópica ^{18}O e ^2H . De acordo com os resultados deste estudo, “foi possível verificar que apenas os pontos subterrâneos possuem elevado excesso de deutério, indicando a recarga rápida do aquífero e remete similaridade com a água da chuva”.

Dessa forma, em função do SAQ configurar um aquífero livre, em associação aos dados isotópicos, é possível considerar que a sua dinâmica de recarga se dá, sobretudo, por meio da infiltração da água da chuva na ampla planície litorânea formada por Depósitos Quaternários.

A Figura 4-3 ilustra os Depósitos Quaternários, que configuram a principal área de recarga do SAQ.

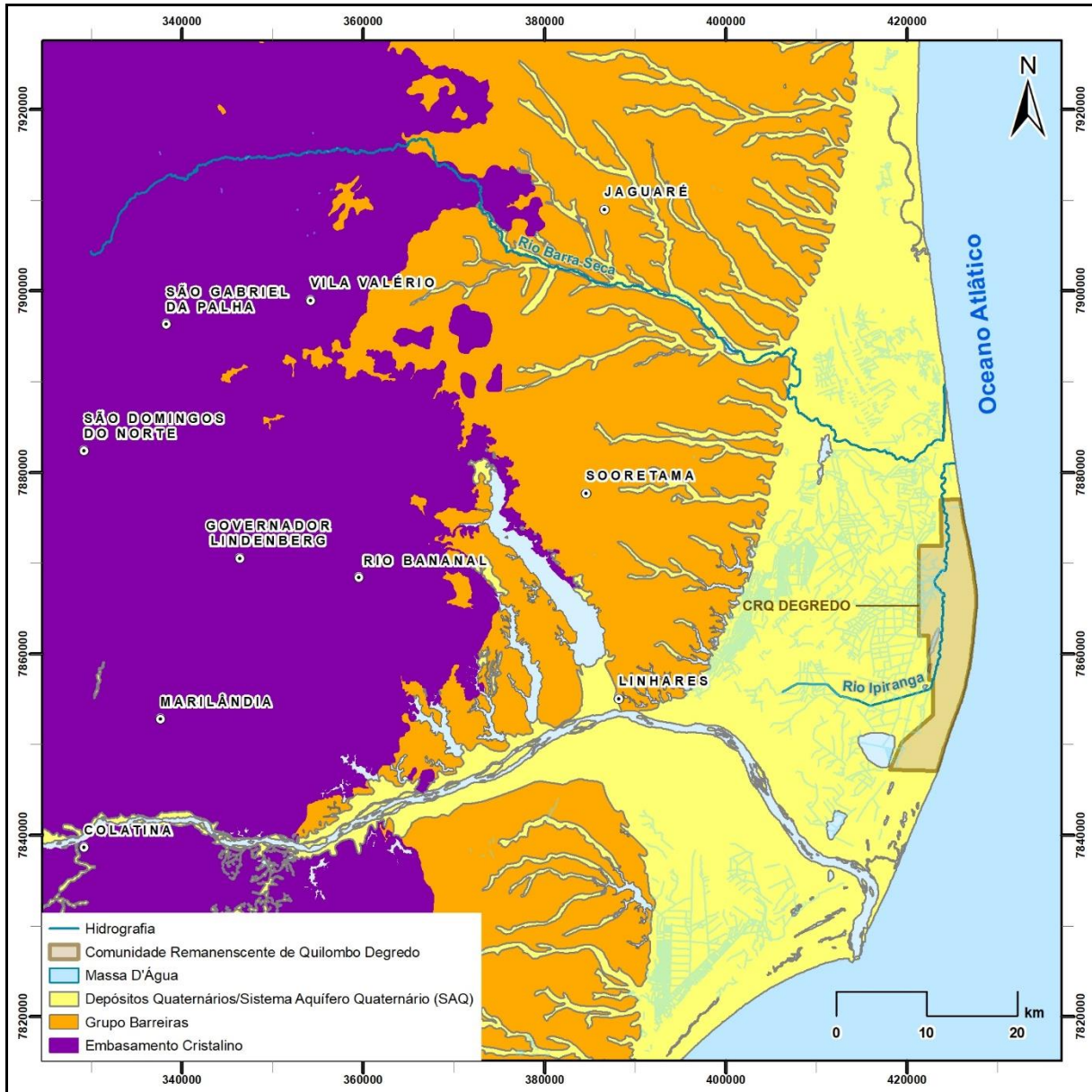


Figura 4-3 - Sistema Aquífero Quaternário (SAQ) em associação aos Depósitos Quaternários.

Em relação às demais fontes de recarga para o SAQ, dada a sua natureza porosa e superficial, é possível ponderar a contribuição por meio da drenagem superficial que atravessa os Depósitos Quaternários. Entretanto, conforme apontado na NT 02/2021, a troca entre a água superficial e a água subterrânea não pode ser descartada, em termos conceituais, mesmo que em pequena escala, o que contribui para o entendimento à luz das análises isotópicas apresentadas pela MDGEO (2020) de que a principal fonte de recarga do SAQ é a água da chuva.

Da mesma forma, o cenário de troca entre a água subterrânea, os rios e o mar, em função da intensificação do consumo, com a eventual inversão do fluxo, de rio efluente para rio influente, é um modelo conceitual, sem evidências na comunidade de Degredo, onde não há o relato dos moradores de rebaixamento do nível d'água. Dessa forma, conforme apontado na NT 02/2021, o fluxo d'água comumente vai da água subterrânea para a água superficial. Para que isso ocorra, se corrobora que a água da chuva seja a principal fonte de recarga do SAQ em que a comunidade de Degredo está inserida. Isto porque, para que o contrário ocorresse, haveria um notório rebaixamento de nível dos poços utilizados pelos moradores de Degredo.

Em relação à afirmação da NT 02/2021 de que o próprio estudo da Tetra Tech (2020) confirma que os fluxos subterrâneos podem variar “dependendo dos períodos chuvosos ou de estiagem”, esta afirmação está descontextualizada, uma vez que a variação indicada em nenhum momento aponta para a inversão do fluxo, mas sim a uma variação natural do espaçamento entre as linhas potenciométricas em função de alterações nas cargas hidráulicas, que justamente estão associadas ao regime pluviométrico e corroboram a avaliação de que da água da chuva constitui a principal fonte de recarga do SAQ.

No que se refere à afirmação realizada na NT 02/2021, em referência ao Estudo de Impacto Ambiental (EIA) das Usinas Termoelétricas Escolha e Cacimbas, de que “*no decorrer do período chuvoso os poucos cursos d'água existentes na região contribuem para a recarga destes aquíferos ao transbordarem para as áreas adjacentes às suas calhas principais*” (CTA MEIO AMBIENTE, 2010), novamente está descontextualizada, uma vez que não considera que a grande maioria dos cursos d'água existentes na região são canais de drenagem retificados, que justamente são alimentados pelo aquífero freático da região, uma vez que as suas áreas de contribuição estão inseridas dentro do SAQ. Nesse sentido, é importante ressaltar que o próprio rio Ipiranga, que atravessa a comunidade de Degredo, possui a sua área de drenagem inserida inteiramente dentro do SAQ.

Inclusive, o parágrafo anterior do EIA das Usinas Termoeletricas Escolha e Cacimbas (CTA MEIO AMBIENTE, 2010), aponta que o aquífero da região é *“abastecido essencialmente pelas águas pluviais que incidem diretamente sobre a área de sua ocorrência e, neste sentido, a área de recarga deste aquífero é representada pelos próprios sedimentos arenosos inconsolidados”*, o que, mais uma vez, reforça o entendimento de que a água da chuva configura a fonte fundamental de recarga do SAQ.

De toda maneira, cabe destacar que a dinâmica de inundação na região de Degredo está marcadamente associada ao transbordamento excepcional do rio Barra Seca. A bacia de drenagem desse rio é composta por rochas cristalinas em seu alto curso, por rochas sedimentares associadas ao Grupo Barreiras em seu médio curso e pelos Depósitos Quaternários existentes em seu baixo curso. Próximo a Degredo, o rio Barra Seca apresenta uma sinuosidade sobre os Depósitos Quaternários e sua planície de inundação foi fortemente modificada por meio da abertura de canais de drenagem e retificação de canais tributários existentes, que aumentaram a velocidade de escoamento e alteraram a dinâmica de inundação.

Outro aspecto da dinâmica de recarga do SAQ na região de Degredo que deve ser abordado é a distinção entre o processo de inundação, associado ao transbordamento excepcional no leito maior dos canais fluviais, como às margens do rio Barra Seca, e da grande ocorrência de áreas úmidas que são observadas na planície deltaica do rio Doce.

A ampla incidência dessas áreas úmidas sobre os Depósitos Quaternários, se dá, sobretudo, pela proximidade do lençol freático com a superfície, e não pelo transbordamento dos rios que recortam a região. Essa dinâmica pode ser evidenciada pela ampla ocorrência de Gleissolos (IBGE, 2016), cujos processos pedogenéticos relacionados a sua formação (gleização) ocorrem em função da existência de um ambiente redutor, onde há saturação por água.

Os solos dessa classe, portanto, são caracterizados por serem permanentemente, ou periodicamente saturados e, independentemente da situação, a água do solo pode se elevar por ascensão capilar (EMBRAPA, 2018), atingindo a superfície, criando as grandes áreas úmidas observadas na região de Degredo, que, historicamente, foram drenadas pela abertura de canais. Por outro lado, solos cujos processos pedogenéticos ocorrem em associação à dinâmica de inundação, como os Neossolos Flúvicos, são observados na região apenas de forma secundária, como componentes das unidades de mapeamento de solos (IBGE, 2016).

Dessa forma, diante do exposto, é possível concluir que a área de recarga do sistema aquífero em que a comunidade de Degredo está inserida é representado pela unidade geológica dos Depósitos Quaternários, sendo a água da chuva a sua principal fonte de recarga.

5 - O REJEITO DA BARRAGEM DE FUNDÃO

5.1 - PH DO REJEITO

Em amostragem realizada na barragem de Fundão, obtendo-se rejeito remanescente e, ainda, material sedimentado entre as barragens de Fundão e de Santarém, as análises indicaram ausência das características de inflamabilidade ou corrosividade, sendo que os valores registrados para pH variaram entre 7 e 9 (LACTEC, 2018). Inclusive, os resultados do monitoramento emergencial conduzido pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) na sequência do rompimento da barragem mostram valores de pH das águas do rio Doce superiores (mais alcalinas) que os observados para as médias históricas dos respectivos pontos (IGAM, 2016). Apesar destas evidências, a NT 02/2021 propõe a seguinte inferência:

“Esta redução do pH pode ter acontecido por diversos motivos, mas não se pode descartar a possibilidade de influência por parte da presença em potencial do rejeito na contribuição de seus constituintes químicos e o conseqüente incremento dos mesmos na água”.

Por outro lado, é de amplo conhecimento que a região apresenta a ocorrência natural de águas tomórficas extremamente ácidas (LANI et al., 2009), relacionadas à formação de solos ácidos sulfetados (FIRMINO, 2020). Característica essa que é particular a áreas com solos hidromórficos próximos e/ou com influência da zona costeira.

5.2 - COMPOSIÇÃO DO REJEITO

A fim de aprofundar a análise sobre os resultados da comparação trazida na NT 02/2021, onde foram destacados alguns parâmetros que apresentaram valores mais altos em um estudo feito em 2020 (MDGEO, 2020), em relação a outros de 2008 (ZON, 2008) e 2010 (CTA, 2010), segue abaixo uma síntese sobre a constituição do rejeito amostrado em locais junto à barragem de Fundão, bem como depositados no trecho localizado entre Santarém e a UHE Risoleta Neves (Candongá).

Para balizar os resultados encontrados no rejeito apresentado na Tabela 1 da NT 02/2021, serão utilizados os valores reportados para solos pelo Atlas Biogeoquímico da Bacia do rio Doce (CPRM, 2016), bem como os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 420/2009. Os valores do

estudo da CPRM foram adotados pois se referem às ocorrências da própria bacia do rio Doce. Dessa forma, pode-se comparar as concentrações observadas no rejeito, com as de ocorrência da própria bacia do rio Doce. Assim, cria-se uma base para se avaliar a contribuição do rejeito para o aumento, ou não, das concentrações dos elementos avaliados na região deltaica do rio Doce. O estudo da CPRM foi publicado logo após o rompimento da barragem de Fundão, justamente para ajudar nas avaliações que seriam conduzidas, pois resulta de um longo trabalho de levantamento que abrange toda a bacia do rio Doce, com dados obtidos entre 2010 e 2011. O método de tratamento das amostras do estudo da CPRM para solubilizar os metais do solo foi por acidificação em água régia (HNO₃:HCl, 3:1) a quente, sendo similar à seguida em LACTEC (2018) (SASTRE et al., 2002). Já a Resolução CONAMA nº 420 de 2009 dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.

A NT 02/2021 propõe que o rejeito da barragem de Fundão contribuiu para o incremento dos elementos - alumínio, ferro, manganês e outros elementos - na água subterrânea da região de Degredo a partir de hipótese de que a presença de rejeito no solo da região pode contribuir para o aumento da fração lixiviada para o aquífero.

Quadro 5-1 - Concentrações máximas dos elementos metálicos (mg/kg) do rejeito da barragem de Fundão, excluindo-se os “outliers”.

Elemento	Lactec (2020)	Grupo EPA (2019) (mg/kg)	Máxima Rejeito Barrado (mg/kg)	Lactec (2020)	Resolução CONAMA nº 420 de 2009 (solo mg/kg)	
	Rejeito Barrado - Fundão (mg/kg)			Rejeito Depositado - Santarém - Candonga (mg/kg)	Prevenção	VI Agrícola
Alumínio	5.145,6	6.605	6.605	2.881,7	-	-
Arsênio	11,72	< 2,3	12,8	7,6	15	35
Cádmio	0,03	< 1,5	1,5	0,01	1,3	3
Cromo	79,91	84	84	15,6	75	150
Cobre	20,44	4,9	59,6	5,7	60	200
Ferro	115.474,5	24.371	115.475	88.286,5	-	-
Mercúrio	0,13	< 0,15	0,15	0,13	0,5	12
Manganês	606,2	859	859	570,5	-	-
Chumbo	5,75	15,5	15,5	3,3	72	180
Níquel	19,5	9,55	28	8,5	30	70
Zinco	76,2	46,8	76	19,8	300	450
Prata	0,02	< 2,25	2,25	0,02	2	25
Bário	22,1	36,6	36,6	45,8	150	300
Cobalto	15,7	< 1,87	45,84	2,3	25	35
Antimônio	0,8	< 1,5	1,5	0,4	2	5
Selênio	2,1	< 2,25	2,25	0,0	5	-

Fonte: Adaptado da NT 02/2021, Golder (2021).

Como pode ser observado no **Quadro 5-1**, as concentrações máximas observadas de rejeito barrado foram superiores às concentrações de rejeito depositado avaliado. Dessa forma, é conservador comparar as concentrações máximas de rejeitos aos valores orientadores estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 420 de 2009, para fins de avaliação de gerenciamento de áreas contaminadas a partir do rejeito como “fonte de contaminação”.

As máximas concentrações detectadas no rejeito barrado de Fundão, para os elementos arsênio, cádmio, cobre, mercúrio, chumbo, zinco, níquel, prata, bário, cobalto, antimônio e selênio, apresentadas na NT 02/2021, se encontram abaixo dos valores de prevenção estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 420/2009. Cromo foi o único elemento cuja concentração superou o valor de prevenção estabelecido na referida Resolução, no entanto permaneceu abaixo de todos os valores de investigação definidos (agrícola, residencial e industrial).

