

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**DETERMINAÇÃO DA QUALIDADE DE SEDIMENTOS DE FUNDO VISANDO SUA  
CARACTERIZAÇÃO PARA FINS DE DRAGAGEM E DISPOSIÇÃO AMBIENTAL  
APROPRIADA.**

Luiz Guilherme Gomes Fregona

Orientador: Prof. Dr. Joel Barbujani Sígolo

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF-2017/33)

SÃO PAULO

2017

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**DETERMINAÇÃO DA QUALIDADE DE SEDIMENTOS DE FUNDO  
VISANDO SUA CARACTERIZAÇÃO PARA FINS DE DRAGAGEM E  
DISPOSIÇÃO AMBIENTAL APROPRIADA.**

---

**Autor:** Luiz Guilherme Gomes Fregona

---

**Orientador:** Prof. Dr. Joel Barbujani Sígolo

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF-2017/33)

SÃO PAULO

2017

“Tudo o que é novo, mas embasado no antigo  
haverá de ser útil às futuras gerações”

Kishikawa, J. (2010)

## **AGRADECIMENTOS**

No final de uma longa jornada, elogios e agradecimentos devem ser feitos as pessoas especiais que apoiaram e participaram de uma etapa tão importante e bela de nossas vidas.

Aqui deixo meus agradecimentos aos meus pais e irmão, por me fornecerem forças, em tempos em que não existiam mais.

Aos meus colegas de turma, por suportarem meus comportamentos e atitudes, por me ajudarem durante esse período intenso e por criarem memórias inesquecíveis ao meu lado.

Aos funcionários do Instituto de Geociências, por todo conhecimento e ajuda que recebi nestes anos.

Ao clube YCSA, pela estrutura, suporte e consideração ao meu trabalho, em especial, ao marinheiro Adilson Guedes do Nascimento, pela ajuda e carisma nos dias difíceis de trabalhos de campo.

E claro, ao meu orientador Joel Barbujani Sígolo, pela compressão, ajuda e carisma inigualáveis.

## **RESUMO**

A porção Norte do reservatório da Guarapiranga é marcada pela presença de acentuada pressão antrópica em suas margens, o que, juntamente com outros fatores, provoca a contaminação dos sedimentos de fundo e a intensificação do assoreamento em seus domínios. Nesse sentido, diversos clubes náuticos sediados em sua margem direita vêm sofrendo dificuldade de acesso ao corpo de água para efeito de recreação e esporte ou muitas vezes, interrupções prolongada dessas atividades. Logo, o presente trabalho de formatura busca a caracterização sedimentológica e química dos sedimentos de fundo argilosos tão quanto à morfologia e volume dos corpos que estão complicando o acesso e a saída de embarcações desses clubes náuticos, de forma a propor uma metodologia capaz de auxiliar os clubes na busca por uma solução para o presente problema. Desta maneira, para a caracterização dos sedimentos e da morfologia de fundo, foram efetuadas análises macroscópicas, mensurações do teor de matéria orgânica total, análises químicas dos contaminantes definidos por CETESB (2014) e CONAMA (2015) para efeito de dragagem desses canais dentro dessas normas envolvendo a investigações do conteúdo dos possíveis contaminantes em MEV/EDS e o levantamento batimétrico da área. Como resultado, observou-se que os sedimentos de fundo eram constituídos, fundamentalmente, de argilas ricas em matéria orgânica, com variações em seus teores de MO e elementos poluentes nos diferentes domínios morfológicos. Nas argilas localizadas no domínio profundo (maiores %MO), notam-se maiores concentrações dos elementos Cu, Mn e Zn, com cobre e zinco acima dos limites de qualidade estabelecidos por CONAMA (2012) e CETESB (2014). Nas argilas depositadas na zona crítica (empobrecidas em MO), Ni, Pb e Cr são os poluentes com maiores concentrações, onde todos apresentaram teores acima do valor de prevenção (VP), no entanto, abaixo dos valores de intervenção (VI). Dado o exposto, acredita-se que a retirada dos sedimentos, considerando as restrições ambientais aqui apresentadas, mostra-se necessária, uma vez que as concentrações dos contaminantes, nos sedimentos de ambos os domínios, apresentam-se muito elevadas para ambientes aquáticos, pondo em risco a biota e a população abastecida pelas águas da represa Guarapiranga. Do ponto de vista técnico, a retirada dos sedimentos é possível, desde que se siga as normas e diretrizes impostas por CONAMA (2012) e CETESB (2014).

**Palavras-chave:** Guarapiranga, clubes náuticos, assoreamento, sedimentos de fundo, argilas, poluentes, contaminantes, CETESB (2014); CONAMA (2012).

## **ABSTRACT**

The northern portion of the reservoir Guarapiranga is marked by the presence of strong anthropogenic pressure on its banks and this, along with other factors, causes the contamination of the sediments at the bottom and the intensification of silting in their fields. In this sense, several nautical clubs located on its right bank have faced difficulty to access the body of water for recreation and sport purposes or frequent interruptions of these activities. Therefore, this graduation work aims at the sedimentological and chemical characterization of clayey backgrounds sediments regarding the morphology and volume of the bodies that are complicating the access and the exit of boats at these nautical clubs. The object is proposing a methodology able to help the clubs in the search for a solution to this problem. Thus, for the sediment characterization and morphology, we performed some macroscopic analyses, measurements of total organic matter content, chemical analysis of contaminants defined by CETESB (2014) and CONAMA (2015), investigations of the content of possible contaminants in SEM / EDS and the bathymetric survey of the area. As a result, it was observed that the bottom sediments were constituted, fundamentally, of clays that are rich in organic matter and with variations in their OM content and pollutants in the different morphological domains. In the clays located in the deep domain (higher %OM), higher concentrations of Cu, Mn and Zn elements are observed, with copper and zinc above the quality limits established by CONAMA (2012) and CETESB (2014). In the clays deposited in the critical zone (impoverished in OM), Ni, Pb and Cr are the pollutants with higher concentrations and all of them presented levels above the prevention value (PV), but below the intervention values (IV). Given the above, it is believed that the sediment removal, considering the environmental restrictions presented here, are necessary since the concentrations of the contaminants, in the sediments of both domains, are very high for aquatic environments and endangering the biota and the population supplied by the waters of reservoir Guarapiranga. From a technical point of view, the removal of the sediments is possible if the standards and guidelines imposed by CONAMA (2012) and CETESB (2014) are followed.

**Keywords:** Guarapiranga; nautical clubs; silting; backgrounds sediments; clays; pollutants; contaminants; CETESB (2014); CONAMA (2012).

## **Lista de figuras**

Figura 1 - Abrangência municipal e localização da Bacia do Guarapiranga (Queiroz, 2015) .....	3.
Figura 2 - Mapa Geológico da Bacia do Guarapiranga (Queiroz, 2014, modificado de CPRM, 2006) .....	6.
Figura 3 - Uso e ocupação do solo (Neto et al., 2009, modificado de Emplasa, 2005) .....	9.
Figura 4 - Modelo teórico de zonação longitudinal de um reservatório de captação de água (Traduzido de COOKE et al., 2005) .....	10.
Figura 5 - Modelo de depósitos sedimentares formados em reservatórios (simplificado de Carvalho, 1994) .....	11.
Figura 6 - Mapa de localização do Yacht Clube Santo Amaro. Em cinza, área de estudo onde foram realizados ensaios de turbidez, batimétricos e coletas de amostras .....	17.
Figura 7 - Limite noroeste da área de estudo (ponta do muro de arrimo na margem direita do canal) .....	17.
Figura 8 - Píer de madeira (à esquerda da foto) e pontal (à direita), limites laterais do local de pesquisa .....	17.
Figura 9 - Equipamentos cedidos pelo clube YCSA e pelo Dr. Prof. Joel Barbujani Sígolo .....	18.
Figura 10 - Amostra envelopada e etiquetada na mão do marinheiro Adinson Gedes do Nascimento .....	18.
Figura 11 - Local de trabalho na etapa de preparação bruta das alíquotas .....	19.
Figura 12 - Equipamentos utilizados no corte das amostras .....	19.
Figura 13 - Testemunho de sedimentos de fundo aberto, local de coleta assinalado em vermelho .....	19.
Figura 14 - Tratamento inicial para determinação do conteúdo de matéria orgânica .....	20.
Figura 15 - Pesagem das amostras de sedimento de fundo argilosos .....	20.
Figura 16 - Adição de peróxido de hidrogênio na amostra pela técnica Elaine Aparecida da Silva Sinfrônio .....	20.
Figura 17 - Becker utilizado na secagem das amostras previamente tratadas com Peroxido de hidrogênio .....	21.

Figura 18 - Triturador mecânico. Notar suporte branco em formato de "chapéu" no centro do aparelho, local onde as amostras são confinadas e posteriormente desagregadas .....	21.
Figura 19 - Aparência final das amostras argilosas após processo de trituração. Observar o espalhamento da amostra por todo o interior do suporte .....	21.
Figura 20 - Local de tratamento amostral pré-análises. Pincel, jato de ar comprimido, álcool, papel para quarteamento e tubos para alíquotas finais foram os equipamentos utilizados .....	22.
Figura 21 - Fita dupla face grafitosa sendo colocada na cabeça do stub .....	22.
Figura 22 - A esquerda, stub de liga de alumínio e cobre. À direita, placa de petri. Ambos utilizados na etapa 3.....	22.
Figura 23 - Local de armazenamento dos stubs recobertos para analise em MEV. Caixa de acrílico (proteção e armazenagem) e isopor (estabilização) são os materiais padrões utilizados na etapa de estocagem .....	23.
Figura 24 - Padrões e grades que podem ser usados na regulagem pré análise em MEV. Atentar a padrão de cobalto destacado em vermelho .....	24.
Figura 25 - Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura. Na extrema esquerda, em coloração cinza, Microscópio eletrônico de Varredura com Espectrômetro de Dispersão de Energia de Raio-X acoplado (MEV/EDS) .....	25.
Figura 26 - Fotografia do topo da amostra P3R. Atentar a presença de camada argilosa rica em matéria orgânica característica da região. Neste testemunho, sua espessura foi de 40 cm .....	26.
Figura 27 - Imagem da porção intermediária da amostra P3R. Observar a transição de estratos arenosos amarelados (em contato com argilas negras) para siltos areno-siltosos cinza – amarronzados na base .....	26.
Figura 28 - Foto da base da amostra P3R. Presença de sedimentos mais grossos em relação as outras porções do testemunho. Notar a gradação de sedimentos arenosos grossos (porção cinza-esbranquiçada) para cascalheiras em direção a base do testemunho .....	26.
Figura 29 - Fotografia do testemunho P20. Notar fraturas em toda a extensão do sedimento, indicativo de litificação do sedimentos. Base da amostra localiza-se à direita do testemunho .....	27.
Figura 30 - Imagem da amostra P30. Presença de estruturas de retrabalhamento (clastos de argila negra nos sedimentos silto-arenosos acinzentados) no contato entre litologias .....	27.

- Figura 31 - Foto da amostra P1i. Argilas negras predominam em toda a sua extensão. Atentar à porção superior intensamente bioturbada pelas raízes .....28.
- Figura 32 - Imagem do testemunho da amostra P2i. Notar a variação das características sedimentológicas entre os estratos argilosos. Camada superior amarronzada pobre em MO e com glomérulos de areia fina, camada basal negra rica em MO composta apenas de argila .....28.
- Figura 33 - Gráfico da % de matéria orgânica total presente nas amostras P3R, P1R e P1i. Teores de MO (curva laranja) são sempre superiores ao valor alerta (reta rósea) para sedimentos de fundo, definido por CONAMA (2012) .....29.
- Figura 34 - Gráfico que relaciona os teores de cobre das amostras analisadas (em laranja) com o valor de prevenção (em verde) e o limiar de qualidade péssima (em amarelo) da classificação qualitativa de sedimentos de fundo (CETESB, 2015). Notar queda brusca da concentração de Cu entre a zona profunda e a zona crítica .....31.
- Figura 35 - Gráfico que relaciona as concentrações de níquel nos sedimentos de fundo analisados (em laranja) com o valor de prevenção (em verde) e o limiar de qualidade péssima (em amarelo) da classificação qualitativa de sedimentos de fundo (CETESB, 2015). Observar os teores similares de níquel entre as amostras P1R, P3R e P1i .....31.
- Figura 36 - Gráfico que compara os teores de chumbo amostrados (em laranja) com o valor de prevenção (em verde) e os limiares de qualidade péssima (em marrom) e ruim (em amarelo) da classificação qualitativa de sedimentos de fundo (CETESB, 2015). Notar aumento significativo dos teores de chumbo na amostra P1i em comparação com as alíquotas do domínio profundo (P1R/P3R) .....32.
- Figura 37 - Gráfico que confronta os teores de cromo obtidos em laboratório (em laranja) com o valor de prevenção (em verde) e o limiar de qualidade ruim (em amarelo) da classificação qualitativa de sedimentos de fundo (CETESB, 2015). Notar aumento significativo dos teores de chumbo na amostra P1i em comparação com as alíquotas do domínio profundo (P1R/P3R) .....32.
- Figura 38 - Gráfico que compara os teores de zinco (em laranja) com o valor de prevenção (em verde) e os limiares de qualidade boa (em marrom) e regular (em amarelo) da classificação qualitativa de sedimentos de fundo (CETESB, 2015). Notar diminuição significativa dos teores de Zn das alíquotas (P1R/P3R) do domínio profundo em comparação com a amostra P1i .....32.
- Figura 39 - Gráfico que confronta os teores de cromo obtidos em laboratório (em laranja) com o valor de prevenção (em verde) (CETESB, 2014) .....32.

Figura 40 - Gráfico que representa o comportamento do teor de manganês nos sedimentos de fundo recolhidos e analisados em laboratório. Destaca-se a queda acentuada nos teores de Mn na transição zona profunda para a zona crítica .....	33.
Figura 41 - Gráfico que representa a variação dos teores de titânio nas amostras coletadas. Atentar aos teores de Ti, os maiores entre os metais analisados (0,7% a 1,4 % do peso amostral) .....	33.
Figura 42 - Imagem geral da amostra P1i obtida por ES, com aumento de 250x .....	33.
Figura 43 - Eletromicrografia da amostra P1i obtida por ERE juntamente com localização dos pontos analisados por EDS, aumento de 250x. Grãos brancos na imagem são portadores de elementos pesados .....	34.
Figura 44 - Figura 44 - Espectro de EDS do alvo 1 com elevada contagem de titânio, ferro e cálcio .....	34.
Figura 45 -Espectro de EDS do segundo tiro com destaque à similaridade com os espectrogramas 1 e 3 .....	35.
Figura 46 - Espectro de EDS do terceiro alvo, menor contagem de Ti e Fe deste grupo .....	35.
Figura 47 - Espectro de EDS do 4º “disparo”. Observa-se altas contagens de manganês, ferro e oxigênio .....	35.
Figura 48 - Imagem do grão de óxido de ferro e manganês obtida por ES, com aumento de 7500 x .....	36.
Figura 49 - Eletromicrografia do grão de óxido de ferro e manganês, 4º alvo geral da amostra P1i. Imagem obtida por ERE com a representação da localização dos pontos analisados por EDS, aumento de 7.500 x. Porções brancas na imagem que, possivelmente, são zonas menos intemperizadas do mineral .....	36.
Figura 50 - Espectro de EDS do 5º alvo. Zr, O, Si, Al, Sr, Ti e Fe são os elementos presentes em maiores proporções .....	37.
Figura 51 - Imagem da amostra P3R obtida por ES com aumento de 200 x. Observar a presença de arcabouços, em média, com 50 µm a 100 µm, além da maior quantidade relativa arcabouço/matriz em relação à figura 52 .....	37.
Figura 52 - Eletromicrografia da amostra P1R obtida por ES com aumento de 250 x. Observar a presença de arcabouços, em média, com 10 µm a 40 µm, além da menor proporção arcabouço /matriz em relação a figura 51 .....	38.

Figura 53 - Eletromicrografia da amostra P3R obtida por ERE juntamente com localização dos pontos analisados por EDS, aumento de 1500 x. Grãos brancos na imagem são portadores de elementos pesados. Observar indicações de diferentes cores nos locais de análise por EDS (legenda das cores acima). Aglomeração de grãos pesados (arco) no centro – norte da imagem (em vermelho) e grãos isolados ricos em níquel (em verde) .....	38.
Figura 54 - Espectro de EDS do 12º alvo. Cu, Ni, Mo e Cr são os elementos contaminantes encontrados neste grão. Destaque para o Cr, um dos elementos de maiores proporções no grão .....	39.
Figura 55 - Espectro de EDS do 15º alvo. Cu, Ni e Cr são os elementos contaminantes encontrados neste grão. Notar pequenas contagens dos três poluentes no espectrograma .....	39.
Figura 56 - Espectro de EDS do 11º alvo. Cu, Ni, Mo e Cr são os elementos contaminantes encontrados neste grão. Notar altas contagens de Fe e Mn simultaneamente às altas contagens de Cr na parte central do espectrograma .....	40.
Figura 57 - Espectro de EDS do 16º alvo. Cu, Ni, Mo e Cr são os elementos contaminantes encontrados neste grão. Notar as baixas contagens de Fe e Mn simultaneamente às baixas contagens de Cr, Ni e Mo .....	40.
Figura 58 - Mapeamento químico elementar do Ni na amostra P3R, técnica realizada em MEV por EDS. Notar a presença de níquel em toda a amostra. Entretanto, maiores concentrações de Ni ocorrem na faixa central da imagem (dentro do retângulo vermelho) .....	41.
Figura 59 - Mapeamento químico elementar do Fe na amostra P3R, técnica realizada em MEV por EDS. Notar a presença de Ferro apenas na faixa central da amostra (retângulo vermelho) .....	41.
Figura 60 - Mapeamento químico elementar do Cr na amostra P3R, técnica realizada em MEV por EDS. Notar a presença de cromo apenas na faixa central da amostra (retângulo vermelho) .....	41.
Figura 61 - Espectro de EDS do 17º alvo. Cu, Ni, Mo e Cr são os elementos contaminantes encontrados neste grão. Notar médias contagens de Cr e baixíssimas contagens de Ni e Cu .....	43.
Figura 62 – Espectro de EDS do 3º alvo. Notar a ausência de poluentes no grão, exceto Cu, que apresentou baixíssimas contagens .....	43.

