

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA POLITÉCNICA

MARIA CECÍLIA GONÇALVES PONTES MASSA

**Monitoramento de água superficial e subterrânea em antigo dique de borra de indústria
petrolífera**

São Paulo

2022

Monitoramento de água superficial e subterrânea em antigo dique de borra de indústria petrolífera

Versão Original

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a obtenção do título de Especialista em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields.

Orientador: Mônica Machado Stuermer

São Paulo

2022

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catalogação-na-publicação

Massa, Maria Cecília Gonçalves Pontes

Monitoramento de água superficial e subterrânea em antigo dique de
borra de indústria petrolífera / M. C. G. P. Massa -- São Paulo, 2022.
61 p.

Monografia (MBA em MBA em Gestão de Áreas Contaminadas,
Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Browfieldss) - Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia
Química.

1.Petróleo 2.Contaminação do solo 3.Remediação do solo 4.Água subterrânea
5.Água superficial I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia Química II.t.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a equipe do GAC, em especial a Prof^a Marilda por ter atuado num momento decisivo, diante de tantas adversidades e incentivar-me a continuar o curso. A prof^a Monica M. Stuermer pela orientação da presente monografia, sempre disponibilizando seu tempo e atenção dando direcionamentos e sugestões pertinentes para que o trabalho final ficasse impecável.

A todos os amigos de turma, ao qual formamos uma bela parceria de estudos e conhecimentos trocados, em especial a Gisele Penido, que sempre me apoiou e me deu forças para continuar avançando, mesmo quando parecia impossível.

Ao meu esposo, Renato, por todo o amor, apoio e encorajamento para que esse sonho se transformasse em realidade.

Aos meus queridos colegas de trabalho, Vaqueiro, João, Nelson, Marta, Luciano, Pamponet, Ramon e Thiago, vocês me apresentaram ao mundo das áreas contaminadas e eu me apaixonei.

Por fim aos meus pais que me deram todo o ensinamento para persistir e perseverar.

RESUMO

Massa, Maria Cecília Gonçalves Pontes. Monitoramento de água superficial e subterrânea em antigo dique de borra de indústria petrolífera. 2022. 61 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

A atividade de exploração de Petróleo no Brasil ocorre desde a década de 40, quando não existiam legislações estabelecidas para gerenciamento de resíduos. Na etapa de exploração e produção (E&P) de petróleo dos campos terrestres muitos resíduos são gerados. Dentre eles a borra oleosa é a mais comum. A borra oleosa é uma mistura complexa de compostos químicos, dentre eles, metais pesados, hidrocarbonetos totais, sais, sedimentos, água produzida e outras substâncias tóxicas.

Até a década de 90 era prática da indústria petrolífera, a deposição de resíduos das atividades de E&P em valas ou diques (também conhecidos como lagoas de borra). Esses diques não costumavam ser impermeabilizados.

Esse trabalho apresenta um estudo de caso do processo de Gerenciamento de uma área contaminada, desde a identificação da área, investigação preliminar, confirmatória, detalhada, ações de remediação, monitoramento e entrega da área revitalizada.

A área trata-se de uma lagoa (antigo dique de borra) inserida em área rural. Foram realizadas investigações preliminares e identificado evidências da contaminação da lagoa, por contaminantes de origem de atividades petrolíferas.

Foram aplicados métodos de remediação por escavação local do resíduo no fundo da lagoa e após a formação da nova lagoa, foram aplicadas campanhas de monitoramento das águas superficiais e subterrâneas para avaliação da qualidade e enquadramento final para uso pretendido.

O processo de remediação se mostrou eficaz, eliminando os contaminantes de origem das atividades de E&P e após 6 anos de monitoramento, a lagoa foi enquadrada para uso de irrigação e dessedentação de animais, o que é compatível com o uso local.

ABSTRACT

Massa, Maria Cecília Gonçalves Pontes. Surface and Undeground Monitoring Water in sludge dikes of oil and gas industry. 2022. 61 f. Monography (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

Oil exploration activity in Brazil has been going on since the 40s, when there were no established legislation for waste management. In the exploration and production (E&P) stage of oil from onshore fields, many residues are generated. Among them, the oily sludge is the most common. Oily sludge is a complex mixture of chemical compounds, including heavy metals, total hydrocarbons, salts, sediments, produced water and other toxic substances.

Until the 1990s, it was the practice of the oil industry to deposit waste from E&P activities in ditches or dikes (also known as lakes of sludges). These dikes were not used to be waterproofed, so there is a great liability for contamination of the soil and groundwater in these areas.

This work presents a case study of the management process of a contaminated area, from the identification of the area, preliminary investigation, confirmation, detailed, remediation actions, monitoring and delivery of the revitalized area.

The area is a lake (sludge dike) that is located within a rural area. Preliminary investigations were carried out and evidence of contamination of the lake by contaminants originating from oil activities in the region was identified.

Remediation methods were applied by local excavation of the residue at the bottom of the lake and after the formation of the new lake, surface and underground water monitoring campaigns were applied to assess the quality and final classification for the intended use.

The remediation process proved to be effective, eliminating the contaminants originating from the E&P activities and after 6 years of monitoring, the lake was classified for use for irrigation and watering of animals, which is compatible with local use.

Sumário

INTRODUÇÃO	8
1 OBJETIVOS	9
2 JUSTIFICATIVA.....	10
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
3.1 Indústria do Petróleo na Bahia	10
3.1.1 Bacia Sedimentar do Recôncavo	10
3.1.2 Campo de Dom João (Terra e Mar)	12
3.2 Histórico do Manejo Agrícola no Recôncavo Baiano.....	13
3.3 Impactos das atividades de E&P de Petróleo.....	14
3.4 Diques de Borrão Oleosa.....	16
4 ESTUDO DE CASO.....	17
4.1 Histórico de avaliação e intervenções ambientais na área de investigação (2002 a 2014).	21
 4.1.1 Período de 2002 a 2005	21
 4.1.2 Período de 2006 a 2011	21
 4.1.3 Período de 2011 a 2014	22
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
5.1 Sedimentos do Fundo da Lagoa	27
5.2 Água Superficial e Água Subterrânea	27
5.3 Parâmetros e Métodos Analíticos.....	30
5.4 Investigação detalhada do solo e ao redor da lagoa	30
5.5 Classificação da borra oleosa coletada na área de investigação.....	32
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
6.1 Sedimentos do Fundo da Lagoa	32
6.2 Solo ao redor da Lagoa	35
6.3 Borra Oleosa	37
6.4 Água Superficial e Água Subterrânea	37
7 CONCLUSÕES	46
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
ANEXOS	51
ANEXO 1- TABELA DE RESULTADOS DAS ANÁLISES DE CÁDMIO, NÍQUEL, CROMO, VANÁDIO, COBRE, ZINCO, COBALTO E BORO NA SUBTERRÂNEA E ÁGUA SUPERFICIAL NA LAGOA (2015 A 2019).	52

ANEXO 2- TABELA DE RESULTADOS DAS ANÁLISES DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS EM ÁGUA SUBTERRÂNEA E ÁGUA SUPERFICIAL NA LAGOA (2015 A 2019)	56
ANEXO 3- TABELA DE RESULTADOS DAS ANÁLISES DOS INDICADORES DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA E ÁGUA SUPERFICIAL NA LAGOA (2015 A 2019).....	58

INTRODUÇÃO

Segundo legislação brasileira (Resolução CONAMA 001, de 23.01.1986) considera-se impacto ambiental:

"qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que direta ou indiretamente, afetam: I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e V - a qualidade dos recursos ambientais"

O licenciamento ambiental é o instrumento administrativo com o qual o órgão ambiental competente autoriza ou não a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades que se utilizem dos recursos ambientais e com isso gerar algum tipo de impacto ambiental considerável. Com o licenciamento ambiental, é feita uma avaliação de impactos ambientais (potenciais e efetivos) do empreendimento e com isso é possível conhecer detalhadamente as características físicas, biológicas e socioeconômicas da área. Normalmente o órgão ambiental competente estabelece um Termo de Referência que irá nortear as atividades dos empreendimentos, objetivando assim um maior cuidado com a degradação que possa ocorrer no meio. (Sánchez, 2013)

O CONAMA, por meio da Resolução nº23, de 7 de dezembro de 1994, instituiu procedimentos específicos para o licenciamento ambiental da atividade de perfuração de poços de óleo e gás no Brasil. Essa resolução contempla atividades de perfuração de poços, de produção para pesquisa sobre viabilidade econômica e de produção efetiva para fins comerciais. Como podemos observar a legislação é muito posterior ao histórico de atuação da indústria de Petróleo e Gás, principalmente no âmbito da Exploração Terrestre.

A contaminação de solo e aquíferos decorrente das atividades de Exploração e Produção (E&P) representa um grande impacto ambiental, e se dá pela disposição inadequada de resíduos gerados durante o processo, que vai desde o preparo para a perfuração do poço, até a distribuição do óleo para os centros de armazenamento ou refinarias. Dentre os principais resíduos gerados nas atividades de Exploração e Produção de Petróleo estão: fluido de perfuração, cascalho oleoso de perfuração, resíduo de limpeza de tanques de petróleo, resíduo de limpeza de tanque de derivados, resíduo de limpeza de separadores de água e óleo (SAO), resíduo de limpeza de separadores de canaletas do sistema de efluentes, resíduo oleoso salino resíduo de limpeza de equipamentos em geral e resíduos de limpeza de vazamento (contido e não contido).

Segundo Ururahy (1998) e Guimarães (2007), a maioria dos resíduos provenientes das atividades de E&P vinham sendo, até um passado bastante recente, dispostos em locais

classificados ou chamados de “lagoas de borra”, diques de borra oleosa, tanques ou dispostos em aterros, de forma praticamente aleatória, mesmo em países desenvolvidos, em função da inexistência, até então, de uma legislação ambiental mais específica.

Os resíduos sólidos oleosos, em sua maioria, são chamados de borra oleosa (*oil sludge*), por suas características físico-químicas. Segundo Alves (2003) a borra oleosa é constituída por mistura de óleo, sólidos e água, com eventual presença de outros contaminantes. A Norma NBR 10004 (ABNT, 1987a) normalmente classifica esse tipo de resíduo como Classe II (não inertes) e em alguns casos como Classe I (tóxicos ou perigosos).

1 OBJETIVOS

O trabalho aqui apresentado tem como objetivo geral avaliar a recuperação da “lagoa” após a remoção total dos resíduos (Borra Oleosa) a partir de 2015. Serão analisados os parâmetros de qualidade da água superficial comparados aos valores de referência da CONAMA 357/2005 e os parâmetros da água subterrânea e comparados aos valores orientadores da CONAMA 420/2009. O acompanhamento das variações hidrogeológicas e hidrogeoquímicas foi realizado em campanhas de monitoramento (período chuvoso e seco) e amostragem de poços de monitoramento ao redor da lagoa.

Os principais objetivos específicos são:

- a) Apresentação do histórico da contaminação no local;
- b) Descrever a análise investigativa da contaminação da água superficial e subterrânea do local;
- c) Avaliar o perfil inicial de contaminação da água superficial e subterrânea para os SQIs de interesse;
- d) Avaliar os resultados obtidos no processo de atenuação natural monitorada (ANM) aplicado na área de estudo;
- e) Avaliar de acordo com os resultados obtidos, os possíveis “usos futuros” para a área remediada e revitalizada, em consonância aos desejos do proprietário;
- f) Definir meta de finalização do processo de remediação da área.

2 JUSTIFICATIVA

Como visto anteriormente, os diques de borras são considerados impactos ambientais de grande magnitude e estão relacionados a acúmulos de diversos tipos de resíduos das atividades de Exploração e Produção (E&P) de Petróleo. Esses resíduos são considerados tóxicos e além de contaminar a água superficial desses diques (lagoas) podem alcançar o lençol freático através da percolação no solo. Sendo assim, a resolução CONAMA 420/2009 provê diretrizes para o gerenciamento de áreas contaminadas por substâncias em decorrência de atividades antrópicas.

Diante o exposto e a importância do tema em questão, este trabalho apresenta um estudo de caso sobre o passivo ambiental causados por resíduos das atividades de E&P na água superficial e subterrânea de um antigo dique de borra oleosa (Lagoa) construído sem nenhum tipo de impermeabilização no solo. Após a confirmação da ausência de contaminantes no fundo da cava da lagoa (sedimento de fundo) através de técnicas de investigação, foram realizadas campanhas de monitoramento e os valores comparados às resoluções CONAMA 357/2005 e CONAMA 420/2009.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Indústria do Petróleo na Bahia

Os primeiros registros de que se tem notícias sobre a procura de petróleo no Brasil relacionaram-se às concessões dadas pelo imperador em 1858, para a pesquisa e lavra de carvão e folhelhos betuminosos na região de Ilhéus, Bahia e, em 1864 para pesquisa de lavra e turfa e petróleo. Região hoje denominada Bacia de Camamá, onde algumas emanações de óleo e a ocorrência de folhelho betuminoso eram conhecidas, 1859 foram registradas emanações de óleo em cortes da estrada de ferro em construção no Recôncavo Baiano, arredores de Salvador.

Do entusiasmo causado por essa primeira descoberta, em 1939 (Lobato), e de 1941, até 1953, foram descobertos os campos de Candeias, Aratú, Dom João e Água Grande, até hoje os maiores campos terrestres já encontrados no Recôncavo. (Lucchesi, 1998 & FIEB, 2018).

3.1.1 Bacia Sedimentar do Recôncavo

A Bacia Sedimentar do Recôncavo (**Figura 1**), na Bahia é alvo de estudos desde a primeira metade do século 19, e se tornou cenário histórico na linha do tempo do petróleo no Brasil: lá foram extraídos, em 1937, os primeiros barris de óleo em solo brasileiro. Candeias, o primeiro campo comercial descoberto no país, em 1941, permanece em atividade, assim como os campos

Dom João Terra (1947) e Água Grande (1951). A área sedimentar da Bacia do Recôncavo tem 9.809 km², com área efetiva de 9.730 km² e é considerada madura. (https://web.bnndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/16962/3/PRArt214594_Producao%20de%20petroleo%20terrestre%20no%20Brasil_P_BD.pdf).

O gráfico a seguir mostra a participação da Bahia no total da produção do Brasil desde 1942 até 2017. A participação da Bahia pode ser dividida em 4 fases: (i) domínio absoluto da produção brasileira; (ii) fase de declínio rápido; (iii) declínio mais leve chegando a patamares muito baixos e (iv) declínio total e perda de relevância no contexto da produção brasileira (FIEB, 2018)

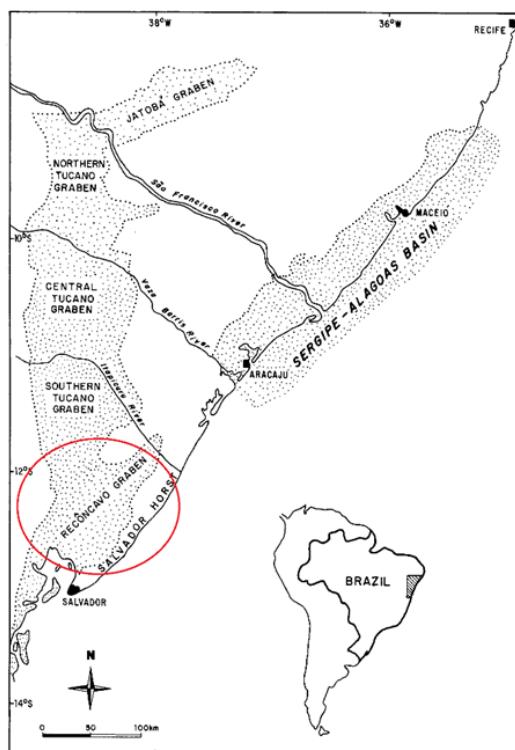


Figura 1: Mapa de localização da Bacia Sedimentar do Recôncavo – Bahia – Brasil
Fonte: Milani, 1988.

3.1.2 Campo de Dom João (Terra e Mar)

O Campo de Dom João, descoberto em 1947, está localizado nas proximidades do município de São Francisco do Conde, na parte sudoeste da Bacia do Recôncavo. Dois terços do campo estão imersos nas águas da Baía de Todos os Santos, sendo dividido em Dom João Mar (**Figura 2**) e Dom João Terra (**Figura 3**). As acumulações presentes nesse campo são rasas, situadas entre 160 e 375 metros de profundidade. Na extremidade norte do campo, a Formação Sergi possui espessura de 280 metros e, na porção sul, 460 metros (Ghigone, 1978 *apud* Brasileiro, 2014).

A estrutura do campo é um *horst* alongado a SSW-NNE com cerca de 24 km de comprimento, possuindo de 1 a 3,5 km de largura. As principais falhas limitantes possuem rejeitos entre 100 e 500 metros e o mergulho da Formação Sergi não ultrapassa 5° para NE (Ghigone, 1978 *apud* Brasileiro, 2014).

De acordo com os dados apresentados em 2016 pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), o campo de Dom João Terra possui 274 poços perfurados, sendo 58 produtores, 39 injetores e 177 inoperantes. O campo de Dom João Mar possui 651 poços perfurados, sendo 7 produtores, 6 injetores e 638 inoperantes.