Em relação aos elementos ferro, alumínio e manganês, considerados elementos de ocorrência natural, observando o **Quadro 5-1**, a maior concentração do elemento alumínio observado no rejeito de Fundão foi de 6.605 mg/kg, o que fica abaixo da última classe de valores (> 8.480 mg/kg) reportada pela CPRM para os solos da bacia do rio Doce. Já para ferro, o maior valor encontrado no rejeito de Fundão, de 115.475 mg/kg, foi próximo da metade do máximo (200.000 mg/kg) da CPRM. Enquanto que manganês no rejeito apresentou concentração máxima (859 mg/kg) equivalente a um terço da máxima (2.774 mg/kg) registrada pela CPRM. Como descrito, os valores observados no rejeito, ou são inferiores às máximas ocorridas nos solos da bacia do rio Doce obtidas pela CPRM, ou são similares a estas. Até o momento, os estudos encontrados na literatura que apresentam dados de Al, Fe e Mn no solo de regiões próximas à área de estudo de um período anterior ao rompimento da barragem de Fundão utilizam uma abordagem com viés mais agrônômico, e não toxicológico. Desta forma, estes acessam a fração mais trocável destes elementos, adotando reagentes com menor capacidade de solubilização que a adotada pelos estudos da CPRM (2016) e LACTEC (2018). Apesar desta limitação, um dos estudos destaca a elevada concentração de alumínio na área de estudo, o que levou a seleção de sistemas radiculares tolerantes a estas condições (RIBEIRO, 2011).

Por fim, cabe destacar que o relatório do Plano de Manejo de Rejeitos do Trecho 16 (GOLDER, 2021b), o qual investigou a presença do rejeito na região de extracalha em propriedades impactadas (conforme o relatório gerencial - CT-GRSA nº 05/2019), ou que utilizassem a água do rio Doce para irrigação, não identificou a presença de rejeito em nenhum dos pontos amostrados.

6 - QUALIDADE AMBIENTAL DO RIO DOCE E LAGOA MONSARÁS

6.1 - LAGOA MONSARÁS

A lagoa Monsarás é monitorada pelo PMQQS (Programa de Monitoramento Quali-quantitativo de água e sedimentos) desde agosto de 2017, com registros de matrizes ambientais, incluindo água, sedimento e testemunho de sedimentos desde essa data. Para esclarecimentos desse item serão usados os resultados do PMQQS e de estudos realizados na região do baixo rio Doce (CAL/UTE LINHARES, 2008, MDGEO, 2016, MDGEO, 2020, LACTEC, 2020, GOMES et al., 2017, DUARTE, 2021, MARGALEF, 1993, LIKENS, 1992).

A NT 02/2021 afirma que: *“na cheia de 2016, conforme relatado pela Nota Técnica Conjunta GTECAD/CQA-GCA/CAIA nº 013-2016, ocorreu o contato da lagoa Monsarás pelos rejeitos, tanto através do canal de ligação (entre o rio Doce e a Lagoa Monsarás) como pelo mar, pois houve a quebra da barra da lagoa Monsarás (...)*”. De acordo com essa argumentação, a lagoa Monsarás estaria contaminada pelo rejeito da barragem do Fundão por via dulcícola ou marítima. Dados limnológicos da lagoa Monsarás anteriores ao rompimento da barragem de Fundão são escassos na bibliografia, para que se conheçam suas condições prístinas e se consiga fazer um comparativo do potencial de contaminação da lagoa com a passagem dos rejeitos. Porém, um diagnóstico ambiental na bacia do rio Monsarás, que deságua na lagoa Monsarás, foi realizado em 2008 e apresentou resultados de alumínio (0,396 mg/L), ferro (3,16 mg/L) e manganês (1,17 mg/L) acima dos valores preconizados pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para água doce classe 2 (CAL/UTE LINHARES, 2008). Ressalta-se que esses valores são referentes ao rio Monsarás, porém são resultados que indicam que as características da região, com teores desses metais acima dos limites preconizados, já ocorriam antes do rompimento da barragem de Fundão. Entretanto, relatos de moradores e reportagens jornalísticas informavam sobre a contaminação pela cheia do rio Doce, em 2016, deixando a lagoa imprópria para banho e pesca naquela ocasião, conforme declaração por reportagem (TELEJORNAL BOM DIA ES, 2016 <https://globoplay.globo.com/v/4777632/>). Contudo, os registros oficiais da proibição de banho e pesca, conforme informado na reportagem, não foram localizados. Por causa da referida escassez bibliográfica anterior ao rompimento, serão utilizados como referência os dados posteriores a novembro/2015, incluindo o próprio PMQQS. Assim, ainda que os dados apresentados sejam posteriores, espera-se que indícios de que os rejeitos tenham adentrado o sistema lacustre sejam observados ainda por algum período, seja na água superficial, subterrânea ou sedimento.

Compreende-se que os relatos de moradores da região se justificam, a partir de um cenário de percepção em relação ao evento de Rompimento da Barragem de Rejeitos de Fundão. Contudo não há como afirmar hipótese de contaminação das águas da lagoa Monsarás por metais a partir da cheia de 2016, uma vez que o registro de resultados no rio Monsarás já apresentava concentrações de alumínio, ferro e manganês, acima dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, antes do rompimento da Barragem de Rejeitos de Fundão (CAL/UTE LINHARES, 2008). Importante mencionar que a região de Degredo fica distante da lagoa Monsarás e recebe contribuição de outras bacias hidrográficas, como a do rio Ipiranga, por exemplo.

Uma abordagem importante a ser feita é a respeito dos resultados de simulação de cheias (LACTEC, 2020), onde cabe destacar que:

- Os resultados da simulação da cheia de novembro e dezembro de 2015 sugerem que não houve troca de água do rio Doce para as lagoas na entrada de Linhares-ES. Por outro lado, a simulação da cheia de 2016 indica que essas lagoas poderiam ter recebido água da calha do rio Doce (LACTEC, 2020). Contudo, existem limitações no método, reconhecidas pela própria Lactec, quando indicam que *“as limitações de representação de feições internas no modelo de terreno também podem resultar em superestimativa de áreas inundáveis”* (LACTEC, 2020). Além disso, a própria água da chuva supersatura o solo de áreas influenciadas diretamente pelo lençol freático em períodos chuvosos, elevando o nível d'água e aumentando a carga hidráulica.

Ainda de acordo com a NT 02/2021, na sequência da passagem informada acima, tem-se que: *“(...) Já na cheia do ano de 2020, conforme relatado por representantes da comunidade, as águas do rio Doce adentraram o canal de ligação entre o rio Doce e a lagoa Monsarás, como a própria Lagoa”*. Para avaliar tal afirmação, foi dada preferência a utilização dos resultados do PMQQS, uma vez que os resultados passam por processos de avaliação de consistência de dados pelo QA/QC e, principalmente, porque são validados por especialistas que compõem o GTA-PMQQS, garantindo a credibilidade dos resultados quando publicados. Foram verificados os resultados do PMQQS, considerando as matrizes - água, sedimento e testemunho de sedimento - em todo o período monitorado até dezembro/2020, porém dando destaque a primeira parte do período chuvoso de 2020, de janeiro a março/2020. Para contrapor os pontos levantados nessa narrativa, também serão apresentados resultados de outras lagoas monitoradas no PMQQS.

No período chuvoso de 2020 (considerando janeiro a março), os resultados de cádmio total e chumbo total na água ficaram abaixo do LQ. Alumínio dissolvido, arsênio total e ferro dissolvido apresentaram valores máximos nesse período, todos ocorridos no ponto LMN 01, próximo ao canal de ligação com o rio Doce. No entanto, esses valores não se repetiram para o corpo central da lagoa, no ponto LMN 02 (Figura 6-1). A NT 02/2021 cita que as águas do rio Doce adentraram o canal de ligação e a própria lagoa, contudo, esses aumentos nas concentrações de metais foram detectados somente no canal (LMN 01), que possui características bem distintas do corpo da lagoa.

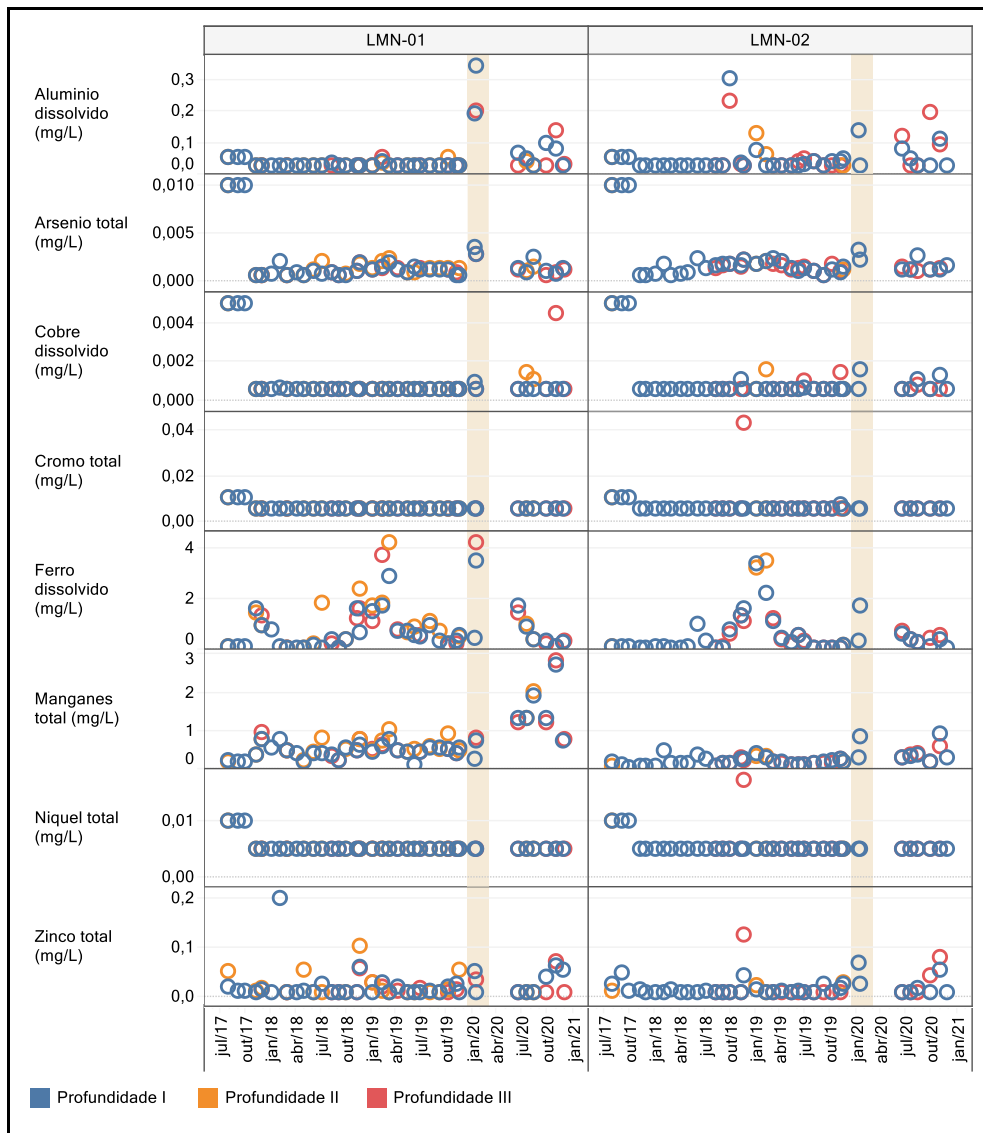


Figura 6-1 - Resultados do monitoramento feito pelo PMQS, de agosto/2017 a dezembro/2020. A faixa indica o período chuvoso de 2020.

Uma possível alteração de concentrações por metais na água da lagoa Monsarás atingiria o sedimento, uma vez que as partículas em suspensão quando chegam a um ambiente lântico tendem a sedimentar. Entretanto, no sedimento da lagoa Monsarás não se verificou aumento das concentrações dos principais metais que constituintes do rejeito (ferro, alumínio e manganês) e de arsênio (Figura 6-2). A Figura 6-2 destaca que o evento de cheia de 2020, ainda que tenha adentrado no canal de ligação da lagoa Monsarás com o rio Doce (rio Monsarás), não provocou alteração/aumento da concentração do sedimento de ambos os pontos. Com destaque para o ponto LMN 01, localizado no canal, este apresentou maiores teores de metais no sedimento em julho/2018, período seco, o que sugere que eventos de cheias não comprometem a qualidade do sedimento desta lagoa. Portanto, conclui-se que potencial contaminação dos poços de Degredo foi atribuída a lagoa Monsarás de maneira equivocada, uma vez que há uma limitação de alcance da influência do rio Doce no sedimento da própria lagoa Monsarás, conforme observado na Figura 6-2.

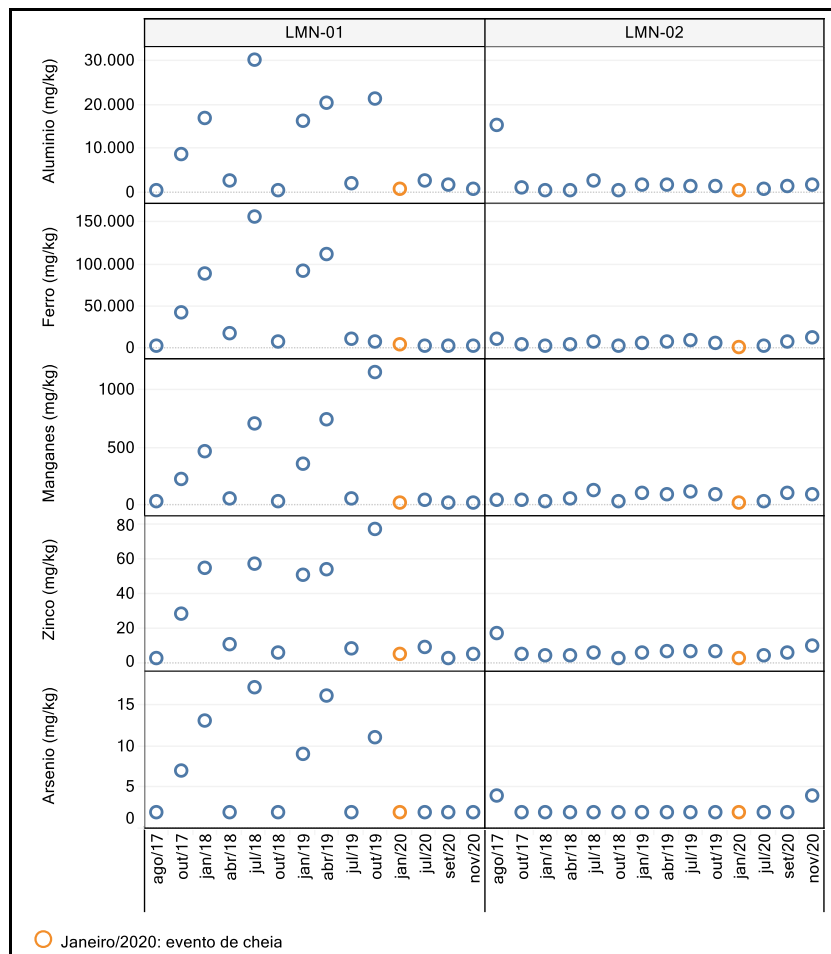


Figura 6-2 - Resultados de alumínio, ferro, manganês, zinco e arsênio no sedimento da lagoa Monsarás, no período de agosto/2017 a dezembro/2020.

De acordo com Margalef (1993) o sedimento acumulado no fundo de lagos registra as alterações ambientais ocorridas ao longo do tempo. Seguindo a argumentação, foram avaliados os resultados de testemunho de sedimentos da lagoa Monsarás para os metais alumínio (Figura 6-3), ferro (Figura 6-4) e manganês (Figura 6-5). Merece atenção que no ponto LMN 01 foi observado aumento de alumínio associado a frações granulométricas mais finas na camada superficial de janeiro/2018, mas em LMN 02 essa variação não foi marcada no mesmo período. O mesmo ocorreu para ferro e manganês, sendo que neste último, foi identificado aumento de manganês nas camadas superficiais de junho/2019 e janeiro/2020, mas associados a frações de areia. Essa avaliação reforça a limitação da influência do rio Doce na lagoa Monsarás, mesmo que em períodos de cheia.