## **Lista de tabelas**

Tabela 1 – Principais atributos das formas de relevo definidas por Oliveira et al. (2013) e modificado por Queiroz (2014) .....	7.
Tabela 2 – Tabela de amostragens mínimas conforme volume dragado (CONAMA,2012) ...	13.
Tabela 3 – Tabela das informações obtidas durante o ensaio de determinação do teor de MO. Dados de massas, número da amostra, zona de coleta e teor final são indicados .....	29.
Tabela 4 – Valores orientadores para solo no Estado de São Paulo, segundo CETESB (2014). Conforme Art. 18 e Art. 19 (CONAMA, 2012), os Valores de Prevenção (VP) e os Valores de Investigação Industrial (VI) das substâncias químicas aludidos pelo órgão ambiental estadual licenciador são os parâmetros a serem levados em conta para o estudo da viabilidade ambiental e econômica do empreendimento .....	29.
Tabela 5 – Classificação de contaminantes em sedimentos de água doce estabelecidos a partir de TEL (concentração abaixo da qual raramente são esperados efeitos adversos para os organismos) e PEL (concentração acima da qual são esperados efeitos adversos à biota), conforme CETESB (2015). De acordo com CONAMA (2012), a remoção e alocação de sedimentos em aguas nacionais detém como critério as concentrações de metais e o nível de ecotoxicidade (risco a vida marinha) para a definição dos procedimentos adequados para dragagem e disposição. Notar as concentrações de restrição menores do que as definidas para solos .....	30.
Tabela 6 – Resultados da análise química dos sedimentos de fundo encontrados na rampa de acesso do Yacht Club Santo Amaro. Em vermelho, teores acima do Valor de prevenção (VP) para sedimentos depositados em solos nacionais. Em verde, teores próximos ao VP. Nenhuma concentração alcançou VI .....	30.
Tabela 7 – Resultados da análise dos espectrogramas de raio-x confeccionados, a partir, de tiros de EDS em grãos pertencentes à amostra P3R (zona profunda). A última coluna destaca os elementos contaminantes encontrados nas análises. O Cobre está destacado em vermelho e o níquel em verde .....	42.

## **Sumário**

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	1
<b>2</b>	<b>METAS E OBJETIVOS.....</b>	2
<b>3</b>	<b>TRABALHOS PRÉVIOS.....</b>	3
<b>3.1</b>	<b>Bacia Hidrográfica do Guarapiranga.....</b>	3
3.1.1	<i>Caracterização geral .....</i>	4
3.1.1.1	<i>Características climáticas .....</i>	4
3.1.1.2	<i>Características geológicas.....</i>	5
3.1.1.3	<i>Características geomorfológicas .....</i>	7
3.1.2	<i>Histórico de ocupação.....</i>	7
<b>3.2</b>	<b>Dinâmica dos reservatórios artificiais .....</b>	9
3.2.1	<i>Depósitos sedimentares em lagos artificiais: padrões de deposição e assoreamento.....</i>	10
<b>3.3</b>	<b>Normas de licenciamento ambiental com enfoque na gestão do material a ser dragado em águas sob jurisdição brasileiras.....</b>	12
<b>3.4</b>	<b>Características dos sedimentos de fundo.....</b>	15
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	16
<b>4.1</b>	<b>Trabalhos de campo.....</b>	16
4.1.1	<i>Localização.....</i>	16
4.1.2	<i>Metodologia .....</i>	18
<b>4.2</b>	<b>Trabalhos de Laboratório .....</b>	19
4.2.1	<i>Determinação do teor de matéria orgânica (MO) .....</i>	20
4.2.2	<i>Tratamento das amostras .....</i>	21
4.2.3	<i>Análises químicas.....</i>	22
4.2.4	<i>Preparação amostral para análise em MEV .....</i>	22
4.2.5	<i>Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) .....</i>	23
<b>5</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	24
<b>5.1</b>	<b>Morfologia de fundo inferida por levantamento batimétrico.....</b>	24
<b>5.2</b>	<b>Análise Macroscópica dos sedimentos de fundo.....</b>	25
5.2.1	<i>Zona profunda .....</i>	26
5.2.2	<i>Zona lateral.....</i>	27
5.2.3	<i>Zona crítica .....</i>	28
<b>5.3</b>	<b>Conteúdo de matéria orgânica (MO) .....</b>	28
<b>5.4</b>	<b>Análise Química dos sedimentos de fundo.....</b>	29
<b>5.5</b>	<b>Microscopia eletrônica de varredura.....</b>	33
5.5.1	<i>Zona crítica .....</i>	33
5.5.1.1	<i>Espectrogramas nos arcabouços .....</i>	34
5.5.1.2	<i>Espectrogramas nos pesados .....</i>	35

5.5.2	<i>Zona profunda</i> .....	37
5.5.2.1	Níquel e cromo.....	39
5.5.2.2	Cobre.....	42
6	<b>INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b> .....	43
6.1	<b>Discussão referente aos elementos químicos poluentes problemáticos encontrados nos sedimentos de fundo da zona profunda</b> .....	44
6.1.1	<i>Cobre</i> .....	44
6.1.2	<i>Níquel</i> .....	44
6.1.3	<i>Zinco</i> .....	45
6.1.4	<i>Classificação dos sedimentos</i> .....	455
6.2	<b>Discussão referente aos elementos químicos poluentes problemáticos encontrados nos sedimentos de fundo da zona crítica</b> .....	46
6.2.1	<i>Comparação entre os resultados obtidos em MEV/EDS e em análise química total</i> .....	466
6.2.2	<i>Classificação dos sedimentos</i> .....	47
7	<b>CONCLUSÃO</b> .....	47
8	<b>CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS</b> .....	49
8.1	<b>Discussão pertinente ao levantamento batimétrico, localização da área e volume esperado de dragagem</b> .....	49
9	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	50

## **1 INTRODUÇÃO**

Os reservatórios artificiais são unidades hidráulicas de acumulação e passagem de água situados em pontos estratégicos da bacia (Guimarães et al. 2007). Essenciais para estocagem de água e produção de energia elétrica, as represas são fundamentais para o bom funcionamento de uma sociedade moderna.

No Brasil, o valor dos reservatórios é inquestionável, com grande participação na produção de energia elétrica, industrial, agrícola, lazer, entre muitos outros ramos da sociedade. Entretanto, esses recursos vêm sofrendo grandes interferências antrópicas promovidas pelo acelerado desenvolvimento industrial, intensa produtividade agrícola, aglomeração e descontrole da ocupação urbana (Sorrini, 2015).

Atualmente, a contaminação e a intensificação do assoreamento são os produtos mais preocupantes gerados pela pressão antrópica instalada em seus arredores. No Reservatório da Guarapiranga, objeto deste estudo, observa-se um grande desequilíbrio na taxa de sedimentação em seu interior, acompanhado pela contaminação de suas águas. Segundo a Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos (Cobrape ,2011), a ocupação humana nas margens de represas intensifica o escoamento superficial de solos e sedimentos para o interior desses corpos d'água além de criar diversas fontes contaminadoras, antrópicas (atividades agrícolas, atividades pecuárias, mineração em atividade ou abandonada, chácaras de lazer e recreação, esgotos domésticos, efluentes industriais, resíduos de veículos e obras públicas) e naturais.

De acordo com Jesus et al. (2004), as contaminações despejadas nas represas tornam-se parte do ecossistema migrando ou para a parte aquosa ou para os sedimentos dependendo de sua capacidade de sorção e adsorção. Krumgalz (1989) complementa que devido à grande área de capacidade de adsorção, quanto menor o grão, maiores são as concentrações de contaminantes associadas a eles. Dessa maneira, sedimentos argilosos tendem a ser enriquecidos em contaminantes com ambientes degradados principalmente cátions de cargas positivas.

O reservatório da Guarapiranga (SP) apresenta-se neste contexto, uma vez que sua porção Norte, área influenciada pela intensa pressão urbana atual e industrial do passado, detém altos teores de contaminação, tanto em âmbito sedimentar (sedimentos de fundo) quanto hídrico (aguas superficiais), somando-se a aptidão à formação de extensos depósitos argilosos (retentora de contaminantes por possuírem elevada concentração de matéria orgânica em sua composição) em suas margens.

Assim o presente trabalho de formatura envolve a análise de sedimentos de fundo na rampa de acesso de embarcações do clube de latismo YCSA, conjuntamente à definição de metodologia base para a remoção de depósitos argilosos assoreados nas entradas dos estaleiros presentes na margem leste da barragem da Guarapiranga.

## **2 METAS E OBJETIVOS**

O referido projeto tem como objetivo mensurar a toxicidade dos sedimentos de fundo argilosos tão quanto a morfologia e volume destes corpos que estão complicando o acesso e a saída de embarcações dos clubes náuticos sediados na margem direita na porção norte do reservatório da Guarapiranga (SP).

A avaliação dos elementos químicos serão realizadas conforme as restrições para limites de elementos poluentes (nesse caso, somente cátions) estabelecidos pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB ,2015), com o intuito de determinar e comparar as características físicas, químicas e compostionais dos sedimentos e contaminantes em relação às indicadas pelo apresentado órgão fiscalizador paulista em concordância com legislação ambiental de materiais a serem dragados em águas sob jurisdição brasileiras. No que diz respeito à metodologia, as técnicas e o fluxo de trabalho serão próprios. Entretanto, sempre respeitando as normas técnicas referentes à Resolução nº 454 do CONAMA (2012).

Deste modo, pretende-se reunir soluções e restrições de disposição do material a ser dragado no Yacht Clube Santo Amaro, produzindo uma base sólida de dados, juntamente, com metodologia eficaz para resolução do problema de assoreamento argiloso corrente nos demais clubes da costa leste da represa, e a partir dessas informações sugerir alternativas de remoção ou construção de canal, se for o caso.

### 3 TRABALHOS PRÉVIOS

#### 3.1 Bacia Hidrográfica do Guarapiranga

A Bacia Hidrográfica do Guarapiranga situa-se na bacia do Alto Tietê, na porção sudoeste da RMSP. Essa Bacia abrange de forma parcial os municípios de Cotia, Embu, Juquitiba, São Lourenço da Serra e São Paulo, e a totalidade dos municípios de Embu-Guaçu e Itapecerica da Serra (Cobrape, 2011) (Figura 1).

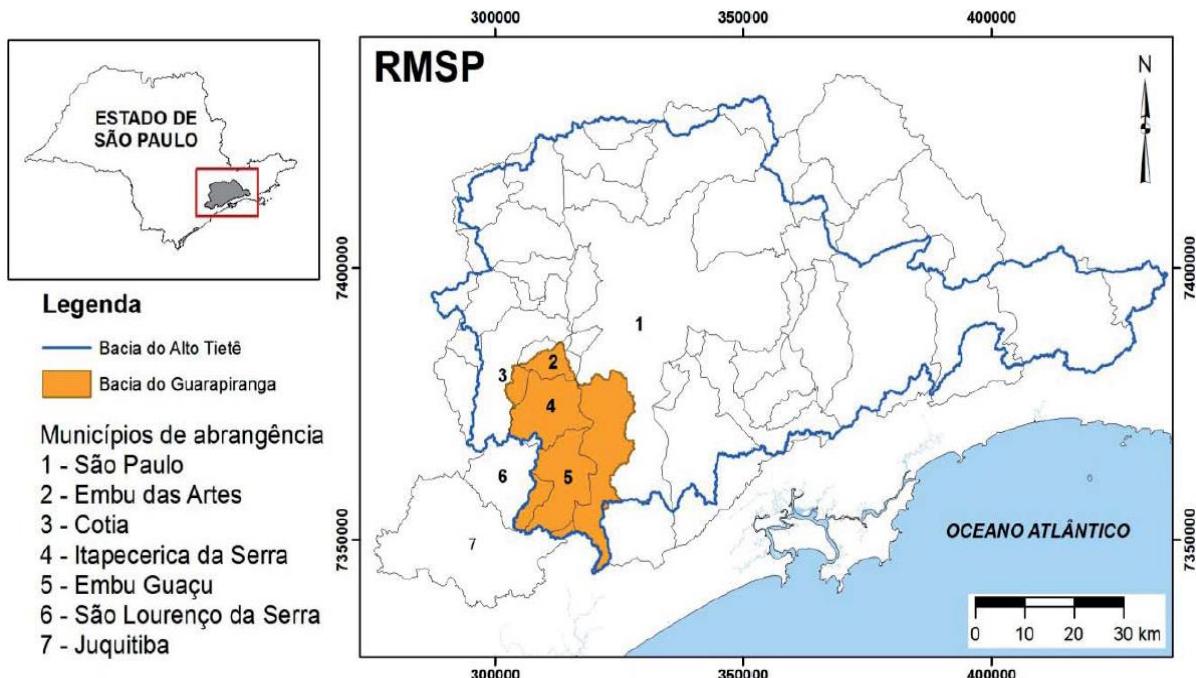


Figura 1 - Abrangência municipal e localização da Bacia do Guarapiranga (Queiroz, 2015).

Essa Bacia contribui de forma definitiva e expressiva na recarga do reservatório da Guarapiranga, tendo como drenagens principais os rios Caulim, Embu-Mirim, Embu-Guaçu e Ribeirão Santa Rita (Queiroz, 2014). Estrategicamente criada, a represa Guarapiranga é uma das mais importantes da RMSP devido à sua localização e sua produtividade anual. Conforme a Cobrape (2011), 3,7 milhões de habitantes (20% da população da RMSP), residentes nos bairros de Santo Amaro, Campo Limpo, Morumbi e Butantã, são atendidos diariamente por sua produção de água bruta e de abastecimento domiciliar e industrial.

Atualmente, a alteração do meio ambiente da sua bacia e o despejo de augicidas em seu reservatório vêm causando preocupação aos órgãos de tratamento e manutenção desse reservatório (EMAE e SABESP), uma vez que, mais da metade da área da bacia encontra-se alterada por atividades humanas (Whately, 2006) visto que cerca de 400 toneladas de augicidas por ano são despejadas em suas águas (Leal, 2014).

### **3.1.1 Caracterização geral**

A análise do meio físico é fundamental para o entendimento hidráulico, sedimentológico e ambiental de uma bacia, uma vez que promove uma visão ampla e interligada dos processos e produtos passíveis de ocorrer em suas delimitações. Conforme Queiroz et al. (2015), a análise geoambiental de uma bacia de drenagem pode começar por uma abordagem qualitativa dos principais condicionantes hidráulicos e sedimentológicos de uma bacia de drenagem (relevo, substrato rochoso e clima), buscando correlacionar os produtos e os fenômenos observados.

Dessa maneira, os aspectos climáticos, geológicos e geomorfológicos da bacia do reservatório Guarapiranga são descritos de forma resumida abaixo.

#### **3.1.1.1 Características climáticas**

O Município de São Paulo localiza-se próximo do Oceano Atlântico, em um contexto de terras altas (entre 720 e 850 metros) denominado de Planalto Atlântico (Tarifa e Armani, 2000). Conforme Tarifa e Armani (2000), esse planalto apresenta uma geomorfologia complexa, de modo que feições topográficas diversas, tais como planícies aluviais, colinas, morros, serras e maciços, são observadas em seu território. Como consequência, as alterações e o comportamento do clima na região dependem da distância do oceano atlântico, da altitude da área, do tipo de relevo presente e, atualmente, da urbanização do local.

Em represas, as condições climáticas alteram-se em função da extensa superfície aquosa em contato com o ar. Climas mais úmidos e maior frequência de nevoeiros em relação aos seus arredores são algumas das características distintas destes ambientes. Conforme a Cobrape (2011), na bacia da Guarapiranga o clima é tipicamente úmido, com temperaturas médias entre 16 °C e 23 °C, índices pluviométricos entre 1600 e 2500 mm anuais, além de elevada umidade relativa do ar, declinando com a proximidade da mancha urbana.

Segundo o Atlas ambiental dos municípios de São Paulo (Tarifa e Armani, 2000), na Bacia Hidrográfica do Guarapiranga, predominam dois tipos de unidades climáticas:

- i. Tropical Úmido de Altitude do Planalto Atlântico: clima local encontrado na porção urbanizada central e norte da represa Guarapiranga, área da Bacia Sedimentar de São Paulo.
- ii. Tropical Sub-oceânico Superúmido do Reverso do Planalto Atlântico – Unidade climática localizada ao sul do reservatório Guarapiranga na porção arborizada da represa. Sua principal característica é a maior proximidade com o oceano em relação às outras cinco unidades presentes na RMSP.