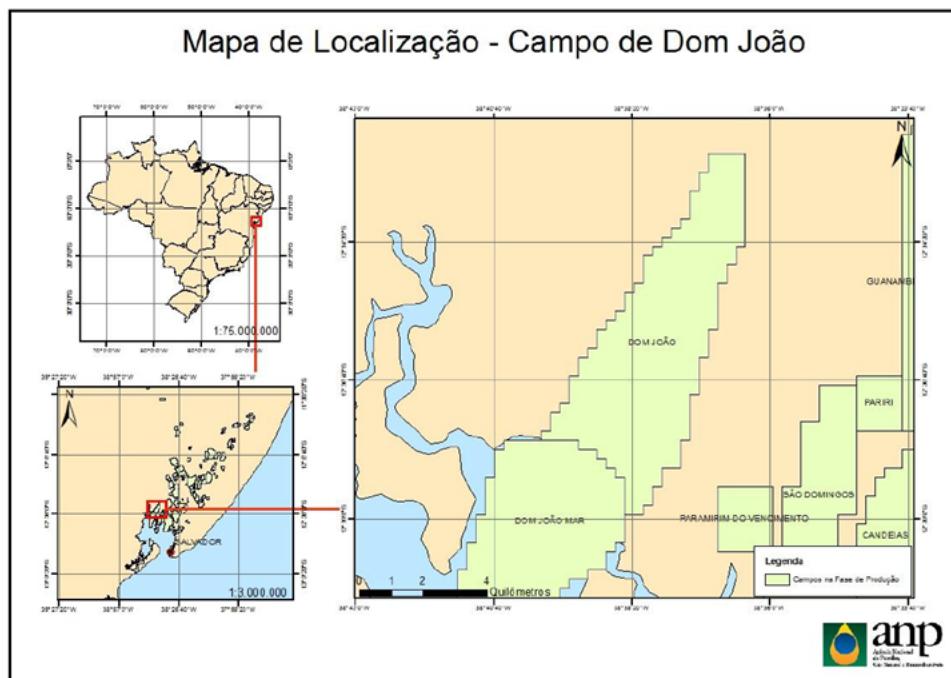


Figura 2: Mapa de localização do Campo de Dom João.

Fonte: http://www.anp.gov.br/images/planos_desenvolvimento/Dom_Joao.pdf

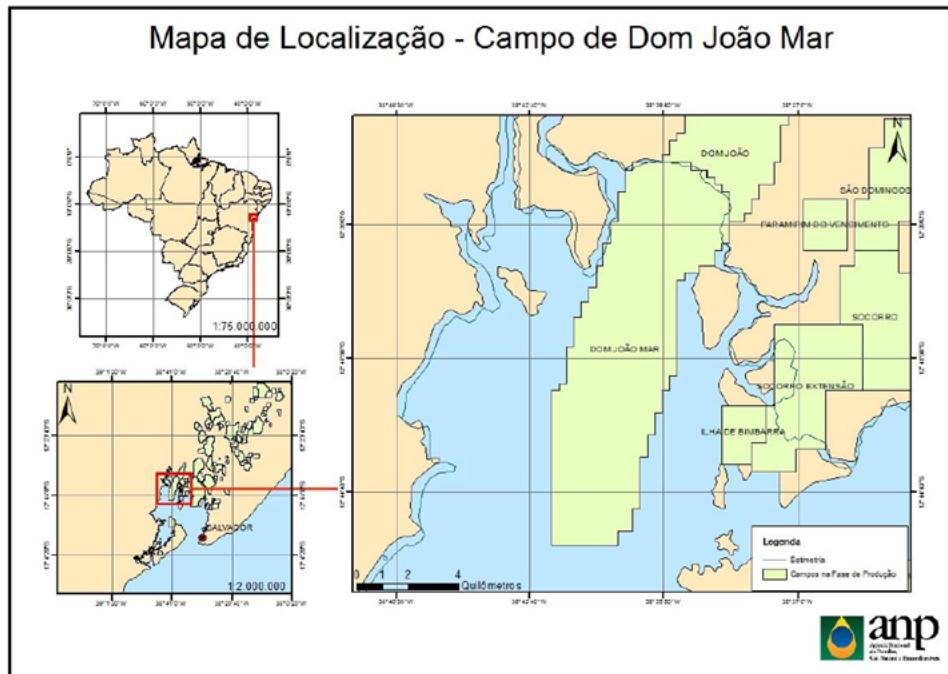


Figura 3: Mapa de localização do Campo de Dom João Mar.

Fonte: http://www.anp.gov.br/images/planos_desenvolvimento/Dom_Joao_Mar.pdf

São Francisco do Conde faz parte da Região Metropolitana de Salvador, localizado a 67 quilômetros de distância. Importante município baiano onde está situada a Refinaria Landulfo Alves (Mataripe), primeira a ser construída no país, inaugurada em 1950 e que se constituiu em importante passo para a industrialização no estado da Bahia, pois o mercado mundial para a cana-de-açúcar estava enfraquecido desde a época do império, além de ter perdido extensão territorial - já que muitos municípios que pertenciam aos seus domínios conseguiram emancipação – nem dispor de outro tipo de riqueza de exploração extrativista, como jazidas minerais. (Ferreira, 2009).

3.2 Histórico do Manejo Agrícola no Recôncavo Baiano

Devido ao estudo de caso que será abordado nesse trabalho estar localizado em região rural, todas possíveis fontes de contaminação, bem como Substâncias Químicas de interesse relacionadas às atividades pretéritas da atividade de E&P foram avaliadas. A utilização de agrotóxicos na área de investigação é uma realidade histórica e pode interferir ou provocar relações sinérgicas ou antagônicas com os compostos de interesses da indústria do petróleo.

Em 1746, o cacau é trazido para a Bahia, na tentativa de quebrar o domínio espanhol da produção de amêndoas. Esta data é considerada o marco do início de sua cultura na Bahia.

Historicamente, a cacaicultura passou por sucessivas crises, motivada por vários fatores (políticos e econômicos). A. vassoura-de-bruxa é uma das mais importantes e destrutivas doenças do cacauzeiro, chegando a causar perdas de até 90% na produção. Na principal região produtora de cacau do Brasil, o sul da Bahia foi constatado a presença, em 1989. Ao encontrar condições ambientais favoráveis, disseminou-se rapidamente, provocando um colapso na economia regional. A doença foi registrada inicialmente no município de Uruçuca e logo em seguida em Camacã, estando disseminada, no momento, em toda a região cacaueira da Bahia. (Oliveira, L.M & Luz, E.D.M.N, 2005)

A revisão bibliográfica realizada acerca dos métodos de cultivo de cacau na Bahia desde 1960 demonstra a diminuição da utilização do sistema “Cabruca” (plantio com sombreamento através de bananeiras e leguminosas), e a intensificação de práticas de aplicação de fertilizantes químicos e pesticidas a partir de 1976, com o advindo do Programa de Diretrizes para Consolidação da Cacaicultura Nacional - Procacau (Piasentin,B.F & Saito,C.H, 2014)

Já o cultivo da cana-de-açúcar, também muito produzido na Bahia, tem como principais impactos ambientais, a erosão e compactação do solo, os efeitos dos agrotóxicos sobre o solo, rios e lençóis freáticos, os efeitos nocivos que pode causar à atmosfera e incômodos a população durante sua colheita por queimada, além de danos causados à fertilidade do solo. Além dos fatores citados acima, existe o problema com biomassa residual do cultivo de cana-de-açúcar o cultivo e o empobrecimento da fauna e flora em geral, devido aos impactos sobre os seres vivos que estão envolvidos com a expansão da monocultura da cana.

3.3 Impactos das atividades de E&P de Petróleo

O processo de extração de petróleo *onshore* provoca impactos ambientais ao meio ambiente durante as fases de construção, perfuração, operação, manutenção e exploração do óleo dos poços. De início é necessário a remoção da cobertura vegetal na locação pré-determinada, operações de cortes e aterros nas encostas dos morros tanto para a instalação de base de poço, quanto a instalação das estações de produção de óleo. Há diversos impactos ambientais, nos diferentes meios, sendo possível listar alguns dos principais impactos classificados como prováveis:

- a) Erosão do solo (base dos poços e instalações, ex. voçorocas);
- b) Assoreamento de rios;

- c) Poluição atmosférica (emissão de material particulado e gases poluentes oriundos das estações de tratamento do óleo e água produzidos);
- d) Poluição de água superficial e subterrânea, decorrente de vazamentos não contidos e percolação de contaminantes oriundas de resíduos enterrados;
- e) Poluição do solo: remoção de cobertura do solo, desmatamento, contaminação do solo superficial e subsuperficial devido a vazamento de óleo e água produzida, bem como armazenamento de resíduos oleosos em valas sem impermeabilização;
- f) Geração de resíduos;
- g) Afugentamento da fauna local;
- h) Contaminação da Biota local devido a vazamentos não contidos.

Segundo Xiaoxia, J. et al (2021), a borra oleosa é uma mistura complexa constituída por óleo (~30%) , água (~40%) e sólidos (~30%) com variada composição.

Os diversos resíduos oriundos das atividades de E&P de Petróleo (Borra, água produzida, solo contaminado, fluido de perfuração) apresentam características como:

- a) Alta salinidade (Cloreto), devido aos compostos incorporados como aditivos no processo de perfuração ou a água produzida, sendo esta de origem do reservatório;
- b) Alta toxicidade devido aos metais pesados, vale ressaltar nesse caso, a presença de bário que é muito utilizada como “baritina” (Sulfato de bário) no processo de perfuração de poços;
- c) Alto teor de hidrocarbonetos (HTP – Hidrocarbonetos Totais de Petróleo);
- d) Elementos que causam demanda bioquímica de oxigênio (DBO);
- e) Elementos que causam demanda química de oxigênio (DQO);
- f) Outros elementos traços.

De maneira geral, os contaminantes inorgânicos sob a forma de metais pesados são lixiviação para o solo contaminam os corpos hídricos podendo causar problemas de saúde humana e para os organismos aquáticos. Os contaminantes orgânicos são medidos na borra oleosa de petróleo, tais como óleos e graxas, hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP), hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), compostos orgânicos voláteis (COV): Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e xilenos e estão na faixa de 510.000 a 640.000 µg.kg para HTP (FUTAISI *et. al.*, 2007), até concentrações de partes por bilhão para os COVs e HPAs.

3.4 Diques de Borra Oleosa

A borra oleosa de petróleo é uma mistura complexa de compostos químicos (orgânicos e inorgânicos) e pode ser gerada tanto na fase de E&P (exploração e Produção) quanto na fase de refino do Petróleo. Essa mistura é caracterizada pela presença de metais pesados, óleos, graxas, hidrocarbonetos totais, sais e água. A atividade de produção de petróleo gera uma grande quantidade de água produzida. Esta água é proveniente da rocha reservatório e possui na sua composição metais pesados, elevados teores de sais e substâncias tóxicas. De acordo com a NBR 10004:2004 (Classificação de Resíduos Sólidos), a borra oleosa de Petróleo é classificada como Classe I- Resíduo Perigoso e deve ter destinação adequada a esta classificação.

Antes de qualquer legislação que ditasse orientações acerca da adequada disposição dos resíduos originados pelas atividades da indústria do petróleo, era muito comum a prática de construção de diques de borra, também chamados de lagoas de borra para armazenar todo o resíduo, sem valor comercial, gerado pela atividade, segundo a Norma ABNT NBR 12.235 (1992):

Bacias de contenção de resíduos: Região limitada por uma depressão no terreno ou por dique(s), destinada a conter resíduos provenientes de eventuais vazamentos de tanques e suas tubulações”.

Diques: maciços de terra ou paredes de concreto ou outro material adequado, formando uma bacia de contenção.

Segundo Alves (2003) uma das principais destinações dos resíduos sólidos oleosos da indústria de Petróleo é o dique de borras. A **Figura 4** apresenta um dique de borra oleosa localizado na região do Morro do Jericó. Segundo a autora, antes de acumular os resíduos das atividades de E&P da região, o local abrigava uma jazida de retirada de material argiloso. A principal preocupação era aplicar técnicas de recuperação do óleo e o restante do resíduo se acumulava no fundo desses diques (Lagoas).



Figura 4: Antigo dique de Borra oleosa na região do Morro de Jericó, 1997
Fonte: Alves, 2003

4 ESTUDO DE CASO

A área de investigação do presente estudo (**Figura 5**), trata-se de uma lagoa artificial (aproximadamente 2,75ha) situada em propriedade rural cujas atividades econômicas atuais são a produção de banana e cacau, criação de gado, além de promover eventos culturais tradicionais da região. A área estudada e está localizada no município de São Francisco do Conde (Bahia), inserido nos limites de produção do campo de Dom João, onde ocorre atividades relacionadas a indústria de Exploração e Produção de Óleo e Gás desde 1950.



Figura 5: Localização da área de investigação: Lagoa artificial na região de São Francisco do Conde – Bahia.

As atividades referentes à Exploração e produção de Petróleo na área de estudo e no seu entorno incluíam a produção, escoamento e tratamento de óleo, através da instalação de poços, linhas, tanques e estações. As atividades agrícolas na área incluíam produção de cana-de-açúcar, cacau e banana. Cabe ressaltar que, na década de 1950, não havia legislação ambiental orientativa acerca dos procedimentos das atividades petrolíferas, bem como, a de uso de defensivos agrícolas (agrotóxicos).

De acordo com o histórico do empreendimento, a “lagoa” (vala) foi construída na década de 1970, como uma “Barreira anti-poluição” (**Figura 6**). A Lagoa foi utilizada por algumas décadas e tinha a função de conter os resíduos oleosos oriundos de Estação de tratamento de óleo, bem como os resíduos de vazamentos contidos e não contidos nas áreas dos poços terrestres próximos. É possível notar que, na época, o projeto não contemplava nenhuma ação/procedimento de proteção ao solo e a água subterrânea. A lagoa (dique de borra) possui largura média de 82m, comprimento de 250m, totalizando 20.000 m² de área (**Figura 7**).

O dique de contenção foi desativado na década de 1990, permanecendo sem nenhum tratamento até o ano de 2003, quando o proprietário solicitou a recuperação ambiental da mesma. Entre os anos de 2003 e 2014, a lagoa passou por várias etapas de avaliação ambiental (originadas por denúncias do proprietário ao Órgão ambiental local e ações de fiscalização do Órgão fiscalizador da área de Petróleo e Gás), remediação e monitoramento das matrizes ambientais (água superficial, água subterrânea, sedimento de fundo e solo no entorno). A partir de 2014 foram seguidas diretrizes da Resolução CONAMA 420/2009 para o planejamento das ações na área.