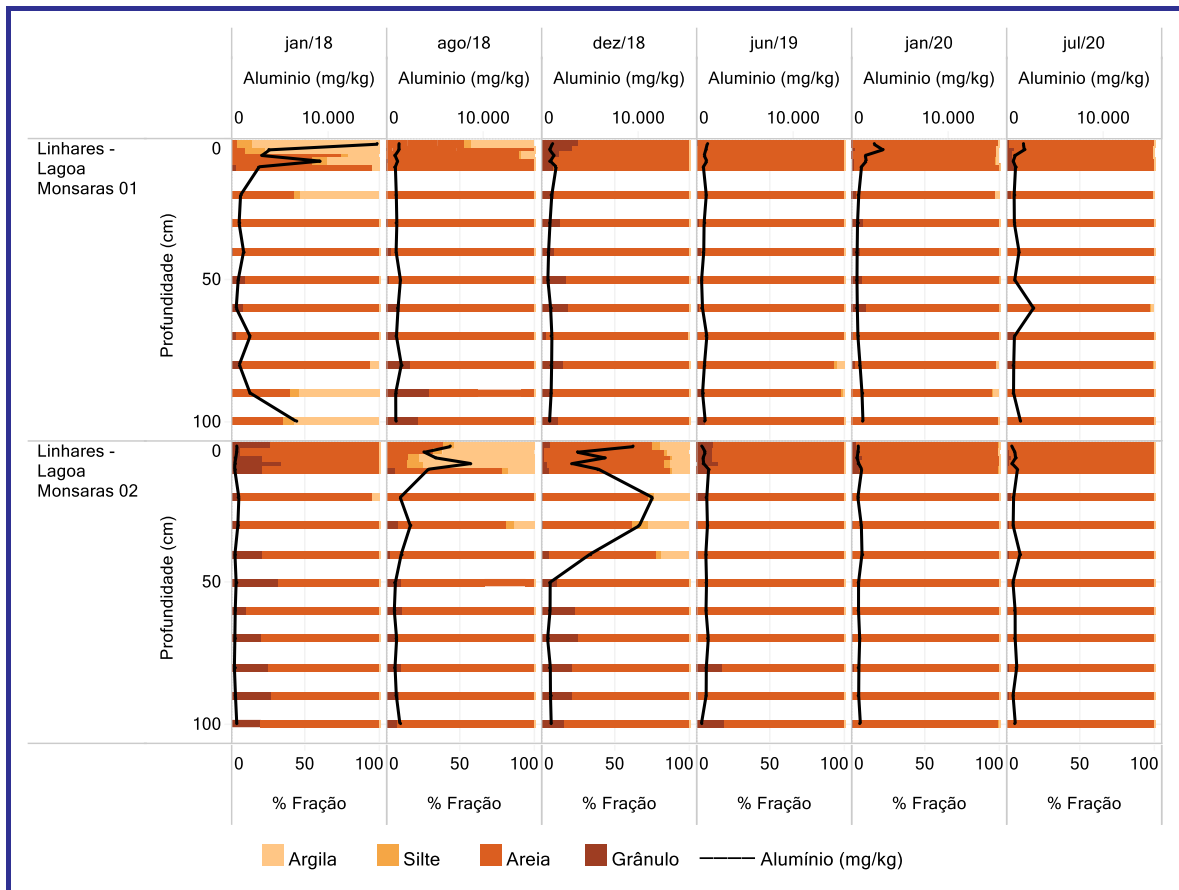


Figura 6-3 - Avaliação de alumínio no testemunho de sedimento da lagoa Monsarás, de janeiro/2018 a julho/2020.

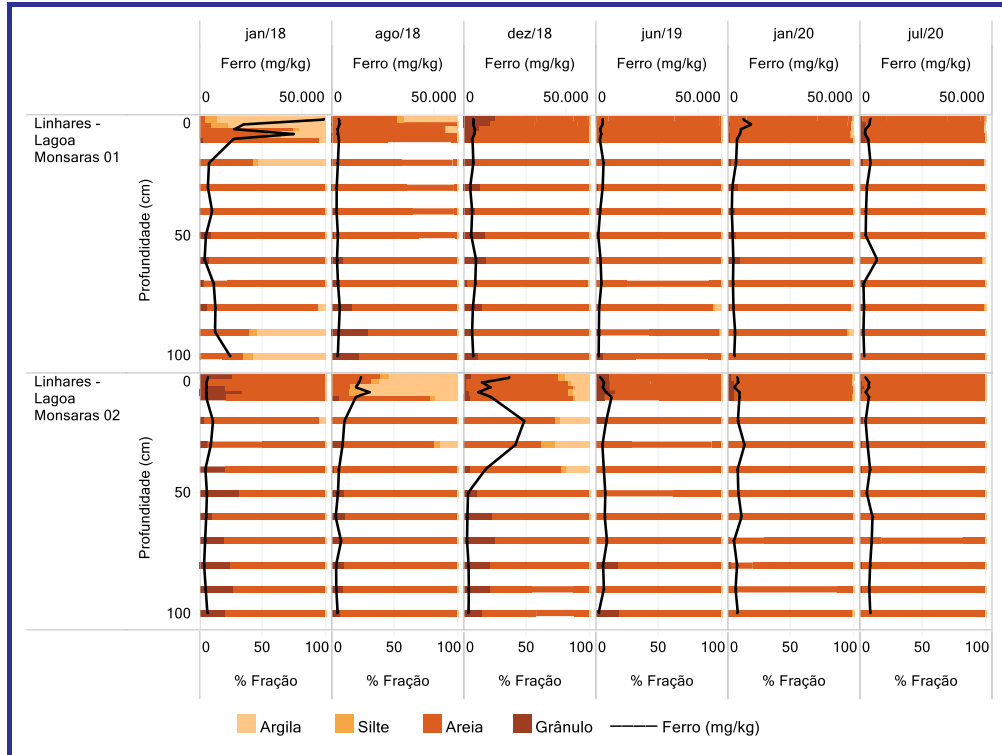


Figura 6-4 - Avaliação de ferro no testemunho de sedimento da lagoa Monsarás, de janeiro/2018 a julho/2020.

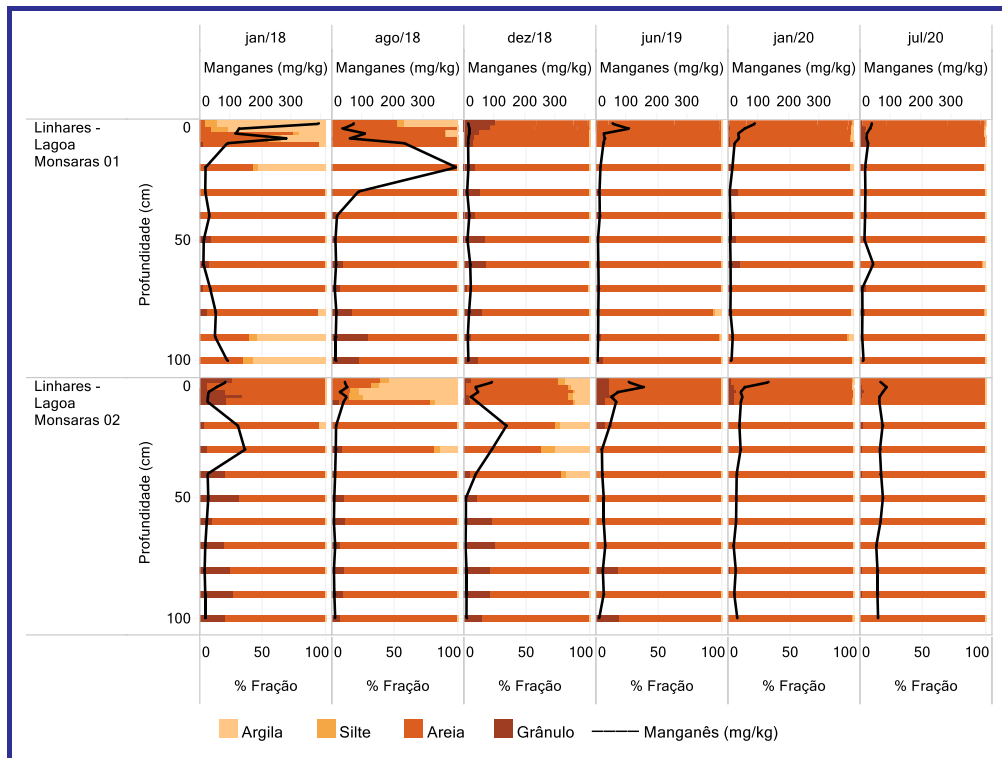


Figura 6-5 - Avaliação de manganês no testemunho de sedimento da lagoa Monsarás, de janeiro/2018 a julho/2020.

Além disso, a lagoa Monsarás, adjacente ao rio Doce, no município de Linhares, dista cerca de 13 km da delimitação sul da região de Degredo e não faz conexão com o rio Ipiranga, outro equívoco indicado na NT 02/2021: *“Na comunidade do Degredo, esta comunicação ocorre, principalmente, através da Lagoa Monsarás, da qual há contato através dos paleocanais existentes na região e se conecta ao rio Ipiranga”*.

Apesar de poderem estar isolados, os lagos/lagoas são dependentes das interações com outros sistemas aquáticos, e podem apresentar respostas às atividades antrópicas que ocorrem no seu entorno (LIKENS, 1992). As trocas de água da lagoa Monsarás ocorrem pelo canal de ligação com o rio Doce e pela abertura da barra com o mar, sem conexão com o rio Ipiranga e não tem relação com a qualidade da água superficial ou subterrânea dentro da delimitação da região de Degredo.

A NT 02/2021 também informa que o pH das águas superficiais monitoradas na região de Degredo foi baixo em dezembro/2019, no seguinte trecho: *“A disponibilidade desses metais com certeza foi influenciada pela redução extrema do pH (~2,7) no momento da amostragem, esta redução do pH pode ter acontecido por diversos motivos, mas não se pode descartar a possibilidade de influência por parte da presença em potencial do rejeito na contribuição de seus constituintes químicos e o consequente incremento dos mesmos no água”*.

Como esse ponto indica as lagoas da região de Degredo, a argumentação a seguir não vai se limitar somente a lagoa Monsarás, porém vai igualmente utilizar os resultados do PMQQS, e de outras lagoas do litoral do ES ou que tiveram contato com rejeitos de mineração. A abordagem comparativa será importante porque a acidificação de um corpo hídrico superficial ou subterrâneo pode ocorrer devido a características do solo, a chuva ácida ou a efluentes contendo substâncias ácidas e não pelo potencial contato com o rejeito, cuja caracterização foi abordada no item 5 - O Rejeito da Barragem de Fundão, e afastou tal hipótese.

6.2 - ESTUÁRIO DO RIO DOCE

Na NT 02/2021 foi relatado que: *“na cheia de 2016, conforme relatado pela Nota Técnica Conjunta GTECAD/CQA-GCA/CAIA nº 013-2016, ocorreu o contato da lagoa Monsarás pelos rejeitos, tanto através do canal de ligação (entre o rio Doce e a Lagoa Monsarás) como pelo mar, pois houve a quebra da barra da lagoa Monsarás (...)”* e que *“há indícios que o contato das terras de Degredo com o rejeito se deu de duas formas: pelo mar e por terra. Pelo mar, os estudos Tetrattech (2016), Magris et al. (2019), COPPETEC (2020) e Lactec (2020a) demonstram*

uma deposição na Costa de Degredo.” Para direcionar a argumentação, espera-se que uma área que recebeu o rejeito diretamente, como a foz do rio Doce, possua alterações marcantes em relação àquela que teve contato com o rejeito somente no evento da cheia de 2016. Nesse sentido, foi avaliado o estudo realizado por Gomes et al. (2017), que investigou metais no sedimento do estuário do rio Doce, desde 11 dias antes da chegada da pluma de rejeitos até 2 dias após. Além disso, comparou a granulometria desses sedimentos e fez uma análise de parâmetros básicos medidos em campo. Os resultados de pH, Eh e temperatura da água apresentaram estabilidade nas 2 fases (antes e após a passagem da pluma), apenas com um ligeiro aumento na saturação de oxigênio dissolvido. Os metais alumínio, ferro, zinco e bário aumentaram no sedimento 2 dias após a passagem da pluma. A granulometria de sedimentos apresentou significativa diminuição de tamanho após o desastre, com maior proporção de argila, em virtude da lama. Isso caracteriza a influência de deposição do rejeito nessa área, uma vez que essas são as frações predominantes de sua composição (LACTEC, 2018). Portanto, a região da foz que recebeu rejeito diretamente apresentou granulometria fina (argila, principalmente), pH, Eh e temperatura da água estáveis, diferente do que, atualmente, é encontrado nos resultados do estuário do rio Doce, sendo equivocada a afirmação contida na NT 02/2021 acerca do contato com rejeitos ter ocorrido pelo mar.

Ainda, o Ofício n. 005/2021 - CT-IPCT/CIF, de 16 de março de 2021 descarta a hipótese de que o contato com o rejeito ocorreu pela entrada da água do mar, de acordo com o trecho: *“Sobre as conclusões do estudo da Tetra Tech, o ofício cita: “Os estudos indicaram que há baixa probabilidade de ocorrência de contaminação, tendo em vista que para sua ocorrência é necessário o atendimento simultâneo de 3 premissas: maré anômala; redução na vazão dos rios; e a pluma de sedimentos estar no local nesse mesmo momento. Sendo assim, não há evidências suficientes para afirmar uma contaminação dos rios proveniente do mar”. Ressalta-se que o estudo da Tetra Tech avaliou uma hipótese levantada anteriormente pelos moradores da CRQ do Degredo de que a pluma de rejeitos chegou ao mar, e, do mar, entrou pelo contra-fluxo do rio Ipiranga. Tal hipótese foi descartada no estudo do componente quilombola elaborado pela Herkenhoff & Prates (2017) e foi também descartada pelos autores da Nota Técnica, por isso essa hipótese nem foi desenvolvida na Nota Técnica no 02/2021/CTIPCT/CT-Bio/CT-Saúde/CT-GRSA/CT-SHQA/CIF”*. Portanto, tal explanação acima foi necessária pelo fato de que a NT 02/2021 deixa em aberto essa questão, conforme os trechos supracitados.

7 - QUALIDADE DA ÁGUA DE DEGREDO

7.1 - ÁGUAS SUPERFICIAIS

Na NT 02/2021, algumas comparações são realizadas com o objetivo de avaliar o potencial impacto do rompimento na qualidade da água de Degredo. No entanto, alguns parâmetros comparados entre os estudos apresentaram não conformidades e valores até mesmo maiores antes do rompimento. E, ainda assim, alguns não condizem com a composição do rejeito. Por exemplo, a NT 02/2021 cita: *“Os poucos dados disponíveis de antes do rompimento quando comparados com os dados de depois do rompimento da barragem, demonstram um incremento (células destacadas na tabela) de Al, Fe, sólidos dissolvidos e DBO na água superficial, quando comparados o ponto Z08 de Zon (2008) e o ponto GT-BD-21 de Golder (2020) em maio de 2008 e 2020”*; e ainda: *“Considerando que dados de janeiro de 2010 podem ser comparados com dezembro de 2019, como pode ser observado na Tabela 3, houve um incremento (células destacadas) de Cr, Cd, Ni, Fe, Al, Mn e Zn disponíveis na água. A disponibilidade desses metais com certeza foi influenciada pela redução extrema do pH (~2,7) no momento da amostragem”*. Vale primeiramente destacar que a própria NT 02/2021 apresenta como limitação a baixa disponibilidade de dados antes do rompimento e, ainda, a dificuldade de comparar dois estudos diferentes em momentos distintos devido à forte influência sazonal na qualidade da água. Ainda assim, demonstra a redução extrema de pH e como isso pode ter influenciado na disponibilidade dos metais encontrados.