### 3.1.1.2 Características geológicas

A bacia do Guarapiranga encontra-se inserida, predominantemente, no Domínio Embu de rochas metamórficas de médio a alto grau, caracterizado por conter variedades metamórficas e ígneas neoproterozoicas, encaixadas em uma extensa faixa móvel de direção NE – SW (Queiroz, 2015). Sobrepostas a ele ocorrem unidades terciárias do Grupo Resende no caso associadas a Bacia Terciária de São Paulo, bem como depósitos aluvionares quaternários. Ambos ocorrem, predominantemente, próximos aos limites da represa (Figura 2).

Segundo o Mapa Geológico Estadual de São Paulo da CPRM (2006), o complexo cristalino do Domínio Embu pode ser dividido em 4 principais unidades litológicas, justaposto por apenas duas unidades sedimentares. Abaixo estão apresentadas as principais unidades de cada grupo e suas respectivas descrições:

#### Domínio Embu (Embasamento)

- **Unidade de Xistos Migmatizados:** muscovita-biotita-quartzo xisto com cianita, estaurolita, granada, sillimanita e quartzo xisto com muscovita, biotita, granada e plagioclásio. Xistos localmente migmatizados e milonitizados. Intercalações entre o xisto, milonito, calcissilicáticas, anfibolito e metaultramáficas são frequentes.
- **Unidade Gnáissica:** essa unidade é composta de biotita gnaisses (Muscovita-granada-sillimanita-biotita gnaisse (paragnaisse), biotita gnaisse tonalíticos a granodioríticos (ortognaisse) e gnaisses tonalíticos com hornblenda (ortognaisses), biotita xistos, gnaisses quartzosos, milonitos e rochas calcissilicáticas.
- **Unidade de Sericita - Xisto:** filito, metaarenito, quartzo xisto, rocha calcissilicáticas, sericita filito carbonoso e sericita xisto são as principais rochas constituidoras desta unidade.
- **Granitóides:** pequenos corpos inseridos discordantemente no complexo Embu, alguns alongados, outros mais circulares. Conforme CPRM (2006), todos os corpos são granitos foliados do tipo S.

#### Unidade sedimentar (Terciária)

- **Formação Resende:** arenitos; argilitos; calcretes; conglomerados e diamictitos com matriz lamítica arenosa de gradação normal ou inversa; lamitos arenosos e siltitos arenosos. Conforme Queiroz (2014), a origem destes sedimentos deu-se em ambiente continental de rios entrelaçados e leques aluviais.

#### Unidade sedimentar (Quaternária)

- **Depósitos aluvionares:** sedimentos inconsolidados compostos de seixos, areias finas a grossas e material silto-argiloso. Níveis conglomeráticos, lentes silto-argilosas e turfas ricas em matéria orgânica são corriqueiras. Essa unidade localiza-se nas extensas várzeas dos principais rios e ao sul da represa Guarapiranga.

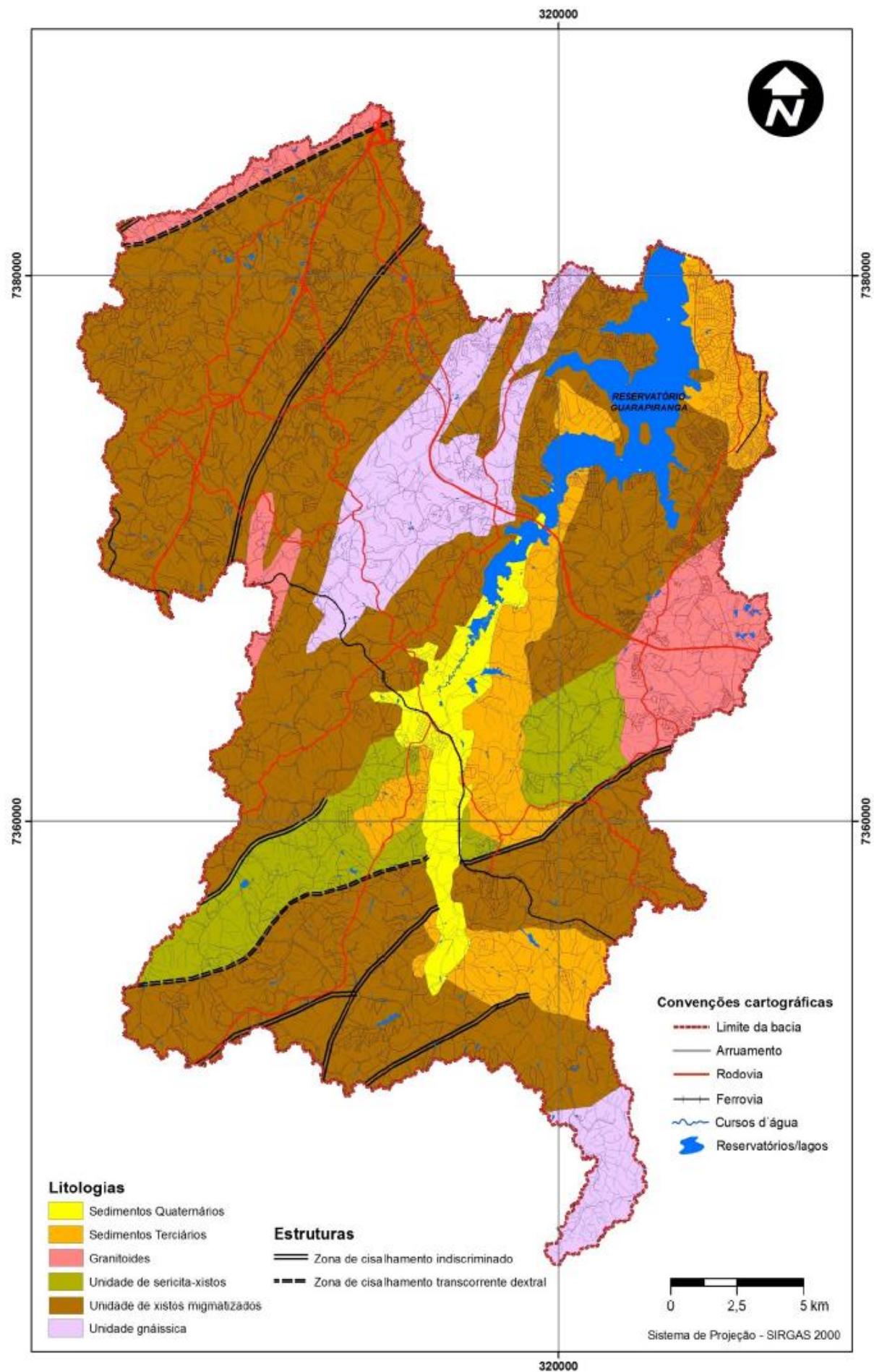


Figura 2 - Mapa Geológico da Bacia do Guarapiranga (Queiroz, 2014, modificado de CPRM, 2006).

### 3.1.1.3 Características geomorfológicas

A bacia da Guarapiranga situa-se no Planalto Paulista, na borda da bacia sedimentar de São Paulo (Queiroz, 2015). Conforme os mapas hipsométrico (anexo 1) e geomorfológico (anexo 2) elaborados por Oliveira et al. (2013), esta região apresenta dois principais domínios geomorfológicos: morros e morrotes de altas altitudes no extremo noroeste da área e planícies e colinas de baixas altitudes ao redor do reservatório. Na Tabela 1, Queiroz (2014) descreve separadamente as principais unidades de relevo definidas por Oliveira et al. (2013).

Tipo de relevo	Ocorrência na bacia	Altitude	Amplitude	Declividade	Característica
Morros	A noroeste – Planalto de Ibiúna, vertente esquerda da sub-bacia do Embu Mirim.	> 840m	100 a 200m	> 30%	Topos arredondados a planos, vertentes com perfis convexos e retilíneos e vales fechados a abertos.
Morrotes	A oeste, sudoeste e leste do Reservatório.	780 a 840m	< 100m	5 – 30%	Topos arredondados, vertentes com perfis convexos e retilíneos. Vales fechados a abertos.
Colinas	A sul ao longo do eixo do rio Embu Guaçu e nas margens direita e esquerda do reservatório.	760 a 780m	< 50m	5 – 30%	Declividades suaves. Vales abertos.
Planícies aluviais	Acompanham os principais cursos d'água.	< 760m	< 20m	0 – 5%	Terrenos baixos estando periodicamente sujeitos a inundação.

Tabela 1 - Principais atributos das formas de relevo definidas por Oliveira et al. (2013) e modificado por Queiroz (2014).

### 3.1.2 Histórico de ocupação

As obras para a construção da barragem do Rio Guarapiranga iniciaram-se em 1906, pela *The São Paulo Tramway Light and Power Co* (SABESP, 2008). O objetivo primário de sua criação consistia na regularização da vazão do Rio Tietê em épocas de estiagem, como forma de aumentar a capacidade de geração de energia da Usina de Santana de Parnaíba.

Após sua construção, a qualidade da paisagem da região produziu um potencial de lazer até então desconhecido, acarretando em intensa especulação imobiliária (PRCS, 2017). Whately e Cunha (2006) comentam que, a partir de 1920, a ocupação no entorno da represa por edificações recreativas e de lazer aumentou, existindo uma tendência à implantação de residências, chácaras, marinas, clube de campo e balneários.

Esse padrão de ocupação modificou-se com o início do processo de industrialização de Santo Amaro na década de 1940. PRCS (2017) comenta que a edificação de residências nos municípios de Capela do Socorro e M'Boi Mirim para atender a crescente migração de mão de obra industrial e empreendimentos industriais na porção norte da represa, ao longo

do canal Jurubatuba e no Largo do Socorro representavam os principais vetores ocupacionais deste período.

Segundo a Prefeitura de Capela do Socorro (PRCS, 2017) e M’Boi Mirim (PRMB, 2017), a ocupação de seus municípios ocorreu de forma desordenada e intensa. Normalmente, o desenvolvimento de novos povoados ocorria ao longo de entroncamento de estradas margeando a represa, em condições de infraestrutura mínima. PRCS (2017) enfatiza que à medida que o parque industrial de Santo Amaro se fortalecia, pequenas vilas transformavam-se em densos subúrbios urbanizados. Whately e Cunha (2006) salientam que os núcleos urbanos habitacionais desenvolvidos nas imediações da represa eram precários, sem infraestrutura e com elevadas e crescentes densidades populacionais. No final da década de 1980, a represa já sofria impactos, quanto a sua qualidade ambiental devido ao despejo de esgoto em suas águas.

O município de Santo Amaro, diferentemente dos demais municípios circunvizinhos a Guarapiranga, viveu acentuado processo de expansão industrial em meados do século XIX. De acordo com Fatorelli (2010), fábricas de fogões, telefone, fundidos de liga leve, sistemas hidráulicos e peças nucleares foram algumas das empresas estabelecidas nas proximidades da barragem do reservatório Guarapiranga. No canal Jurubatuba, a diversidade industrial é ainda maior com indústrias de materiais domésticos e acessórios pessoais (joias, luminárias, fotografia, máquinas de lavar, eletrônicos) lado a lado a fábricas armamentistas, siderúrgicas e de equipamentos de alta performance.

A partir de 1975, a Lei de proteção de mananciais junto da legislação de zoneamento industrial impuseram restrições ocupacionais em territórios margeantes a corpos hídricos aflorantes em terras brasileiras. Esse fato dificultou o licenciamento de empreendimentos na região enfraquecendo o avanço industrial em Santo Amaro. Segundo a Prefeitura de São Paulo, após 1996, os distritos de Santo Amaro, Socorro e Campo Grande perderam parte de suas indústrias para o interior de São Paulo desenvolvendo em seu lugar o setor de comércio e serviços. Mais recentemente, o local tem recebido condomínios verticais (Neto et al., 2009).

O mapa da figura 3 apresenta o uso e ocupação do solo elaborado a partir do levantamento realizado pela EMPLASA (2005) e modificado no Projeto Jurubatuba por Neto et al. (2009). Destaque para a proximidade do parque industrial de Santo Amaro das margens nortes da Guarapiranga e para a intensa ocupação urbana ao redor da represa.

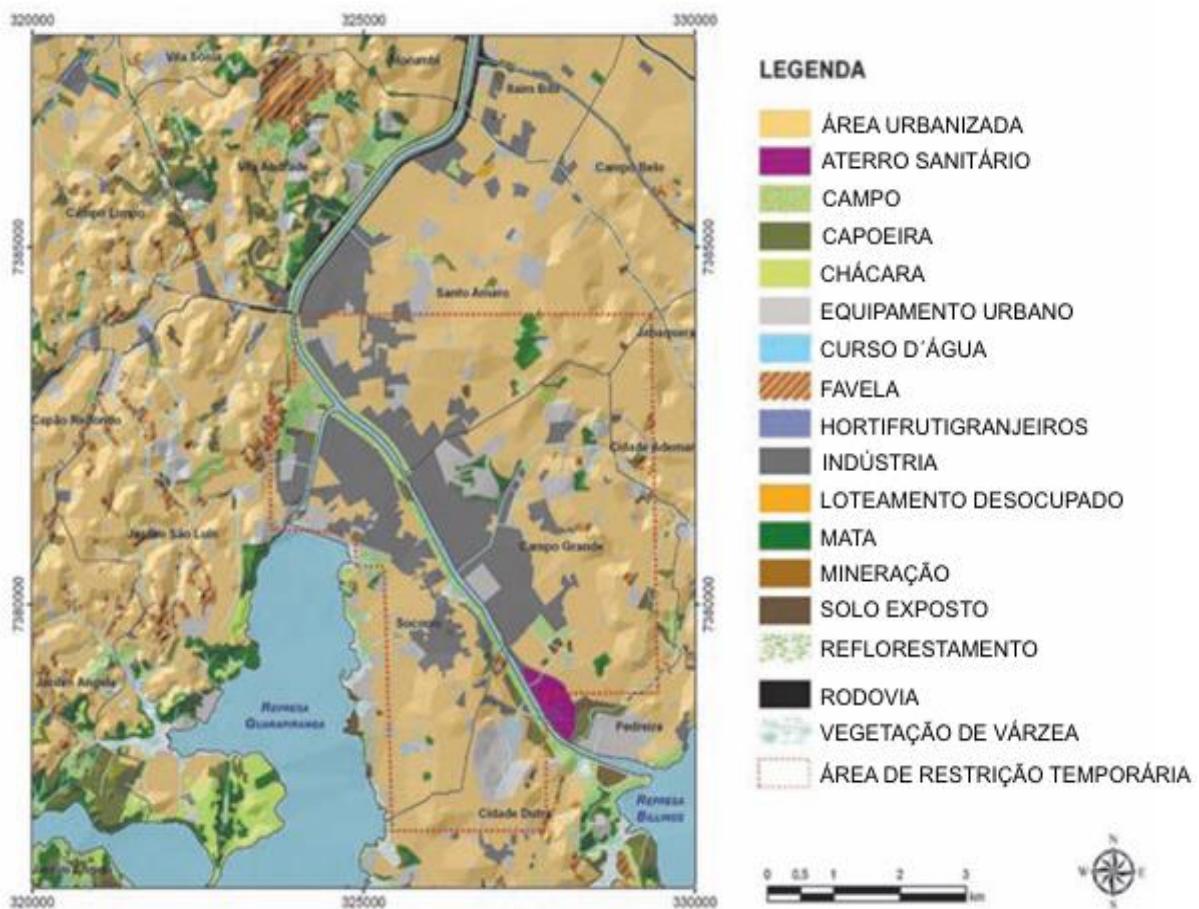


Figura 3 - Uso e ocupação do solo (Neto et al., 2009, modificado de Emplasa, 2005)

### 3.2 Dinâmica dos reservatórios artificiais

Os reservatórios artificiais são ecossistemas singulares formados pelo barramento de cursos d'água pelo homem. Comumente, esses locais apresentam alto grau de heterogeneidades espaciais e temporais (TUNDISI, 1996) por serem sistemas transicionais entre ambientes fluviais e lacustres com controle antrópico de sua operação.

Conforme COOKE et al. (2005), as represas podem ser divididas em 3 grandes regiões: zona de influência dos rios ou lótica, zona de transição e zona lacustre ou lêntica, como exemplificado na Figura 4. Os critérios de compartimentação advêm das distintas características físicas, químicas e biológicas presentes em cada uma de suas áreas.