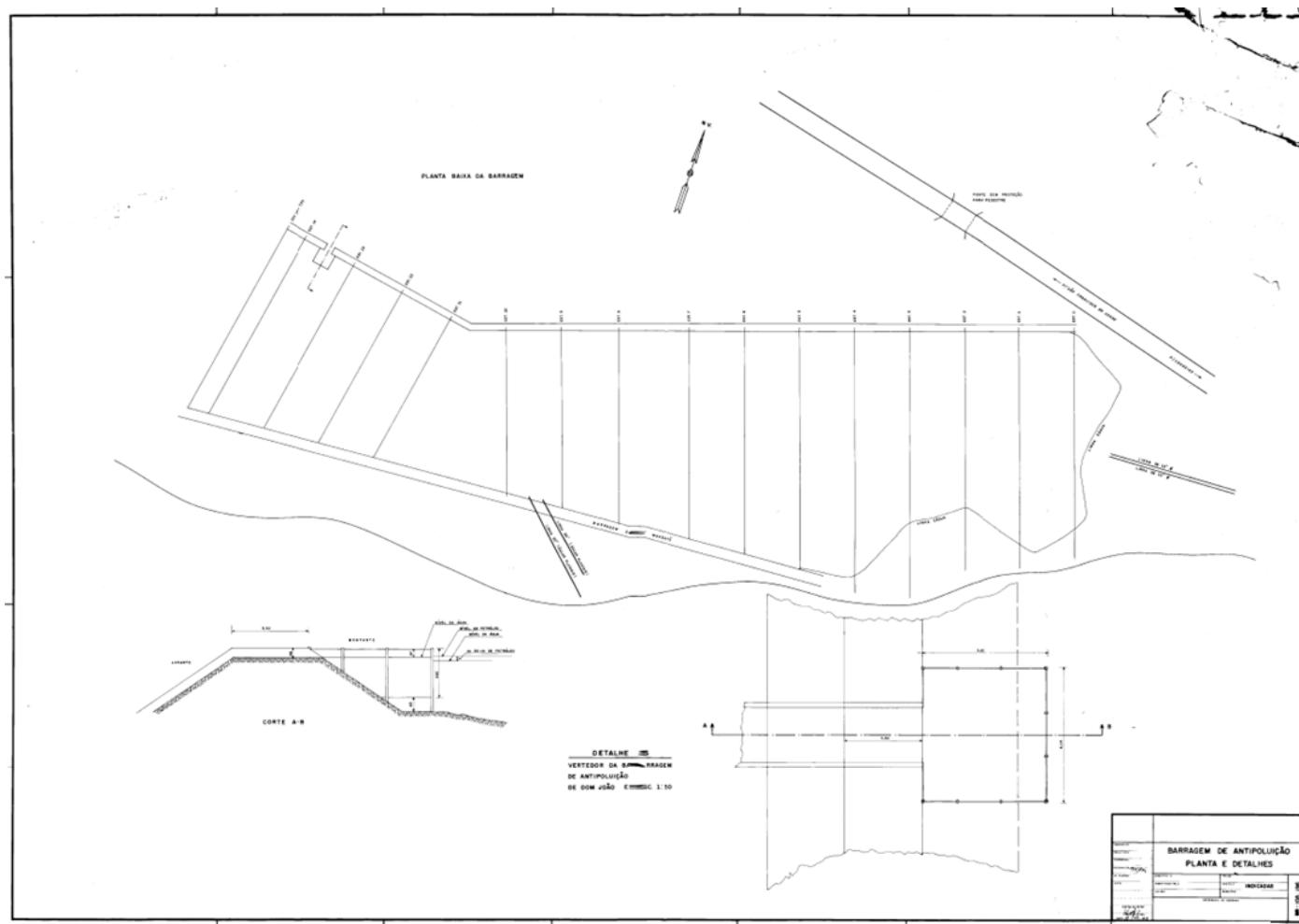


Figura 6: Projeto da Barreira anti-Poluição (1970): “Lagoa”: Dique de contenção de resíduos oleosos na região de São Francisco do Conde - Bahia

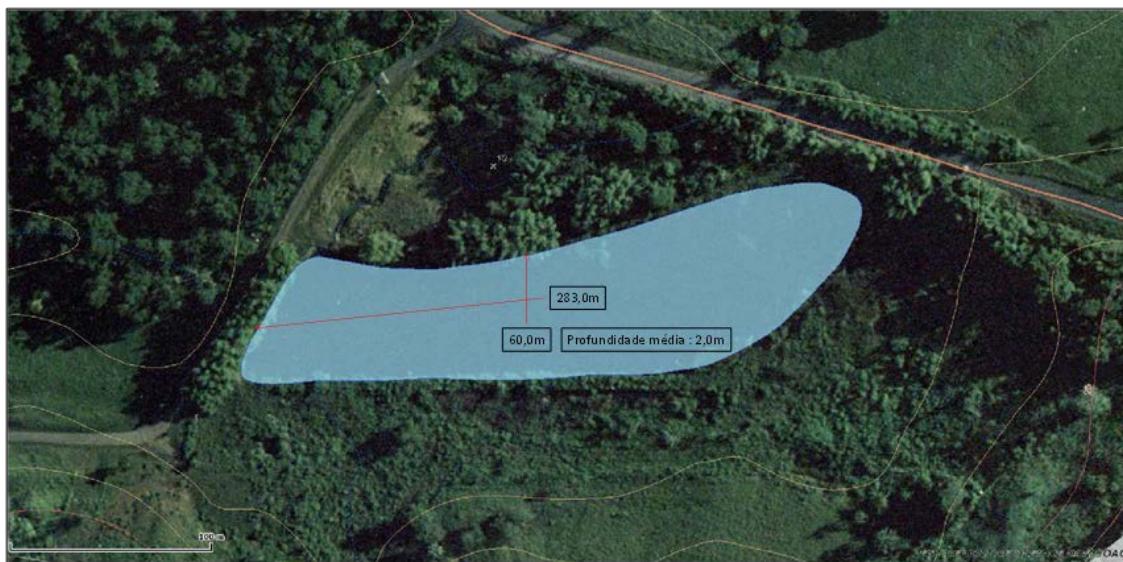


Figura 7: Dimensões da “Lagoa”: Dique de contenção de resíduos oleosos na região de São Francisco do Conde-Bahia.

Cabe ressaltar que, além das atividades de E&P, a região de São Francisco do Conde apresenta histórico de atividades de plantação de cana-de-açúcar. Em 2002, o imóvel foi adquirido pelo proprietário atual, que atualmente promove eventos turísticos e culturais e mantém o plantio orgânico de cacau, banana, em áreas da referida propriedade e criação de gado (**Figuras 8 e 9**).

Durante ação dos órgãos fiscalizadores (setor industrial), o proprietário relatou o desconhecimento acerca do histórico da implantação e manejo de culturas agrícolas anteriores à sua gestão, logo, fez-se necessário buscar na literatura, informações técnicas que auxiliassem o processo de investigação do impacto ambiental na área, podendo ser considerada uma possível interação de várias fontes de contaminação no local.



Figura 8 (esquerda): Pasto próximo à lagoa e **Figura 9 (direita):** Plantação de cacau e banana próximo à lagoa. Fonte: Acervo pessoal.

4.1 Histórico de avaliação e intervenções ambientais na área de investigação (2002 a 2014).

4.1.1 Período de 2002 a 2005

A intervenção na área da bacia de disposição de resíduos oleosos (Antigo dique – Lagoa), cujo evento impactante foi causado pela disposição de resíduos oleosos e água produzida, promoveu a remoção, classificação e destinação de resíduos e incineração de resíduos oleosos. O volume de resíduo incinerado foi de aproximadamente de 35.000 toneladas.

A Ação programada para acompanhamento e monitoramento foi a elaboração de um PRAD (Plano de Recuperação de Áreas Degradadas) visando priorizar as intervenções na área. As principais atividades do plano foram: Remoção, classificação e destinação adequada dos resíduos sólidos, recuperação do sistema de drenagem, avaliação dos poluentes na matriz água subterrânea e recuperação paisagística no entorno da lagoa.

De acordo com as solicitações do órgão ambiental local, foi solicitado que as cinzas originais fossem dispostas no fundo da lagoa para que a mesma aterrada. Porém mesmo com a classificação do resíduo (cinzas de incineração) estando enquadrado para ser disposto nessa área, o proprietário recusou esta opção e solicitou que a lagoa permanecesse ativa. Com isso, optou-se por destinar parte das cinzas (1/3) ao redor (margem oposta à rodovia) da lagoa, dentro da propriedade e outra parte (2/3) em área privada. Após análise de acordo com a NBR 10.004 as cinzas foram classificadas como Resíduo Classe II-B - Inerte.

4.1.2 Período de 2006 a 2011

Em continuidade às medidas mitigadoras de impactos ambientais, foram desenvolvidas ações de quantificação e remoção de solo contaminado (borra oleosa) na borda da lagoa, retirada de pequenas quantidades de solo contaminado no leito da lagoa, recuperação de todo o sistema de drenagem compreendendo a lagoa e suas nascentes e o rio à jusante do dique de contenção, retirada dos poluentes e material assoreado.

Foi também realizada uma avaliação da qualidade ecotoxicológica da água da lagoa através da coleta de amostras e análises de parâmetros biológicos e Físico-Químicos. Foram avaliados a presença de possíveis poluentes de origem petrogênica detectados nas águas e sedimentos da lagoa através dos poços de monitoramento (40) instalados na área e amostragem de sedimentos abordando a origem e extensão da contaminação, com as ações a serem implantadas nas áreas impactadas visando evitar a migração da pluma de contaminação dos poluentes (TPH,

aromáticos e Policíclicos aromáticos), assim como a remoção dos mesmos e a recuperação da área contaminada.

A etapa final do PRAD constou com a recomposição paisagística da lagoa, estabilização dos taludes, recuperação e vegetação nativa de seu entorno. Porém, devido à alta resiliência local, não foi concluída a recomposição paisagística que representava 5% das intervenções previstas na etapa final.

Após a intervenção na área, ficou definida a necessidade, em caráter preventivo, de conduzir uma investigação detalhada no substrato geológico da área da lagoa. Os resultados do diagnóstico geoambiental feito no período 2006/2007 com o intuito de verificar e/ou constatar as reais condições do meio físico – solo e água na área, que incluiu o estudo de ARSH (Avaliação de Risco à Saúde Humana), concluiu que os compostos identificados para o solo superficial impactado, não estavam sob potencial situação de risco toxicológico. Com relação à água subterrânea segundo as normas adotadas Resolução CONAMA 420 (2009) e pela CETESB (CETESB, 2001b. Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas), não excederam às Metas para Risco Carcinogênico (TR) e Não Carcinogênico (THQ) considerando caminhos de exposição válidos para o estudo desenvolvido.

Após a detecção de poluentes de origem petrogênica detectados no plano de monitoramento (atividade do PRAD), foram instalados novos poços de monitoramento ao redor da lagoa e solicitado novo estudo de investigação ambiental complementar da lagoa.

4.1.3 Período de 2011 a 2014

Visando o levantamento das informações para alimentação do Modelo Conceitual da Área (MCA) de estudo foi necessário integrar atividades como geofísica, geoquímica e hidroquímica para a realização de um novo estudo de investigação ambiental complementar da lagoa.

As atividades consistiram em coleta de sedimentos do fundo da lagoa para fins de análise geoquímica, em amostragens de águas superficiais e subterrâneas para análises hidroquímicas, amostragens de solo indeformadas para análises físicas, do ensaio de *slug test* nos poços existentes da área para obter a condutividade hidráulica, além da realização do levantamento geofísico através do método eletromagnético (GPR-3D) para determinação batimétrica da lagoa e das camadas imediatamente subjacentes a esta (**Figura 10**).

Foram realizados levantamento topográfico, levantamento geofísico, caracterização geoquímica, caracterização hidrodinâmica (caracterização física) e caracterização hidroquímica. As informações geradas pela topografia foram utilizadas para o balizamento

espacial de todo o trabalho, correlacionando os pontos no campo ao planejamento e aos produtos finais sob a forma de mapas. A utilização de uma base georreferenciada gerou um banco de dados confiável, com possibilidade para múltiplas aplicações futuras. Os trabalhos de integração dos dados geofísicos foram realizados através do uso de software específico Reflexw, ajustados para processamento, carregamento e visualização destas informações.



Figura 10: Equipamento GSSI utilizado na aquisição geofísica - GPR 3D.

A metodologia utilizada para a caracterização hidrodinâmica da área de estudo consistiu-se basicamente na medição dos níveis d'água e nos testes de condutividade hidráulica (*Slug test*) dos poços de monitoramento existentes na área, além das análises físicas do solo. Os resultados de Condutividade Hidráulica determinados pelo método *Slug Test*, apresentaram-se relativamente baixos, com valores da ordem de grandeza entre 10^{-6} a 10^{-5} cm/s, característico de materiais argilosos e areno-argilosos. O cálculo das equipotenciais indicam uma direção de fluxo preferencial para noroeste (NW).

O processamento dos dados geofísicos permitiu a clara definição da superfície relativa ao fundo da lagoa, a qual possui a profundidade máxima de 4,25 metros relativa ao fundo da lagoa), a qual possui profundidade máxima de 4,25 metros (relativa à lâmina d'correspondendo a cota 4,70 metros (relativa ao nível do mar);

Para fins de caracterização física do solo, foram realizadas duas (2) sondagens estratigráficas, em pontos distintos da área, com coleta de 04 amostras indeformadas destinadas à análise dos parâmetros físicos do solo (porosidade, permeabilidade, densidade, umidade, matéria orgânica, além da granulometria). Estas amostras foram coletadas nas profundidades de 0,1 e 0,8 ou 1m.

Através das amostras de sedimento de fundo observou-se que a base da lagoa é composta por sedimentos argilo arenosos e, a partir de 0,3m de profundidade, o material torna-se argiloso. Com base nos resultados obtidos na análise granulométrica, constatou-se que as amostras analisadas pertencem a dois grupos diferentes: argila e franco-argiloso e franco areno-argiloso. A estimativa da porosidade total adquirida apresentou-se muito elevada, na faixa de valores entre 36,4 a 49,2%.

As concentrações medidas de TPH foram baixas e ocorreram preferencialmente nas amostras de sedimento mais profundo (amostras de 30 cm de profundidade), localizado na porção Leste da referida lagoa. Foi observado um ponto de *hot spot* (0,3 m) que se destaca dentre os pontos analisados, por apresentar as maiores concentrações para o conjunto avaliado.

A caracterização hidroquímica da água superficial e subterrânea da área de estudo foi realizada para avaliar os riscos ambientais para a saúde humana. Foram realizadas análises hidroquímicas para os seguintes parâmetros de interesse: Hidrocarboneto Total de Petróleo (HTP) fracionado, Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (16 HPAs prioritários reportados pela EPA), Metais Totais (todas as amostras - conforme Anexo II ± Resolução Conama nº 420/2009), Metais Dissolvidos (todas as amostras - conforme Anexo II ± Resolução Conama nº 420/2009), BTXE. Em cada ponto de amostragem, seja superficial ou subterrânea, foi realizado o monitoramento dos seguintes parâmetros: pH, temperatura (T), condutividade elétrica (CE) e oxigênio dissolvido (OD).

Para a caracterização da água superficial, foram amostrados e analisados 40 pontos de água da lagoa Dom João (**Figura 11**), realizados nos mesmos pontos de amostragem de sedimento de fundo, em duas alíquotas (uma na superfície e outra no fundo da lagoa) totalizando 80 amostras.

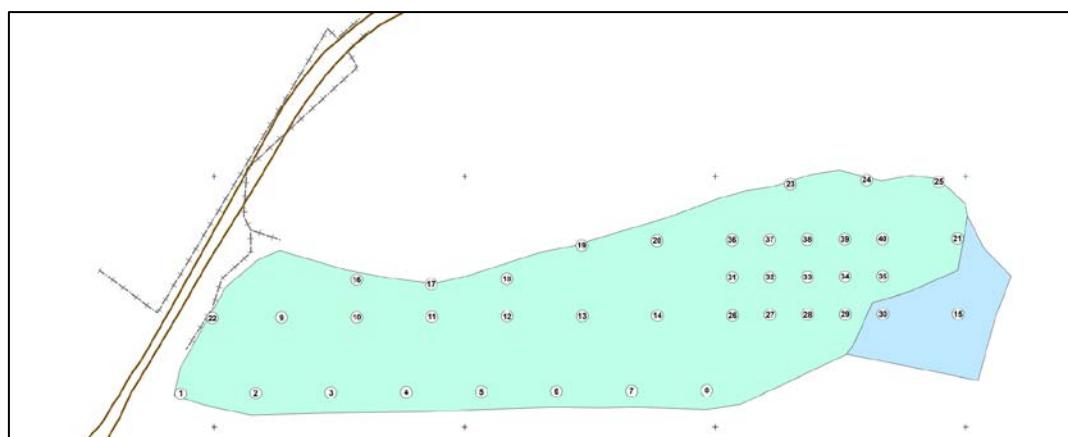


Figura 11: Pontos de coleta de água superficial (40 pontos – 2 profundidades)

A amostragem da água subterrânea deste trabalho seguiu a metodologia de baixa vazão (*low flow*), que utiliza a micro purga e possibilita uma coleta de água representativa da formação aquífera. A campanha de coleta de água subterrânea pelo método de baixa vazão foi realizada em 23 (vinte e três) poços de monitoramento da Lagoa (Figura 12)

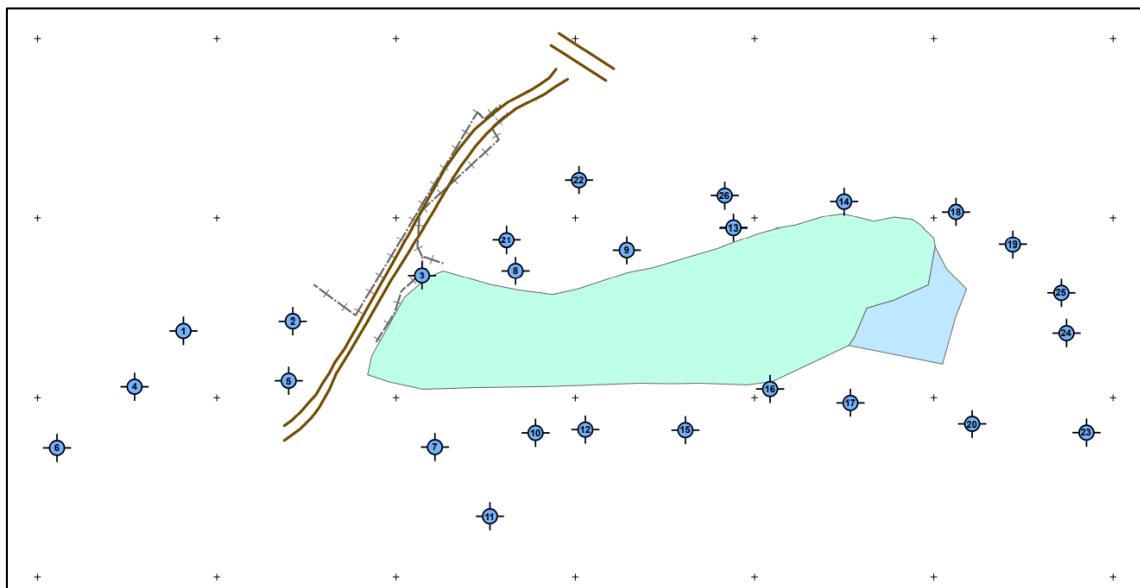


Figura 12: Pontos de coleta de água subterrânea (23 pontos)

As concentrações de TPH tanto para água superficial quanto para água subterrânea ficaram abaixo do limite de detecção do método analítico. Foram detectados HPA em alguns pontos de água superficial, porém todos abaixo da concentração aceitável para a definição da qualidade da água, CONAMA 357, como classe 1. Não foram detectados HPA na água subterrânea.