Em seguida, vale trazer alguns dados do rio Doce para demonstrar que, em área que recebeu diretamente o rejeito, existem dados comparáveis ou até mesmo maiores antes do rompimento do que após o rompimento. Por exemplo, a Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH) e a Agência Nacional das Águas (ANA) apresentam, cada uma, um ponto de monitoramento no rio Doce, localizados a aproximadamente 25 km da foz do rio, com dados entre 2000 a 2015, com campanhas trimestrais (PORTAL HIDROWEB, 2021; ECOLOGY, 2021). Neste conjunto de dados, o parâmetro DBO atinge um máximo de 81 mg/L, trazido na NT 02/2021 como contribuição do rejeito para a região de Degredo, com concentrações de 9,7 mg/L após o rompimento. Como nas bases de dados previamente citadas não há avaliação de metais, serão utilizados dados do monitoramento emergencial conduzido pelo IGAM (IGAM, 2016) para continuar com essa discussão. Portanto, seguindo a análise do proposto pela NT 02/2021, vale ressaltar que o monitoramento emergencial não verificou aumentos nas concentrações nas águas do rio Doce para cromo e cádmio. Níquel, ferro e alumínio apresentaram aumento de suas concentrações no rio Doce acima de suas máximas históricas logo após o rompimento de Fundão, retornando a

níveis abaixo deste patamar a partir de janeiro de 2016. Portanto, se em janeiro de 2016 esses aumentos das concentrações no corpo hídrico que recebeu o rejeito diretamente já não eram observados, a hipótese de que um pulso de inundação tenha sido capaz de elevar as concentrações ambientais das águas de Degredo, mesmo quatro anos após este evento, apresenta-se improvável. Por outro lado, os resultados de manganês apresentam um comportamento distinto dos analisados até aqui, podendo ser observado um segundo pico de suas concentrações nas águas do rio Doce em janeiro de 2016.

Ainda, o ponto localizado na foz do rio Doce (RDO 16) é monitorado mensalmente pela Fundação Renova no âmbito do Programa de Monitoramento Quali-quantitativo Sistemático de Água e Sedimento (PMQQS) desde agosto de 2017. Este ponto, que recebeu o rejeito diretamente, apresentou os registros de DBO abaixo do limite de quantificação desde agosto de 2017 até dezembro de 2020, indicando que o valor registrado no ponto GT-BD-21 de 9,7 mg/L (GOLDER, 2020) e destacado na NT 02/2021, pode apresentar outras influências que não relacionadas ao rejeito e ao evento de inundação de 2016. O mesmo acontece para os registros de cádmio total e níquel total, que ficam abaixo dos seus respectivos limites legais no PMQQS e apontados na NT 02/2021 com concentrações de 0,004 e 0,154 mg/L, respectivamente, no ponto GT-BD-21 (GOLDER, 2020). Ainda assim, os registros de zinco total não apresentaram violação ao limite legal em nenhuma das campanhas no ponto durante o PMQQS, sendo que o resultado apontado na NT 02/2021 de 0,622 mg/L é superior ao limite legal, registrado no ponto no ponto GT-BD-21 (GOLDER, 2020), o que reforça a probabilidade de outras influências na região de Degredo.

Outros estudos anteriores ao rompimento em regiões mais próximas a região de Degredo, também demonstram valores mais elevados antes do rompimento do que as comparações realizadas pela NT 02/2021. Cabe destacar, por exemplo, o máximo de 824 mg/L para sólidos totais dissolvidos registrado no EIA UTE Mundi Linhares (2011) e DBO de 93,3 mg/L no EIA UTE Linhares (2008), valores 2,5 e 9,6 vezes superiores aos registrados no ponto GT-BD-21 por Golder (2020) após o rompimento e destacados na NT 02/2021. O estudo de Lani (1997), desenvolvido no Vale Suruaca, localizado ao norte da região de Degredo, traz resultados da qualidade da água do delta do rio Doce. Deste estudo, cabe destaque para o alumínio, que foi verificado a uma concentração máxima de 78,6 mg/L, que é 1,6 vezes superior ao valor registrado no ponto GT-BD-17-AG utilizado como comparação na NT 02/2021 do estudo da Golder (2020).

Os próprios estudos desenvolvidos na região de Degredo continuam corroborando com as observações de valores mais altos antes do rompimento, como o EIA Manabi (2013). Neste estudo, o valor máximo da condutividade (3.416 $\mu\text{S}/\text{cm}$) é 1,8 vezes superior ao dado do ponto

GT-BD-17-AG, do estudo da Golder (2020) usado como comparação na NT 02/2021, enquanto a máxima de ferro dissolvido (1,7 mg/L) é 2 vezes superior ao dado do ponto GT-BD-21 do mesmo estudo. Portanto, as variações observadas nos parâmetros avaliados, que inclusive registraram valores pré-rompimento acima dos obtidos no estudo após, demonstram que a comparação de resultados isolados, como sugerido pela NT 02/2021, leva a conclusões inapropriadas.

Por fim, complementarmente, um estudo realizado pela Razão Consultoria Ambiental na região de Degredo em setembro de 2018 avaliou a qualidade das águas superficiais da região em áreas consideradas pela comunidade como impactadas e em áreas consideradas como “testemunho”, ou seja, áreas sem risco de contaminação proveniente do rompimento da barragem de Fundão. O estudo demonstrou que essas áreas sem risco de contaminação apresentaram altas concentrações de manganês total e baixos valores de pH, sendo características da região (RAZÃO CONSULTORIA AMBIENTAL, 2018).

7.2 - ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Na NT 02/2021 são apontados diversos resultados da qualidade das águas subterrâneas, demonstrando desconformidade para muitos parâmetros, inclusive alguns sem qualquer relação com o rejeito. Mas aqui vale reforçar que estudos anteriores já demonstravam desconformidade para alguns parâmetros e concentrações até mesmo mais elevadas.

No documento “Estudo de Linha-base Anterior ao Rompimento da Barragem de Fundão (MG): Caracterização e Diagnóstico de Qualidade Ambiental para a Região de Linhares-ES” produzido pela Ecology (2021), foi realizado um diagnóstico com base em dados secundários a partir de estudos pretéritos ao rompimento. Nesse trabalho, os resultados de águas subterrâneas foram comparados aos valores constantes na Resolução CONAMA nº 396/2008, utilizando como referência os limites para o consumo humano e diversos parâmetros apresentavam violação antes do rompimento. Vale destaque a concentração máxima de ferro total nas águas subterrâneas da região de Degredo, com registro de mais de 4.000 mg/L, apresentada no EIA Mineroduto Manabi (2013), que é mais de 200 vezes superior à máxima reportada nos estudos posteriores ao rompimento trazidas na NT 02/2021. O mesmo acontece para o alumínio total, com máximo de 2,9 mg/L no estudo anteriormente desenvolvido na região de Degredo, ou seja, valor 2,6 vezes superior ao relatado como máximo posterior na NT 02/2021. Assim como foi ressaltado para as águas superficiais, a comparação entre estudos pré e pós-rompimento é muito complexa, visto a ampla variação entre os dados, uma vez que os parâmetros físico-químicos respondem a diversos fatores e as diferentes contribuições para a poluição hídrica.

Mourão et al. (2002) mencionam que a ocorrência de ferro acima de 1,0 mg/L nas águas subterrâneas é uma característica da região, valor esse superior ao limite legal. Essa avaliação também é válida para o manganês total, com violações ao limite legal já observadas antes do rompimento e, de acordo com Mourão et al. (2002), altas concentrações do elemento são verificadas com frequência em aquíferos granulares. Essas observações foram inclusive trazidas na NT 02/2021: *“Mourão et al. (2002) afirma que uma das principais características da região do litoral norte do Espírito Santo é a presença de concentrações de Fe, Mn, cor e turbidez acima dos níveis de potabilidade nas águas subterrâneas”*.

Outros estudos que avaliaram a qualidade das águas subterrâneas na região de Degredo após o rompimento demonstram a não conformidade de diversos parâmetros à legislação, inclusive muitos que não apresentam relação com o rejeito, o que sugere a influência de outras fontes de poluição. Essa afirmação pode ser comprovada pelos resultados do PMQACH da Fundação Renova, onde violações para *Escherichia coli* demonstram a influência dos esgotos domésticos na água subterrânea. Vale destaque, ainda, para as concentrações de ferro total, com máximo de 36,4 mg/L, sendo o estudo pretérito do EIA Manabi (2013) registrou uma concentração superior a 4.000 mg/L.

Por fim, cabe destacar que o estudo MDGEO (2016), apesar de ter sido desenvolvido em região fora da região de Degredo, concluiu que não houve contaminação das águas subterrâneas em regiões mais próximas ao rio Doce por carreamento do rejeito oriundo do rompimento ao longo do rio. Essa observação é de grande importância visto que, se isso não foi verificado próximo ao rio Doce, que recebeu o rejeito diretamente, não é provável que tenha ocorrido contaminação das águas subterrâneas dentro da região de Degredo pelo rompimento da barragem.

A decisão judicial número 1000462-20.2020.4.01.3800 afastou o nexo de causalidade em relação a qualidade da água da região de Degredo e o rompimento da barragem de Fundão. Todos os estudos técnicos realizados demonstram que a qualidade da água consumida pela comunidade da região de Degredo está diretamente relacionada ao uso antrópico do território. O sistema de esgotamento precário na região resulta nos elevados teores de coliformes registrados em diversas amostras de água em diferentes estudos. A região apresenta um histórico de intervenções antrópicas relacionadas às fazendas, deposição de efluentes industriais e más condições sanitárias.

8 - ANÁLISE DA HIPÓTESE DO PULSO DE INUNDAÇÃO

Para sustentar a hipótese de que o rompimento da Barragem de Fundão influenciou na qualidade da água de Degredo, a NT 02/2021 se utiliza de resultados referentes à água superficial, os quais foram extraídos de estudos feitos na região em período anterior ao evento. Um dos estudos data de sete anos antes do evento (2008), e deste se extraíram resultados de uma amostragem em um ponto. Dos quatro parâmetros destacados na comparação, três deles são variáveis historicamente críticas para a bacia do rio Doce, onde suas médias históricas estão acima ou próximas dos respectivos limites de violação da legislação (IGAM, 2017). Entre esses, ferro e alumínio são elementos cuja abundância natural na bacia do rio Doce é amplamente conhecida e que, inclusive, um estudo realizado na região em 2008 reportou um valor de ferro (3,16 mg/L) em águas superficiais da lagoa Monsarás até mais alto que o verificado (1,7 mg/L) no estudo de 2020 (CAL, 2008).

O outro estudo utilizado para a comparação entre as condições de pré e pós-rompimento, antecede em cinco anos (2010) ao evento (CTA, 2010). Dele foram extraídos resultados de duas coletas em dois pontos de amostragem. Nesta comparação (tabela 3 da NT 02/2021), chama a atenção que o principal parâmetro relacionado ao rejeito de Fundão, a turbidez, apresentou resultado com uma ordem de grandeza menor no estudo feito em 2020 (4,6 NTU), quando comparado ao de 2010 (90 NTU). De forma similar (tabela 2 da NT 02/2021), na comparação com o estudo anteriormente citado, a turbidez em 2008 (34,1 NTU) ficou o dobro da observada em 2020 (15,0 NTU). Apesar disto, a NT 02/2021 destaca outros parâmetros que não apresentam qualquer relação com as características do rejeito (**item 5 - O Rejeito da Barragem de Fundão**), mas que resultaram em maiores registros em 2020, como cloreto, condutividade, nitrogênio total e zinco. Por outro lado, cloreto está presente na formulação de fertilizantes utilizados no plantio de cana-de-açúcar (N-P-K formulário 13-35-10 que contém 60% de KCl), além do uso de NaCl como fluido de perfuração de poços, utilizado na atividade empreendida na região desde 1997 (FONTANELLI, 2001).

Mesmo com um lapso temporal de 10 a 12 anos entre os estudos utilizados na análise, o único balizador utilizado pela NT 02/2021 para comparar os resultados foi a precipitação. Ainda que os volumes acumulados para a bacia de drenagem dos pontos analisados não apresentassem diferença estatística significativa, as estações pluviométricas utilizadas são regionais, o que pode não contemplar variações locais expressivas. No entanto, é natural esperar que múltiplas fontes de distúrbios possam ter sido adicionadas ou retiradas do ambiente durante o intervalo de 12 anos. Esse aspecto é ainda mais relevante quando se está em uma área de exutório, que concentra toda as alterações ocorridas na bacia de drenagem. Portanto, é temerário inferir sobre

qualquer fenômeno se baseando na comparação entre dados pontuais, e em uma bacia de drenagem tão complexa como a do rio Doce. Assim como em 2016, em 2013 também foi registrada uma inundação, o que poderia comprometer a representatividade dos dados de 2008/2010 para a condição de pré-rompimento, na comparação com os dados de 2020. As comparações realizadas, foram baseadas em três coletas com até 12 anos de distância temporal.

Para ilustrar como uma comparação feita nestas condições é limitada, chama-se a atenção para os resultados de Nitrogênio Total que a NT 02/2021 destaca na comparação entre um estudo pré, e outro pós-rompimento. Enquanto que no estudo de 2010 este parâmetro apresenta-se menor (2,1 e 6,9 mg/L) que o valor reportado para a condições pós-rompimento (26,2 mg/L), a comparação com o estudo de 2008 tem-se a situação inversa, com menor resultado (< 2 mg/L) para pós rompimento em relação ao pré rompimento (2,24 mg/L). O mesmo se aplica para condutividade, que na comparação com 2008 (775 $\mu\text{s/cm}$), o pós-rompimento está menor (475 $\mu\text{s/cm}$), mas em relação a 2010 (131 $\mu\text{s/cm}$) está maior (3.416 $\mu\text{s/cm}$). Portanto, não se mostra factível que a inundação resultaria em um aumento de um determinado parâmetro em um ponto e a redução em outro. E no caso específico destas duas variáveis aqui tratadas, múltiplos seriam os fatores que explicariam tanto o aumento quanto a redução destes, como no caso do N-total que é um dos marcadores para presença de efluente domésticos *in natura* em ecossistemas aquáticos, fator crítico em uma região tão desassistida de coleta adequada de esgoto urbano. Dessa forma, as comparações levantadas pela NT 02/2021, que basearam as inferências sobre nexos de causalidade entre a qualidade das águas superficiais de Degredo e o evento de inundação em janeiro de 2016, mostram-se frágeis por si só.

Contudo, dada a gravidade e extensão dos efeitos socioambientais que o rompimento da barragem de Fundão gerou, é natural que as análises dos dados relativos à qualidade da água na bacia do rio Doce devam considerar este evento. Porém, de forma análoga ao proposto pela NT 02/2021, também seria impróprio a Fundação Renova fazer qualquer inferência sobre a qualidade da água na bacia do rio Doce com base em uma comparação de um resultado obtido após o rompimento da barragem em uma coleta de um ponto, com o apresentado por estudo pretérito a novembro de 2015 em uma região próxima.

Outras considerações que devem ser feitas acerca da suposição trazida pela NT 02/2021, de que os elementos tratados acima tiveram seus níveis aumentados na região de Degredo em função do rompimento da barragem de Fundão, devem ser buscadas no estudo de Firmino (2020), que se dedicou à geoquímica do Fe e do Al no ambiente de várzeas da região deltaica do rio Doce. O autor apresenta em sua tese, de forma bastante didática, uma revisão sobre os processos de

formação dos chamados Solos Ácidos Sulfatados (SAS), a partir da matriz de Organossolos Tiomórficos que ocorrem na área de estudo. Em sua análise, o autor aponta que as condições ambientais, e a natural abundância de ferro e alumínio no solo da região favorecem a formação dos SAS.

Adicionalmente, o autor indica que o processo de drenagem que vem ocorrendo na região há cerca de 50 anos, a fim de tornar a área explorável pelas atividades agropecuárias, acelerou a formação dos SAS. Isto porque, ao expor os solos ao ambiente aeróbico (não mais submerso), favoreceu reações de oxidação da matéria orgânica, o que proporcionou o acúmulo de sulfetos (sulfidização) nos solos. A partir deste fenômeno, há então a liberação destes compostos para os corpos hídricos da região, que então reduzem o pH das águas superficiais e favorecem a mobilidade de metais para os corpos hídricos associados, tais como alumínio, arsênio, cádmio, cobalto, níquel, zinco, entre outros, mas principalmente o ferro.