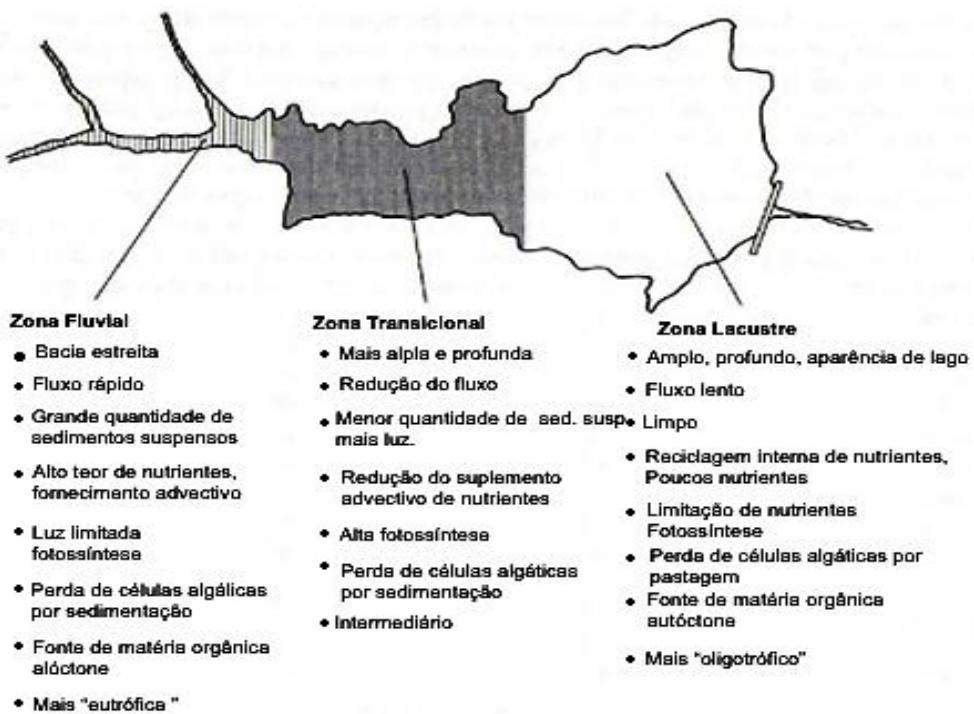


Figura 4 - Modelo teórico de zonação longitudinal de um reservatório de captação de água (Traduzido de COOKE et al., 2005)

KIMMEL et al (1990) pontuam que essas zonas são dinâmicas espelhando as condições de fluxo de água e carga de sedimentos do rio principal além das condições de operação do reservatório. Muitos autores defendem que o principal parâmetro que define o comportamento de lagos artificiais serem mais semelhantes a rios ou lagos é o tempo de retenção, determinado em função do sistema de operação. Deste modo, reservatórios com tempo de residência da água muito longos apresentam traços ecológicos similares a ambientes lacustres, ao contrário, tempos de residência muito baixos assemelham-se a rios (Henry et al., 1998).

### 3.2.1 Depósitos sedimentares em lagos artificiais: padrões de deposição e assoreamento.

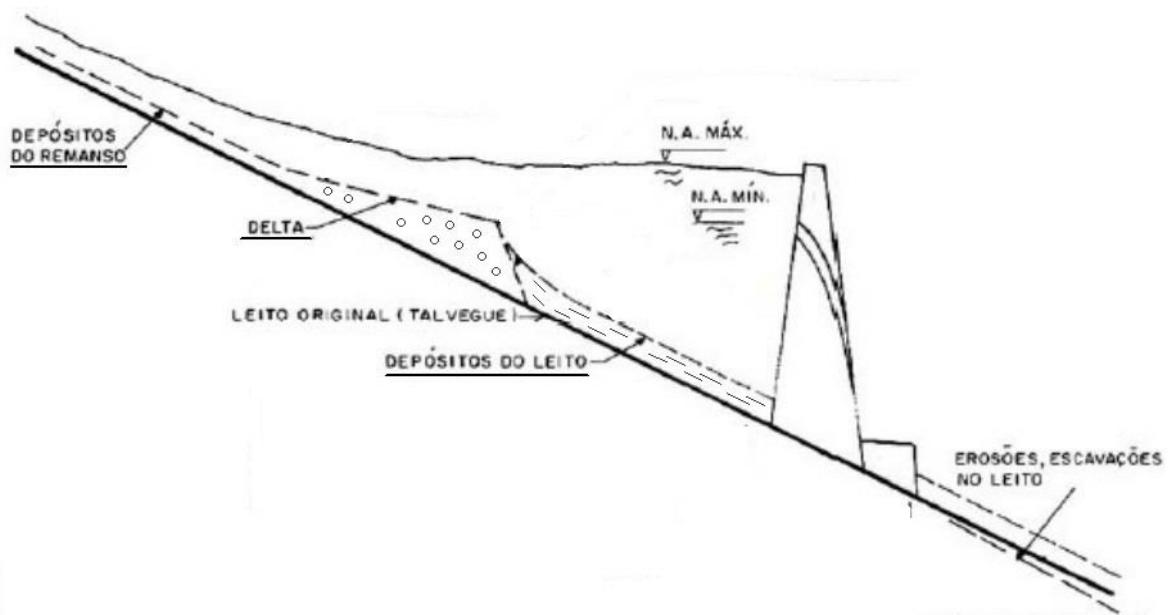
Os reservatórios artificiais por deterem características distintas das drenagens que os alimentam provocam alterações das condições naturais dos fluxos dos cursos d'água em suas desembocaduras ocasionando a deposição de sedimentos. Segundo Cabral (2006), as barragens modificam as condições naturais do ambiente fluvial para lacustre em virtude da redução da velocidade da água e aumento da seção transversal dos rios. Como resultado, o equilíbrio do transporte fluvial é rompido favorecendo o processo de assoreamento.

Para Julien (2010), quando uma drenagem natural entra no reservatório, sua profundidade de fluxo aumenta e sua velocidade diminui. Isso reduz a capacidade de transporte de sedimentos da corrente, causando sedimentação. O autor ainda destaca que o padrão de disposição destes sedimentos geralmente começa com a formação de um delta de material grosso próximo da descarga dos cursos d'água, ficando cada vez mais finos em

direção à barragem. “Quando um tributário diminui sua velocidade de fluxo, a carga de sedimento começa a se depositar. A carga de fundo e a fração mais grossa da carga suspensa são os primeiros depósitos a se formarem, geralmente formando um depósito deltaico, enquanto que os sedimentos finos com baixas velocidades de sedimentação são transportados para a parte mais profunda do reservatório por um fluxo estratificado ou não.” (Morris e Fan, 1998, apud Queiroz, 2014).

Esse padrão de sedimentação em etapas gera uma disposição espacial distinta dos sedimentos ao longo da represa, originando 3 grandes tipos de depósitos: depósitos de remanso; delta; depósitos de leito ou de fundo (Figura 5). Segundo Silva (2007), os depósitos formados ao longo de um reservatório podem ser descritos como:

- Depósitos de Remanso: zonas de deposição de sedimentos grosseiros caracterizadas por possuírem as menores velocidades de escoamento do reservatório. Essas acumulações de partículas localizam-se à jusante da cunha deltaica e acima do nível de água represada pela barragem.
- Depósitos deltaicos: regiões de assoreamento de sedimentos clásticos na entrada das drenagens do reservatório. Tipicamente, os deltas são compostos de sedimentos de fração do tamanho de grânulos e areias. Entretanto, à jusante pode existir uma diminuição do tamanho dos grãos (silte).
- Depósitos de leito: corpos sedimentares formados por argilas e siltes decantados nas partes mais distais da represa. Eles podem também incluir material orgânico autóctone produzido por algas ou plantas aquáticas dentro do reservatório.



**Figura 5 - Modelo de depósitos sedimentares formados em reservatórios (simplificado de Carvalho, 1994).**

Entretanto, Morris e Fan (1998) e Lopes (1993) frisam que os padrões de deposição por toda a extensão longitudinal do lago artificial variam muito de um reservatório para outro, induzidos pelo tamanho e forma dos sedimentos transportados, a geometria, os métodos de operação do reservatório e a relação entre a descarga afluente e efluente, os depósitos sedimentares alteram-se em extensão, localização e tipos de sedimentos predominantes.

Queiroz (2014) exemplifica o caso de reservatórios de abastecimento público, como o reservatório Guarapiranga, em que o nível de agua deve ser mantido o mais elevado e constante possível. Neste contexto, os depósitos desenvolvidos seguem muito fielmente o modelo proposto por Carvalho (1994) (Figura 5): depósitos deltaicos nas desembocaduras e extensa deposição argilosa (20 a 30 cm) no interior e margens da porção mais distal do reservatório.

Frazão (2006) argumenta sobre a existência de extensas áreas de deposição argilosa (20 a 30 cm de pacote sedimentar) no interior da represa Guarapiranga que sobrepõem sedimentos de várzea muitas vezes argilosos, exceto quando se depositam em cima de antigos canais.

### **3.3 Normas de licenciamento ambiental com enfoque na gestão do material a ser dragado em águas sob jurisdição brasileiras.**

Os órgãos ambientais brasileiros intencionam a padronização, em âmbito nacional, das normas de licenciamento ambiental referentes a qualificação dos materiais dragados. Em 28 de abril de 2000, o ministério do meio ambiente instituiu uma das medidas pioneiras de disposição dos produtos da dragagem promulgando o **Art. 30** da Lei nº 9.966 o qual diz que “o alijamento em águas sob jurisdição nacional deverá obedecer às condições previstas sobre Prevenção da Poluição Marinha por Alijamento de Resíduos e outros materiais” conforme o Decreto Nº 87.566 de 1982.

Atualmente, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), constatando a importância da realização das atividades de dragagem e uma necessidade de harmonizá-las com o meio ambiente, lançou as Resoluções Nº 344 de 2004, Nº 421 de 2010 e Nº 454 de 2012, atual e revogadora das anteriores, onde busca diretrizes gerais para o gerenciamento dos produtos removidos por dragagem.

Desse modo, a CONAMA em seu **Art. 3**, delimita o conjunto de dados necessários para os processos de dragagem, no qual cita que o levantamento batimétrico, a delimitação da área de retirada e disposição dos sedimentos, com suas respectivas localizações georreferenciadas, bem como o volume do material dragado, o cronograma de execução e as características dos equipamentos são a base de informações que devem ser dirigidas ao respectivo órgão licenciador da região.

No Art. 5, vale destacarmos as orientações estabelecidas no Item 1 (Tabela 2) do Anexo da Resolução Nº 454, que trata do procedimento que deve ser efetivado para se obter uma representatividade espacial amostral, apontando que “O número de amostras pontuais deverá ser avaliado em função das características ambientais da área a ser dragada, do volume a ser dragado e do conhecimento prévio sobre o sedimento a ser dragado, especialmente sua uniformidade” (CONAMA, 2012).

**TABELA I**

**NÚMERO DE AMOSTRAS PONTUAIS PARA A CARACTERIZAÇÃO DE SEDIMENTOS \***

Volume a ser dragado (m <sup>3</sup> )	Número de amostras
Até 25.000	3
Entre 25.000 e 100.000	4 a 6
Entre 100.000 e 500.000	7 a 15
Entre 500.000 e 2.000.000	16 a 30
Acima de 2.000.000	10 extras por 1 milhão de m <sup>3</sup>

\*Referência: The Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic ("OSPAR Convention").

**Tabela 2 - Tabela de amostragens mínimas conforme volume dragado (CONAMA,2012).**

No que se refere à qualidade dos sedimentos de fundo, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2012) e a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2015) estabelecem diretrizes e categorizações distintas para sedimentos dispostos em solos e em águas sob jurisdição nacional.

A Decisão de Diretoria da CETESB 045/2014/E/C/I, de 20-02-2014, com base na Lei Estadual 13.577, de 08 de junho de 2009, apresenta padrões orientativos de concentrações de substâncias químicas (VRQ, VP, VI) em materiais para disposição em solos de acordo com Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2014. O Valor de Referência de Qualidade (VRQ) é o nível de concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea, que define um solo como limpo ou a qualidade natural da água subterrânea. O Valor de Prevenção - VP é o nível de concentração de determinada substância, acima do qual podem ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo e da água subterrânea. O Valor de Intervenção – VI é o nível de concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea, acima do qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana.

No que diz respeito ao alojamento em ambientes aquáticos, ambos os órgãos empregam os valores orientados para arsênio, metais e compostos orgânicos do Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME,2002). Sua classificação química sustenta-se na probabilidade de efeito deletério em seres vivos aquáticos, qualificando-os em TEL (concentração abaixo da qual raramente são esperados efeitos biológicos adversos) e PEL (concentração acima da qual frequentemente são esperados efeitos biológicos adversos).

Faz-se necessária a menção de que “Na ocorrência de bioacumuláveis (organoclorados e mercúrio) acima de PEL considera-se piora do diagnóstico em uma classe” (CETESB,2015).

Tendo em vista a disposição desses sedimentos, a resolução CONAMA nº 454/2012

– **Art. 15** aborda sobre a reutilização destes sedimentos como decisão prévia à sua disposição, de acordo com sua caracterização e classificação. A avaliação ambiental e a análise de viabilidade econômica, podem possibilitar um arranjo final benéfico tanto para o empreendedor quanto para o meio ambiente. Obras de engenharia como melhoria de terreno e controle de erosão, construção civil e indústria, usos na agricultura e melhorias ambientais (recuperação de solo e áreas degradadas) são algumas das alternativas propostas.

Os **Art. 18** e **Art. 19** salientam sobre a sua disposição de fato. Em solos, os Valores de Prevenção e os Valores de Investigação Industrial das substâncias químicas aludido pelo órgão ambiental licenciador são os parâmetros a serem levados em conta. Como referido em CETESB (2015), esses valores em São Paulo são o VP e o VI (industrial), respectivamente. Dessa forma, a disposição em solo do material a ser dragado, deve seguir os seguintes critérios:

I – Quando o material dragado apresentar concentrações iguais ou inferiores aos Valores de Prevenção das substâncias químicas pelo órgão ambiental licenciador, não serão necessários estudos complementares.

II – Quando o material dragado apresentar concentrações superiores aos Valores de Prevenção e inferiores aos Valores de Investigação Industrial das substâncias químicas indicadas, serão necessários estudos de viabilidade técnica, locacional de implantação e programas de monitoramento.

III – Quando o material dragado apresentar concentrações das substâncias químicas indicadas pelo órgão ambiental licenciador superiores aos Valores de Investigação Industrial, deverá ser encaminhado para unidades de disposição confinada ou aterros licenciados.

Com relação à alocação de sedimentos em águas nacionais, a CONAMA (2012) detém como critério as concentrações de metais e o nível de ecotoxina para a definição dos procedimentos adequados para disposição, ou seja, quando o material dragado:

I – apresentar concentrações de metais inferiores ao PEL.

II – indicar concentrações das substâncias químicas entre o PEL e o TEL, exceto arsênio, cádmio, chumbo e mercúrio.

III – ter concentrações individuais dos hidrocarbonetos aromáticos policíclicos – HAPs do grupo B entre os PEL e TEL, desde que a soma das concentrações de todos HAPs (grupos A e B) no material seja inferior ao valor orientador para os HAPs totais.

IV - possuir concentração de cada HAPs do grupo B entre PEL e TEL e a soma das concentrações de todos os HAPs (grupos A e B) no material ser abaixo do valor orientador para os HAPs totais.

V - exibir concentração de mercúrio, arsênio, cádmio, chumbo, ou de outras substâncias orgânicas, exceto HAPs do grupo B, entre PEL e TEL, ou a somatória das concentrações de todos os HAPs estiver abaixo do valor correspondente ao limite da soma de HAPs e o resultado da análise ecotoxicológica for menor ou igual a 50% do efeito tóxico medido.

O mesmo não precisará de estudos complementares na possível área de disposição. Entretanto, caso a análise ecotoxicológica resultar em efeito tóxico maior do que 50% e/ou qualquer substância ultrapassar a concentração TEL, o local de disposição necessitará de estudos específicos de viabilidade técnica, locacional e ambiental.

### **3.4 Características dos sedimentos de fundo**

Os sedimentos de fundo são importantes retentores e acumuladores de contaminantes químicos despejados em reservatórios artificiais. Zagatto e Bertolli (2008) destacam esse fato, uma vez que explicam que os materiais dissolvidos e particulados, de natureza inorgânica ou orgânica, que adentram um corpo hídrico interagirem entre si, muitas vezes, através de processos de superfície como adsorção, complexação e reprecipitação, tendendo, subsequentemente, a decantar ou estabilizar no fundo desses ambientes, passando a fazer parte dos sedimentos.

A intensidade dos processos de concentração de poluentes nos sedimentos de fundo varia proporcionalmente à dimensão das partículas, visto que quanto menor a partícula maior sua área específica. De acordo com Krumgalz (1989, apud Sorrini, 2015), a interação entre dissolvidos - sedimentos de fundo intensifica-se nos finos devido à grande área com capacidade de adsorção dessas partículas. Bevilacqua (1996) complementa que, os ciclos biogeoquímicos que controlam, e redistribuem as espécies de contaminantes químicos despejados nos rios, lagos e represas têm como variável mais importante a dimensão da partícula de sedimentos.

Usepa (1983) enfatiza que à matéria orgânica presente em solos ou sedimentos, como ácidos húmicos e fúlvicos, ricos em grupamentos hidroxilas e carbonilas, formam complexos metálicos com compostos orgânicos, diminuindo a disponibilidade e toxicidade de metais para plantas e sua mobilidade. Silva (2017) destaca que solos com altos valores de Capacidade de Troca Catiônica (relativa às quantidades de matéria orgânica e argila) podem imobilizar maiores quantidades de metais na forma iônica.

Segundo Hering (1994), os processos que envolvem a separação dos elementos entre as fases sólida e líquida (adsorção/dessorção e precipitação/dissolução) são suscetíveis às variações ambientais, principalmente em função das condições de PH e potencial redox. Guilherme et al. (2005) destacam que estes processos determinam a especiação química de contaminantes, determinando seu comportamento químico em relação à sua reatividade, solubilidade, biodisponibilidade e mobilidade.

Jesus et al. (2004) elucida que a remobilização de espécies poluentes ocorrem pela alteração dos parâmetros bióticos ou abióticos do meio. Hortellani et al. (2008) destacam que as condições abióticas (PH, salinidade, entre outras) e bióticas do meio (microrganismos presentes) influenciam na liberação de poluentes incorporados em sedimentos, influenciando diretamente na mobilidade dos metais, pela alteração do Ph, Eh, salinidade e consumo de determinados metais para o funcionamento do metabolismo microbiótico.

Ana (2015) enfatiza que os metais tanto de origem antrópicas quanto de origem natural depois de lançados nas águas superficiais, dependendo das condições físico – químicas e biológicas do corpo hídrico, juntam-se aos materiais particulados ou são dissolvidos ou transformam-se em coloides.