Foi detectado Tolueno acima do VI em pontos na extremidade leste, na interface com o sedimento do fundo da lagoa.

Foram detectados metais nas três matrizes (água superficial, água subterrânea e sedimento de fundo), dentre eles Ferro e Manganês (que fazem parte da geologia local), Boro, Bário (poluente de origem petrogênica), Chumbo, Mercúrio e fósforo.

Baseado na direção do fluxo de água, na batimetria, nos dados geológicos (obtidos pela descrição geológica pretérita, resultados hidroquímicos e geoquímicos da Lagoa, foi possível gerar o modelo conceitual da área que pode ser observado na Figura 13.

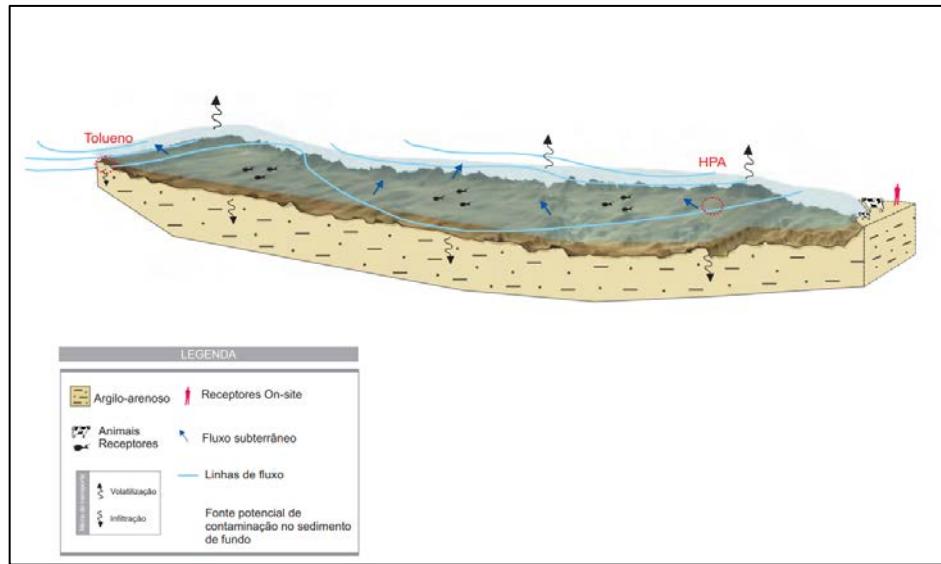


Figura 13: Modelo Conceitual para a Lagoa

Para a próxima etapa do Plano de ação de Intervenções na área da lagoa, de acordo com os resultados obtidos com o estudo complementar, foram definidas as principais recomendações:

- ✓ Continuidade da campanha de Monitoramento Hidrogeológico (Hidrodinâmico e Hidroquímico);
- ✓ Análise da biota aquática presente na Lagoa, destinada a alimentação de dados de uma Análise de Risco Ecotoxicológica;
- ✓ Evitar o consumo de peixes e/ou outros produtos oriundos da lagoa;
- ✓ Evitar o uso da água subterrânea local para consumo humano ou dessedentação de animais.

Em abril de 2012, foi feita a tentativa de retomada do monitoramento das águas superficiais e subterrâneas da lagoa, porém não foi possível analisar os parâmetros indicados pelo modelo conceitual.

Em agosto de 2013 foram coletadas 10 amostras de água subterrânea. Foram detectados chumbo e bário em pelo menos 3 poços. Devido aos resultados obtidos, pequena representatividade amostral dos poços, falta de análise de água superficial e incerteza sobre a retirada total do resíduo do fundo da lagoa foi solicitado uma nova intervenção para investigação do sedimento de fundo, com retirada de resíduos e retomada do monitoramento das águas subterrâneas e superficiais considerando as Substâncias Químicas de Interesse de origem petrogênica. Foram determinadas as seguintes atividades em um novo plano de ação:

- ✓ Realizar amostragem e análises relativas a qualidade das águas da lagoa e do corpo hídrico receptor;
- ✓ Realizar amostragem e análises dos sedimentos de fundo da lagoa;
- ✓ Após formação da nova lagoa, retomar o monitoramento.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Sedimentos do Fundo da Lagoa

Segundo métodos reconhecidos nacionalmente como (ANA,2011), em agosto de 2014 foram coletadas 03 amostras de sedimento do fundo da lagoa, das águas interiores da lagoa e corpos receptores próximos. Essa atividade foi realizada antes do processo de enchimento, para conclusão de retirada dos resíduos no leito da lagoa. Para a seleção dos parâmetros analisados foram considerados: a finalidade das amostragens para verificação do grau de interferência potencial na qualidade do meio ambiente amostrado, causado pela existência de resíduos remanescentes no interior da lagoa e a consulta aos resultados de diagnósticos e avaliações pretéritas realizados no interior da lagoa.

Os parâmetros selecionados para análise nas amostras de sedimentos foram: HPA (hidrocarbonetos aromáticos policíclicos), BTEX (hidrocarbonetos aromáticos voláteis: benzeno, toluenos, etilbenzeno e xilenos), e Inorgânicos (Bário, Chumbo, Níquel, Cromo, Ferro e Manganês) característicos de atividades de exploração de petróleo, principalmente o Bário e inorgânicos comuns e possíveis ao de uso de fertilizantes e agrotóxicos (Níquel e manganês), uma vez que a propriedade apresenta histórico contínuo para fins de uso agrícola (plantio de cana-de-açúcar, cacau e banana).

5.2 Água Superficial e Água Subterrânea

A conclusão da atividade de remoção dos resíduos remanescentes no leito da lagoa ocorreu em 31/01/2015. Em julho de 2015, após a formação da nova lagoa, foram realizadas visitas técnicas para verificação da integridade dos poços de monitoramento existentes após o serviço de retirada dos resíduos, o que causou danos a vários poços, devido intensas atividades de máquinas e equipamentos de grande porte no local. Foram encontrados 22 poços, sendo 5 destes, sem nível de água suficiente para amostragem.

Em julho/2015 e julho/2016, foram realizadas coletas de 6 amostras da água superficial da lagoa (3 por campanha) e amostras da água subterrânea de 17 (2015) e 16 (2016) poços piezométricos. Foram registrados 5 (2015) e 6 (2016) poços secos durante o período dessas campanhas. Diante a variação da representatividade dos poços, nos períodos de amostragem (chuvisco e seco) e na necessidade de se formar uma base de dados homogênea e constante, para

a campanha de dezembro de 2016 foi definida a coleta para 10 poços piezométricos. Para a seleção desses poços, foram consideradas as informações obtidas na inspeção visual, a distribuição espacial, aliada ao fluxo de escoamento subterrâneo e acessibilidade.

Entre julho e agosto/2017, foram realizadas as coletas de 3 amostras da água superficial da lagoa e 10 amostras da água subterrânea dos poços piezométricos. Em função dos resultados de branco de campo terem apresentado contaminação para as amostras de águas superficiais, essas análises foram invalidadas. Não foi possível realizar outra coleta, devido ao período sazonal no momento de divulgação dos laudos analíticos. Entre novembro e dezembro/2017, foram realizadas as coletas de 3 amostras da água superficial da lagoa e 07 amostras da água subterrânea. A localização dos poços atendeu os mesmos critérios de representatividade estabelecidos nas campanhas anteriores.

Em janeiro/2018, foram concluídos os serviços de inspeção, manutenção preventiva / corretiva e arrasamento na rede de poços piezométricos da lagoa. Os serviços foram realizados seguindo os critérios estabelecidos pelas normas técnicas ABNT NBR 15847 e manual CETESB 6410.

Foram localizados 26 poços. As atividades incluíram:

- ✓ Inspeção, manutenção preventiva e/ou corretiva em 14 (quatorze) poços piezométricos;
- ✓ Arrasamento de 12 (doze) poços piezométricos;

O mapa com a localização dos poços manutenidos e arrasados está apresentado na **Figura 14**. A nova seleção dos poços levou em consideração, os registros de campo das campanhas anteriores realizadas, a inspeção visual da equipe de pesquisadores, distribuição espacial representativa do entorno da lagoa, proximidade entre poços, fluxo do escoamento subterrâneo e acessibilidade aos poços em função do novo formato da lagoa.

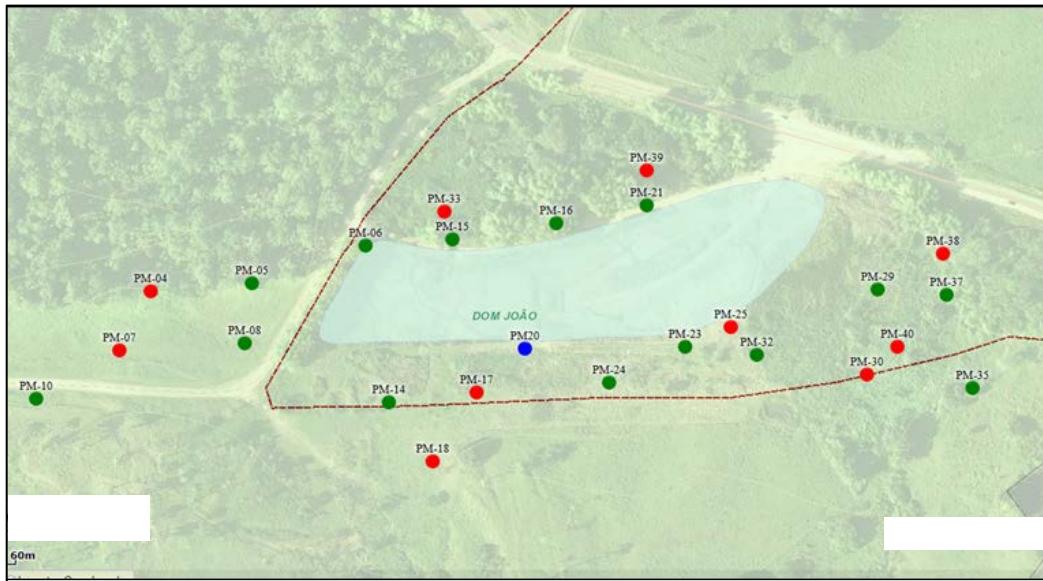


Figura 14: Mapa de localização dos poços piezométricos no entorno da lagoa, **Verde**: Poços manutenidos / **Vermelho**: Poços arrasados/ **Azul**: Poço não encontrado.

Nas 2 campanhas semestrais de 2018, foram realizadas as coletas e análises de 3 amostras da água superficial da lagoa e 14 amostras da água subterrânea dos poços piezométricos. Em função de questões contratuais, na campanha de julho/18, os teores de cloreto das amostras de 07 poços foram determinados através da correlação com o parâmetro STD (Sólidos Totais dissolvidos).

Nas 2 campanhas semestrais de 2019, foram realizadas as coletas e análises de 3 amostras da água superficial da lagoa e 14 amostras da água subterrânea dos poços piezométricos.

Nas campanhas referentes ao ciclo anual de monitoramento de 2020, as amostras de águas subterrâneas foram coletadas através do uso da técnica do dispositivo descartável “Bailer”. Cada poço foi devidamente purgado e antes da amostragem foi aguardado a recuperação do NA (Nível d’água). De acordo com a empresa, devido ao cenário de pandemia por conta do COVID, não foi possível priorizar a coleta de amostras de águas superficiais na campanha de agosto/2020. Esclarece-se ainda que, essa decisão foi tomada com base no histórico dos monitoramentos anteriores, que desde a formação da nova lagoa, após a remoção dos resíduos, todas as campanhas de monitoramento das águas superficiais apresentaram resultados em conformidade com a CONAMA 357/2005 (Classe 2 e/ou 3) para os parâmetros analisados que tem relação com a atividade de produção de petróleo e no escopo do monitoramento ambiental aplicado.

5.3 Parâmetros e Métodos Analíticos

Na **Tabela 1** estão descritos os parâmetros e métodos analíticos utilizados em praticamente todas as campanhas de monitoramento (2015 a 2020). Esses parâmetros foram definidos com base na CONAMA 420/2009 e em indicadores de qualidade da água.

Tabela 1. Parâmetros e métodos analíticos utilizados nas campanhas de monitoramento das águas superficiais e subterrânea.

Parâmetros	Métodos Analíticos
Físicos (pH, Condutividade Elétrica, Potencial Redox, Oxigênio Dissolvido, Temperatura, Total de Sólidos Dissolvidos-TDS)	Sonda multiparamétrica.
Benzeno, Tolueno, Etil-benzeno, Xilenos (BTEX)	USEPA SW-846-8260B
n-Alcanos e Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (TPH)	USEPA SW-846 – 3550B USEPA SW-846 - 8015
Hidrocarbonetos Poliaromáticos (HPAs) Totais: 16 HPAs Prioritários (Naf, Acl, Ace, Flu, Fen, Fen, Ant, Fluor, Pir, BaA, Cris, BbF, BkF, BaP, B (ghi) P, I (123-cd) P, D (a,h)A).	USEPA SW-846 – 3550B USEPA SW-846 - 8270
Carbono Orgânico Total (COT Dissolvido)	USEPA ou Standard Methods
Inorgânicos: Cloreto	USEPA ou Standard Methods
Metais e Semi-metais (Anexo II, CONAMA 420/09)	USEPA 3050 / 3052 Hg: USEPA 245.1
Nitrato	USEPA 300.1
Turbidez	Turbidímetro
DBO5 e DQO	SMEWW

Especificamente, para o último ciclo de campanhas de monitoramento (2020), os parâmetros de interesse de análise e métodos analíticos utilizados foram determinados com base no histórico de resultados das campanhas de monitoramento anteriores na CONAMA 420/2009 e em indicadores de qualidade da água. Foram analisados os parâmetros inorgânicos: Bário, Chumbo, Alumínio, Ferro, Manganês e cloreto.

5.4 Investigação detalhada do solo e ao redor da lagoa

Para melhor entendimento acerca da ocorrência de teores de chumbo em alguns poços de monitoramento de água subterrânea, decidiu-se avaliar o solo, como uma possível fonte de origem desse contaminante. É importante relembrar que a área de investigação há muitos anos

foi utilizada como área agrícola e pode ter recebido aporte de fertilizantes contendo metais pesados.

Segundo Passe (2015), a retenção de metais no solo é controlada por reações de adsorção, precipitação e complexação, afetando assim, a sua solubilidade e mobilidade. Mudanças nas condições ambientais, tais como: pH, potencial redox, capacidade de troca catiônica (CTC), superfície específica, textura, quantidade e qualidade de matéria orgânica, composição mineral (conteúdo e tipos de argilas e de óxidos de Fe, Al e Mn), o tipo e a quantidade de metais e a competição iônica podem causar a mobilização dos metais da fase sólida para a fase líquida, favorecendo assim uma possível contaminação. Ao contrário dos contaminantes orgânicos, a maioria dos metais não sofre degradação microbiana ou química, e, por isso, as concentrações no solo persistem por um longo período após a sua entrada.

Em julho de 2018 foram realizadas coletas de 6 amostras de solo ao redor da lagoa (**Figura 15**). As amostras foram coletadas há 1 (um) metro de profundidade e uma amostra (6SL-LDJ - REFERÊNCIA) foi localizada em área considerada “Background” local, por não apresentar histórico de atividades de E&P e agrícola.

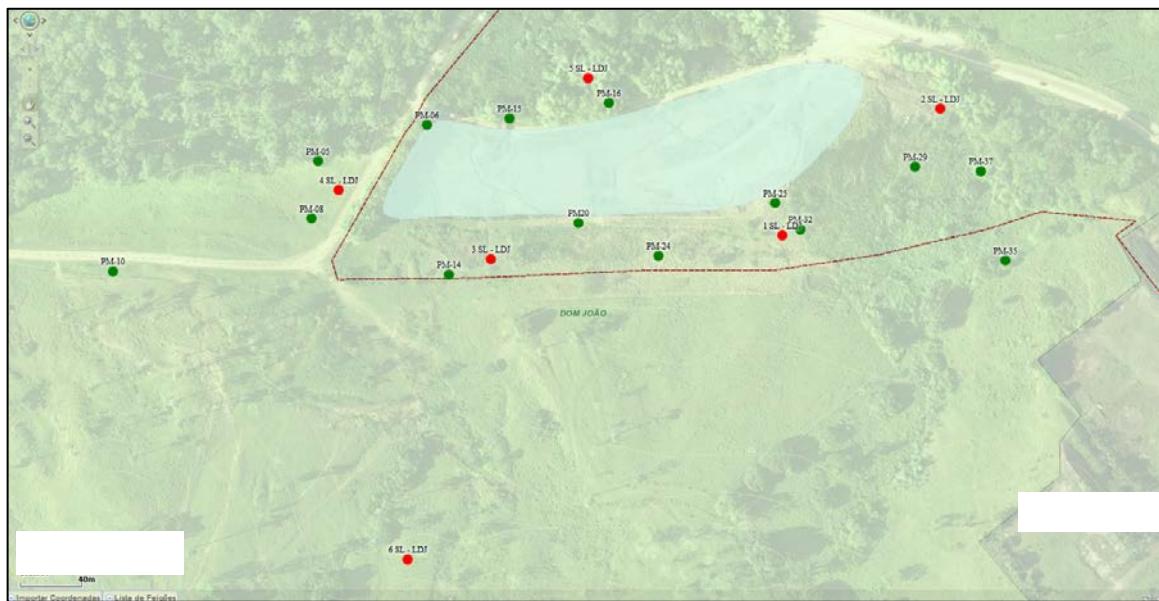


Figura 15: Mapa de localização dos pontos de coleta de amostras de solo no entorno da lagoa.