O autor ressalta ainda a ação mitigadora das águas do rio Doce que entram em contato com os corpos hídricos das várzeas através do canal principal, e alcalinizam o ambiente. Como consequência da entrada das águas do rio Doce, há condições favoráveis para a precipitação desses metais, que então tendem a se acumular nos sedimentos destes corpos hídricos, sob formas reduzidas e, portanto, menos biodisponíveis. Além da inconsistência factual trazida para a discussão pela NT 02/2021, ressalta-se ainda que a mesma se utiliza da comparação de resultados da água superficial para fazer inferência sobre a qualidade da água nos aquíferos. Porém, essa relação entre águas superficiais e o aquífero não se mostra factível, segundo os fatos observados a seguir:

- Degredo é uma área permeável e plana, sendo que a recarga desses aquíferos se faz principalmente por via pluvial (MOURÃO, 2002). Dessa forma, dado que os expressivos acumulados de precipitação registrados na região entre novembro de 2015 e fevereiro de 2016 (item 3.1 - Dados Históricos de Precipitação e Nível do rio Doce), é natural conceber que no evento de inundação de 2016 os aquíferos já se encontravam saturados, sem mais geometria para incorporar mais recarga. Em números, a precipitação acumulada para o mês de janeiro de 2016 na estação pluviométrica de Barra Nova foi de 289,5 mm, sendo o maior volume registrado para a região no mesmo mês desde 1991. Assim, o mais factível é que as águas superficiais simplesmente escorreram em seus leitos, sem infiltrarem;
- Para reafirmar a improvável participação das águas transbordadas nos volumes dos aquíferos, o estudo de MDGEO (2020) mostra que a composição iônica destas duas unidades hídricas

apresenta uma distinção inequívoca, sendo os íons de sulfato os traçadores marcantes para a separação das mesmas. Em números, esses resultados são expressos como a água superficial apresentando uma relação $rSO_4/(rCl+rHCO_3+rCO_3)$ oscilando entre 5 e 9, enquanto que na água subterrânea esses valores situam-se abaixo de 1;

- Outro resultado que dá respaldo à separação dessas massas d'água (superficial e subterrânea) é a composição de isótopos estáveis de O e de H apresentado pela MDGEO (2020). Observa-se que, quando plotados os valores de $\delta^{18}O$ e δ^2H , as amostras de água subterrâneas apresentam-se alinhadas em paralelo com as retas meteóricas local e mundial, enquanto as de águas superficiais se sobrepõem à linha de evaporação, conforme a Figura 8.34 daquele documento. Claro é que, se ocorresse trocas entre essas massas de água, não seria observada essa separação entre esses dois conjuntos de amostras. Apesar da NT 02/2021 questionar a interpretação desses resultados (*"Isso não significa que não haja trocas entre elas, mesmo que em pequena escala"*), os resultados obtidos pelo estudo em questão representam um exemplo clássico do fenômeno de fracionamento isotópico. Ou ainda, mesmo que essa troca seja em uma escala não detectável pela análise da composição isotópica, seria em proporções tais que a fração minoritária, supostamente contaminada, seria diluída em algumas partes por milhão, ou até bilhão, não resultando em acréscimos efetivos na concentração final.

Ainda considerando a hipótese proposta pela NT 02/2021, e reafirmada pelo ofício nº 005/2021 - CT-IPCT/CIF, o rejeito teria chegado na região de Degredo via Lagoa Monsarás que, ao transbordar, alimentou o rio Ipiranga, que então tem contato com a região de Degredo.

"Ademais, ressalta-se que o estudo da mancha de inundação para Linhares, contratado pela Fundação Renova e elaborado pela WALM em 2018 (relatório nº N024500-D-1RT007), apesar do relatório da modelagem não apresentar a calibração do modelo e validação dos resultados, indica que há contato das águas do rio Doce à Lagoa Monsarás, que por sua vez tem contato com o rio Ipiranga..." (ofício nº 005/2021 - CT-IPCT/CIF).

Como apresentado no item 3.2 - **Conexão rio Doce e Solos da Região de Degredo**, a conexão proposta entre a Lagoa Monsarás e o rio Ipiranga se mostrou improvável. Os referidos paleocanais foram assoreados ao longo das eras geológicas, e não apresentam capacidade de escoamento atualmente. E ainda, o escoamento natural que se poderia esperar do extravasamento da Lagoa Monsarás seria através de sua barra, conectando-a com o mar.

Ainda assim, nesta linha de raciocínio, é natural esperar que a lagoa Monsarás tivesse sido o corpo d'água que mais tivesse sua qualidade comprometida. Isto porque, além de receber as águas do rio Doce diretamente, seu ambiente lântico favorece maior tempo de residência, potencializando o sugerido efeito negativo relacionado ao evento de inundação. No entanto, como apresentado no **item 6.1 - Lagoa Monsarás**, a Lagoa Monsarás não apresenta níveis de Fe, Al e Mn que revelem comprometimento de sua qualidade. O mesmo pode-se constatar com relação à análise de seu perfil sedimentar, o qual não indica deposição recente (camada mais superficial) de partículas mais enriquecidas destes metais. Neste sentido, mostra-se irrefletida a construção de uma relação entre a inundação ocorrida em janeiro de 2016, e a perda de qualidade da água de aquíferos localizados a aproximadamente 20 km da lagoa de Monsarás.

Também cabe à reflexão sobre a extensão temporal que, supostamente, o rompimento da barragem de Fundão teria sobre os aquíferos da Região de Degredo. Como concluído pelo estudo do IGAM (IGAM, 2017), após dois anos monitorando as águas do rio Doce, concluiu-se que, para alguns parâmetros, os padrões de qualidade retornaram aos níveis observados antes de novembro de 2015. Portanto, dois anos foram suficientes para o corpo d'água que recebeu diretamente o rejeito, e que provavelmente ainda é encontrado no assoalho pluvial, em expressivo montante, retornasse aos padrões de qualidade de água observados anteriormente ao rompimento. Dessa forma, entende-se que seja pouco provável que corpos de água que tenham entrado em contato com o rejeito em um evento pontual (cheia de 2016), ainda apresentem consequências mesmo cinco anos após o rompimento.

A NT 02/2021 também propõe que o evento de inundação tenha lançado rejeito sobre o solo de Degredo, e a lixiviação destas partículas ali depositadas teria contribuído para elevar as concentrações de Fe, Mn e Al nas águas subterrâneas dos aquíferos da região.

“Entretanto, destaca-se que a adição de Fe, Al, Mn e outros elementos no solo pelo rejeito pode contribuir para o aumento da fração lixiviada para o aquífero” (NT 02/2021).

“Contudo, apesar dos poucos dados de água superficial, é observado um enriquecimento de elementos metálicos quando se compara dados de antes e depois do rompimento. Assim, apesar da região da CRQ do Degredo naturalmente apresentar condições de enriquecimento de metais (solos ácidos e porosos), assim como o mau uso do solo, a presença do rejeito pode agravar essa situação.” (NT 02/2021).

Como descrito no item 4.2 - **Áreas de Recarga**, a precipitação atmosférica mostra-se como a principal via de recarga dos aquíferos da região de Degredo. Assim, além do volume de água que os aquíferos já tinham armazenado antes de um contato com o rejeito (ou seu lixiviado), deve-se computar todo o volume de precipitação acumulado ao longo desses 5 anos, a fim de se calcular a concentração final dos parâmetros em questão nestes aquífero. Considerando este cenário, seria necessário um volume de rejeito tal, e que com os parâmetros em questão em concentrações tais, que ainda hoje comprometessem a qualidade da água nos aquíferos de Degredo. A seguir, seguem outros pontos que indicam que este cenário se mostra improvável.

Uma análise cautelosa do cenário proposto leva obrigatoriamente à uma condição onde o volume de rejeito depositado, assim como as concentrações de seus constituintes, fosse de tal ordem que, mesmo após a mistura com o solos e sedimentos da região, estes levariam a um aumento nos níveis de ferro, manganês e alumínio nas águas superficiais e subterrâneas. Neste sentido, algumas considerações devem ser feitas:

- Em atendimento às ações definidas no contexto do Eixo Prioritário 1 - Recuperação Ambiental Extra e Intra Calha, especificamente o item 11 que versa sobre o Plano de Manejo de Rejeito do Trecho 16, o qual foi homologado em Juízo e com adesão da AGU e AGE/MG, e ainda do MP/MG, MP/ES, MPF, PGE/ES, DPU, DPE/MG, DPE/ES, em abril de 2021 foi apresentado os resultados referentes à implementação das Fases 1A e 2 descritas na Nota Técnica IBAMA/SISEMA/IEMA nº 002/2017 (Golder, 2021b). Neste estudo realizou a prospecção de indícios da presença do rejeito na região de Extra calha, utilizando-se malha amostral adensada em propriedades impactadas (conforme o relatório gerencial - CT-GRSA nº 05/2019), ou que utilizem a água do rio Doce para irrigação. Nesta prospecção, “não foram identificados indícios de presença de rejeito em nenhum dos pontos amostrados”.
- Conforme publicado pelo IBAMA (2016), a concentração do particulado em suspensão transportado ao longo do eixo longitudinal do rio Doce decai exponencialmente conforme se aproxima de sua foz. Dessa forma, o estudo indica que 0,09 % do rejeito da barragem de Fundão atingiu a foz do rio Doce. A este fato, relaciona-se o papel dos quatro grandes barramentos instalados ao longo de seu curso, os quais exercem papel fundamental na retenção da descarga sólida;
- Também pelo efeito das barragens, foi observado um lapso temporal entre o pico da descarga líquida (m^3/s), e o da concentração de sólidos em suspensão (mg/L), que na região próximo à foz foi de cerca de quinze dias de atraso. Ou seja, a onda de Material Particulado em Suspensão (MPS) transportado pelo rio Doce apresenta um atraso expressivo em relação à

onda de cheia, chegando a aproximadamente 15 dias de diferença na estação mais próxima da foz (CPRM & ANA, 2016). Portanto, no pico do pulso de cheia do rio Doce em um evento de inundação, não se observa o máximo de MPS transportado;

- Registra-se também que o evento de cheia que teria levado rejeito da barragem de Fundão se deu em janeiro de 2016, ou seja, dois meses após o rompimento. Entre o rompimento e a inundação registrou-se um expressivo acumulado de precipitação na estação pluviométrica instalada no município de Barra Longa (cód. 02043027, ANA): 238,5 mm em novembro, e 258,3 mm em dezembro de 2015. Portanto, foram 60 dias da bacia drenando o rejeito despejado na calha central do rio Doce, de forma a reduzir continuamente o volume de MPS transportado, conforme mostram os resultados de turbidez registrados nos meses em questão pela estação de monitoramento do IGAM mais a jusante do rio Doce (RD067). Em números, essa redução é verificada no monitoramento feito na cidade de Aimorés, quando o pico de turbidez foi a 10.000 NTU em 17 de novembro de 2015, para um valor próximo a 500 NTU em 05 de janeiro de 2016, sendo este um valor similar ao registrado em 27 de janeiro de 2009 (397 NTU);
- Os estudos do transporte de sedimentos no rio Doce vêm demonstrando que a bacia apresenta uma suscetibilidade à erosão classificada de média a alta, o que está relacionado com seu histórico de uso e ocupação desordenado do solo de sua área de drenagem (PIRH & ANA, 2010). Em outra avaliação, foi estimado para o rio Doce uma área total erodida de 241,9 ha, sendo a margem esquerda do médio - baixo rio Doce identificada como a que mais concentra esta degradação (COELHO, 2020). Desta forma, o MPS que está sendo transportado pelo rio Doce em sua região de exutório é composto por partículas de toda a sua bacia de drenagem, o que representa em área o equivalente a 86.715 km²;
- Conforme descrito no item 3.2 - **Conexão rio Doce e Solos da Região de Degredo**, a contribuição da sub-bacia rio Barra Seca/rio Mucuri apresenta maior probabilidade de participação majoritária para a composição para o MPS do rio Ipiranga, que um possível alcance das águas do rio Doce nessa região. Assim, o rejeito, além contido no MPS de toda a bacia do rio Doce, também estaria diluído pela contribuição da sub-bacia rio Barra Seca/Rio Mucuri.

Assim, do montante das partículas de rejeito de Fundão que adentraram a calha principal do rio Doce, cerca de 0,09 % chegou à região de exutório, sendo que deve-se considerar que junto a esta fração soma-se todo o MPS gerado em sua bacia de drenagem inteira. Além disso, ainda há um atraso de cerca de 15 dias entre o dia de maior nível do rio Doce na região deltaica, e o máximo de MPS sendo transportado na coluna d'água. Ou seja, uma análise ponderada dos fatos

leva a entender que o volume de rejeitos que potencialmente tenha atingido os solos e sedimentos da região de Degredo estariam diluídos entre o MPS gerado em toda a bacia do rio Doce, e que a descarga sólida máxima só seria registrada 15 dias após o pico da cheia. Desta forma, somente se as concentrações de Fe, Mn e Al no rejeito estivessem em ordens de grandeza acima do registrado para os solos e sedimentos da região de Degredo é que seria possível considerar que a deposição destas na área de estudo tivessem de fato contribuído para o aumento dos níveis basais da região, que já são altos (**item 7.1 - Águas Superficiais**). Neste sentido, o **item 5 - O Rejeito da Barragem de Fundão** resume que as concentrações destes elementos no rejeito de Fundão são menores, ou similares aos valores registrados em solos da bacia do rio Doce (CPRM, 2016).

Ainda sobre a possibilidade de deposição de partículas de rejeito enriquecidas por Fe, Al e Mn na área de Degredo, estudo recente em solos da região deltaica do rio Doce reportaram resultados para perfis coletados em Degredo que as concentrações de Fe e Al apresentaram valores menores na superfície em relação às camadas sub-superficiais (FIRMINO, 2020). Como o estudo foi conduzido na porção a sul da calha do rio Doce, área inclusive mais sujeita a inundação em relação a Degredo, caso a cheia de 2016 tivesse atuado no sentido de elevar as concentrações destes elementos nas camadas superficiais, seria esperado um perfil inverso ao observado de fato. O mesmo foi observado com relação a Mn em solos analisados recentemente na região de Degredo, cuja a maior concentração média registrada se deu na profundidade de 20 a 40 cm (amostra GT-BD-24-SO-B), e não na camada mais suscetível à deposição de rejeitos no evento da inundação (GOLDER, 2021a).

Adicionalmente, como discutido no **item 7.1 - Águas Superficiais**, a variação dos níveis dos elementos destacados pela NT 02/2021 que teriam apresentando elevação de suas concentrações nas águas superficiais de Degredo após o rompimento, ou não apresentaram aumento nas águas do rio Doce nas estações de monitoramento do IGAM (IGAM, 2016), ou apresentaram uma elevação com retorno destas aos níveis pré-rompimento antes de janeiro de 2016. Portanto, com base nos dados levantados nos **itens 3 - Dinâmica dos Pulsos de Inundação a 7 - Qualidade da Água de Degredo** deste documento, e com as ponderações feitas neste item, entende-se que seja improvável que o rejeito da barragem de Fundão tenha chegado em um volume e em concentração tais que fossem capazes de elevar os níveis ambientais de ferro, alumínio e manganês, no solo, água superficial e água subterrânea de Degredo.

9 - SINERGIA DE ATIVIDADES

A análise do desenvolvimento da região de Degredo-ES, avaliando o processo histórico de ocupação e de uso do solo, com especial atenção à implantação de empreendimentos de significativo impacto ambiental, é essencial para um entendimento mais abrangente das transformações socioespaciais e para composição de um quadro de sinergias de impactos ambientais em escala regional.

A cafeicultura constitui expressiva atividade econômica para a região em análise, especialmente com o cultivo do café conilon, mas também se destacam o cultivo de cana-de-açúcar, a pipericultura, a fruticultura, a pecuária e o plantio de eucalipto. Além disso, as atividades petrolíferas se evidenciam na região, com campos de produção e blocos exploratórios (ECOLOGY, 2021).

Segundo o Estudo de Linha-base Anterior ao Rompimento da Barragem de Fundão (MG): Caracterização e Diagnóstico de Qualidade Ambiental para a Região de Linhares-ES (Ecology Brasil, 2021), ao analisar os tipos de empreendimentos em fase de operação nas proximidades da CRQ do Degredo, conforme aspectos impactantes potenciais ou ocorridos sobre os fatores água e solo, podem ser destacados: **UTE LORM** - geração de efluentes e resíduos do processo industrial; **Linhares Agroindustrial (LASA)** - uso de defensivos e fertilizantes agrícolas, excessiva adubação química e uso de corretivos minerais, geração de efluentes e resíduos da unidade de produção de energia associada; **Empreendimentos Agropecuários** - manejo inadequado, não adoção de técnicas de cultivo, uso intensivo de agrotóxicos e pisoteio do gado; **Unidades industriais do setor de móveis** - resíduos do seu processo produtivo; **Campos de produção e blocos de exploração de petróleo** - operações com produtos químicos, derramamento de fluidos nos campos de hidrocarbonetos de subsuperfície, vazamentos por acidentes ou corrosão, gerenciamento inadequado dos resíduos; **Terminal Norte Capixaba (TNC)** - derramamentos de óleo no mar (04 ocorrências registradas); e **Extração Mineral** - grandes volumes de rejeito, sedimentos finos em suspensão, substâncias lixiviadas ou contidas nos efluentes das áreas de mineração, remoção de solo superficial de maior fertilidade.