Para Jesus et al. (2004), os sedimentos de fundo são considerados bons indicadores de espécies poluentes, pela sua alta capacidade de sorção, conferindo a eles concentrações de poluentes ordens de grandeza maiores do que as águas correspondentes, além da possibilidade do conhecimento das principais fontes de poluição dentro de um corpo hídrico. Zagatto & Bertotti (2008) salientam que devido à dinâmica dos ecossistemas aquáticos, além da avaliação da qualidade da água, a caracterização dos sedimentos de forma abrangente, através de análises físicas, químicas e toxicológicas torna-se necessária, como forma de atingir um estudo completo sobre o grau de contaminação e os possíveis efeitos na biota.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

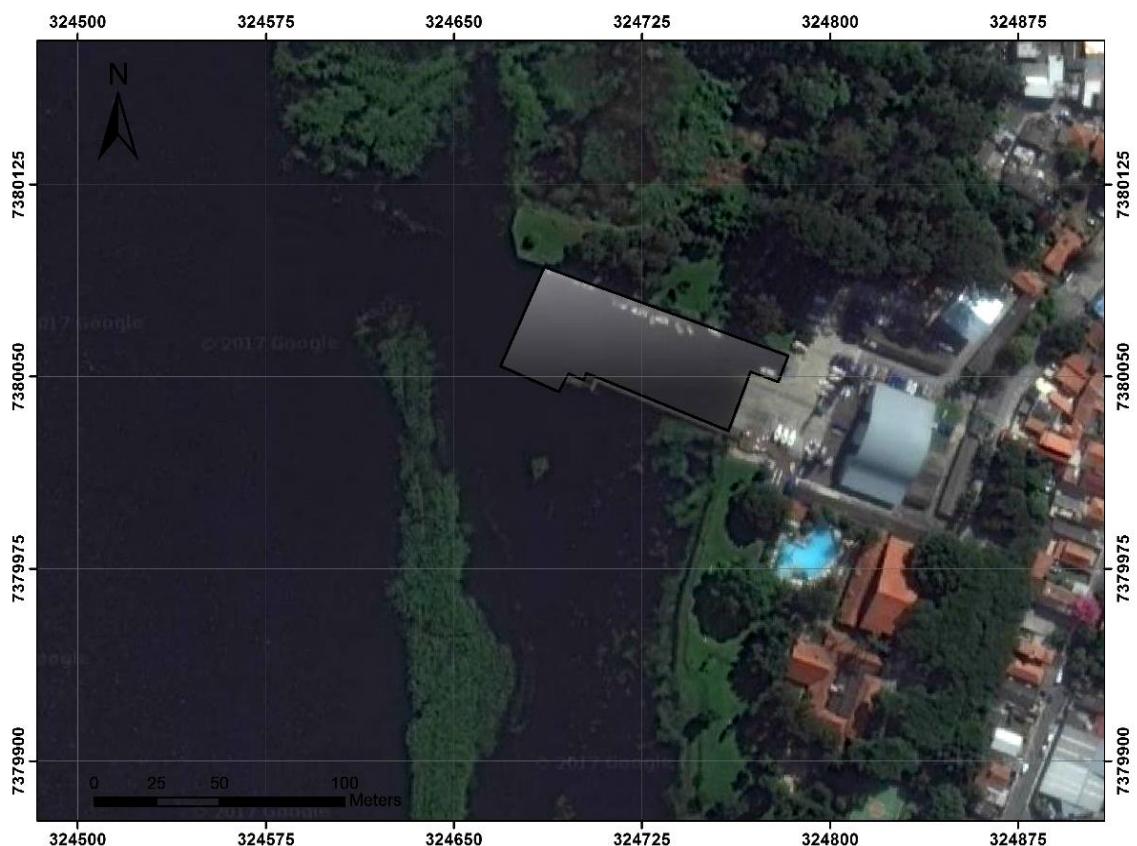
A revisão bibliográfica de trabalhos publicados foi a primeira etapa do processo de estudo da área. Influência antrópica em corpos hídricos, geofitomorfologia da Guarapiranga, geoquímica de contaminantes, legislação federal e estadual relativa à remoção e disposição de sedimentos de fundo e processos e produtos do assoreamento em reservatórios foram os temas abordados.

O planejamento da execução do trabalho e sua discussão de viabilidade junto da diretoria do Yacht Club Santo Amaro deu-se no início de fevereiro. Logo após o acordo entre as partes foi programada uma fase de coletas de amostras no dia 07 e 14 de fevereiro, na estação chuvosa.

### 4.1 Trabalhos de campo

#### 4.1.1 Localização

A área de estudo situa-se na saída de embarcações do Yacht Club Santo Amaro (Figura 6), localizado ao norte do distrito de Socorro (SP) próximo do limite sul do município de Santo Amaro (SP). Em relação a Guarapiranga, o local encontra-se na porção norte do reservatório da Guarapiranga em sua margem direita, caracterizada pela presença de Clubes Náuticos, Clubes de Campo e Balneários (PRSP, 2017).



**Figura 6 - Mapa de localização do Yacht Clube Santo Amaro. Em cinza, área de estudo onde foram realizados ensaios de turbidez, batimétricos e coletas de amostras.**

Sua extensão é de aproximadamente 90m de comprimento por 35m de largura com delimitações a sudeste, da rampa de embarque e desembarque emersa do clube, a noroeste, da ponta do muro de arrimo da margem direita do canal (Figura 7) e em suas laterais, pelo píer de madeira e pelo pontal de concreto (Figura 8).



**Figura 7 - Limite noroeste da área de estudo (ponta do muro de arrimo na margem direita do canal).**



**Figura 8 - Píer de madeira (à esquerda da foto) e pontal (à direita), limites laterais do local de pesquisa.**

#### 4.1.2 Metodologia



Figura 9 - Equipamentos cedidos pelo clube YCSA e pelo Dr. Prof. Joel Barbuiani Sígolo.

O planejamento da etapa de campo consistiu em 4 visitas para a avaliação do local de estudo, seleção de pontos de amostragem, coleta de testemunhos de sedimentos de fundo e levantamento da topografia subaquática. Embarcação, bateria, equipamento náutico e alimentação foram cedidos pelo clube YCSA, além de outros equipamentos como corda, martelo, canos de PVC, ecobatímetro pelo orientador (Figura 9).

Como critério metodológico, a batimetria foi efetuada antes da amostragem em vista do desconhecimento do substrato. No levantamento da profundidade, efetuamos medições seguindo uma malha estreita (10 a 15m) entre os perfis longitudinais ao terreno e uma disposição localizada de perfis transversais, em locais de morfologia complexa (anexo 3).

Para a coleta utilizou-se como base as normas quantitativas de número de amostras x volume retirado (Tabela 2) determinadas pela Resolução nº 454 da Companhia Nacional do Meio Ambiente (2012), juntamente aos conhecimentos prévios adquiridos no levantamento batimétrico. Em vista disso, 2 alíquotas de sedimento por domínio geomorfológico foram coletadas. Essas com 20 cm a 1,2 metros de sedimentos (definido em reunião com diretoria do Yacht clube), dando um total de 6 amostras a serem analisadas.



Figura 10 - Amostra envelopada e etiquetada na mão do marinheiro Adinson Guedes do Nascimento.

Na primeira coleta, amostras de sedimentos de fundo foram obtidas com o auxílio de canos de PVC brancos de 3 a 6 metros com biselamento na ponta e escape de água. Com a retirada das amostras, esses canos foram cortados, envelopados e etiquetados com informações sobre a litologia, profundidade, número e local de retirada da amostra (Figura 10). No local, com o auxílio de equipamento apropriado realizou-se medições de pH.

## 4.2 Trabalhos de Laboratório

Antes das análises laboratoriais, as amostras de sedimentos adquiridas na etapa de campo passaram por processo de abertura, secagem subaérea e análise geral a fim de preparar e definir, as alíquotas a serem tratadas para estudos de teor de matéria orgânica, análise macroscópica, e posteriormente, análise química e microscopia eletrônica de varredura.

A Figura 11 ilustra o local de obtenção das amostras brutas na seção de preparação e armazenamento de amostras no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. Abertura de testemunhos, análise geral e macroscópica das amostras e secagem subaérea das alíquotas foram as etapas realizadas.

Figura 11 - Local de trabalho na etapa de preparação bruta das alíquotas.



Na etapa de abertura optou-se pela utilização de equipamentos de maior controle manual e marcações iniciais de corte como forma de alcançar uma perda mínima final e uma baixa perturbação amostral durante o processo.



Figura 12 - Equipamentos utilizados no corte das amostras.

A Figura 12 exibe os equipamentos utilizados na abertura do testemunho de sondagem. Uma caneta permanente, utilizada para marcação de duas linhas guias retilíneas foi utilizada em lados opostos do testemunho e uma furadeira com uma serra circular na ponta, fundamental para um corte controlado e sem perturbação da amostra.

A Figura 13 exibe o resultado do processo de abertura e a etapa de escolha da porção a ser analisada. A camada superior de argila negra acabou sendo a escolhida.

Figura 13 - Testemunho de sedimentos de fundo aberto, local de coleta assinalado em vermelho.



#### 4.2.1 Determinação do teor de matéria orgânica (MO)

A análise do conteúdo de MO consiste em 4 fases: preparação da amostra, pesagem inicial, ataque químico e pesagem final.

A Figura 14 ilustra a preparação das amostras de sedimentos de fundo no laboratório de sedimentologia do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. Separação e extração das alíquotas e identificação amostral foram os procedimentos executados.

Figura 14 - Tratamento inicial para determinação do conteúdo de matéria orgânica.



A Figura 15 mostra a pesagem inicial das argilas negras ricas em MO situadas nos pacotes superiores dos testemunhos coletados. Esse procedimento foi desempenhado no início e final da análise. A diferença entre os resultados obtidos indica a massa total de matéria orgânica contidas nas amostras (peso orgânico).

Figura 15 - Pesagem das amostras de sedimento de fundo argilosos.

A Figura 16 exibe a adição de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) nas amostras de sedimento de fundo como forma de dissolver a matéria orgânica inerente ao material e possibilitar sua posterior remoção. Essa etapa é realizada entre as pesagens.

Figura 16 - Adição de peróxido de hidrogênio na amostra pela técnica Elaine Aparecida da Silva Sinfrônio.



#### 4.2.2 Tratamento das amostras

A preparação das amostras para análise química e de microscopia eletrônica de varredura ocorreu em 3 etapas: trituração, homogeneização e quarteamento.

A Figura 17 mostra as condições iniciais da amostra antes de seu tratamento. A alíquota encontrava-se seca, sem matéria orgânica e com a presença de grandes aglomerados argilosos grudados nas paredes do becker.

Figura 17 - Becker utilizado na secagem das amostras previamente tratadas com Peroxido de hidrogênio.



Figura 18 - Triturador mecânico. Notar suporte branco em formato de "chapéu" no centro do aparelho, local onde as amostras são confinadas e posteriormente desagregadas.

A Figura 19 exibe a condição final das argilas após o processo de trituração, que é baseado na tremulação aleatória do suporte, seguido por movimento da rodelas de ágata em seu interior, com consequente achatamento dos sedimentos contra as paredes e bases do recipiente.

Figura 19 - Aparência final das amostras argilosas após processo de trituração. Observar o espalhamento da amostra por todo o interior do suporte



A Figura 20 expõe o local de retirada de amostra do triturador, a limpeza dos equipamentos pós-masceração, a homogeneização e o quarteamento das argilas para análise química. Amostras de 30 a 40 g iniciais foram quarteadas ou tertiadas em alíquotas de 10g finais.

Figura 20 - Local de tratamento amostral pré-análises. Pincel, jato de ar comprimido, álcool, papel para quarteamento e tubos para alíquotas finais foram os equipamentos utilizados.



#### 4.2.3 Análises químicas

Após o tratamento amostral dos sedimentos de fundo, porções com 10 g de argilas amareladas sem MO foram encaminhadas ao Laboratório de Caracterização Química e Tecnológica (LCT) da Escola Politécnica da USP para análise química. Nele determinou-se quantitativamente os teores percentuais dos elementos Cu, Zn, Mn, Ba, Pb, Cr, Ni e Ti nas amostras tratadas por meio da utilização do ICP-EOS, um aparelho detector de radiação eletromagnética emitida por íons excitados em seu interior com a transferência de energia entre o plasma induutivo de argônio (acoplado no aparelho) e a amostra ou por átomos neutros presentes na alíquota (Rocha, 2017).

#### 4.2.4 Preparação amostral para análise em MEV

O tratamento das amostras para microscopia eletrônica de varredura foi realizado em 3 etapas: preparação inicial, recobrimento em carbono e estocagem.

A preparação inicial é dividida em 4 etapas:

- 1) Limpeza com acetona do *stub*: retirada de impurezas.
- 2) Colocação de fita dupla face de carbono (grafite): aumento da condutividade elétrica (Figura 21).
- 3) Despejo de amostra sobre *stub*: produção amostral para MEV (Figura 22).
- 4) Retirada de excesso amostral: retirada com ar comprimido suave



Figura 21 - Fita dupla face grafítica sendo colocada na cabeça do *stub*.



Figura 22 – À esquerda, *stub* de liga de alumínio e cobre. A direita, placa de petri. Ambos utilizados na etapa 3.

A Figura 23 apresenta o local de armazenamento dos *stubs* pós- recobrimento em carbono no Laboratório de Microssonda Eletrônica – ME no Instituto de Geociências da USP. Foram necessárias duas etapas de recobrimento de carbono.

Figura 23 - Local de armazenamento dos *stubs* recobertos para analise em MEV. Caixa de acrílico (proteção e armazenagem) e isopor (estabilização) são os materiais padrões utilizados na etapa de estocagem.



#### 4.2.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A investigação em Microscópio eletrônico de Varredura com Espectrômetro de Dispersão de Energia de Raio X (MEV/EDS) teve como propósito o estudo das relações texturais com a química mineral, observando as características dos grãos (fração granulométrica e morfologia) conjuntamente aos tipos de minerais ou sintéticos que apresentam concentrações significativas dos elementos contaminantes. Para isso, optou-se por um fluxo de trabalho dividido em 3 etapas:

1. Estudo morfológico e granulométrico em elétrons secundários (ES).
2. Busca por elementos pesados (contaminantes) em elétrons retroespalhados (ERE).
3. Produção de espectrogramas em minerais de interesse obtidos por spectrometria por energia dispersiva de raio-x (EDS).

Nas fases iniciais do estudo morfológico e granulométrico por elétrons secundários, imagens qualitativas químicas-gerais da amostra foram produzidas, uma vez que as imagens de ES fornecem detalhes da superfície dos minerais em altas resoluções. Segundo Duarte (2003), resoluções dependentes apenas do diâmetro do feixe de elétrons incidente e das condições de calibração do aparelho (intensidade da corrente e condições de vácuo).

A partir disso, associadas as imagens obtidas por ES, foram feitas qualitativas químicas-gerais geradas pela emissão de elétrons retroespalhados de modo a localizarmos grãos de alto número atômico ( $Z$ ) (alvos de maior probabilidade de detenção de metais pesados contaminantes) e observarmos seu comportamento quanto à granulometria global. Conforme Mannheimer (2002), a emissão de ERE aumenta com o número atômico do material da amostra, o que permite obter imagens contrastando regiões de diferentes composições elementares. Partes claras correspondem a zonas com  $Z$  médio relativamente maior do que regiões de tons mais escuros.

A etapa final é caracterizada por análises morfológicas e químicas pontuais nos grãos mais claros em ERE, esses determinados nas fases anteriores do estudo. Para isso, imagens

de ES foram novamente confeccionadas, entretanto, em escalas de trabalho menores, destacando o mineral-alvo. Posteriormente, os minerais de interesse receberam “tiros” de EDS, que possibilitavam a determinação qualitativa e semi quantitativa dos elementos químicos presentes (Duarte, 2003). A quantidade de “tiros” por grão foi definida de acordo com a importância e heterogeneidade do mineral pesquisado.

A Figura 24 exibe os padrões e grade utilizados para a calibração do MEV, etapa comumente realizada no início de todo estudo neste aparelho. Foi empregado o padrão de cobalto.

**Figura 24 - Padrões e grades que podem ser usados na regulagem pré análise em MEV. Atentar a padrão de cobalto destacado em vermelho.**



**Figura 25 - Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura. Na extrema esquerda, em coloração cinza, Microscópio eletrônico de Varredura com Espectrômetro de Dispersão de Energia de Raio-X acoplado (MEV/EDS).**

A Figura 25 mostra o espaço de trabalho do Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura no Instituto de Geociências da USP durante a análise dos *stubs*. O equipamento utilizado é da Marca Oxford (Modelo LEO 440I), com capacidade de aumento de 5 a 250.000 vezes.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Morfologia de fundo inferida por levantamento batimétrico

A morfologia subaquática do terreno demonstrou um elevado grau de complexidade. Variações altimétricas em curtas distâncias e alterações bruscas em seu substrato (cavidades profundas e pequenos morros) são frequentes. Para a caracterização desse local executou-se 7 perfis batimétricos, 5 longitudinais e dois transversais, conforme anexo 3.

O estudo dos perfis A-A', B-B', C-C' e E-E' (anexo 5) indicam que nos primeiros 15 a 20 metros do extremo SE da área a superfície em contato com a agua é fundamentalmente a rampa de desembarque náutico. De acordo com a direção do clube e constatações em campo, a rampa chegava até 30 metros dentro da represa sendo os 20 primeiros metros pouco influenciados pelos sedimentos.