5.5 Classificação da borra oleosa coletada na área de investigação

Segundo o Banco de Avaliação de Petróleos da Petrobras (BDAP), nos óleos baianos os teores de chumbo não são detectáveis ($< 0,5 \text{ mg/L}$ de óleo).

Para uma validação fundamentada destas informações, duas amostras de borra oleosa foram coletadas na área impactada sob investigação. Foram realizadas análises de classificação de resíduo (segundo a Norma ABNT NBR 10.004) para avaliar o extrato lixiviado e solubilizado e análise de metais na Massa Bruta.

A Solubilização é o procedimento em que a substância ou produto pode dissolver em um líquido (água deionizada – NBR 10006), é um mecanismo de dissolução de um determinado material ou produto.

A Lixiviação é um processo para análise da capacidade de transferência de substâncias orgânicas e inorgânicas presentes no resíduo, por meio de dissolução no meio extrator (Solução ácida – NBR 10.005).

Os resíduos são classificados geralmente segundo o comportamento do resíduo em contato com um solvente. Portanto a lixiviação é um método muito utilizado para avaliar o quanto desse material será transferido para o meio natural. Para realizar essa análise, usa-se ensaios de lixiviação para determinar a estabilidade química dos resíduos.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Sedimentos do Fundo da Lagoa

No Quadro 6.1 são apresentadas as comparações dos resultados de parâmetros analisados nos sedimentos de fundo da lagoa com os padrões de enquadramento da Resolução Conama nº 420/2009 (Valores de Prevenção – VP e Valores de Investigação – VI).

Apenas uma amostra (SE-02), localizada no centro do transecto oeste da lagoa alcançou o valor orientador de investigação para Bário (300 mg/kg) estabelecido na Resolução Conama 420/2009. No entanto, esse valor não é considerado crítico, pois encontra-se em patamar inferior ao valor orientador de intervenção agrícola (500 mg/kg) definido pela recente Decisão de Diretoria DD nº 256/2016/E, de 22.11.2016., que estabelece valores orientadores para solos e águas subterrâneas, em substituição aos valores publicados em 2005 (Cetesb DD nº 195/2005/E), os quais haviam servido de referência para os valores orientadores definidos na Resolução Conama 420/2009.

Nas análises de compostos orgânicos, as nove amostras de sedimentos de fundo da lagoa apresentaram resultados menores que o limite de quantificação do método e são valores abaixo

do valor orientador de prevenção definido pela Resolução Conama 420/2009, portanto em conformidade

A partir dos resultados obtidos foi possível estabelecer uma nova etapa da remediação da área com a formação da nova lagoa.

Quadro 6.1: Resultados analíticos da qualidade dos sedimentos de fundo da lagoa (SE-01/02/03) (antigo dique) comparados aos valores orientadores da Resolução Conama nº 420/2009, anexo II.

Parâmetros		Unidade	VP CONAMA 420/09	VI CONAMA 420/09	Transecto na porção oeste da lagoa					
					Amostra	SE-01	Amostra	SE-02	Amostra	SE-03
					Laudo	BQ-121216/14	Laudo	BQ-121217/14	Laudo	BQ-121218/14
					Resultado		Resultado		Resultado	
Inorgânicos	Bário (Ba)	mg/kg	150	300 - 750	153		370		189	
	Chumbo (Pb)	mg/kg	72	180 - 900	7,5		11		8,9	
	Cromo (Cr)	mg/kg	75	150 - 400	29		41		29	
	Níquel (Ni)	mg/kg	30	70 - 100	22		30		24	
Hidrocarbonetos aromáticos voláteis (Orgânicos)	Benzeno	mg/kg	0,03	0,06 - 0,15	<0,015		<0,015		<0,009	
	Etilbenzeno	mg/kg	6,2	35 - 95	<0,015		<0,015		<0,009	
	Tolueno	mg/kg	0,14	30 - 75	<0,015		<0,015		<0,009	
	Xilenos totais	mg/kg	0,13	25 - 70	<0,046		<0,045		<0,028	
Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (Orgânicos)	Antraceno	mg/kg	0,039	-	<0,030		<0,029		<0,019	
	Benzo(a)antraceno	mg/kg	0,025	9 - 65	<0,030		<0,029		<0,019	
	Benzo(k)fluoranteno	mg/kg	0,38	-	<0,030		<0,029		<0,019	
	Benzo(g,h,i)perileno	mg/kg	0,57	-	<0,030		<0,029		<0,019	
	Benzo(a)pireno	mg/kg	0,052	0,4 - 3,5	<0,030		<0,029		<0,019	
	Criseno	mg/kg	8,1	-	<0,030		<0,029		<0,019	
	Dibenzo(a,h)antraceno	mg/kg	0,08	0,15 - 1,3	<0,030		<0,029		<0,019	
	Fenantreno	mg/kg	3,3	15 - 95	<0,030		<0,029		<0,019	
	Indeno(1,2,3-c,d)pireno	mg/kg	0,031	2 - 130	<0,030		<0,029		<0,019	
	Naftaleno	mg/kg	0,12	30 - 90	<0,030		<0,029		<0,019	

6.2 Solo ao redor da Lagoa

Apenas uma amostra de solo apresentou concentração de Bário acima do VI da CONAMA 420/2009, vide **Quadro 6.2**. Essa amostra está localizada na área que foi utilizada para incineração dos resíduos da lagoa, durante o processo de recuperação da mesma.

O **Quadro 6.2** apresenta os resultados das 6 amostras de solo coletadas no entorno da lagoa em julho/2018.

Os resultados obtidos indicam que a concentração de chumbo no solo ao redor da lagoa está significativamente abaixo (3,7 a 11 mg/Kg) do Valor de Prevenção (72 mg/Kg e similares as concentrações encontradas por Passe (2015) na região do recôncavo, por Biondi (2010) em Pernambuco e Costa (2013) no Rio Grande do Norte.

Segundo Freitas (2012), o chumbo apresenta alta afinidade pela matéria orgânica e forma complexos de esfera interna, que exerce elevada influência na sua solubilidade e é responsável pela acumulação do elemento em horizontes superficiais dos solos. O chumbo, de maneira geral, tem baixa mobilidade, sendo fortemente retido nas cargas negativas dos coloides do solo.

Diante do exposto, a probabilidade de a fonte de origem do chumbo encontrado em amostras de água subterrânea no entorno da lagoa ser o transporte (lixiviação) desse metal do solo é baixa. Existe histórico de outros usos da área da fazenda, como a agricultura, que deve ser considerado como fonte potencial de contaminação por agrotóxicos, além da concentração “background” devido a geologia local.

Quadro 6.2: Resultados analíticos do solo no entorno da Lagoa, comparados aos valores orientadores da Resolução Conama nº 420/2009, anexo II

Parâmetros	VP (CONAMA 420/2009)	VI Agrícola (CONAMA 420/2009)	Parâmetro	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5	REFERÊNCIA
Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos	0,12	30	Naftaleno	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	NA	NA	Acenafeno	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	NA	NA	Acenafileno	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	0,039	NA	Antraceno	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	0,025	9	Benzo(a)Antraceno	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	0,052	0,4	Beanzo(a)Pireno	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	NA	NA	Benzo(b)Fluoranteno	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	0,38	NA	Benzo(k)Fluoranteno	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	0,57	NA	Benzo(g,h,i)Perileno	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	8,1	NA	Criseno	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	0,08	0,15	Dibenzo(a,h)Antraceno	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	3,3	15	Fenantreno	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	NA	NA	Fluoranteno	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	NA	NA	Fluoreno	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	0,031	2	Indeno[1,2,3-c,d]Pireno	ND	ND	ND	ND	ND	ND
BTEX	NA	NA	Pireno	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	0,03	0,06	Benzeno	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	6,2	35	Etilbenzeno	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	0,14	30	Tolueno	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	0,13	25	Xilenos Totais	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Metais	NA	NA	C8-C40	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	NA	NA	Alumínio	8359	10786	16159	18245	8430	17905
	2	5	Antímônio	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	15	35	Arsênio	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	150	300	Bário	14	16	1564	188	18	43
	NA	NA	Boro	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	1,3	3	Cádmio	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	72	180	Chumbo	3,7	4,5	11	11	3,7	10
	25	35	Cobalto	ND	ND	14	21	ND	8,8
	60	200	Cobre	ND	3,1	44	43	ND	35
	75	150	Cromo	37	35	36	27	34	27
	NA	NA	Ferro	18810	15036	32150	32876	12927	32867
	NA	NA	Manganês	18	33	933	696	7,7	151
	30	50	Molibdênio	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	30	70	Níquel	1,1	2,2	21	22	0,78	11
	2	25	Prata	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	5	NA	Selênio	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	NA	NA	Sódio	178	153	427	126	179	106
	NA	NA	Vanádio	69	50	27	29	64	43
	300	450	Zinco	2,9	3,9	70	47	ND	29
	0,5	12	Mercúrio	ND	ND	ND	ND	ND	ND

6.3 Borra Oleosa

A **Tabela 2** apresenta os resultados para a concentração de chumbo nas 2 amostras de borra oleosa coletada na área de investigação próxima a lagoa.

Tabela 2. Resultados para análise de lixiviado, solubilizado e massa bruta para as amostras de borra oleosa.

Amostra	Unidade	Concentração de Chumbo	
		Lixiviado	Solubilizado
Borra Oleosa - Ponto 1	mg/L	ND	ND
Borra Oleosa - Ponto 2	mg/L	ND	ND
Borra Oleosa - Ponto 2	mg/Kg	2,6	

De acordo com os resultados é possível observar que não ocorre processo de lixiviação ou solubilização de chumbo procedente da borra oleosa para o meio ambiente. Além disso, a concentração total de chumbo determinada na massa bruta avaliada é relativamente baixa para justificar a concentração encontrada em alguns pontos de coleta de água subterrânea (apresentados a seguir). Seria necessário ocorrer o processo de dessorção do metal para o solo e deste, para a água subterrânea.

6.4 Água Superficial e Água Subterrânea

Nos **Quadros 6.4-1 a 6.4-6** são apresentadas as comparações dos resultados (2015 a 2020) dos parâmetros analisados nas suas respectivas matrizes ambientais (água superficial e água subterrânea), com os padrões de enquadramento da Resolução Conama nº 420/2009 (Valores de Intervenção - VI), da CONAMA 357/2005 – Classes 2 e 3 e CONAMA 396/2008. Nesses quadros estão tabelados, os parâmetros que apresentaram resultados acima do valor de prevenção (VI) da CONAMA 420/2009 (em pelo menos uma campanha de amostragem) e os parâmetros relevantes para a avaliação da área específicos para esse ciclo anual de monitoramento, em função das possíveis fontes de contaminação na lagoa e água subterrânea.

Quadro 6.4-1: Resultados analíticos (Bário) da qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área da Lagoa, comparados aos valores orientadores da Resolução Conama nº 420/2009, anexo II.

Parâmetro	Bário (Ba)											
Unidade	ug/L											
CONAMA 357/05 - Classe II- Água Doce	700											
CONAMA 357/05 - Classe III- Água Doce	1000											
CONAMA 396/2008	700/ ***/***/1000											
CONAMA 420/2009 (VI - Água subterrânea)	700											
Mês/Ano	Julho/15	Julho/16	Dez/16	Julho/17	Dez/17	Julho/18	Dez/18	Set/19	Dez/19	Ago/20	Fev/21	
PM-05	64	113	50,6	132	ANR	171	79	133	ANR	107	133	
PM-06	S	34	50,4	68	112	88	89,4	300	265	358	315	
PM-08	32	143	80,4	100	44	154	86,8	S	ANR	31	61	
PM-10						15,7	88	31	21	20	45	
PM-14	51	335	46,6	44	ANR	49,8	50	91	54	50	54	
PM-15	111	26	2020	147	620	168	76,8	104	2240	293	2100	
PM-16	44	28	32,5	28	ANR	266	79	45	64	36	57	
PM-20	S	82	ANR	ANR	2160	133	66,9	AS	ANR	ANR	ANR	
PM-24	53	25	53,8	25	1790	16,8	78,8	67	37	39	25	
PM-25	55	33	78,5	ANR	1490	14,2	92,9	71	13	16	15	
PM-29	35	ND	35	27	ANR	443	71	39	ANR	123	S	
PM-32	S	29	ANR	25	799	16,9	88,4	22	45	51	30	
PM-35						30,4	82	135	102	87	77	
PM-37	26	S	ANR	ANR	ANR	431	78	38	S	29	S	
SUPERFICIAL -01	19	33	41,7	x	60	16,7	83,1	37	56	ANR	54	
SUPERFICIAL -02	20	28	45,5	x	60	20	75,6	19	66	ANR	311	
SUPERFICIAL -03	19	27	45,7	x	59	20,9	90,3	29	69	ANR	64	

Os resultados em vermelho ultrapassaram o valor de prevenção (VP) da CONAMA 420/2009.; <LQ = Menor do que o Limite de Quantificação do método; ND = Não Detectável; S = poço seco; PNA = Parâmetro não realizado; ANR = Amostragem não realizada; *** = Não existem valores de referência na resolução CONAMA

Quadro 6.4-2: Resultados analíticos (Cloreto) da qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área da Lagoa, comparados aos valores orientadores da Resolução Conama nº 420/2009, anexo II.

Parâmetro	Cloreto										
Unidade	mg/L										
CONAMA 357/05 - Classe II- Água Doce	250										
CONAMA 357/05 - Classe III- Água Doce	250										
CONAMA 396/2008	250/***/700/400										
CONAMA 420/2009 (VI - Água subterrânea)	***										
Mês/Ano	Julho/15	Julho/16	Dez/16	Julho/17	Dez/17	Julho/18	Dez/18	Set/19	Dez/19	Ago/20	Fev/21
PM-05	114	200	61,5	311	ANR	738	800	200,39	ANR	66	66
PM-06	S	59,6	60,7	65,5	50,8	25,4	31,22	30,68	20	22	22
PM-08	183	457	195	361	181	55,5	31,47	S	ANR	83	86
PM-10						48,1	66,5	43,9	4,4	56	28
PM-14	77,7	49,2	29,5	40	ANR	41,7	25,6	38,41	40	49	40
PM-15	35	136	1200	102	978	54	30,58	168,35	16	143	1431
PM-16	1852	1956	1840	1820	ANR	570	639,5	2422	20	2500	2532
PM-20	S	50,1	ANR	ANR	1960	25,1	29,25	AS	ANR	ANR	ANR
PM-24	33,1	17,5	52,8	24,1	1960	26,8	29,7	17,95	27	11	20
PM-25	39	53,1	191	ANR	1730	24,9	30,19	30,68	36	40	32
PM-29	<LQ	16,4	54,9	49,1	ANR	1589	1389,9	33,87	ANR	43	S
PM-32	S	51,3	ANR	19,3	1230	24,6	31,96	36,12	30	33	28
PM-35						158	208	942,3	8,7	<LQ	632
PM-37	8,32	S	ANR	ANR	ANR	1661	1951	31,62	S	37	S
SUPERFICIAL -01	7,18	52,5	49,6	x	43,9	26,2	29,99	19,68	26	ANR	22
SUPERFICIAL -02	7,28	50,9	49,5	x	47,6	26,8	28,76	19,81	16	ANR	22
SUPERFICIAL -03	6,63	50,2	50,6	x	44,7	26,5	30,53	19,88	17	ANR	22

Os resultados em vermelho ultrapassaram o valor de prevenção (VP) da CONAMA 420/2009.; <LQ = Menor do que o Limite de Quantificação do método; ND = Não Detectável; S = poço seco; PNA = Parâmetro não realizado; ANR = Amostragem não realizada; *** = Não existem valores de referência na resolução CONAMA

Quadro 6.4-3: Resultados analíticos (Chumbo) da qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área da Lagoa, comparados aos valores orientadores da Resolução Conama nº 420/2009, anexo II.