Os empreendimentos identificados estão apresentados no **Mapa de Empreendimentos Existentes (3474-00-EAC-MP-1002-00)** (ECOLOGY, 2021).

Ademais, é importante apontar as condições de saneamento presentes na região de Degredo, onde os principais problemas relacionados às condições de tratabilidade dos esgotos sanitários são os vários pontos de descarga de esgoto *in natura* em lagoas e córregos ou decorrentes de sistemas simplificados de fossa-filtro operados pelo SAAE, com a capacidade de tratamento saturada (ECOLOGY, 2021).

No que se refere à identificação de uma possível sinergia dos impactos ambientais decorrentes de outras fontes na região de Degredo, que não sejam relacionadas ao rompimento da barragem de Fundão, importa ressaltar que a indústria petrolífera apresenta interface direta com os aquíferos da região e que o uso desordenado do solo se relaciona diretamente com a alteração da qualidade do solo e das águas por influência das atividades agropecuárias e dos processos industriais, como também pelo descarte indevido de esgoto e de resíduos domésticos. Além disso, vale evidenciar que as atividades de exploração e produção de petróleo, no Espírito Santo, se desenvolvem em terras de terceiros, já impactadas por atividades agropecuárias (FONTANELLI, 2001).

Conforme mencionado no Ofício nº 005/2021 - CT-IPCT/CIF, *“apesar da alegação de que existem impactos associados a outros empreendimentos e que a grande maioria deles está relacionada à extração de petróleo, não são apresentados dados que confirmem tal relação com a degradação ambiental, bem como dados que apontem as alterações ambientais percebidas na região e pela população de Degredo”*. Nesse sentido, são apresentados estudos que trazem a realidade ambiental da região, com destaque para as atividades que se relacionam com a qualidade das águas superficiais e subterrâneas de Degredo.

9.1 - INDÚSTRIA DO PETRÓLEO

O processo de desenvolvimento da indústria petrolífera no Espírito Santo teve início com os primeiros registros em São Mateus, no ano de 1957, mas somente dez anos depois foi descoberto óleo no município. A exploração continuou através do trabalho de várias equipes sísmicas abrindo caminhos por toda a região entre Linhares e Conceição da Barra, principalmente no trecho entre a costa e a rodovia BR-101. Alguns anos depois foi anunciado pela PETROBRAS, em São Mateus, o poço da Fazenda Cedro (CAÇADOR, 2005). A infraestrutura de transporte (gasoduto e oleoduto) teve início quando foi construído o gasoduto de São Mateus a Vitória em 1981. Outro momento importante foi em 1993, quando o governo do Espírito Santo assinou contrato de concessão com a PETROBRAS para a distribuição de gás natural em seu território.

Apesar do quase encerramento na segunda metade dos anos 90, devido ao baixo nível de produção, as atividades petrolíferas no estado revigoraram e voltaram a crescer. Novos campos, tanto de petróleo como de gás natural, foram descobertos, aumentando as reservas capixabas, com destaque para o ano de 1996, quando foram descobertos os campos de Peroá (gás natural) na Foz do rio Doce, em Linhares, e o de Fazenda Alegre (petróleo), em Jaguaré, com cerca de 100 milhões de barris de reservas. Em 2001, a PETROBRAS descobriu o campo de Jubarte, no

litoral sul do estado, com reservas de 600 milhões de barris de petróleo e no ano seguinte foi descoberto o campo de Cachalote, com 300 milhões de barris de petróleo. Segundo dados da ANP, em 2003 o Espírito Santo possuía 37 campos de petróleo e gás natural na fase de produção que, por sua vez, se traduzem em 429 poços produtores, sendo 425 em terra e apenas 4 no mar (CAÇADOR, 2005).

Segundo Fontanelli (2001), a atividade de exploração e produção de petróleo gera, além de resíduos domésticos e industriais, dois resíduos que se notabilizam pela quantidade gerada, que são os cascalhos originados da atividade de perfuração e aqueles correspondentes à água produzida.

De acordo com Vieira (2016), é comum a produção agregada da água de formação quando o óleo é extraído do poço. À medida que avança a produção (tornando-se mais madura), o volume de óleo passa a ser declinante e o de água, crescente. Assim, campos de petróleo em estágio avançado de maturidade produzem essencialmente água por conta do processo de exploração do petróleo. Como a maturidade é um estágio inevitável do ciclo de vida de um poço ou de um campo, a proporção do volume de água sobre o óleo em campos maduros pode superar 95%, a depender também das características do reservatório e dos métodos de elevação. Nesse sentido, justificadamente, uma das principais preocupações em províncias petrolíferas maduras, concomitante à preocupação com a continuidade do funcionamento dos poços, é o gerenciamento dessa água. Ainda de acordo com Vieira (2016), o petróleo e o gás são os produtos de valor comercial, enquanto a água é um resíduo da produção. Essa água pode causar consideráveis impactos ao meio ambiente ou à própria operação, se negligenciadas as técnicas de gerenciamento, uma vez que apresenta como parâmetros críticos: teor de óleos e graxas, sólidos totais dissolvidos, presença de bactérias redutoras de sulfato, salinidade, metais pesados, elementos radioativos, entre outros.

É comum a injeção de água nos reservatórios como forma de recuperação secundária do petróleo, uma vez que esta técnica colabora com a elevação da pressão nos reservatórios, contribuindo para o escoamento do petróleo para o poço. Assim, quando é realizada a injeção da água produzida no seu reservatório de origem, é chamada de reinjeção. Neste mesmo contexto da injeção de água para recuperação secundária, existem outras origens para a água num campo de produção de petróleo e/ou gás, considerando que essa água pode ter sido produzida no próprio campo, pode ter sido recebida de outro campo ou pode ter sido oriunda de captação, que por sua vez, pode ser de superfície ou de subsuperfície (VIEIRA, 2011).

De modo geral, os campos petrolíferos possuem estações de tratamento de efluentes, que tratam todo volume de água produzido, separando o óleo residual da água produzida, para a posterior injeção nos campos, tanto com a finalidade de descarte, como de recuperação secundária de hidrocarbonetos (TRANSMAR CONSULTORIA LTDA, 2002).

Segundo Vieira (2016), o descarte da água produzida no solo pode causar impactos diretos, como a salinização e a consequente infertilidade. Adicionalmente, a água pode percolar e atingir o lençol freático. A contaminação de aquíferos ainda pode ocorrer por conta dos processos de injeção, quando não se conhece as características de porosidade do reservatório, pois a pressão muito elevada no momento da injeção pode causar o fraturamento da formação e, com isso, a água pode atingir aquíferos circunvizinhos. Essa contaminação também pode ocorrer por conta de eventuais falhas ou fraturas já existentes.

Na região de estudo, os resíduos provenientes da perfuração de poços de petróleo, ou seja, cascalhos cobertos por película de fluido de perfuração e o próprio fluido, são descartados em diques de contenção, que são nada mais do que escavações feitas em terreno argiloso para receber o resíduo ou, em caso de terreno arenoso com nível freático muito próximo à superfície, de simples cordões de areia, visando o não espalhamento do fluido para a área vizinha. Os diques assim construídos não recebem nenhum tratamento impermeabilizante (FONTANELLI, 2001). Segundo Lani (2009), com base em informações obtidas dos moradores, a água residual é depositada em lagoas, sujeitas à inundação, que ocorrem periodicamente com as cheias do rio Doce. Com a inundação, poderia estender os seus efeitos danosos a uma extensão maior, além de contaminar o lençol freático.

Cabe mencionar que os aditivos para os tipos de fluido de perfuração utilizados pela PETROBRAS no Espírito Santo (convencional, à base de cal e NaCl com polímeros) são os seguintes: bentonita, baritina, soda cáustica, carboximetilcelulose (CMC), amido, sal (NaCl), mica, barrilha (Na₂CO₃), calcita e espersene (lignosulfonato de ferro e cromo). Desses, independentemente do fluido, a bentonita e a soda cáustica são sempre utilizados em todas as fases de perfuração de poços, sendo os que ocorrem em concentrações mais elevadas (FONTANELLI, 2001). Conforme o Sumário Mineral da ANM (2011), a bentonita é um mineral constituído essencialmente por argilominerais do grupo das esmectitas que, de acordo com Da Luz & Oliveira (2010) são minerais constituídos por: montimorilonita, beidelita, nontronita, hectorita e saponita. Esses minerais formam uma estrutura similar, mas são quimicamente diferentes. A nontronita, por exemplo, é uma esmectita rica em ferro. O mineral mais comum nos depósitos econômicos do grupo da esmectita é a montimorilonita, cujas variedades cálcicas e sódicas são as mais abundantes, apresentando uma

característica física muito particular de expandir várias vezes o seu volume quando em contato com água, formando géis tixotrópicos, especialmente as sódicas. Ainda segundo dados da ANM (2011), as atividades de extração de petróleo/gás corresponderam a cerca de 79% do consumo interno de bentonita bruta em 2010.

O potencial impacto das atividades de exploração de petróleo na várzea litorânea do Suruaca, localizado ao norte da região de Degredo, também já havia sido tratado por Fontanelli (2001). Neste estudo foram verificados aumentos nas concentrações de bário, cádmio, chumbo, cloretos, ferro dissolvido, fenóis, mercúrio, salinidade e sulfatos, em poços localizados a jusante de atividades de exploração de petróleo quando comparados a poços a montante. No entanto, valores elevados de cor verdadeira e baixos valores de oxigênio dissolvido comparando com a Resolução foram verificados a montante e a jusante, estando relacionados a padrões regionais, seja por outras atividades antrópicas ou por questões naturais. Inclusive, o autor sugere que as águas sejam classificadas como classe 3, uma vez que mais de 80% das leituras de cor verdadeira realizadas por Mendonça et al. (1997) em poços a montante estiveram acima do limite para classe 2.

Ademais, é importante citar o Terminal Norte Capixaba (TNC), que é operado pela subsidiária Transpetro e localiza-se no município de São Mateus, entre o rio Barra Nova e a linha de costa, e recebe petróleo dos campos terrestres do norte do Espírito Santo, principalmente óleo pesado proveniente do campo de Fazenda Alegre, e tem como objetivo permitir a tancagem e o escoamento dos produtos por navios atracados em monobóia. A tancagem do TNC é composta por 05 (cinco) tanques, com flexibilidade para operar com óleo pesado (campo de Fazenda Alegre) e óleo leve (corrente Espírito Santo), os quais possuem igual capacidade, sendo 04 (quatro) destinados ao sistema de óleo pesado e 01 (um) ao sistema de óleo leve (TRANSMAR CONSULTORIA LTDA, 2002).

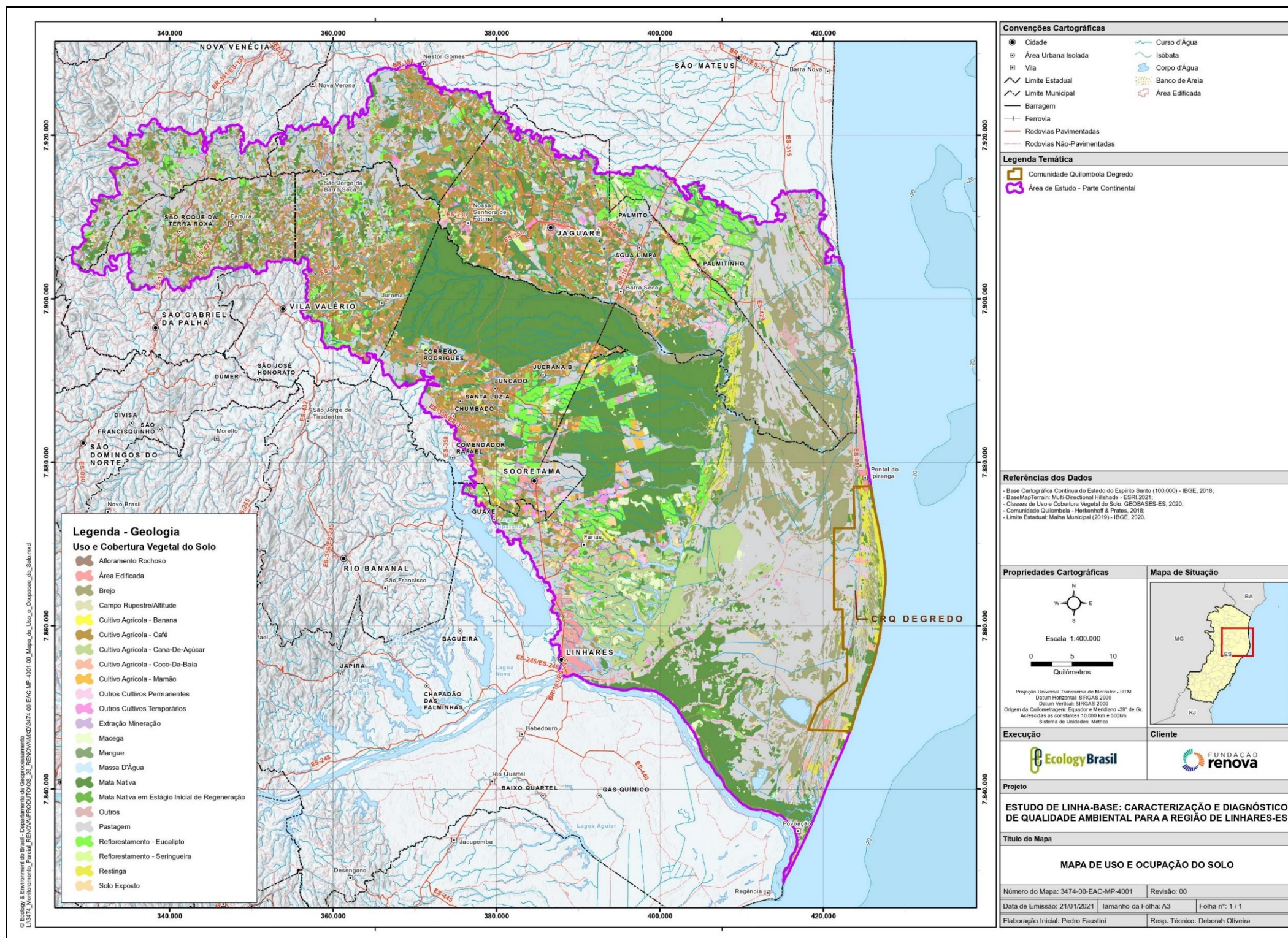
De acordo com o Mapa de Conflitos Envolvendo Injustiça Ambiental e Saúde no Brasil (FIOCRUZ, 2021), *“os riscos de vazamento são intrínsecos a essa indústria, principalmente, pela utilização de hidrocarbonetos inflamáveis e em boa parte voláteis; além disso, são utilizados insumos químicos tóxicos, explosivos, materiais radiativos, e os equipamentos e reservatórios trabalham sob pressões altas e condições mecânicas não usuais. Os rompimentos, vazamentos e derramamentos são frequentes e pouco controláveis”*.

Importa mencionar, segundo o MPF/ES (2013), “*que o TNC segue operando sem que os impactos ambientais tenham sido completamente compensados, os quais incluem: a supressão da vegetação; a alteração na composição florística; o aumento de luminosidade nas áreas de vegetação, com possibilidade de instalação de espécies invasoras; diminuição de habitats de animais terrestres e marinhos; risco de mortalidade de animais e plantas; alteração na qualidade da água; risco de ocupação desordenada do espaço litorâneo, entre outros*”.