Nos seguintes 30 a 90 metros a noroeste conforme perfis A-A', B-B', C-C' e D-D' (anexo 5), o substrato aprofunda-se e tende a planificar em torno de 3,4 metros de

profundidade. Aberturas e elevações nos terrenos são observadas, entretanto não passam de 3,7 metros e 3,2 metros em topo de profundidade.

Na frente do píer constatamos a presença de um alto topográfico. Os perfis A-A', G-G' e F-F' (anexo 5) revelam um corpo irregular com grandes quedas em suas extremidades NE e SW (Perfil D-D' (anexo 5), com 1,3 metros no seu topo e 2,2 metros em sua base em 20 metros de extensão lateral. Todavia, na direção NO-SE apresenta-se uniforme com pequenas oscilações em sua profundidade, alcançando 1,3 metros em pequenas elevações e 1,5 metros em depressões.

A morfologia do limite SE da área exibe um comportamento distinto em relação às demais regiões. Com 0,6 metros variando para 2,5 metros de profundidade em menos de 5 metros percorridos lateralmente, essa encosta subaquática possui a maior inclinação da área (anexo 4). Longitudinalmente, o comportamento é semelhante, porém menos abrupto (perfil E-E' - Anexo 5).

Dessa forma, a morfologia submersa do local de pesquisa manifesta três grandes domínios morfológicos definidos pelo autor como: zona profunda, zona lateral e zona crítica (anexo 6):

- a) Zona profunda: domínio localizado abaixo da profundidade de 2,8 metros. Essa região é caracterizada por apresentar as maiores profundidades, grande extensão lateral e longitudinal e morfologia de fundo complexa (presença de colinas e grandes depressões).
- b) Zona lateral: região a SE da área e ao lado de toda a extensão do píer. Local com as maiores declividades ( $30^{\circ}$  de inclinação), de morfologia tabular e anisotrópico em relação à inclinação de suas vertentes. Encostas na direção NE-SO são mais íngremes em comparação aos declives na direção NW-SE.
- c) Zona crítica: corpo raso posicionado na frente do píer de madeira. Superfície de fundo aplainada no cume (profundidade de 1,4 metros) com aclives entre  $10^{\circ}$  a  $20^{\circ}$  em suas laterais. Em vista de questões práticas (tamanho do calado das embarcações), esse corpo deve possuir profundidades menores do que 1,9 metros.

## 5.2 Análise Macroscópica dos sedimentos de fundo

A avaliação dos sedimentos de fundo revelou uma forte correlação entre a morfologia do substrato e a qualidade dos sedimentos. Vales profundos continham sedimentos argilosos, ricos em matéria orgânica, ao passo que, porções mais rasas detinham sedimentos finos com baixos teores de matéria orgânica. Em encostas havia areias finas siltosas com uma fina camada argilosa em sua superfície.

### 5.2.1 Zona profunda



Figura 26 – Fotografia do topo da amostra P3R. Atentar a presença de camada argilosa rica em matéria orgânica característica da região. Neste testemunho, sua espessura foi de 40 cm.



Figura 27 - Imagem da porção intermediária da amostra P3R. Observar a transição de estratos arenosos amarelados (em contato com argilas negras) para siltos arenoso-siltosos cinza – amarronzados na base.



Figura 28 - Foto da base da amostra P3R. Presença de sedimentos mais grossos em relação as outras porções do testemunho. Notar a graduação de sedimentos arenosos grossos (porção cinza-esbranquiçada) para cascalheiras em direção a base do testemunho.

O domínio profundo é caracterizado pela ocorrência de argilas negras com altos teores de MO ao longo de toda sua superfície. Contudo, em seu perfil vertical, a ocorrência de camadas argilosas intercaladas com estratos silto-arenosos a cascalhosos é habitual.

Conforme análise das amostras P1R e P3R, as camadas argilosas localizam-se no topo das sequências sedimentares (Figura 26 e anexo 7) tendo de 40 a 80 cm de espessura. Sem vegetação e altos teores de MO, esse estrato é instável e plástico.

Nas partes intermediárias da seção, siltos arenosos cinza – amarronzados migram para porções arenosas amareladas em direção ao topo (Figura 27 e anexo 7). A camada de silte possui por volta de 10 cm de espessura, enquanto o estrato arenoso possui 4cm.

Na base, conglomerados acinzentados-amarelados com matriz constituída de areia grossa quartzosa e arcabouço formado por seixos e grânulos feldspáticos e quartzosos de 2 a 7 cm prevaleciam (Figura 28 e anexo 7). No ápice desta sequência e abaixo dos siltos acinzentados, um pacote com 4 cm de espessura de areia grossa cinza diferenciava-se em relação ao conglomerado basal. Essa camada exibia uma textura mais uniforme e menor proporção de seixos e grânulos, porém com maior quantidade de espécies minerais, variando desde grãos de quartzo

e feldspatos caulinizados a minerais máficos tabulares grossos.

A intercalação de camadas finas com camada grosseira em um perfil vertical indicam variações na espessura da lâmina de água do lago no tempo. Deste modo, o perfil apresentado pela amostra P3R retrata os sedimentos depositados em períodos de seca e em períodos de cheia na Represa Guarapiranga.

### 5.2.2 Zona lateral

Os litotipos do domínio lateral manifestam características distintas dos sedimentos depositados pela Guarapiranga. Litificados, fraturados e constituídos de siltes e areias cinza amarronzadas, essa litologia apresenta propriedades similares aos sedimentos terciários da bacia de São Paulo.

As análises das amostras P20 e P30 indicaram dois pacotes sedimentares distintos nesta região, descritos como:

- Argilas negras superficiais.
- Siltes arenosos litificados basais.

As argilas negras apresentam-se irregularmente na superfície, fato comprovado pela ausência na amostra P20 (Figura 29 e anexo 8 - Figura A) e presença na amostra P30 (Figura 30 e anexo 8 - Figura B). Quando existentes, esses sedimentos finos apresentavam-se em camadas finas de 3 a 4 cm, ricas em matéria orgânica e vegetação (raízes e caules).

A porção silto-arenosa ocorre continuamente na zona lateral. Sua camada possui de 15 cm a 20 cm. No contato com a camada superior encontram-se grânulos de argila preta englobada por sedimentos siltosos.



Figura 29 - Fotografia do testemunho P20. Notar fraturas em toda a extensão do sedimento, indicativo de litificação do sedimentos. Base da amostra localiza-se à direita do testemunho.



Figura 30 - Imagem da amostra P30. Presença de estruturas de retrabalhamento (clastos de argila negra nos sedimentos silto-arenosos acinzentados) no contato entre litologias.

### 5.2.3 Zona crítica



Figura 31 – Foto da amostra P1i. Argilas negras predominam em toda a sua extensão. Atentar à porção superior intensamente bioturbada pelas raízes.



Figura 32 – Imagem do testemunho da amostra P2i. Notar a variação das características sedimentológicas entre os estratos argilosos. Camada superior amarronzada pobre em MO e com glomérulos de areia fina, camada basal negra rica em MO composta apenas de argila.

A zona crítica é caracterizada pela intensa deposição e acumulação de argilas negras sobrepostas por vultosa vegetação subaquática. Intrusões de raízes e restos vegetais nas porções superiores das sequências sedimentares são comuns. Em vista disso, as camadas tendem a ser estáveis, com restos vegetais e sem estruturas primárias bem marcadas.

As amostras P1i e P2i exibem características diferentes nas camadas superiores e semelhantes nas parcelas basais (Figura 31, Figura 32 e anexo 8 - Figura B).

Na base, extratos de 5 a 7 cm de argilas ricas em matéria orgânica, maciças, com inexistência de partículas vegetais, prevaleciam em ambas as amostras.

No topo, P1i detém 2 a 3 cm de solo sem estrutura pela intensa interação com a vegetação. Raízes, caules, entre outros restos vegetais, podem ser encontrados. Em contraposição, P2i expõe 12 cm de uma argila amarronzada pobre em MO com estratificação e glomérulos de areia. Neste caso, sem vegetação.

### 5.3 Conteúdo de matéria orgânica (MO)

Os diferentes domínios geomorfológicos do local denotaram diferentes teores de matéria orgânica em seus sedimentos. Argilas plásticas da zona profunda exibiram os maiores conteúdos de MO, alcançando 50% de sua massa total (Tabela 3). Na zona crítica essa proporção diminuiu (16%). Entretanto, os teores encontrados continuavam ultrapassando o limite estipulado pela CONAMA (2012) para disposição em águas sob jurisdição nacional de 10% como valor alerta (Figura 33). No domínio lateral, as argilas possuem pequena representação em peso não sendo necessária a mensuração de seus teores de MO.

Nº Amostra	Massa inicial(g)	Massa final(g)	Porcentagem de matéria orgânica
P3R (Zona Profunda)	37,4	20,2	46%
P1R (Zona Profunda)	49,4	23,7	52%
P1i (Zona Crítica)	44,6	37,45	16%

Tabela 3 - Tabela das informações obtidas durante o ensaio de determinação do teor de MO. Dados de massas, número da amostra, zona de coleta e teor final são indicados.

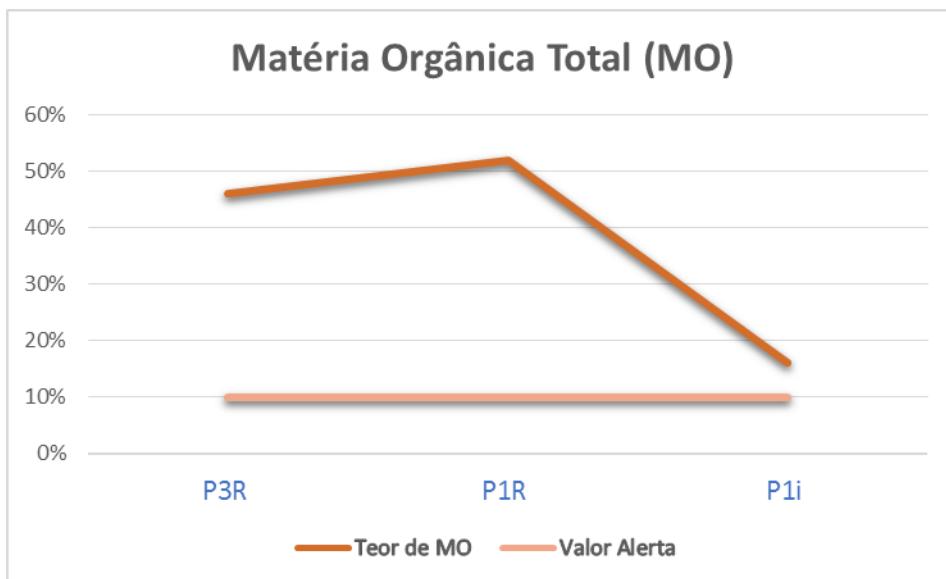


Figura 33 - Gráfico da % de matéria orgânica total presente nas amostras P3R, P1R e P1i. Teores de MO (curva laranja) são sempre superiores ao valor alerta (reta rósea) para sedimentos de fundo, definido por CONAMA (2012).

#### 5.4 Análise Química dos sedimentos de fundo

A Tabela 4 exibe os valores de referência, de acordo com CETESB (2014) e CONAMA (2012), para dragagem e disposição de sedimentos de fundo em solos no estado de São Paulo. Alguns valores não constam na classificação devido à inofensividade desses elementos aos organismos vivos.

Elemento químico	Valor de Prevenção (ppm)	Valor de intervenção industrial (ppm)
Ba (ppm)	120	7300
Cr (ppm)	75	400
Cu (ppm)	60	10000
Mn (ppm)	-	-
Ni (ppm)	30	3800
Pb (ppm)	72	4400
Ti (ppm)	-	-
Zn (ppm)	86	10000

Tabela 4 - Valores orientadores para solo no Estado de São Paulo, segundo CETESB (2014). Conforme Art. 18 e Art. 19 (CONAMA, 2012), os Valores de Prevenção (VP) e os Valores de Investigação Industrial (VI) das substâncias químicas aludidos pelo órgão ambiental estadual licenciador são os parâmetros a serem levados em conta para o estudo da viabilidade ambiental e econômica do empreendimento.

A Tabela 5 apresenta a classificação da periculosidade dos sedimentos de fundo ao seu respectivo ambiente aquático. Conforme CETESB (2015) e CONAMA (2012), essa categorização guia os estudos ambientais, uma vez que rotulam como apropriada ou não a permanência dos sedimentos neste meio ambiente, além de rotular como possível ou não sua disposição em outro corpo hídrico.

TEL	PEL				
Qualidade	Ótima	Boa	Regular	Ruim	Péssima
<b>Ba</b> (ppm)	-	-	-	-	-
<b>Cr</b> (ppm)	< 37,3	≥ 37,3 - 63,7	> 63,7 - < 90,0	90,0 - 135,0	> 135
<b>Cu</b> (ppm)	< 35,7	≥ 35,7 - 116,4	> 116,4 - < 197,0	197,0 - 295,5	> 295,5
<b>Mn</b> (ppm)	-	-	-	-	-
<b>Ni</b> (ppm)	< 18	≥ 18 - 27	> 27 - < 36	36 - 54	> 54
<b>Pb</b> (ppm)	< 35,0	≥ 35,0 - 63,2	> 63,2 - < 91,3	91,3 - 137,0	> 137,0
<b>Ti</b> (ppm)	-	-	-	-	-
<b>Zn</b> (ppm)	< 123	≥ 123 - 219	> 219,0 - < 315,0	315 - 473	> 473

**Tabela 5 - Classificação de contaminantes em sedimentos de água doce estabelecidos a partir de TEL (concentração abaixo da qual raramente são esperados efeitos adversos para os organismos) e PEL (concentração acima da qual são esperados efeitos adversos à biota), conforme CETESB (2015).** De acordo com CONAMA (2012), a remoção e alocação de sedimentos em águas nacionais detém como critério as concentrações de metais e o nível de ecotoxicidade (risco à vida marinha) para a definição dos procedimentos adequados para dragagem e disposição. Notar as concentrações de restrição menores do que as definidas para solos.

A Tabela 6 apresenta os resultados da análise química dos sedimentos de fundo coletados na zona profunda (P1R e P3R) e crítica (P1i) do canal principal de tráfego de navegações do clube YCSA. Ni e Cu expressaram-se como os elementos químicos mais problemáticos, em vista de sua elevada concentração nos sedimentos argilosos.

Amostras	P1R (zona profunda)	P3R (zona profunda)	P1i (zona crítica)
<b>Ba</b> (ppm)	24	48,6	8,4
<b>Cr</b> (ppm)	52,8	59,4	75,6
<b>Cu</b> (ppm)	667,2	1074,6	33,6
<b>Mn</b> (ppm)	787,2	583,2	35,2
<b>Ni</b> (ppm)	1027,2	1161	1293,6
<b>Pb</b> (ppm)	72	75,6	92,4
<b>Ti</b> (ppm)	6864	8046	13944
<b>Zn</b> (ppm)	110,4	135	25,2

**Tabela 6 – Resultados da análise química dos sedimentos de fundo encontrados na rampa de acesso do Yacht Club Santo Amaro.** Em vermelho, teores acima do Valor de prevenção (VP) para sedimentos depositados em solos nacionais. Em verde, teores próximos ao VP. Nenhuma concentração alcançou VI. Co e Cd apresentaram concentrações abaixo do limite de detecção do aparelho.

Os gráficos das Figuras 34 a 41 apresentam os resultados dos elementos químicos analisados em laboratório das amostras P1R (zona profunda), P3R (zona profunda) e P1i (zona crítica) em relação aos valores padrões de classificação de sedimentos de fundo para fins de dragagem segundo CETESB (2014) e CETESB (2015).

As Figuras 34 e 35 mostram o comportamento do cobre e do níquel nas zonas profunda (esquerda do gráfico) e crítica (direita do gráfico). Notamos um comportamento análogo dos elementos na zona profunda (concentrações muito acima do VP e da PEL com teores próximos a 1000 ppm) e antagônicos na zona crítica (Ni mantém os altos teores (1200 ppm) e Cu diminui drasticamente sua concentração (30 ppm)).

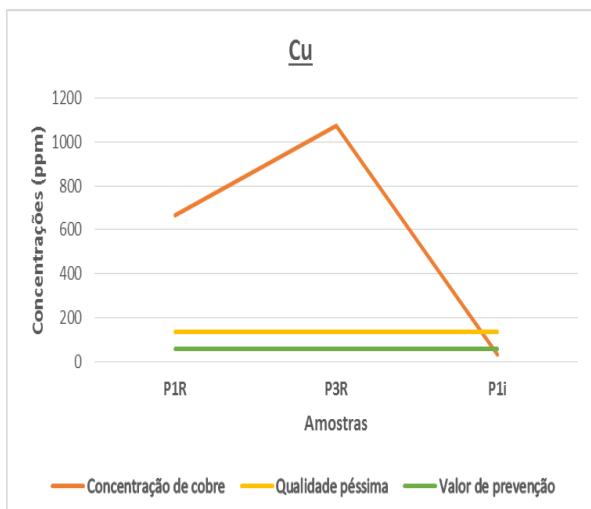


Figura 34 - Gráfico que relaciona os teores de cobre das amostras analisadas (em laranja) com o valor de prevenção (em verde) e o limiar de qualidade péssima (em amarelo) da classificação qualitativa de sedimentos de fundo (CETESB, 2015). Notar queda brusca da concentração de Cu entre a zona profunda e a zona crítica.