Parâmetro	Chumbo (Pb)											
Unidade	ug/L											
CONAMA 357/05 - Classe II- Água Doce	10											
CONAMA 357/05 - Classe III- Água Doce	33											
CONAMA 396/2008	10/100/5000/50											
CONAMA 420/2009 (VI - Água subterrânea)	10											
Mês/Ano	Julho/15	Julho/16	Dez/16	Julho/17	Dez/17	Julho/18	Dez/18	Set/19	Dez/19	Ago/20	Fev/21	
PM-05	0,5	0,5	8,35	0,5	ANR	0,5	0,5	<LQ	ANR	7,2	6,2	
PM-06	S	ND	2,44	ND	71,9	7	ND	12	12	9,2	<LQ	
PM-08	<LQ	38	22,1	46	10,6	17,8	ND	S	ANR	20	54	
PM-10						82,6	<LQ	58	41	77	91	
PM-14	<LQ	31	1,43	ND	ANR	ND	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	
PM-15	30	ND	7,1	ND	5,2	52,1	ND	36	12	73	33	
PM-16	<LQ	15	37,1	ND	ANR	8,6	<LQ	19	19	21	51	
PM-20	S	ND	ANR	ANR	47,9	15,7	ND	***	ANR	ANR	ANR	
PM-24	<LQ	ND	<LQ	ND	4,8	ND	ND	15	11	11	<LQ	
PM-25	<LQ	ND	17,6	ANR	6,6	ND	ND	400	<LQ	8,4	13	
PM-29	<LQ	28	<LQ	ND	ANR	17	<LQ	82	ANR	528		
PM-32	S	ND	ANR	40	9	ND	ND	7,1	122	92	46	
PM-35	<LQ	S	ANR	ANR	ANR	ND	<LQ	15	<LQ	21	34	
PM-37	<LQ	S	ANR	ANR	ANR	17,8	<LQ	36	S	31		
SUPERFICIAL -01	<LQ	ND	<LQ	x	<LQ	ND	ND	<LQ	<LQ	ANR	<LQ	
SUPERFICIAL -02	<LQ	ND	1,41	x	0,0014	ND	ND	<LQ	<LQ	ANR	8	
SUPERFICIAL -03	<LQ	ND	<LQ	x	<LQ	ND	ND	<LQ	<LQ	ANR	<LQ	

Os resultados em **vermelho** ultrapassaram o valor de prevenção (VP) da CONAMA 420/2009.; <LQ = Menor do que o Limite de Quantificação do método; ND = Não Detectável; S = poço seco; PNA = Parâmetro não realizado; ANR = Amostragem não realizada; *** = Não existem valores de referência na resolução CONAMA

Quadro 6.4-4: Resultados analíticos (Ferro) da qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área da Lagoa, comparados aos valores orientadores da Resolução Conama nº 420/2009, anexo II.

Parâmetro	Ferro (Fe)											
Unidade	ug/L											
CONAMA 357/05 - Classe II- Água Doce	300											
CONAMA 357/05 - Classe III- Água Doce	5000											
CONAMA 396/2008	300/***/5000/300											
CONAMA 420/2009 (VI - Água subterrânea)	2450											
Mês/Ano	Julho/15	Julho/16	Dez/16	Julho/17	Dez/17	Julho/18	Dez/18	Set/19	Dez/19	Ago/20	Fev/21	
PM-05	166	8123	2080	PNA	ANR	1900	148	7521	ANR	11432	9200	
PM-06	S	ND	14300	PNA	8820	355	251	15918	4897	11495	6300	
PM-08	693	14600	3850	PNA	794	11000	139	S	ANR	2271	16000	
PM-10	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	4700	171	3559	2914	4667	4600	
PM-14	4525	914	354	PNA	ANR	840	191	2363	1589	753	1600	
PM-15	2253	ND	69900	PNA	44000	11000	129	35819	78137	50358	95000	
PM-16	201	1056	227	PNA	ANR	34000	123	329	738	509	5300	
PM-20	S	883	ANR	ANR	107000	8000	143	***	ANR	ANR	ANR	
PM-24	2197	4936	21,9	PNA	69200	1000	134	8752	6544	10743	5400	
PM-25	1157	ND	3930	ANR	63500	825	208	20925	229	777	1700	
PM-29	1074	1821	95,3	PNA	ANR	108000	1395	9699	ANR	47188	S	
PM-32	S	ND	ANR	PNA	54700	872	163	1145	4302	3972	5700	
PM-35	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	415	131	28596	11076	23354	38000	
PM-37	499	S	ANR	ANR	ANR	114000	142	4919	S	6920	S	
SUPERFICIAL -01	1600	303	161	PNA	276	749	196	265	196	ANR	1100	
SUPERFICIAL -02	1700	ND	64,5	PNA	405	848	134	290	213	ANR	252	
SUPERFICIAL -03	1300	302	120	PNA	214	1000	198	428	227	ANR	383	

Os resultados em **vermelho** ultrapassaram o valor de prevenção (VP) da CONAMA 420/2009.; <LQ = Menor do que o Limite de Quantificação do método; ND = Não Detectável; S = poço seco; PNA = Parâmetro não realizado; ANR = Amostragem não realizada; *** = Não existem valores de referência na resolução CONAMA

Quadro 6.4-5: Resultados analíticos (Manganês) da qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área da Lagoa, comparados aos valores orientadores da Resolução Conama nº 420/2009, anexo II.

Parâmetro	Manganês (Mn)										
Unidade	ug/L										
CONAMA 357/05 - Classe II- Água Doce	100										
CONAMA 357/05 - Classe III- Água Doce	5000										
CONAMA 396/2008	100/50/200/100										
CONAMA 420/2009 (VI - Água subterrânea)	400										
Mês/Ano	Julho/15	Julho/16	Dez/16	Julho/17	Dez/17	Julho/18	Dez/18	Set/19	Dez/19	Ago/21	Fev/21
PM-05	<LQ	35	98,1	858	ANR	106	98	1126	ANR	555	326
PM-06	S	5450	2860	2340	1450	58,8	165	1059	859	997	715
PM-08	274	1415	1260	1933	1180	1500	108	S	ANR	401	913
PM-10	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	309	108	176	143	153	367
PM-14	273	31	2480	984	ANR	2400	17	3645	3340	2402	2800
PM-15	3556	88	6330	790	8020	1800	91,9	1674	4950	3184	4300
PM-16	2551	2763	3470	1910	ANR	4600	89	5032	5229	3997	6200
PM-20	S	41	ANR	ANR	5070	1200	76,7	***	ANR	ANR	ANR
PM-24	1312	128	2440	196	6540	494	96	570	265	422	258
PM-25	487	37	1700	ANR	7810	413	122	1551	440	1005	438
PM-29	85	246	67,9	184	ANR	4600	103	1017	ANR	826	S
PM-32	S	48	ANR	304	9230	404	121	1184	1037	1471	420
PM-35	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	636	96	6576	4487	12185	4100
PM-37	21	S	ANR	ANR	ANR	4200	103	50	S	46	S
SUPERFICIAL -01	170	390	98	x	120	414	113	239	182	ANR	154
SUPERFICIAL -02	260	34	184	x	193	462	97,6	246	193	ANR	134
SUPERFICIAL -03	210	112	97,4	x	102	539	120	180	204	ANR	104

Os resultados em **vermelho** ultrapassaram o valor de prevenção (VP) da CONAMA 420/2009.; <LQ = Menor do que o Limite de Quantificação do método; ND = Não Detectável; S = poço seco; PNA = Parâmetro não realizado; ANR = Amostragem não realizada; *** = Não existem valores de referência na resolução CONAMA

Quadro 6.4-6: Resultados analíticos (Alumínio) da qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área da Lagoa, comparados aos valores orientadores da Resolução Conama nº 420/2009, anexo II.

Parâmetro	Alumínio											
Unidade	ug/L											
CONAMA 357/05 - Classe II- Água Doce	100 (Dissolvido)											
CONAMA 357/05 - Classe III- Água Doce	200 (Dissolvido)											
CONAMA 396/2008	200/5000/5000/200											
CONAMA 420/2009 (VI - Água subterrânea)	3500											
Mês/Ano	Julho/15	Julho/16	Dez/16	Julho/17	Dez/17	Julho/18	Dez/18	Set/19	Dez/19	Ago/20	Fev/21	
PM-05	PNA	4503	260	PNA	ANR	185	<LQ	279	ANR	895	2500	
PM-06	S	ND	24,2	PNA	445	ND	ND	200	229	95	<LQ	
PM-08	PNA	15352	295	PNA	486	180	ND	S	ANR	1675	9700	
PM-10	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	3500	<LQ	2786	3076	4145	3500	
PM-14	PNA	926	70,7	PNA	ANR	190	<LQ	697	459	135	552	
PM-15	PNA	167	110	PNA	2750	2700	ND	1171	2948	20638	8200	
PM-16	PNA	834	58,4	PNA	ANR	550	<LQ	190	311	140	3300	
PM-20	S	851	ANR	ANR	11100	76,1	ND	AS	ANR	ANR	ANR	
PM-24	PNA	6172	28,4	PNA	1500	450	ND	8662	3790	5762	1900	
PM-25	PNA	ND	229	ANR	196	369	ND	8659	ANR	455	1400	
PM-29	PNA	363	2,34	PNA	ANR	320	<LQ	2824	ANR	29814	S	
PM-32	S	ND	ANR	PNA	348	404	ND	887	ANR	1685	3800	
PM-35	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	330	<LQ	461	290	1445	25	
PM-37	PNA	S	ANR	ANR	ANR	285	<LQ	4641	S	7055	S	
SUPERFICIAL -01	PNA	123	19,6	PNA	94	461	142	150	94	ANR	89	
SUPERFICIAL -02	PNA	ND	18,6	PNA	47	490	ND	255	124	ANR	306	
SUPERFICIAL -03	PNA	182	20,2	PNA	66	561	ND	250	101	ANR	46	

Os resultados em **vermelho** ultrapassaram o valor de prevenção (VP) da CONAMA 420/2009.; <LQ = Menor do que o Limite de Quantificação do método; ND = Não Detectável; S = poço seco; PNA = Parâmetro não realizado; ANR = Amostragem não realizada; *** = Não existem valores de referência na resolução CONAMA

COMPOSTOS INORGÂNICOS

É possível observar que a concentração de bário na água subterrânea ao longo de 11 campanhas de monitoramento, encontra-se abaixo do VI da CONAMA, isto é, enquadramento abaixo da concentração que possa causar risco potencial direto ou indireto à saúde humana.

Para as três amostras de água superficial, os resultados encontram-se em conformidade com a resolução CONAMA 357/2005 (Classes 2 e 3).

Para o parâmetro cloreto, os resultados de todas as amostras de águas superficiais encontram-se enquadradas nas classes 2 e 3 da CONAMA 357/2005, desde a retomada do monitoramento da lagoa, em julho/15 (concentrações entre 7 – 50 mg/L). Cabe ressaltar que não existem valores de referência para esse parâmetro para águas subterrâneas que sejam determinados pela CONAMA 420/2009.

Da mesma forma ocorrida nas campanhas de 2018 e 2019 (**Tabela 3**), também não foi observada uma correlação significativa para os eventos de cloreto (contaminante de atividade de E&P) concomitante aos eventos de chumbo para as campanhas realizadas em 2020.

Tabela 3: Eventos de chumbo x Eventos de Cloreto (2018/2019)

Nº de eventos de chumbo acima do VI (CONAMA 420/2009)	PM-06	PM-08	PM-10	PM-14	PM-15	PM-16	PM-20	PM-25	PM-29	PM-37
com cloreto		2				2	1		1	1
sem cloreto	1	3	1	1	2		1	1	1	
Total de eventos (desde julho/2015)	1	5	1	1	2	2	2	1	2	1

De acordo com a literatura, o Alumínio, o Ferro e o Manganês são compostos naturais de ocorrência frequente em águas subterrâneas. Essa ocorrência está associada ao tipo de solo no local. Os solos da Bacia do Recôncavo são compostos por óxidos de silício, Alumínio, Ferro, Manganês, Potássio e Titânio, Silicatos (quartzos) e filossilicatos (Caulinita e ilita). Os valores encontrados nas análises variam conforme as mudanças observadas no nível de água e concentração do mineral no horizonte de contato com a água subterrânea. (Santos, 2016)

A presença de concentrações de alumínio, manganês e ferro em água de poço com valores acima dos da Portaria Nº 36/90 do Ministério da Saúde (atualmente em vigor a Portaria Nº 2914/2011) pode ser entendida como tendo origem natural. (FREITAS, M. B.; BRILHANTE et. Al, 2001)

No ciclo anual de monitoramento de 2020, 07 poços apresentaram concentrações de alumínio acima do VI da CONAMA 420/2009. Para as águas superficiais não foi possível correlacionar efetivamente os resultados com os valores de referência da CONAMA 357/05, pois os resultados reportados estão expressos em Alumínio Total. Porém é possível observar que as concentrações são relativamente baixas. (89-306) µg/L.

O aumento observado nas concentrações desses compostos para o ciclo anual de 2020 pode ter sido gerado pela técnica da coleta aplicada (*bailer*). O *bailer* é um amostrador descartável, e que apesar de todo o cuidado na realização do procedimento operacional, essa técnica gera turbulência no meio, aumentando a aeração e gerando a movimentação de sólidos presentes no fundo do poço. Isso eleva a turbidez do meio podendo acarretar mudanças nos valores analíticos.

As águas superficiais se encontram enquadradas na Classe 2 e/ou 3 da CONAMA 357/2005, desde a retomada do monitoramento em julho/15. Os valores de concentração em 2020 variaram entre (252 - 1100) µg/L, para ferro total.

Nas águas superficiais, o nível de ferro aumenta nas estações chuvosas devido ao carreamento de solos e a ocorrência de processos de erosão das margens (CETESB, 2009).

Para o parâmetro chumbo, Todos os resultados obtidos, desde a retomada do monitoramento até fevereiro/21, mostram que, nas águas subterrâneas do local, as concentrações se enquadram nas classes para dessedentação de animais (100ug/L) e irrigação (5000 ug/L), de acordo com a CONAMA 396/2008.

Todos os resultados dos outros parâmetros inorgânicos analisados durante as campanhas de monitoramento estão apresentados no **ANEXO 1**.

COMPOSTOS ORGÂNICOS

Para os compostos de origem do Petróleo e considerados carcinogênicos (Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos – HPA e Orgânicos Voláteis – BTEX), todas as amostras apresentaram resultados abaixo do limite de quantificação do método ou abaixo do valor de intervenção (VI) da CONAMA 420/2009. Em todas as campanhas desde 2016 até 2019, esses compostos apresentaram-se em conformidade com as resoluções CONAMA 420/2009, 357/2005 (Classes 2 e 3). A Tabela de resultados encontra-se no **ANEXO 2**.

INDICADORES DE QUALIDADE DA ÁGUA (Nitrato, DBO e DQO)

De maneira geral, os indicadores de qualidade da água superficial e subterrânea, que foram avaliados na área da lagoa até 2019 encontram-se satisfatórios. A tabela de resultados encontra-se no **ANEXO 3**.

7 CONCLUSÕES

- ✓ O processo de remediação de água subterrânea provavelmente é um dos grandes desafios dentro da matéria ambiental. O Estudo apresentado passou por diversos processos legislatórios. A chegada da CONAMA 420/09 auxiliou as medidas e ações de investigação para que se pudesse tomar decisões acerca da melhor alternativa de remediação. Cabe salientar que a comunicação com os stakeholders é um processo fundamental para que as medidas necessárias para a recuperação, remediação e revitalização da área se concretizem de forma menos burocrática e célere.

- ✓ Após a realização de 09 campanhas semestrais consecutivas (julho/16 a dezembro/19) de monitoramento das águas subterrâneas da lagoa, e observou-se a ausência total de compostos derivados de “hidrocarbonetos de petróleo” (TPH, HPA e BTEX). Portanto não foi verificada a necessidade de continuidade do monitoramento desses parâmetros para o ciclo anual de 2020, encerrando assim a coleta e análise para essa classe de compostos;
- ✓ Além dos compostos orgânicos, o mesmo perfil de comportamento das concentrações ocorre para os compostos inorgânicos: Antimônio, Arsênio, Boro, Cádmio, Cobre, Cobalto, Cromo, Mercúrio, Molibdênio, Níquel, Prata, Selênio, Vanádio e Zinco;
- ✓ Em relação a detecção de chumbo em águas subterrâneas com valores acima do VI da CONAMA 420/2009, observou-se que não há correlação desses eventos, concomitante a resultados de concentração de possíveis contaminantes de origem das atividades de E&P;
- ✓ De acordo com os resultados apresentados em estudos realizados anteriormente, a concentração total de chumbo, determinada no solo e na massa bruta avaliada da borra oleosa, é relativamente baixa para justificar a concentração encontrada em alguns pontos de coleta de água subterrânea. Seria necessário ocorrer o processo de dessorção do metal para o solo (ex. solo com acidez elevada) e deste, para a água subterrânea. O possível fluxo de contaminação de origem petrolífera através do solo para a água subterrânea, não ficou evidenciado, pois as concentrações de chumbo no solo do entorno da lagoa ficaram bem abaixo do valor de prevenção da CONAMA 420/2009. Este resultado sugere a existência de outras fontes contaminantes que não a lagoa de borra. Uma vez que o local de investigação é utilizado para fins agrícolas, logo deve-se considerar outras possíveis fontes de origem do contaminante, a exemplo de uso de fertilizantes, ou até mesmo, tratar-se de concentração “background” local.