De acordo com o estudo de Lani (1997), desenvolvido para a região do delta do rio Doce com ênfase no Vale Suruaca, foram identificados diferentes tipos de água com base em relatos dos moradores e geologia local, a saber, “*a água com cor de café e cheiro forte de putrefação, oriunda de solos orgânicos e podzóis hidromórficos, bem como a água transparente e com gosto de “pedra ume”, oriunda dos solos tiomórficos*” (LANI, 1997). A característica de águas mais ácidas já havia sido demonstrada em estudos anteriores ao rompimento. O autor também menciona que as águas do rio Doce, dependendo da época do ano, apresenta alteração em sua coloração, o que se associa à quantidade de sedimentos de origem a montante da região. Lani (2009) ainda faz referência a um outro tipo de água na região, aquela influenciada pelas atividades da indústria petrolífera, com altos teores de salinidade, sódio e chumbo. O uso de solução salina para facilitar a perfuração dos poços, provavelmente, resulta em um resíduo industrial com alterações nos padrões de qualidade. A tese ainda traz resultados da qualidade da água do delta do rio Doce e cabe destaque para os altos valores de turbidez, sólidos totais, nitrogênio amoniacal, nitrato, fósforo e diversos elementos-traço (Al, Fe, Hg, Cr, Cu, Pb e V).

9.2 - USO DO SOLO

O contexto do desenvolvimento socioeconômico da região se reflete, invariavelmente, nas classes de uso e ocupação do solo, conforme o Mapa de Uso e Ocupação do Solo (3474-00-EAC-MP-4001, **Figura 9-1**), apresentado no Estudo de Linha-base Anterior ao Rompimento da Barragem de Fundão (MG): Caracterização e Diagnóstico de Qualidade Ambiental para a Região de Linhares-ES (ECOLOGY, 2021), sendo possível observar extensas áreas de pastagens e cultivos agrícolas. No entanto, uma importante área de mata nativa é observada, a qual corresponde à Reserva Biológica de Sooretama (RBS Sooretama), que inclui importantes remanescentes de Mata Atlântica, bioma bastante reduzido no Espírito Santo, restando apenas 9% de sua cobertura original (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2015).



Fonte: ECOLOGY, 2021.

Figura 9-1 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo da área de influência de Degredo.

As principais atividades presentes na região de Degredo se referem aos empreendimentos agropecuários, com destaque para o cultivo do café, da cana-de-açúcar e do cacau, assim como para a pecuária e o plantio de eucalipto. Junto a essas atividades, encontram-se a indústria petrolífera, já citada; a agroindústria, com produção de álcool, de alimentos de origem avícola, industrialização de café e frutas, a indústria moveleira; e a extração mineral, principalmente de areia para construção civil (ECOLOGY, 2021). Algumas características regionais são confirmadas na região de Degredo, onde são trazidos aspectos de forte antropização, como presença de fazendas, pastos, plantações, desmatamentos, queimadas e abertura de valas (HERKENHOFF & PRATES, 2018).

Há que se considerar que a agricultura convencional possui alto grau de dependência de um conjunto de práticas tecnológicas, que preconiza alto uso de mecanização e de defensivos e fertilizantes agrícolas. Segundo Ehlers (2009), *“a modernização da agricultura ocasiona uma série de graves problemas ambientais: a contaminação da água, dos alimentos e de muitos trabalhadores rurais, a destruição de florestas e a erosão dos solos”*. Na agricultura convencional mecanizada, a erosão dos solos se dá principalmente pelo uso intensivo de maquinários, responsável por compactar o solo e diminuir a taxa de infiltração de água, aumentando o processo de lixiviação e desagregação dos solos e ocasionando a perda da camada mais fértil. Além disso, segundo Tilman (1999), *“o desenvolvimento de monoculturas irrigadas pode causar impactos significativos no solo, além da eutrofização e poluição das águas, devido aos nutrientes em excesso”*.

De acordo com o estudo de Fontanelli (2001) sobre a qualidade das águas superficiais e subsuperficiais na várzea litorânea do Suruaca, especificamente para as culturas de cana-de-açúcar e cacau, é utilizada a formulação N-P-K, o que geralmente corresponde a 20% de sulfato de amônia, 20% de P_2O_5 e 60% de KCl. Com este formulado, é possível que haja alteração na qualidade das águas quanto aos parâmetros cloretos, sulfatos e metais associados ao fósforo (FONTANELLI, 2001). Posto isto, importa mencionar que o cloreto, que não apresenta qualquer relação com as características do rejeito, resultou em maiores registros em 2020, conforme apontado na NT 02/2021. Adicionalmente, segundo Fontanelli (2001), quanto aos agrotóxicos para o controle de certas pragas, utiliza-se o Malatol ($C_{10}H_{19}O_6S_2$), que contém uma série de impurezas, fazendo com que não perca rapidamente seu poder de contaminação (SINCLAIR e PRESSINGER, 2000a). Além disso, vale mencionar que a quebra do Malatol em estruturas menos complexas gera novos produtos químicos ainda mais tóxicos (SINCLAIR e PRESSINGER, 2000b).

De acordo com Soares (1999), *“os agrotóxicos mais utilizados na cultura cafeeira são os à base de enxofre, com o princípio ativo endosulfan (pesticidas organoclorados), que é um éster do ácido sulfuroso”* (FONTANELLI, 2001).

Ainda de acordo com o estudo de Fontanelli (2001), a atividade pecuária na região pode impactar a qualidade das águas, especialmente por contaminação da aplicação de produtos que controlem pragas e doenças. Segundo Secundino (1999), no manejo da pecuária são muito utilizados herbicidas como o Roundup®, Tordon® 2,4 D e o U-46®. O U-46®, por exemplo, é formado por ésteres ou sais de aminas de ácidos fenoxílicos (COLVIN, 1999). Por serem os ésteres mais ativos que as aminas, predomina-se o uso de ésteres do ácido fenoxílico, o que favorece a contaminação pelo ar. Apesar da contaminação por herbicidas ser atenuada pela diluição, retardação ou eliminação que ocorrem principalmente no solo e em zona saturada, os herbicidas fenoxílicos têm sido encontrados nas águas subterrâneas em níveis preocupantes (CHILTON, 1992). Nesse sentido, segundo Fontanelli (2001), *“a região estudada é propícia a este fato, pois a espessura de solo é pequena e o nível freático é muito raso, o que prejudica a ação de atenuação”*.

Fontanelli (2001) também menciona outro impacto causado pela pecuária na região, que se relaciona com o processo de ocupação das terras, onde muitos canais de drenagem foram e têm sido abertos em região com muita turfa, e de ambiente redutor, segundo Mendonça et al. (1997), podendo provocar a acidificação das águas visto que, devido aos radicais carboxílicos e fenólicos, o H⁺ é sempre um elemento em potencial nestes solos.

No que diz respeito à operação de unidades industriais na região, foram identificadas as seguintes unidades industriais do setor moveleiro em bacias que drenam para o rio Doce ou para a área de Degredo: Sandis Indústrias de Móveis, Panan Móveis, ACP Indústria de Móveis, Móveis Perobas, MGM Móveis, Rimo e Cozinhas Itatiaia (ECOLOGY, 2021). Os impactos ambientais potenciais mais significativos vinculados à operação de uma planta industrial do setor moveleiro estão relacionados especialmente aos resíduos do seu processo produtivo, que podem gerar contaminação do solo e da água, a partir do(a): uso de tintas e solventes; reparação e manutenção de equipamentos com uso de graxas e óleos lubrificantes; resíduos da produção; entre outros. Alguns dos resíduos gerados pelas indústrias moveleiras pertencem à classe 01, ou seja, apresentam riscos à saúde e ao meio ambiente, exigindo tratamento e disposição especiais em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, tais como tintas e solventes, cola, graxas e óleos lubrificantes (VITORIA e TOSTA, 2012).

Além do mais, com foco nas atividades de extração mineral vale mencionar, segundo Mechi e Sanches (2010), que a mineração envolve a supressão de vegetação e o impedimento de sua regeneração e a necessidade frequente de escavações vultosas para a retirada do bem mineral, resultando em grandes volumes de rejeito. Em muitas situações, o solo superficial de maior fertilidade é removido e os solos remanescentes ficam expostos aos processos erosivos, que podem acarretar assoreamento dos corpos d'água do entorno. A qualidade das águas dos cursos hídricos da mesma bacia, à jusante das atividades mineradoras, pode ser alterada em razão da turbidez provocada pelos sedimentos finos em suspensão e pela poluição causada por substâncias lixiviadas ou contidas nos efluentes das áreas de mineração, como óleos, graxas e metais pesados, que podem atingir as águas subterrâneas.

Conforme apresentado no Estudo de Linha-base Anterior ao Rompimento da Barragem de Fundão (MG): Caracterização e Diagnóstico de Qualidade Ambiental para a Região de Linhares-ES (ECOLOGY BRASIL, 2021), de acordo com dados da ANM, foram identificados processos minerários na região de estudo especialmente relacionados à exploração de areia para uso na construção civil, mas também foram identificadas atividades minerárias referentes à exploração de argila em São Mateus, para uso industrial e fabricação de cerâmica vermelha. Vale evidenciar os processos relacionados à exploração de areia para construção civil em Linhares, com destaque para a ocorrência de dois processos no limite da área de Degredo e nas proximidades da lagoa Zacarias.

Também importa pontuar as condições precárias de saneamento presentes na região de Degredo visto que, a UGRH Doce, dentre as unidades do estado, é a segunda que apresenta maior carga poluidora, medida por meio do parâmetro demanda bioquímica de oxigênio (DBO), sendo cerca de 78% de contribuição doméstica, 17% de outros usos e 5% de cargas difusas (AGERH & SEAMA, 2018). Portanto, apesar da UGRH Doce apresentar 77% de coleta de esgoto, apenas 40% é encaminhado para tratamento, ou seja, grande parte do esgoto gerado é despejada, sem qualquer atenuação, diretamente nos recursos hídricos (AGERH & SEAMA, 2018). Adicionalmente, no caso do Nitrogênio Total, um dos parâmetros que não apresenta qualquer relação com as características do rejeito, mas que resultou em maiores registros em 2020 segundo a NT 02/2021, é um dos marcadores para presença de efluentes domésticos *in natura* nos recursos hídricos.

10 - ANÁLISE DAS EVIDÊNCIAS

Com base principalmente no que foi discutido nos **itens 8 - Análise da Hipótese do Pulso de Inundação** e **9 - Sinergia de Atividades** deste documento, este item irá realizar uma análise das condições de contorno que dizem respeito à qualidade da água subterrânea de Degredo, a fim de ponderar qual cenário apresenta evidências mais contundentes para a inferência de uma relação denexo causal entre os fatos expostos. Porém, algumas considerações prévias devem ser postas.

O registro de uma linha de base das condições pretéritas ao fator que se assume como marco para a contaminação de um ambiente (instalação de um empreendimento ou um acidente de contaminação), muitas das vezes é fundamental para confirmar uma hipótese de que tal evento resultou em tal dano. Este cenário é especialmente ainda mais crítico quando a área de estudo apresenta um histórico de distúrbios antrópicos, os quais atuam de forma sinérgica em via de regra, como o observado na bacia do rio Doce. Neste sentido, o monitoramento da qualidade da água do rio Doce conduzido há anos pelo IGAM foi fundamental para subsidiar os estudos sobre o rompimento da barragem de Fundão.

No entanto, a região de Degredo apresenta raros e esparsos estudos sobre a condição pré-rompimento. É inevitável dizer que se perdeu uma oportunidade de que as atividades econômicas ali empreendidas não dispõem de programas básicos ambientais que venham monitorando a qualidade das águas da região. Entre elas, é notória que a petrolífera tem interface direta com os aquíferos da região. De outro sim, ter-se-ia um robusto conjunto de evidências para se relacionar perdas na qualidade das águas de Degredo, com a atividade de perfuração dos poços de petróleo, bem como o manejo de seus efluentes (líquidos e sólidos), além das supressões vegetais e movimentações de terra (enterramentos de dutos) associadas aos 425 poços produtivos na região, como descrito no **item 9.1 - Indústria do Petróleo**.

Ainda assim, desde que se iniciaram as atividades petrolíferas na região em 1997, o **item 9.1 - Indústria do Petróleo** resume uma série de evidências que subsidiam a proposição de um nexo causal entre esta, e a degradação dos corpos hídricos da região. Não só pelos estudos acadêmicos, mas principalmente pelo relato da comunidade diretamente afetada, cujo peso é ressaltado na NT 02/2021, e explicitado no **item 9.1 - Indústria do Petróleo**.

Já com relação ao rompimento da barragem de Fundão, quando se busca por elementos que poderiam corroborar com a hipótese trazida pela NT 02/2021, não foram encontrados elementos concretos que pesem para a confirmação da mesma, como discorrido ao longo deste documento. Assim, com base nas evidências hora postas, este parecer conclui que: a degradação da qualidade das águas subterrâneas e superficiais da região de Degredo está relacionada com as atividades econômicas instaladas há mais de duas décadas na região de Degredo, notoriamente a extração petrolífera subterrânea, sendo improvável que eventos de cheia após o rompimento da barragem de Fundão, em especial a cheia de 2016, tenham contribuído para a piora da qualidade da água.

11 - REFERÊNCIAS

AGERH - Agência Estadual de Recursos Hídrico. Sitio Eletrônico www.agerh.es.gov.br. Consulta em maio de 2020.

AGERH - Agência Estadual de Recursos Hídricos. Dados Históricos Rio Doce 2007-2015. Disponível em: <https://agerh.es.gov.br/>. Acesso em dezembro de 2020.

AGERH & SEAMA - Agência Estadual de Recursos Hídricos e Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo. Documento Consolidado do Plano Estadual de Recursos Hídricos Caderno Diagnóstico. Novembro de 2018.

ALMEIDA, G.M. & SILVA JUNIOR, G. C. Fatores Hidrogeológicos no Estudo da Intrusão Salina em Aquíferos Costeiros da Região Litorânea do Município de Maricá - RJ. Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ. 2007.

ANA - Agência Nacional das Águas. Cuidando das Águas. 2011.

ANA - Agência Nacional das Águas. Hidroweb. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>. Acesso em abril de 2021.

ANA - Agência Nacional de Águas (Brasil). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: regiões hidrográficas brasileiras - Edição Especial. Brasília: ANA, 2015.

ANA - Agência Nacional de Águas (Brasil). Divisões Hidrográficas do Brasil. Disponível em: https://www.ana.gov.br/aguas-no-brasil/panorama-das-aguas/copy_of_divisoes-hidrograficas/divisoes-hidrograficas-do-brasil acesso em: maio de 2021.

ANA - Agência Nacional de Águas (Brasil). Glossário de Termos Hidrológicos - GTH. Brasília, DF, 2002.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. GeoANP - Mapa de dados georreferenciados. 2021.

CAÇADOR, S. B. Os impactos dos royalties do petróleo na economia e nas finanças públicas do Espírito Santo e de seus municípios. 103f. Monografia (Bacharel em Ciências Econômicas) - Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Economia, Vitória, 2005.

CAL CONSULTORIA AMBIENTAL LTDA. Estudo de Impacto Ambiental Usina Termoelétrica Linhares. 2008.

CASO SAMARCO (Desastre de Mariana). PROCESSO: 1013576-94.2018.4.01.3800.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Apêndice E: Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem. 2016.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Poluição das Águas Subterrâneas. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/informacoes-basicas/poluicao-das-aguas-subterraneas/>. Acesso em abril de 2021.

CHILTON, J. Groundwater. In: CHAPMAN, D. (Ed.). Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. London: Chapman & Hall Ltd, p. 371-466. 1992.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B., eds. Geomorfologia - Uma atualização de base e conceitos, 2.ed., Rio de Janeiro, Bertrand, 472p. 1998.

COELHO, A. L. N. Hotspots de erosão marginal no médio-baixo rio Doce: identificação e análise. Revista Equador (UFPI), Vol. 9, Nº 1, p. 266 - 281. 2020.