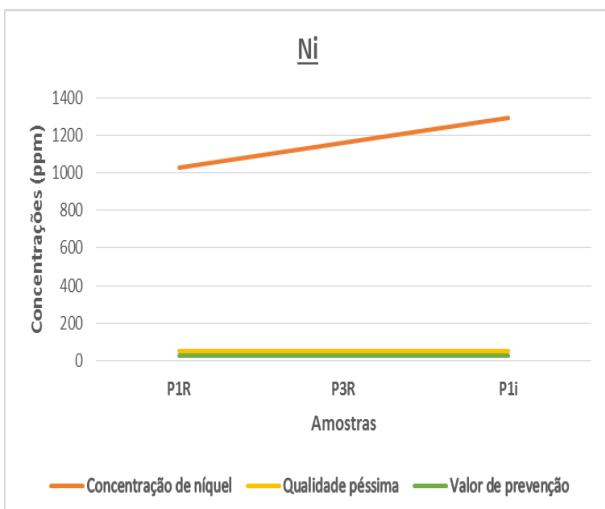
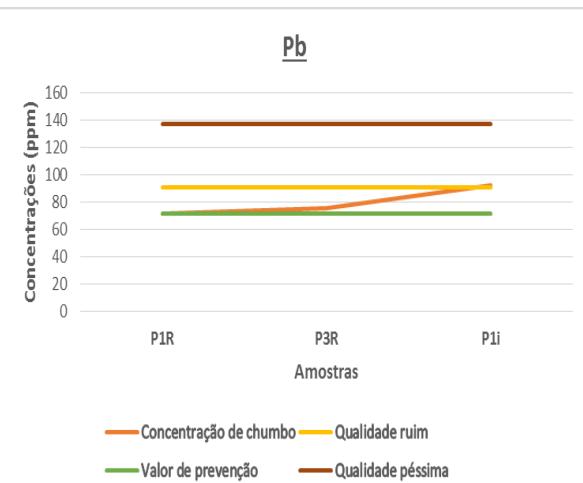
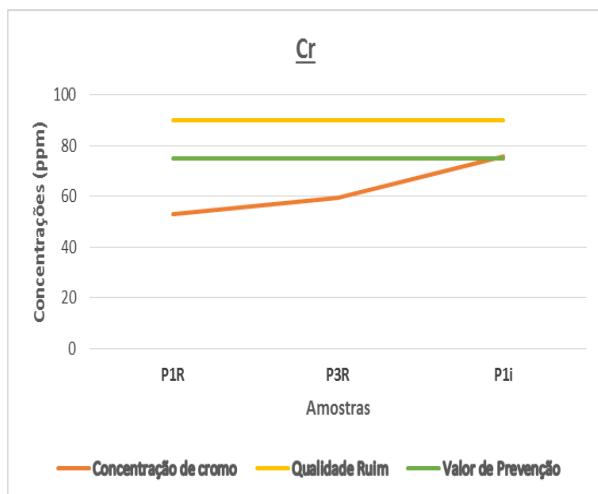


Figura 35 - Gráfico que relaciona as concentrações de níquel nos sedimentos de fundo analisados (em laranja) com o valor de prevenção (em verde) e o limiar de qualidade péssima (em amarelo) da classificação qualitativa de sedimentos de fundo (CETESB, 2015). Observar os teores similares de níquel entre as amostras P1R, P3R e P1i.

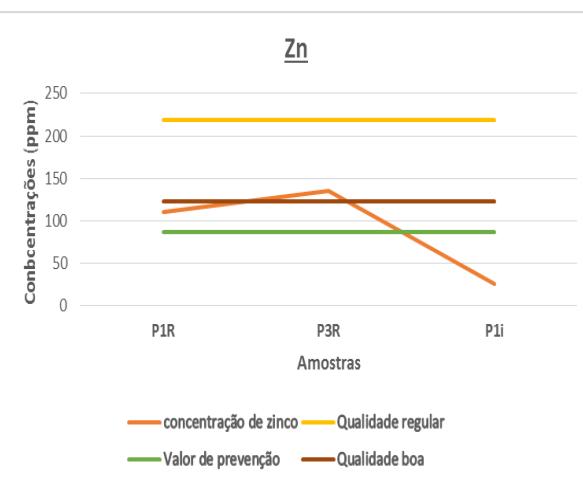
Os elementos chumbo (Pb) e cromo (Cr) apresentaram conteúdo químico oposto ao cobre, uma vez que manifestaram um grande aumento relativo de suas concentrações (mais de 30% de aumento do teor de Pb e por volta de 40% de acréscimo de Cr entre as amostras P1R/P3R para a P1i) em direção à zona crítica. Em vista disso, as concentrações de cromo e chumbo na zona profunda retratam-se abaixo do VP e da PEL, contudo, acima da PEL e do Valor de prevenção na zona crítica (Figuras 36 e 37).



**Figura 36** - Gráfico que compara os teores de chumbo amostrados (em laranja) com o valor de prevenção (em verde) e os limiares de qualidade péssima (em marrom) e ruim (em amarelo) da classificação qualitativa de sedimentos de fundo (CETESB, 2015). Notar aumento significativo dos teores de chumbo na amostra P1i em comparação com as alíquotas do domínio profundo (P1R/P3R).

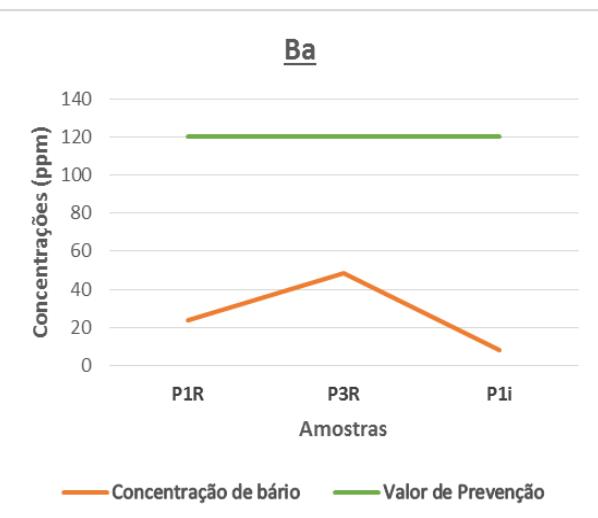


**Figura 37** - Gráfico que confronta os teores de cromo obtidos em laboratório (em laranja) com o valor de prevenção (em verde) e o limiar de qualidade ruim (em amarelo) da classificação qualitativa de sedimentos de fundo (CETESB, 2015). Notar aumento significativo dos teores de chumbo na amostra P1i em comparação com as alíquotas do domínio profundo (P1R/P3R).



**Figura 38** - Gráfico que compara os teores de zinco (em laranja) com o valor de prevenção (em verde) e os limiares de qualidade boa (em marrom) e regular (em amarelo) da classificação qualitativa de sedimentos de fundo (CETESB, 2015). Notar diminuição significativa dos teores de Zn das alíquotas (P1R/P3R) do domínio profundo em comparação com a amostra P1i.

Dos elementos químicos analisados nos sedimentos de fundo e comparados com os padrões de qualidade CETESB (2014) e CETESB (2015), apenas o Bário não causa preocupação, uma vez que os teores amostrais não ultrapassam o valor de prevenção em nenhum caso (Figura 39).



**Figura 39** - Gráfico que confronta os teores de cromo obtidos em laboratório (em laranja) com o valor de prevenção (em verde) (CETESB, 2014).

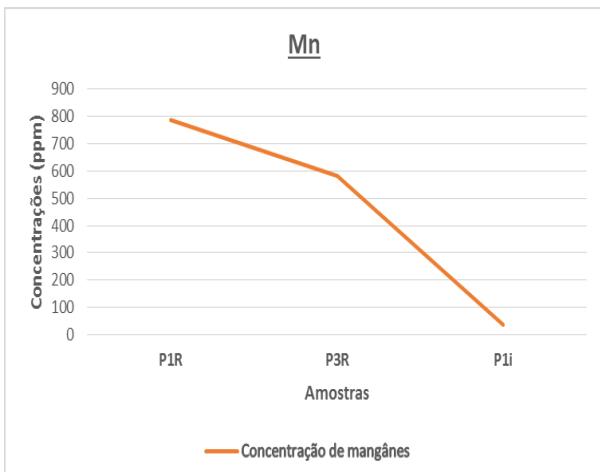
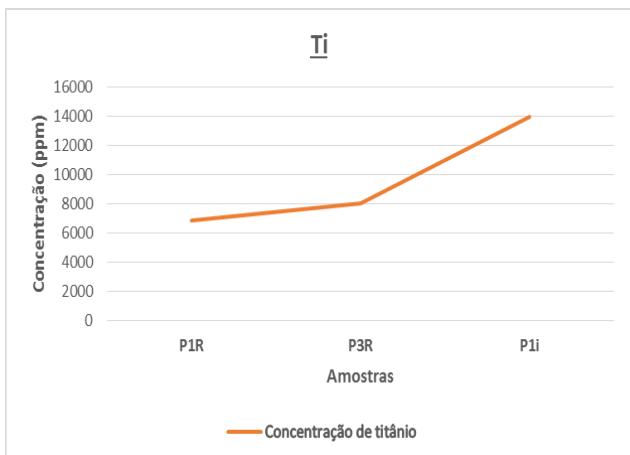


Figura 40 - Gráfico que representa o comportamento do teor de manganês nos sedimentos de fundo recolhidos e analisados em laboratório. Destaca-se a queda acentuada nos teores de Mn na transição zona profunda para a zona crítica.

Em contraste com a variação das concentrações de manganês, os teores de titânio (Figura 41) apresentaram-se mais altos nas argilas da zona crítica, assim como níquel, cromo e chumbo (metais ausentes no metabolismo vegetal, alguns tóxicos).

Figura 41 - Gráfico que representa a variação dos teores de titânio nas amostras coletadas. Atentar aos teores de Ti, os maiores entre os metais analisados (0,7% a 1,4 % do peso amostral).

O elemento químico manganês, apresentado na Figura 40, demostrou comportamento similar ao cobre e ao zinco, uma vez que apresentou uma diminuição acentuada em seus teores, quando se compara as concentrações obtidas nos sedimentos profundos e rasos (800 a 600 ppm nas amostras P3R e P1R e 35 ppm na amostra P1i).



## 5.5 Microscopia eletrônica de varredura

### 5.5.1 Zona crítica

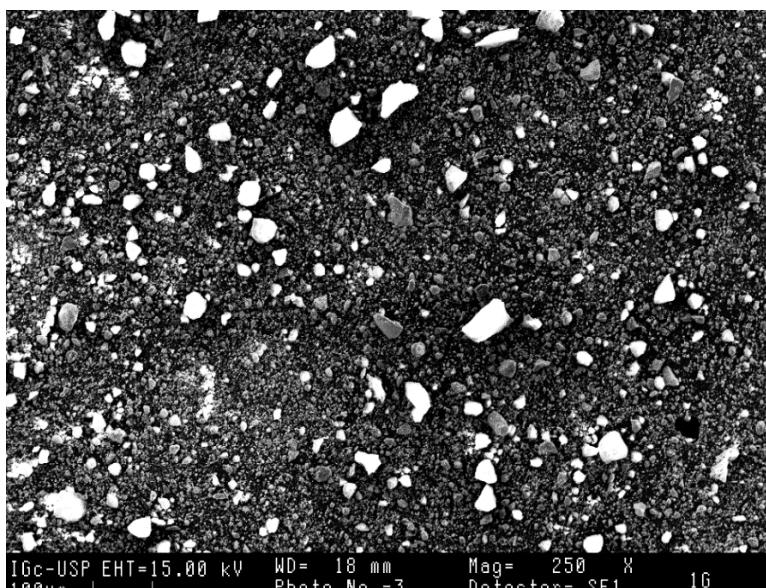


Figura 42 - Imagem geral da amostra P1i obtida por ES, com aumento de 250x.

As argilas superficiais ricas em MO localizadas na zona crítica foram analisadas por Microscopia eletrônica de Varredura. Estas apresentaram uma textura bimodal. Grãos alumino-silicáticos contendo titânio e ferro destacavam-se em relação a fração mais fina de mesma composição (Figura 42). Esses clastos titânio-ferruginosos variam quanto à sua morfologia. Formatos

angulares e subangulares de faces regulares e extremidades pontiagudas são os mais frequentes, no entanto, morfologias subarredondadas alongadas e por vezes esféricas também são encontradas.

Em menores proporções, grãos portadores de altas concentrações de elementos pesados eram encontrados tanto na fração fina quanto entre os arcabouços (Figura 43). Esses grãos apresentavam-se claros em análises por elétrons retroespelhados (ERE) e morfológicamente exibiam diversas formas. Grãos angulares, subarredondados, elípticos, esféricos, entre muitas outras formas, podiam ser encontradas. Sua heterogeneidade morfológica e composicional refletia a diversidade mineral presente neste grupo.

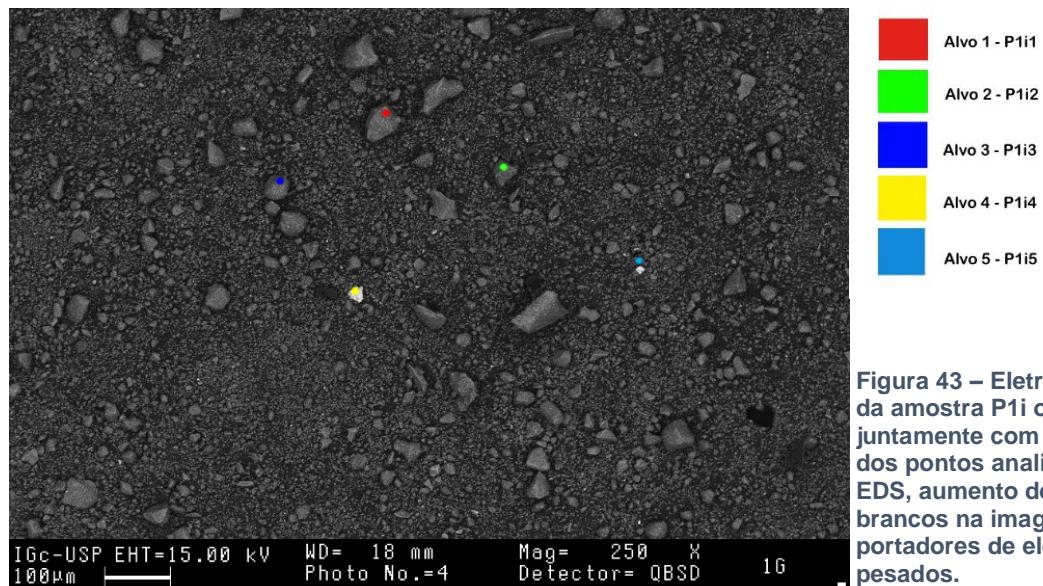


Figura 43 – Eletromicrografia da amostra P1i obtida por ERE juntamente com localização dos pontos analisados por EDS, aumento de 250x. Grãos brancos na imagem são portadores de elementos pesados.

As figuras abaixo exibem espectrogramas obtidos por espectrometria por energia dispersiva de raio-x (EDS) em 5 pontos da amostra referenciados na Figura 43. Três deles foram em arcabouços de mesma composição da matriz e dois em minerais pesados.

#### 5.5.1.1 Espectrogramas nos arcabouços

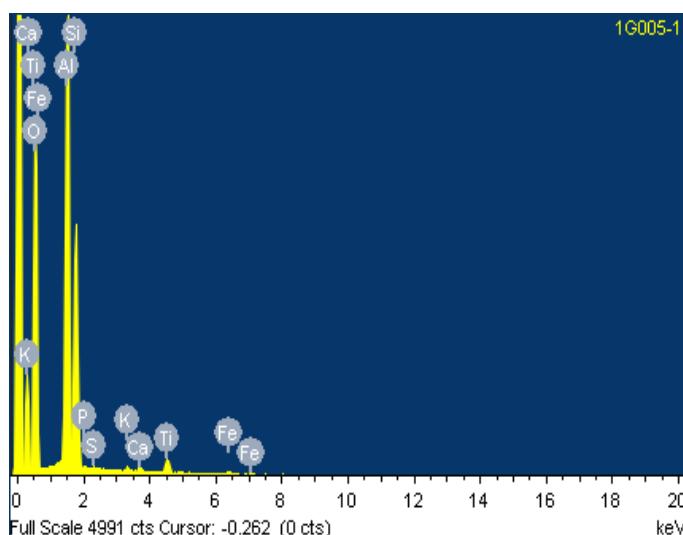
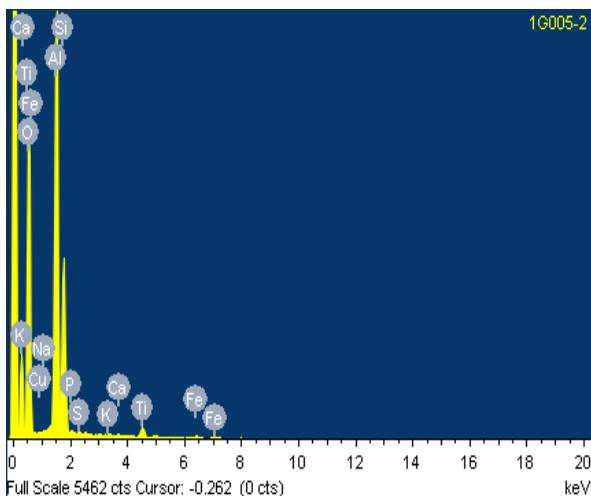
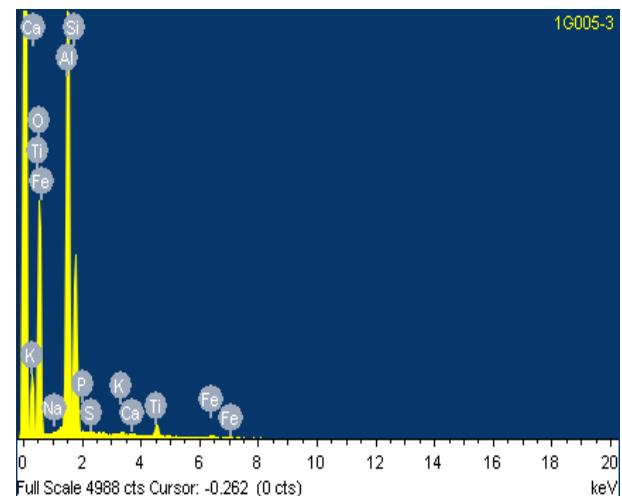


Figura 44 - Espectro de EDS do alvo 1 com elevada contagem de titânio, ferro e cálcio.