- ✓ Após 11 campanhas de monitoramento, os teores de chumbo encontram-se enquadrados para os usos: irrigação e dessedentação de animais, de acordo com os valores máximos permitidos pela CONAMA 396/2008;
- ✓ Desde a formação da nova lagoa, após a remoção dos resíduos, todas as campanhas de monitoramento das águas superficiais apresentaram resultados em conformidade com a CONAMA 357/2005 (Classe2 e/ou 3) para os parâmetros analisados que tem relação com a atividade de produção de petróleo e no escopo do monitoramento ambiental aplicado;
- ✓ Observou-se teores significativos para Fe, Mn e Al (análise de metais totais), que são compatíveis com a geologia local e para o uso de irrigação, em analogia aos valores máximos permitidos pela CONAMA 396/08;
- ✓ Esses resultados evidenciam que o processo de remediação da lagoa, com a retirada total dos resíduos em 2014 foi eficaz;
- ✓ Cabe ressaltar que o enquadramento dos corpos hídricos superficiais, com a análise de todos os parâmetros previstos para as classes de uso é de competência do Poder Público, conforme artigo 9º prevista na referida resolução;
- ✓ Os indicadores de qualidade da água analisados nas campanhas até dez/19, encontram-se satisfatórios;
- ✓ Considerando que o projeto inicial da construção da lagoa, datado da década de 1970, se tratava de um dique para contenção de resíduo oleoso, e que a meta para a eliminação dos contaminantes de origem das atividades de E&P de petróleo foi atingida; foi possível enquadrar o uso da lagoa para fins do cenário local (Agrícola) sem risco para os receptores mapeados.
- ✓ Com o encerramento do monitoramento das águas superficiais, foi proposta a utilização da lagoa para os usos enquadrados (irrigação e dessedentação de animais), que estão em concordância com as atividades realizadas atualmente na área de investigação;
- ✓ Ressalta-se que, devido à presença de contaminantes como o chumbo na água subterrânea, recomenda-se que sejam avaliados os usos pretendidos e seja evitado o consumo humano, como medida de controle.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR – 10004 – Resíduos Sólidos – Classificação. 2004, 71p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR – 10.005 – Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. 16p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR – 10.006 – Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. 3p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12.235 - Armazenamento de resíduos sólidos perigosos. 14p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15.847 – Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento - Métodos de Purga. 20p

ANP - Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Bacia do Recôncavo: Sumário geológico e Setores em oferta. Superintendência de definição de blocos. 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/rodadas-anp/rodadas-concluidas/concessao-de-blocos-exploratorios/14a-rodada-licitacoes-blocos/arquivos/areas-oferta/sumario-reconcavo.pdf>. Acesso em 21 jan.2022, 17:40.

ANP - Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Campo Dom João, 2016. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/gestao-de-contratos-de-e-p/fase-de-producao/pd/dom_joao.pdf. Acesso em: 21 Jan.2022, 18:53.

ANP - Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Campo Dom João Mar, 2016. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/gestao-de-contratos-de-e-p/fase-de-producao/pd/dom_mar.pdf. Acesso em: 21 Jan.2022, 18:54.

ALVES, M.R.F.V. Reciclagem de borra oleosa: uma contribuição para a gestão sustentável dos resíduos da indústria de petróleo em Sergipe. São Cristóvão, Sergipe. Universidade Federal de Sergipe (UFS). Dissertação de Mestrado, 2003. 191p.

ANA – Agência Nacional de Águas – Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras, 2011.

BIONDI, C.M. Teores naturais de metais pesados nos solos de referência do estado de Pernambuco. Programa de pós-graduação em ciências do solo. Universidade Federal Rural de Pernambuco, UFRPE, Tese de Doutorado. 2010. 70p.

BDAP - Banco de Avaliação de Petróleos da Petrobras. Site interno: <http://bdap.cenpes.petrobras.com.br/BDAP>. Disponível em: 20 Jan. 2022, 09:00. em:

BNDES - Banco Nacional do Desenvolvimento. Produção de Petróleo Terrestre no Brasil. 2019.

https://web.bnDES.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/16962/3/PRArt214594_Producao%20de%20petroleo%20terrestre%20no%20Brasil_P_BD.pdf. Acesso em: 20 Jan.2022, 17:46.

BRASILEIRO, I.M.R. Análise sedimentológica e estratigráfica da formação Sergi, Campo Dom João, Bacia do Recôncavo, Bahia, Brasil. Universidade Federal da Bahia, UFBA. Monografia para obtenção do grau de bacharel. 2014,64p.

CETESB – Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas), 2001b.

CETESB – Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. Norma Cetesb 6410 – Amostragem e monitoramento das águas subterrâneas, 1988.

COSTA, W.P.L.B (2013).Metais pesados em solos do Rio Grande do Norte: Valores de Referência de qualidade e relações geopedológicas. Programa de pós-graduação em ciências do solo. Universidade Federal Rural de Pernambuco, UFRPE. Tese de Doutorado, 2013, 123p.

FIEB - Federação das Indústrias do Estado da Bahia. Indústria do Petróleo e Gás na Bahia: Características, Perspectivas e Desafios. Gerência de Estudos Técnicos-GET/SDI/FIEB, Dezembro, 2018.

FUTSAI, A.A, et al. Petroleum contaminated soil in Oman: Evaluation of bioremediation treatment and potential for reuse in hot asphalt mix concrete. Environmental Monitoring Assessment.V.124, p. 331-341, 2007.

KAMATSU, E. Desenvolvimento de metodologia para determinação de alguns pesticidas em águas empregando microextração em fase sólida (SPME). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo (USP). Dissertação de Mestrado. 2004,72p.

MILANI, E.; LANA, M.C; Szatmari, P. Chapter 34 – Mezozoic rift basins around the northeastBrazilian microplate (Recôncavo – Tucano – Jatobá, Sergipe -alagoas). Developments in Geotecnics, V.22, p.833-858, 1988.

Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental.

Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 023, de 07 de dezembro de 1994. Institui procedimentos específicos para o licenciamento de atividades relacionadas à exploração e lavra de jazidas de combustíveis líquidos e gás natural.

Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providencias.

Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA 396, de 03 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.

Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA 420, de 28 de dezembro 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.

NASSIF, Luis. 70 anos da exploração de petróleo na Bahia. Jornal GGN, 14 de dezembro de 2011. Disponível em: <https://jornalggn.com.br/noticia/70-anos-da-exploracao-de-petroleo-na-bahia/>. Acesso em: 21 jan.2022,17:32.

OLIVEIRA, M.L; LUZ, E.D.M.N. Identificação e manejo das principais doenças do cacaueiro no Brasil. 1 ed. Bahia. Editor Centro de Pesquisas do Cacau Miguel Antonio Moreno Ruiz, 2005.128p.

PASSE, J. J. Teores naturais de metais nos solos das bacias sedimentares do Recôncavo e do Tucano sul, como subsídio ao estabelecimento de valores de referência de qualidade.. Programa de Pós-graduação em solos e qualidade de ecossistemas. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Dissertação de Mestrado, 2015.

PIASENTIN, B.F; SAITO, H.C. Os diferentes métodos de cultivo de cacau no sudeste da Bahia, Brasil: aspectos históricos e percepções. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas, v. 9, n. 1, p. 61-78, 2014.

SANTOS, M.A.S.P. Distribuição de metais em sedimentos superficiais coletados na Baía de Todos os Santos – BA- Brasil. Instituto de Geociências. Universidade Federal da Bahia, UFBA. Monografia para obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia. 2016, 47p.

SÁNCHEZ, E, L. Avaliação de Impacto Ambiental: Conceitos e métodos. 2.ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2013. 583p.

GUIMARÃES, A.K.V. Extração do óleo e caracterização dos resíduos da borra de petróleo para fins de reuso. Centro de Tecnologia -Núcleo de Pesquisa de Petróleo e Gás, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN. Dissertação de Mestrado, 2007, 157p.

URURAHY, A. F. P. Biodegradação de resíduo oleoso proveniente de Refinaria de Petróleo". Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ. Tese de Doutorado, 1998, 344p.

ANEXOS

ANEXO 1- TABELA DE RESULTADOS DAS ANÁLISES DE CÁDMIO, NÍQUEL, CROMO, VANÁDIO, COBRE, ZINCO, COBALTO E BORO NA SUBTERRÂNEA E ÁGUA SUPERFICIAL NA LAGOA (2015 A 2019).

Parâmetro	Cádmio					
Unidade	ug/L					
CONAMA 357/05 - Classe II- Água Doce	1					
CONAMA 357/05 - Classe III- Água Doce	10					
CONAMA 396/2008	5/50/10/5					
CONAMA 420/2009 (VI - Água subterrânea)	5					
Mês/Ano	Julho/17	Dez/17	Julho/18	Dez/18	Set/19	Dez/19
PM-05	ND	ANR	ND	<LQ	<LQ	ANR
PM-06	ND	<LQ	ND	ND	<LQ	<LQ
PM-08	ND	<LQ	ND	ND	S	ANR
PM-10	ANR	ANR	ND	<LQ	<LQ	<LQ
PM-14	ND	ANR	ND	<LQ	<LQ	<LQ
PM-15	ND	<LQ	0,96	ND	<LQ	<LQ
PM-16	ND	ANR	ND	<LQ	<LQ	<LQ
PM-20	ANR	<LQ	ND	ND	***	ANR
PM-24	ND	<LQ	ND	ND	<LQ	<LQ
PM-25	ANR	<LQ	ND	ND	<LQ	ANR
PM-29	ND	ANR	ND	<LQ	<LQ	ANR
PM-32	ND	<LQ	ND	ND	<LQ	ANR
PM-35	ANR	ANR	ND	<LQ	<LQ	<LQ
PM-37	ANR	ANR	ND	<LQ	<LQ	S
SUPERFICIAL -01	x	<LQ	ND	ND	<LQ	<LQ
SUPERFICIAL -02	x	<LQ	ND	ND	<LQ	<LQ
SUPERFICIAL -03	x	<LQ	ND	ND	<LQ	<LQ

Parâmetro	Níquel (Ni)								
Unidade	ug/L								
CONAMA 357/05 - Classe II- Água Doce	25								
CONAMA 357/05 - Classe III- Água Doce	25								
CONAMA 396/2008	20/1000/200/100								
CONAMA 420/2009 (VI - Água subterrânea)	20								
Mês/Ano	Julho/15	Julho/16	Dez/16	Julho/17	Dez/17	Julho/18	Dez/18	Set/19	Dez/19
PM-05	<LQ	ND	2,08	ND	ANR	ND	<LQ	<LQ	ANR
PM-06	S	ND	12,7	ND	3,71	ND	ND	<LQ	<LQ
PM-08	<LQ	ND	2,42	14	2,63	ND	ND	S	ANR
PM-10	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ND	<LQ	<LQ	<LQ
PM-14	<LQ	ND	<LQ	ND	ANR	ND	<LQ	<LQ	<LQ
PM-15	<LQ	ND	1,52	ND	7,15	11,1	ND	<LQ	5,7
PM-16	<LQ	ND	1,61	ND	ANR	ND	<LQ	<LQ	<LQ
PM-20	<LQ	ND	ANR	ANR	ANR	ND	ND	***	ANR
PM-24	<LQ	ND	1,7	ND	6,99	ND	ND	17	13
PM-25	<LQ	ND	2,41	ANR	3,01	ND	ND	21	ANR
PM-29	<LQ	ND	<LQ	ND	ANR	ND	<LQ	<LQ	ANR
PM-32	S	ND	ANR	ND	3,6	ND	ND	<LQ	ANR
PM-35	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ND	<LQ	6,3	7,9
PM-37	<LQ	S	ANR	ANR	ANR	ND	<LQ	8,2	S
SUPERFICIAL -01	<LQ	ND	<LQ	x	<LQ	ND	ND	<LQ	<LQ
SUPERFICIAL -02	<LQ	ND	<LQ	x	<LQ	ND	ND	<LQ	<LQ
SUPERFICIAL -03	<LQ	ND	<LQ	x	<LQ	ND	ND	<LQ	<LQ

Parâmetro	Cromo Total (Cr)								
Unidade	ug/L								
CONAMA 357/05 - Classe II- Água Doce	50								
CONAMA 357/05 - Classe III- Água Doce	50								
CONAMA 396/2008	50/1000/100/50								
CONAMA 420/2009 (VI - Água subterrânea)	50								
Mês/Ano	Julho/15	Julho/16	Dez/16	Julho/17	Dez/17	Julho/18	Dez/18	Set/19	Dez/19
PM-05	<LQ	ND	<LQ	ND	ANR	ND	<LQ	<LQ	ANR
PM-06	S	ND	1,41	ND	11,2	ND	ND	<LQ	<LQ
PM-08	<LQ	16	<LQ	13	2,82	ND	ND	S	ANR
PM-10	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	6,8	<LQ	<LQ	<LQ
PM-14	<LQ	ND	<LQ	ND	ANR	ND	<LQ	<LQ	<LQ
PM-15	<LQ	ND	1,83	ND	1,66	ND	ND	<LQ	<LQ
PM-16	<LQ	ND	<LQ	ND	ANR	ND	<LQ	<LQ	<LQ
PM-20	S	ND	ANR	ANR	24,8	ND	ND	***	ANR
PM-24	<LQ	ND	<LQ	ANR	4,94	ND	ND	12	7,5
PM-25	<LQ	ND	<LQ	ANR	1,88	ND	ND	16	ANR
PM-29	<LQ	ND	<LQ	ND	ANR	ND	<LQ	5	ANR
PM-32	S	ND	ANR	ND	2,19	ND	ND	<LQ	ANR
PM-35	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ND	<LQ	<LQ	<LQ
PM-37	<LQ	S	ANR	ANR	ANR	ND	<LQ	<LQ	S
SUPERFICIAL -01	<LQ	ND	<LQ	x	0,001	ND	ND	<LQ	<LQ
SUPERFICIAL -02	<LQ	ND	<LQ	x	<LQ	ND	ND	<LQ	<LQ
SUPERFICIAL -03	<LQ	ND	<LQ	x	<LQ	ND	ND	<LQ	<LQ

Parâmetro	Vanádio (V)							
Unidade	ug/L							
CONAMA 357/05 - Classe II- Água Doce	100							
CONAMA 357/05 - Classe III- Água Doce	100							
CONAMA 396/2008	50/100/100/***							
CONAMA 420/2009 (VI - Água subterrânea)	***							
Mês/Ano	Dez/16	Julho/17	Dez/17	Julho/18	Dez/18	Set/19	Dez/19	
PM-05	3,62	ND	ANR	ND	<LQ	<LQ	<LQ	
PM-06	1,57	ND	4,46	ND	ND	<LQ	<LQ	
PM-08	2,66	18	2,36	ND	ND	S	ANR	
PM-10	ANR	ANR	ANR	11,5	<LQ	11	<LQ	
PM-14	<LQ	ND	ANR	6,2	<LQ	<LQ	<LQ	
PM-15	4,71	ND	5,82	ND	ND	<LQ	<LQ	
PM-16	2,63	ND	ANR	6	<LQ	<LQ	<LQ	
PM-20	ANR	ANR	44,5	ND	ND	***	ANR	
PM-24	<LQ	ANR	7,8	ND	ND	33	19	
PM-25	5,04	ANR	<LQ	ND	ND	24	ANR	
PM-29	<LQ	ND	ANR	ND	<LQ	8,3	ANR	
PM-32	ANR	12	3,65	ND	ND	<LQ	ANR	
PM-35	ANR	ANR	ANR	ND	<LQ	10	<LQ	
PM-37	ANR	ANR	ANR	ND	<LQ	11	S	
SUPERFICIAL -01	<LQ	x	<LQ	ND	ND	<LQ	7	
SUPERFICIAL -02	<LQ	x	<LQ	ND	ND	<LQ	<LQ	
SUPERFICIAL -03	<LQ	x	<LQ	ND	ND	<LQ	7	

Parâmetro	Cobre (Cu)								
Unidade	ug/L								
CONAMA 357/05 - Classe II- Água Doce	9 (Dissolvido)								
CONAMA 357/05 - Classe III- Água Doce	13 (Dissolvido)								
CONAMA 396/2008	2000/500/200/1000								
CONAMA 420/2009 (VI - Água subterrânea)	2000								
Mês/Ano	Julho/15	Julho/16	Dez/16	Julho/17	Dez/17	Julho/18	Dez/18	Set/19	Dez/19
PM-05	<LQ	ND	11,4	PNA	ANR	2,43	1,6	2	2
PM-06	S	ND	5,08	PNA	13,2	2,06	ND	7	2,7
PM-08	<LQ	ND	8,07	PNA	4,86	3,56	0,85	S	ANR
PM-10	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	9,56	0,94	14	8,6
PM-14	<LQ	ND	2,4	PNA	ANR	1,58	0,89	5,2	2,4
PM-15	12	ND	9,72	PNA	8,08	14,95	ND	<LQ	11
PM-16	<LQ	ND	3,96	PNA	ANR	1,3	<LQ	1,9	3,2
PM-20	S	ND	ANR	ANR	71	1,4	ND	***	ANR
PM-24	7	ND	3,51	PNA	23,6	1	ND	32	19
PM-25	<LQ	ND	6,69	ANR	15,5	ND	ND	28	ANR
PM-29	9,9	ND	<LQ	PNA	ANR	3,43	3	11	ANR
PM-32	S	ND	ANR	PNA	22,3	0,99	0,83	4	ANR
PM-35	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	0,62	<LQ	6,1	3,5
PM-37	<LQ	S	ANR	ANR	ANR	2,06	<LQ	15	S
SUPERFICIAL -01	PNA	ND	1,53	PNA	2,36	ND	ND	0,65	1
SUPERFICIAL -02	PNA	ND	2,43	PNA	2,7	ND	ND	2,25	1,1
SUPERFICIAL -03	PNA	ND	3	PNA	1,42	ND	0,83	<LQ	1,3