COLVIN, D. L. (1999). Weeds in the sunshine: herbicide prepackage mixtures. University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences. Disponível em: <<http://edis.ifas.ufl.edu/WG054>> Acesso em: Maio de 2021.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Mapa de domínios/subdomínios hidrogeológicos do Brasil. Rio de Janeiro: CPRM, 2007.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Mapa Geológico do Estado do Espírito Santo (1:400:000). 2018.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Mapa hidrogeológico do Brasil ao milionésimo: Nota técnica. / João Alberto Oliveira Diniz, Adson Brito Monteiro, Robson de Carlo da Silva, Thiago Luiz Feijó de Paula. Recife: CPRM, 2014.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Sistema de Informação de Águas Subterrâneas (SIAGAS WEB). Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/> Consulta em maio de 2020.

CPRM & ANA - Serviço Geológico do Brasil e Agência Nacional das Águas. Monitoramento Especial da Bacia do Rio Doce (Hidrometria, Sedimentometria e Qualidade da Água nas Estações Fluviométricas da RHN após a Ruptura da Barragem de Rejeito No. IV) (p. 61). Belo Horizonte, Brasil: Serviço Geológico do Brasil - Agência Nacional de Águas. 2016.

CUNHA, V. De Barra Seca a Jaguaré: cultura cívica e capital social. 99f. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Jurídicas e Econômicas, Vitória, 2018.

DUARTE, E.B., NEVES, M.A., OLIVEIRA, F.B., MARTINS, M.E., OLIVEIRA, C.H.R, BURAK, D.L., ORLANDO, M.T.D, RANGEL, C.V. Trace metals in Rio Doce sediments before and after the collapse of the Fundão iron ore tailing dam, Southeastern Brasil. *Chemosphere*, 262: 127879. 2021.

ECOLOGY BRASIL. Estudo de Linha-base Anterior ao Rompimento da Barragem de Fundão (MG): Caracterização e Diagnóstico de Qualidade Ambiental para a Região de Linhares-ES. Rio de Janeiro, 2021.

ECOLOGY. Estudo de Linha-base Anterior ao Rompimento da Barragem de Fundão (MG): Caracterização e Diagnóstico de Qualidade Ambiental para a Região de Linhares-ES. 2021.

EHLERS, E. O que é agricultura sustentável. Coleção primeiros passos. São Paulo: Brasiliense, 2009.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3 ed. Brasília, DF. 2013.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - Brasília: 5. ed. rev. e ampl. 306p. 2018.

ENERGÉTICA CAPIXABA, CTA MEIO AMBIENTE. Estudo de Impacto Ambiental Usinas Termoelétricas Escolha e Cacimbas. 2010.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Webmap interativo do sistema energético brasileiro. 2021.

ESTEVES, F.A., 1998. Fundamentos de Limnologia. 2ª ed., Ed. Interciência. Rio de Janeiro.

FAO. Livestock's long shadow. Rome: (FAO) Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2006.

FIOCRUZ - Fundação Oswaldo Cruz. Mapa de Conflitos. Disponível em: <http://mapadeconflitos.ensp.fiocruz.br/conflito/es-pescadores-artesanais-lutam-pela-sobrevivencia-e-contra-a-petrobras/>. Acesso em abril de 2021.

FIRMINO, F. H. T. Gênese, Geoquímica e Mineralogia de Solos Ácidos Sulfatados do Delta do Rio Doce, Espírito Santo, Brasil. Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2020.

FITTS, C, R. Águas Subterrâneas. 2 ed. Rio de Janeiro. Elsevier. 2015.

FONTANELLI, G. F. Estudo da qualidade das águas superficiais e subsuperficiais da várzea litorânea do Suruaca, região norte do estado do Espírito Santo. Boletim Paranaense de Geociências, 51. 2001.

GEOBASES - ES. Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo. 2015.

GOLDER. Relatório Técnico Consolidado: Resultados das Campanhas de Dez/19, Mai/20, Set/20 e Dez/20 da Região Deltaica (NT-GRSA no 05/2019). 2021a.

GOLDER. Relatório Técnico Consolidado: Aplicação do Plano de Manejo de Rejeito no Trecho 16. 2021b.

GOMES, L.E.O.; BARRETO, L.B.; SÁ, F.; RODRIGUES-NETO, R. BERNARDINO, A.F. The impacts of the Samarco mine tailing spill of Rio Doce estuary, Eastern Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 120: 28-36. 2017.

GONÇALVES, M.A. Ecohidrologia e gestão integrada de recursos hídricos em uma bacia lacustre costeira. Tese de doutorado - UFES. 182f. 2015.

GRUPO 3+ MINERAÇÃO. Produtos. Bentonita. Disponível em: <<https://grupo3mais.com/produtos/bentonita/>>. Acesso em: Maio de 2021.

HERKENHOFF & PRATES. 2018. Estudo do Componente Quilombola da Comunidade Remanescente de Quilombo do Degredo.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 2016. Disponível em: http://www.ibama.gov.br/phocadownload/emergenciasambientais/respostas_deliberacao_3_e_4_do_cif.pdf. Acesso em abril de 2021.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Banco de Dados de Informações Ambientais - BDIA. Mapa Pedológico. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home>. Acesso em abril de 2021.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Base Cartográfica Contínua do Estado do Espírito Santo, 2018.

IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Monitoramento da qualidade das águas superficiais do rio Doce no estado de Minas Gerais. Relatório Técnico: Acompanhamento da Qualidade das Águas do Rio Doce Após o Rompimento da Barragem da Samarco no distrito de Bento Rodrigues - Mariana/MG. 2016.

INERCO. Estudo de Impacto de Vizinhança. Terminal Aquaviário de Santos - SP. 2019. Disponível em: https://www.santos.sp.gov.br/static/files_www/files/portal_files/redes/site_eiv_-_transpetro_compressed.pdf. Acesso em: jan. 2021.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. Síntese da Produção Agropecuária no Espírito Santo 2013/2014. Documentos N° 239. ISSN 1519.0528. Vitória, ES: INCAPER, 2016.

ISSN 0101-9759 e ISSN 1982-3908 - Vol. 30 -2 / 2007 p. 104-117

LACTEC. Caracterização Parcial do Rejeito de Mineração do Complexo de Germano. 2018.

LACTEC. Parecer técnico sobre a área de passagem e deposição dos rejeitos advindos do rompimento da barragem de Fundão ao longo dos rios afetados - APDL 2016. 2020.

LANI, J. L. Deltas dos rios Doce e Itapemirim: solos, com ênfase nos tiomórficos, água e impacto ambiental do uso. Tese de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1997.

LANI, J. L., REZENDE, S B., STARIN, J. B., LANI, J. A. Águas da região do delta do rio Doce com ênfase no vale do Suruaca, Linhares-ES. Geografares, v. 7, p. 147-160. 2009.

LIKENS, G.E. The ecosystem approach: its use and abuse. Ecology Institute. Oldenhof/Lehe, Germany. 1992.

LIU, D. H., & LIPTÁK, B. G. (Eds.). Groundwater and surface water pollution. CRC Press. 1999.

MANABI, ECOLOGY, ECONSERVATION. Estudo de Impacto Ambiental do Mineroduto Morro do Pilar/MG a Linhares/ES e Porto Norte Capixaba. 2013.

MARGALEF, J., Teoria de los sistemas ecológicos. 2ª ed. Barcelona. Universitat de Barcelona. 1993.

MARTINS, F.C.O., 2013. Avaliação ambiental integrada como subsídio ao manejo lacustre (estudo de caso: lagoa Juparanã, ES). Tese de doutorado-UFES. 160f.

MDGEO. Estudo Hidrogeológico - Mapa Potenciométrico da Região de Linhares - ES. 2016.

MDGEO. Relatório de estudos hidrogeológicos na região de Degredo, Linhares - ES. 2020.

MECHI, A.; SANCHES, D. L. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. Estudos Avançados, v. 24, n. 68, p. 209-220, 2010.

MENDONÇA, A. S. F. et al. Estudo de impacto ambiental das atividades da Petrobras no norte do Estado do Espírito Santo. Vitória: Fundação Ceciliano Abel de Almeida, v. II. 1997.

MOURÃO, M. A. A.; LIMA, J. E. S.; MONTEIRO, E. A. Os sistemas aquíferos do norte do estado do Espírito Santo: Potencial de exploração e diagnóstico atual de aproveitamento. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 21p. 2002.

NASCENTES, A.L.; GOULART, A. C. O.; GIMENES, A. C.W.; CUNHA, L. Análise das inundações na planície deltaica do Rio Doce. II Encontro Luso-Afro-Americano de geografia física e ambiente - Eixo Temático 3 - Riscos Naturais e gestão de Crise. Brasil, 2018.

OLIVEIRA, A.M. Modelagem do avanço da cunha salina em sistema aquífero costeiro. Dissertação de mestrado - Universidade federal de Alagoas, Maceió, 2016.

PEREIRA, A, A., Van HATTUM, V., BROUWER, A., Van BODEGOM, P.M., REZENDE, C.E., SALOMONS, W. Effect of iron-ore mining and processing on metal bioavailability in a tropical coastal lagoon. J. Soil Sediments. 8: 239-252. 2008.

PEREIRA, J. R.; CAMPOS, A. L. A. Polos produtivos locais: a indústria moveleira de Linhares. Pesquisa em Debate, esp., 2009. Disponível em: http://www.pesquisaemdebate.net/docs/pesquisaEmDebate_especial1/artigo_8.pdf. Acesso em: Maio de 2021.

PFX ENGENHARIA, CEA. Estudo de Impacto Ambiental Usina Termoelétrica Mundi Linhares. 2011.

PIRH & ANA - Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce e Agência Nacional das Águas. Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce. Relatório Final, vol. I. Agência Nacional de Águas, Brasília, p. 472. 2010.

PORTAL HIDROWEB. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>. Acesso em 08 de julho de 2021.

RAZÃO CONSULTORIA AMBIENTAL. Estudos Ambientais Complementares no Território Quilombola da CRQ de Degredo, Linhares/ES. 2018.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. Pedologia: base para distinção de ambientes. 4. ed. Viçosa: NEPUT. 338 p. il. 2002.

RIBEIRO, P. H. Matéria orgânica e atributos químicos em solo de Tabuleiros Costeiros sob diferentes coberturas vegetais. Dissertação pelo Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, 41p. 2011.

SANTANA, D.P. Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 63p. 2003. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 30).

SASTRE, J, SAHUQUILLO, A., VIDAL, M., RAURET, G. Determination of Cd, Cu, Pb and Zn in environmental samples: microwave-assisted total digestion versus aqua regia and nitric acid extraction. Analytica Chimica Acta, 462, pg 59-72. 2002.

SÉCULO DIÁRIO. Transpetro é denunciada por poluição de praia em São Mateus, 08 de março de 2020. Disponível em: <https://www.seculodiario.com.br/meio-ambiente/transpetro-e-denunciada-por-poluicao-de-praia-em-sao-mateus>. Acesso em: 19 jan. 2021.

SECUNDINO, W. Entrevista concedida pelo Chefe da EMCAPER, São Mateus. São Mateus, 10 ago. 1999.

SINCLAIR, W.; PRESSINGER, R. W. Malathion medical research. Disponível em: <http://www.chem-tox.com/malathion/research/index.htm#impurities> Acesso em: Maio de 2021. 2000a.

SINCLAIR, W.; PRESSINGER, R. W. Malathion medical research. Disponível em: <http://www.chem-tox.com/malathion/research/index.htm#soil>. Acesso em: Maio de 2021. 2000b.

SOARES, J. G. S. Entrevista concedida a Glauco Fernando Fontanelli. São Mateus, 25 out. 1999.

SOUZA, B.A. Estrutura, dinâmica e produtividade primária do fitoplâncton como base para estimativa do estado trófico de uma lagoa costeira no estado do Espírito Santo (lagoa Mãe-Bá, Guarapari-ES). Dissertação de mestrado em ecologia e recursos naturais. UENF/RJ. 141p. 2008.

Termoelétricas Escolha e Cacimbas - Linhares/ES. Capítulo V - Diagnóstico Ambiental. 2010. Disponível em: <https://iema.es.gov.br/EIA-2010>. Acesso em abril de 2021.

TETRA TECH. Compilação e avaliação de estudos ambientais realizados antes e após o rompimento da barragem de Fundão - Litoral norte do Espírito Santo. 2020.

TETRA TECH. Estudo e investigação das alterações dos parâmetros de qualidade da água na região de Degredo, Linhares-ES. Relatório Técnico. 2019.

TILMAN, D. Global environmental impacts of agricultural expansion: the need for sustainable and efficient practices. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 96, n. 11, p. 5995-6000, 1999.

TRANSMAR CONSULTORIA LTDA. Estudo de Impacto Ambiental - EIA. Estação de Fazenda Alegre - Terminal Norte Capixaba, 2002.

TUCCI, C. E. M. Gestão da água no Brasil - Brasília: UNESCO, 156p. 2001.

VIEIRA, V. M. Água produzida no segmento onshore de petróleo: Caracterização de cenários na Bahia e prospecção de soluções para gerenciamento. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Geologia. Universidade Federal da Bahia - UFBA. Salvador/BA. 2011.

VIEIRA, V. M. Modelo de avaliação do gerenciamento da água produzida em operações de produção de petróleo e gás natural em bacias terrestres brasileiras. Dissertação de Doutorado. Pós-Graduação em Geologia. Universidade Federal da Bahia - UFBA. Salvador/BA. 2016.

VITORIA, T. F.; TOSTA, M. C. R. Análise do Setor de Produção Moveleiro de Linhares, sob uma Perspectiva Ambiental. XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Desenvolvimento Sustentável e Responsabilidade Social: As Contribuições da Engenharia de Produção. Bento Gonçalves, RS, Brasil, 15 a 18 de outubro de 2012.

WWF - World Wide Fund for Nature. Água para a vida, Água para todos. Livro das Águas. 2006.

ZON, C. Influência de drenagem sobre solos orgânicos e parâmetros de qualidade de água. Estudo de caso: "Vale do Suruaca" delta do rio Doce. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo, 156p. 2008.

12 - EQUIPE TÉCNICA

Profissional da Ecology Brasil e E&E	Formação	Função	Registro Geral/CTF IBAMA
Michele Lima	Bióloga (FIC), mestre em Ecologia (UFJF)	Coordenação Geral	CRBio 62141/04-D CTF 4905761
Déborah Regina de Oliveira e Silva	Bióloga, mestre e doutora em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre (UFMG)	Coordenação Técnica	CRBio 87804/04 CTF 5810376
Petrus Magnus Amaral Galvão	Biólogo, mestre em Ecologia e doutor em Biofísica (UFRJ)	Análise dos dados e elaboração do Relatório	CRBio 115214/02 CTF 499671
Ingo Salvador Kuerten	Geografia, Mestre em Geografia	Análise dos dados e elaboração do Relatório. Revisão geral do documento.	CREA-RS 161394-D CTF 5011289
Marília Salgado Martins	Engenheira Florestal	Coordenação do GIS. Elaboração de mapas	CREA 2010146561 CTF 3889738
Gabrielle Rabelo Quadra	Bióloga, mestre e doutora em Ecologia (UFJF)	Análise dos dados e elaboração do Relatório	CRBio 104194/04 CTF 7725822
Maria Isabel de Almeida Rocha	Bióloga (UNIRIO), mestre e doutora em Biofísica (UFRJ)	Análise dos dados e elaboração do Relatório	CRBio 29943/02 CTF 7176839
Marina Vieira Xavier	Estagiária - Engenharia química (UFF)	Análise de dados	-
Renata da Silva Corrêa	Geografia, Mestre em Geografia	Análise dos dados e elaboração do Relatório	CREA-RJ 2019100244 CTF 4119105
Thais Lima Verde Monteiro	Geóloga, Mestre em Geologia	Análise dos dados e elaboração do Relatório	CREA-RJ 2013122067 CTF 6319665
Carolina Malta Nunes	Engenharia Agrícola e Ambiental	Análise dos dados e elaboração do Relatório	CREA-RJ 2019100587 CTF 6131142
Felipe Fraiefeld	Geógrafo	Análise dos dados e revisão do Relatório	CREA-RJ 2011116095 CTF 3747273
Danielle Vilela	Ciências Biológicas	Elaboração de mapas	CTF 5202346
Francine Azeredo	Comunicação Social (UFF)	Editoração	RG 11091672-3
Vanessa Souza Romão	Analista de sistemas	Editoração	IFP 104.169.94-1