Parâmetro	Zinco (Zn)								
Unidade	ug/L								
CONAMA 357/05 - Classe II- Água Doce	180								
CONAMA 357/05 - Classe III- Água Doce	5000								
CONAMA 396/2008	5000/24000/2000/5000								
CONAMA 420/2009 (VI - Água subterrânea)	1050								
Mês/Ano	Julho/15	Julho/16	Dez/16	Julho/17	Dez/17	Julho/18	Dez/18	Set/19	Dez/19
PM-05	<LQ	40	78	PNA	ANR	7,5	<LQ	28	28
PM-06	S	24	33,6	PNA	18,6	155	ND	40	41
PM-08	69	55	56,8	PNA	11,6	66	6,6	S	ANR
PM-10	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	39,5	<LQ	68	34
PM-14	<LQ	16	29,7	PNA	ANR	40,5	65	77	16
PM-15	145	ND	528	PNA	14,7	105	ND	121	40
PM-16	<LQ	ND	13,9	PNA	ANR	ND	<LQ	44	49
PM-20	S	ND	ANR	ANR	74,3	60,6	ND	***	ANR
PM-24	<LQ	21	13,4	PNA	22,9	ND	ND	73	56
PM-25	152	ND	44,6	ANR	12,7	ND	ND	102	ANR
PM-29	124	ND	4,6	PNA	ANR	58	<LQ	91	ANR
PM-32	S	ND	ANR	PNA	11,4	12,8	8,9	48	ANR
PM-35	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	16,5	<LQ	89	55
PM-37	27	S	ANR	ANR	ANR	48	<LQ	39	S
SUPERFICIAL -01	PNA	126	35,4	PNA	39,4	24,8	ND	<LQ	16
SUPERFICIAL -02	PNA	36	26,6	PNA	16,5	15,5	ND	<LQ	74
SUPERFICIAL -03	PNA	31	47,3	PNA	3,47	15,5	14,4	<LQ	7,6

Parâmetro	Cobalto (Co)									
Unidade	ug/L									
CONAMA 357/05 - Classe II- Água Doce	50									
CONAMA 357/05 - Classe III- Água Doce	200									
CONAMA 396/2008	***/1000/50/***									
CONAMA 420/2009 (VI - Água subterrânea)	70									
Mês/Ano	Julho/15	Julho/16	Dez/16	Julho/17	Dez/17	Julho/18	Dez/18	Set/19	Dez/19	
PM-05	PNA	ND	<LQ	ND	ANR	ND	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
PM-06	S	44	22	15	9,26	ND	ND	2,5	2,3	
PM-08	PNA	7,9	2,14	8,7	2,9	ND	ND	S	ANR	
PM-10	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ND	<LQ	2,1	1,8	
PM-14	PNA	ND	3,13	ND	ANR	1,41	<LQ	8,7	5,4	
PM-15	PNA	ND	4,05	ND	9,8	7,64	ND	4,3	6,1	
PM-16	PNA	ND	3,27	ND	ANR	1,25	<LQ	6,8	6,4	
PM-20	S	ND	ANR	ANR	25,3	ND	ND	***	ANR	
PM-24	PNA	ND	4,51	ND	12,3	ND	ND	9	6,1	
PM-25	PNA	ND	<LQ	ANR	8,16	ND	ND	21	ANR	
PM-29	PNA	ND	<LQ	ND	ANR	7,6	<LQ	2	ANR	
PM-32	S	ND	ANR	ND	11,8	ND	ND	2,1	ANR	
PM-35	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ND	<LQ	<LQ	22	
PM-37	PNA	S	ANR	ANR	ANR	6,38	<LQ	3,4	S	
SUPERFICIAL -01	PNA	ND	<LQ	x	<LQ	ND	ND	<LQ	<LQ	
SUPERFICIAL -02	PNA	ND	<LQ	x	<LQ	ND	ND	<LQ	<LQ	
SUPERFICIAL -03	PNA	ND	<LQ	x	<LQ	ND	ND	<LQ	<LQ	

Parâmetro	Boro (B)							
Unidade	ug/L							
CONAMA 357/05 - Classe II- Água Doce	500							
CONAMA 357/05 - Classe III- Água Doce	750							
CONAMA 396/2008	500/5000/500/1000							
CONAMA 420/2009 (VI - Água subterrânea)	500							
Mês/Ano	Dez/16	Julho/17	Dez/17	Julho/18	Dez/18	Set/19	Dez/19	
PM-05	9,98	ND	ANR	335	<LQ	321	ANR	
PM-06	35,2	ND	120	88	ND	105	77	
PM-08	33,8	ND	138	150	ND	S	ANR	
PM-10	ANR	ANR	ANR	55	<LQ	66	<LQ	
PM-14	40,7	ND	ANR	290	<LQ	302	217	
PM-15	53,2	ND	81,1	197	ND	<LQ	362	
PM-16	335	924	ANR	90	31	1308	1872	
PM-20	ANR	ANR	180	132	ND	AS	ANR	
PM-24	52,8	ND	171	71	ND	59	<LQ	
PM-25	51,1	ANR	166	40	ND	217	ANR	
PM-29	22,2	ND	ANR	115	<LQ	212	ANR	
PM-32	ANR	ND	107	51	ND	252	ANR	
PM-35	ANR	ANR	ANR	232	<LQ	54	27	
PM-37	ANR	ANR	ANR	70	<LQ	80	S	
SUPERFICIAL -01	12,6	x	60,1	35	74	65	62	
SUPERFICIAL -02	16,6	x	56,9	40	ND	75	52	
SUPERFICIAL -03	19,2	x	65	44	ND	<LQ	38	

**ANEXO 2- TABELA DE RESULTADOS DAS ANÁLISES DOS COMPOSTOS
ORGÂNICOS EM ÁGUA SUBTERRÂNEA E ÁGUA SUPERFICIAL NA LAGOA
(2015 A 2019)**

Parâmetro Unidade	Total HPA												BTEX												TPH Total (C8 - C40)																
	ug/L						ug/L						ug/L						ug/L						ug/L						ug/L										
CONAMA 357/05 - Classe II- Água Doce																																									
CONAMA 357/05 - Classe III- Água Doce																																									
CONAMA 396/2008																																									
CONAMA 420/2009 (V1 - Água subterrânea)																																									
Mês/Ano	Julho/15	Julho/16	Dez/16	Julho/17	Dez/17	Julho/18	Dez/18	Set/19	Dez/19	Julho/15	Julho/16	Dez/16	Julho/17	Dez/17	Julho/18	Dez/18	Set/19	Dez/19	Julho/15	Julho/16	Dez/16	Julho/17	Dez/17	Julho/18	Dez/18	Set/19	Dez/19	Julho/15	Julho/16	Dez/16	Julho/17	Dez/17	Julho/18	Dez/18	Set/19	Dez/19					
PM-05	<LO	ND	<LO	<LO	<LO	ANR	ND	7,4*	<LO	ANR	<LO	ND	<LO	<LO	ANR	ND	<LO	ANR	<LO	ND	<LO	ANR	ND	<LO	ANR	ND	<LO	ANR	ND	x	<LO	ANR	ND	ND	<LO	ANR	ND	<LO	ANR	ND	
PM-06	S	ND	<LO	<LO	<LO	ND	ND	<LO	<LO	S	ND	<LO	<LO	<LO	ND	ND	<LO	<LO	ND	ND	<LO	<LO	S	584	<LO	<LO	<LO	ND	ND	<LO	<LO	ND	ND	<LO	ANR	ND	<LO	ANR	ND		
PM-08	<LO	ND	<LO	<LO	<LO	ND	ND	<LO	<LO	ANR	<LO	ND	<LO	<LO	ND	ND	<LO	<LO	ANR	<LO	ND	<LO	<LO	ND	<LO	<LO	ND	<LO	<LO	ND	<LO	<LO	ND	<LO	<LO	ND	<LO	ANR	ND		
PM-10	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ND	<LO	<LO	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ND	
PM-14	<LO	ND	<LO	<LO	<LO	ANR	ND	<LO	<LO	<LO	ND	<LO	<LO	<LO	ND	<LO	<LO	ANR	ND	<LO	<LO	ANR	ND	<LO	<LO	ANR	ND	<LO	<LO	ANR	ND	x	<LO	ANR	ND	<LO	ANR	ND			
PM-15	<LO	ND	<LO	<LO	<LO	ND	ND	<LO	<LO	<LO	ND	<LO	<LO	<LO	ND	<LO	<LO	ND	ND	<LO	<LO	ND	ND	<LO	<LO	ND	<LO	<LO	ND	<LO	<LO	ND	<LO	<LO	ND	<LO	<LO	ND			
PM-16	<LO	ND	<LO	<LO	<LO	ANR	ND	<LO	<LO	<LO	ND	<LO	<LO	<LO	ND	<LO	<LO	ANR	ND	<LO	<LO	ANR	ND	<LO	<LO	ANR	ND	<LO	<LO	ANR	ND	x	<LO	ANR	ND	<LO	ANR	ND			
PM-20	S	ND	ANR	ANR	ANR	ND	ND	<LO	ANR	S	ND	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ND
PM-24	<LO	ND	<LO	<LO	<LO	ND	ND	<LO	<LO	<LO	ND	<LO	<LO	<LO	ND	<LO	<LO	ND	ND	<LO	<LO	ND	ND	<LO	<LO	ND	<LO	<LO	ND	<LO	<LO	ND	<LO	<LO	ND	<LO	<LO	ND			
PM-25	<LO	ND	<LO	ANR	ANR	ND	ND	<LO	<LO	<LO	ND	<LO	<LO	<LO	ND	<LO	<LO	ANR	ND	<LO	<LO	ND	ND	<LO	<LO	ND	331	<LO	<LO	ND	<LO	ANR	ND	<LO	<LO	ND	<LO	ANR	ND		
PM-29	<LO	ND	<LO	<LO	<LO	ANR	ND	0,76*	<LO	ANR	<LO	ND	<LO	<LO	ANR	ND	<LO	<LO	ANR	ND	<LO	<LO	ANR	ND	<LO	<LO	ANR	ND	x	<LO	ANR	ND	<LO	ANR	ND	<LO	ANR	ND			
PM-32	S	ND	ANR	<LO	ND	ND	ND	<LO	<LO	<LO	ND	<LO	<LO	<LO	ND	<LO	<LO	ND	ND	<LO	<LO	ND	ND	<LO	<LO	ND	S	ND	ANR	ND	<LO	ANR	ND	<LO	ANR	ND					
PM-35	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ND	<LO	<LO	<LO	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ND	
PM-37	<LO	S	ANR	ANR	ANR	ND	ND	<LO	<LO	<LO	S	<LO	S	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	S	ND	
SUPERFICIAL -01	PNA	ND	<LO	x	<LO	ND	ND	<LO	PNA	ND	<LO	x	<LO	ND	ND	<LO	ND	ND	ND	<LO	ND	788	ND	<LO	x	<LO	ND	ND	<LO	ND	ND	<LO	ND	ND	<LO	ND	ND	<LO	ND	ND	
SUPERFICIAL -02	PNA	ND	<LO	x	<LO	ND	ND	<LO	PNA	ND	<LO	x	<LO	ND	ND	<LO	ND	ND	ND	<LO	ND	1673	ND	<LO	x	<LO	ND	ND	<LO	ND	ND	<LO	ND	ND	<LO	ND	ND	<LO	ND	ND	
SUPERFICIAL -03	PNA	ND	<LO	x	<LO	ND	ND	<LO	PNA	ND	<LO	x	<LO	ND	ND	<LO	ND	ND	ND	<LO	ND	1097	ND	<LO	x	<LO	ND	ND	<LO	ND	ND	<LO	ND	ND	<LO	ND	ND	<LO	ND	ND	

*Concentração de Naftaleno VI (CONAMA 420) = 140 ug/L

**ANEXO 3- TABELA DE RESULTADOS DAS ANÁLISES DOS INDICADORES DA
QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA E ÁGUA SUPERFICIAL NA LAGOA
(2015 A 2019)**

Parâmetro	Nitroto (N-NO3)												DBO						DO									
	µM/L						µM/L						µg/L						µg/L									
CONAMA 357/05 - Classe 2 - Água Doce							10							5														
CONAMA 357/05 - Classe 3 - Água Doce							10							10														
CONAMA 428/2009 (VI - Água subterrânea)							10							***														
Mês/Ano	Julho/15	Julho/16	Dez/16	Julho/17	Dez/17	Julho/18	Dez/18	Set/19	Dez/19	Julho/15	Julho/16	Dez/16	Julho/17	Dez/17	Julho/18	Dez/18	Set/19	Dez/19	Julho/15	Julho/16	Dez/16	Julho/17	Dez/18	Set/19	Dez/19			
PM-05	PNA	13,3	2,03	0,44	ANR	ND	<LO	0,04	ANR	PNA	3,345	<LO	2,6	ANR	6,68	ANR	4,76	ANR	PNA	ND	<LO	<LO	ANR	ND	<LO	ANR		
PM-06	S	0,5	4,7	<LO	<LO	0,66	ND	0,04	<LO	S	3,887	<LO	3,12	3,1	5,85	2,16	<LO	<LO	S	ND	<LO	<LO	8	40	27	<LO	<LO	
PM-08	PNA	10,9	2,97	<LO	0,9	ND	ND	S	ANR	PNA	5,95	<LO	<LO	6,35	ND	S	ANR	PNA	48	<LO	<LO	<LO	ND	ND	S	ANR		
PM-10	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ND	<LO	0,1	<LO	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	7,25	ANR	<LO	<LO	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	<LO		
PM-14	PNA	ND	3,05	0,4	ANR	ND	<LO	0,15	<LO	PNA	ND	<LO	2,25	ANR	ND	ANR	3,72	<LO	PNA	29	<LO	<LO	ANR	ND	ANR	<LO	<LO	
PM-15	PNA	ND	2,33	0,63	0,91	ND	ND	0,05	<LO	PNA	2,28	<LO	<LO	3,3	ND	ND	<LO	22	PNA	ND	52	32	5,4	44	ND	<LO	75	
PM-16	PNA	ND	5,42	<LO	ANR	ND	<LO	0,39	<LO	PNA	2	<LO	102	ANR	3,19	ANR	4,32	25	PNA	25	<LO	205	ANR	37	ANR	<LO	58	
PM-20	S	ND	ANR	ANR	0,97	ND	ND	***	ANR	S	2,391	ANR	ANR	7,4	3,44	ND	***	ANR	S	ND	ANR	ANR	119	ND	ND	***	ANR	
PM-24	PNA	4,59	2,59	<LO	0,73	ND	ND	0,02	<LO	PNA	ND	<LO	<LO	5,23	ND	4,33	18	PNA	ND	<LO	<LO	76	27	ND	<LO	51		
PM-25	PNA	ND	0,9	ANR	1,44	ND	ND	0,03	<LO	PNA	5,813	<LO	ANR	<LO	8,23	35	<LO	<LO	PNA	ND	<LO	ANR	87,5	44	ND	<LO	<LO	
PM-29	PNA	ND	1,4	0,38	ANR	ND	<LO	0,07	ANR	PNA	ND	<LO	2,8	ANR	8,13	ANR	2,88	ANR	PNA	ND	<LO	<LO	ANR	44	ANR	<LO	ANR	
PM-32	S	ND	ANR	<LO	0,79	ND	ND	0,03	<LO	S	3,688	ANR	<LO	<LO	8,27	ND	3,89	5,9	S	ND	ANR	<LO	35	ND	ND	<LO	32,19	
PM-35	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ND	<LO	0,26	<LO	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	7,81	ANR	<LO	<LO	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	ANR	<LO	30		
PM-37	PNA	S	ANR	ANR	ANR	ANR	2,95	<LO	0,37	S	PNA	S	ANR	ANR	ANR	11	ANR	<LO	S	PNA	S	ANR	ANR	ANR	ANR	<LO	5	
SUPERFICIAL-01	PNA	ND	2,69	x	0,6	ND	ND	0,03	<LO	PNA	11	<LO	x	3,7	5,78	ND	4,11	4,37	PNA	33	<LO	x	19,7	35	ND	<LO	28,38	
SUPERFICIAL-02	PNA	ND	3,54	x	0,98	ND	ND	0,01	<LO	PNA	3,479	<LO	x	4	4,7	ND	3,28	5,27	PNA	78	<LO	x	23,1	30	ND	<LO	30,29	
SUPERFICIAL-03	PNA	ND	1,36	x	0,91	ND	ND	0,02	<LO	PNA	1	25	3,6	x	3,6	5,91	ND	<LO	5,57	PNA	ND	42,4	x	21,4	34	ND	<LO	25,52