Nos grãos leves, ferro (Fe), titânio (Ti), silício (Si), alumínio (Al) e oxigênio (O) apresentaram altas contagens em todos os espectros. As maiores contagens de titânio, ferro e cálcio ocorreram no 1º alvo, declinando nos demais (Figuras 44, 45 e 46). Potássio (K), fosforo (P), enxofre (S) e cálcio (Ca) manifestaram-se em menores concentrações. Todos são elementos comuns em argilas depositadas em ambientes lacustres.



**Figura 45 - Espectro de EDS do segundo tiro com destaque à similaridade com os spectrogramas 1 e 3.**

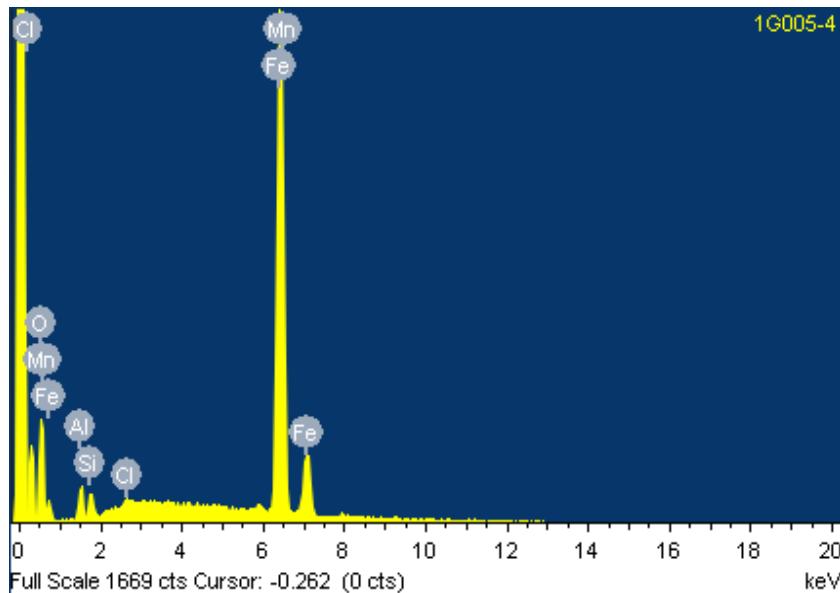


**Figura 46 – Espectro de EDS do terceiro alvo, menor contagem de Ti e Fe deste grupo.**

### 5.5.1.2 Espectrogramas nos pesados

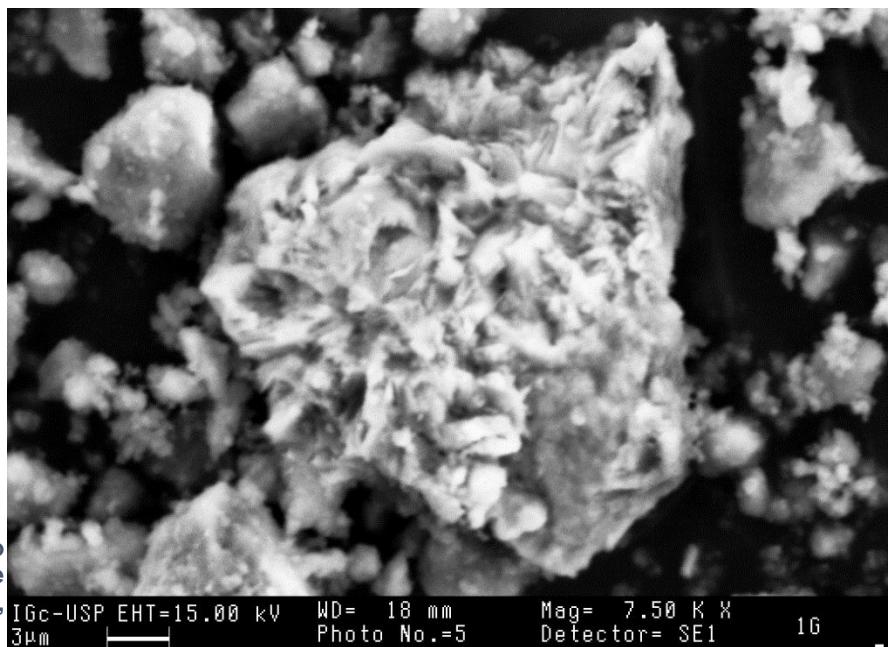
Os minerais pesados não apresentaram uma similaridade composicional tal como os alvos 1, 2 e 3. Ademais, esses grãos possuem hábitos e comportamentos distintos. No alvo 4, arestas angulares, maiores dimensões e brilho em ERE similar em toda a sua extensão caracterizam esse grão. Discordantemente, o 5º alvo exibe pequena dimensão, forma cilíndrica e áreas claras no topo e escuras na base do clasto.

No primeiro caso (4º alvo) destacam-se os picos de ferro (Fe), Manganês (Mn) e oxigênio (O) (Figura 47), indicativo de que se trata de um óxido de ferro e manganês. Silício (Si), alumínio (Al) apresentam-se em pequenas quantidades.

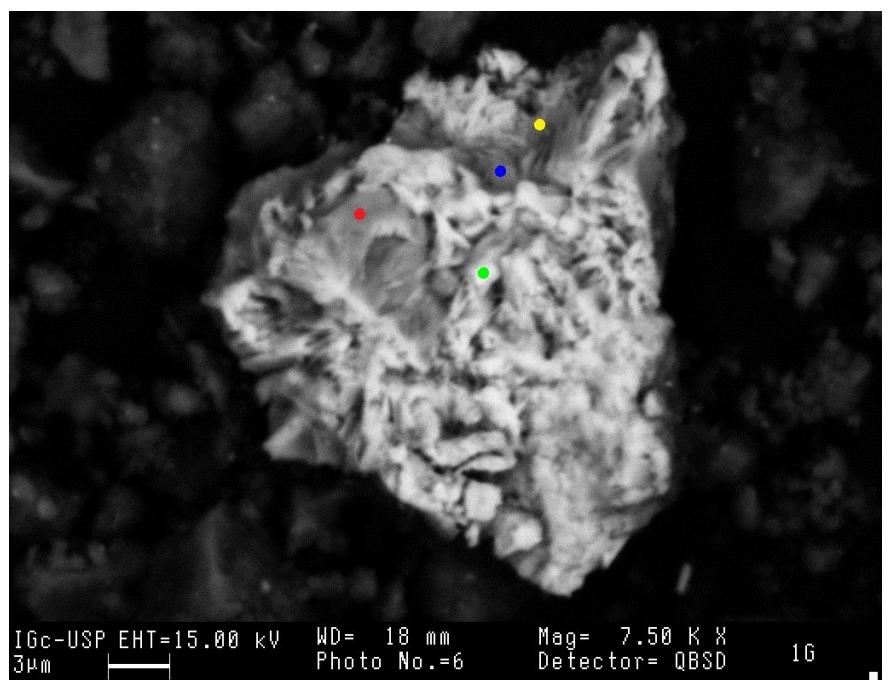


**Figura 47 - Espectro de EDS do 4º “disparo”. Observa-se altas contagens de manganês, ferro e oxigênio.**

Ao examinarmos a eletromicrografia produzida a partir de ES do grão (4º alvo), verificamos que os minerais secundários formados ou adsorvidos ao redor do grão, apresentam ora hábitos xenomórficos, ora fibrosos, todos frequentemente intercrescidos entre si (Figura 48).



No que diz respeito à composição destes argilo-minerais, manganês (Mn), ferro (Fe) e oxigênio (O) não variaram, consideravelmente, sua concentração nos pontos analisados, exceto no alvo 4, o qual apresentou teor abaixo dos demais (Figura 49 e anexo 9 - Figura D). Por outro lado, silício (Si) e alumínio (Al) apresentaram mudanças em suas concentrações, com picos mais elevados nos alvos 1 e 3 (Figura 49 e anexo 9 - Figuras A e C) e quase ausentes nos alvos 2 e 4 (Figura 49 e anexo 9 - Figuras B e D).



**Figura 49 –**  
Eletromicrografia do grão de óxido de ferro e manganês, 4º alvo geral da amostra P1i. Imagem obtida por ERE com a representação da localização dos pontos analisados por EDS, aumento de 7.500 x. Porções brancas na imagem que, possivelmente, são zonas menos intemperizadas do mineral.

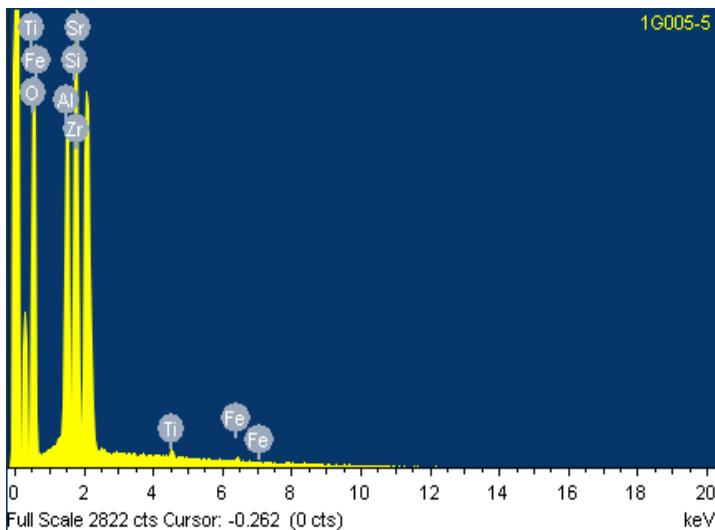


Figura 50 - Espectro de EDS do 5º alvo. Zr, O, Si, Al, Sr, Ti e Fe são os elementos presentes em maiores proporções.

No 5º alvo da amostra P1i, a presença de altas contagens de zircônio (Zr) associado a silício (Si) e oxigênio (O) apontam o zircão como provável mineral analisado. Estrôncio (Sr), alumínio (Al), titânio (Ti) e ferro (Fe) são elementos comumente encontrados como impurezas na estrutura cristalina do zircão (Brown, 1972) constituindo importante fração de sua composição química (Figura 50).

### 5.5.2 Zona profunda

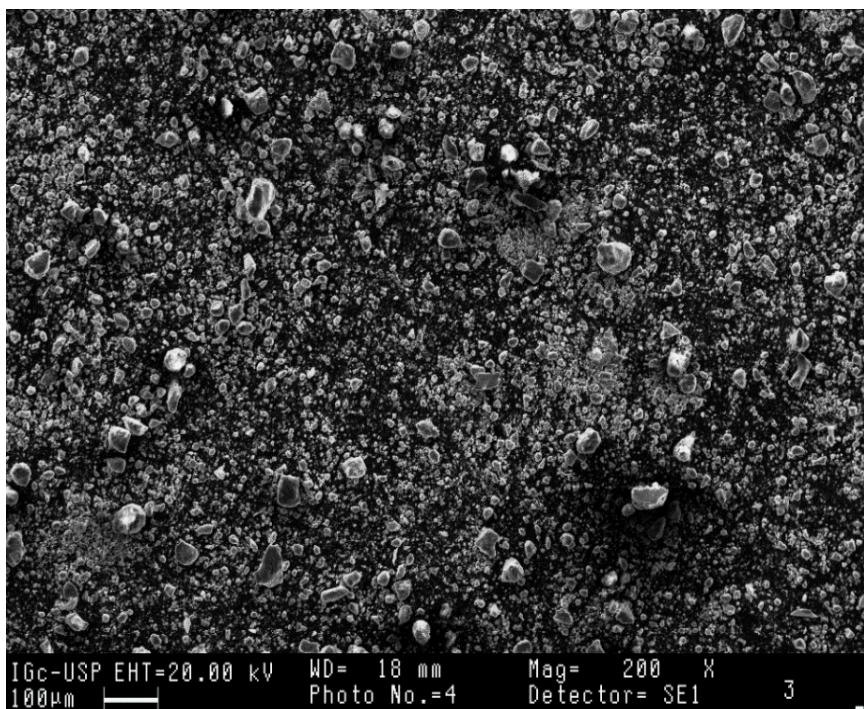
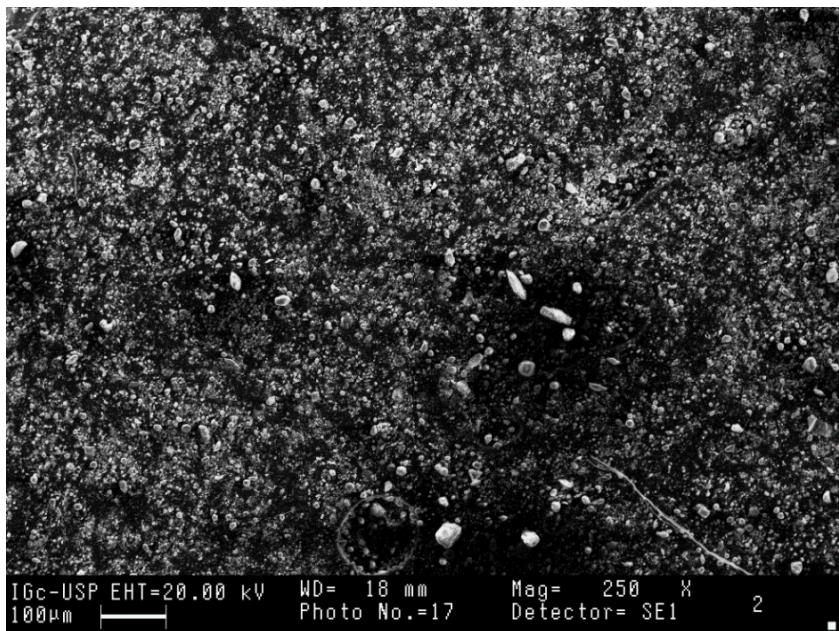


Figura 51 - Imagem da amostra P3R obtida por ES com aumento de 200 x. Observar a presença de arcabouços, em média, com 50  $\mu\text{m}$  a 100  $\mu\text{m}$ , além da maior quantidade relativa arcabouço/matriz em relação à Figura 52.

superiores, em ambos os quesitos, na amostra P3R (Figura 51) em comparação à amostra P1R (Figura 52).

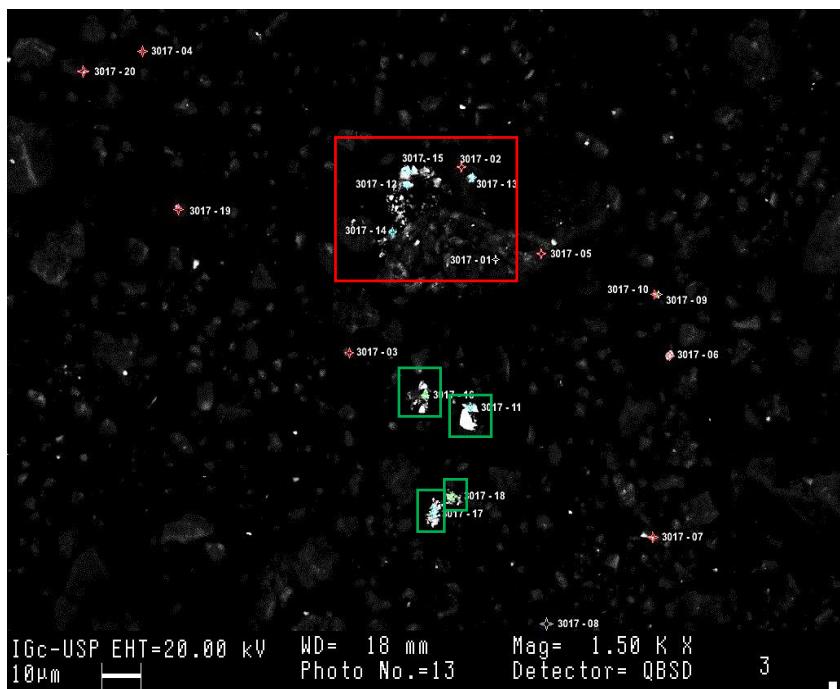
No que tange à morfologia dos grãos, formatos arredondados, subarredondados e bem arredondados, preferencialmente, de alta esferidade, são os mais frequentes. No entanto, morfologias subangulares alongadas de faces regulares e por vezes pontiagudas também são encontradas.

As argilas ricas em MO das amostras P1R e P3R pertencentes à zona profunda foram analisadas em Microscopia Eletrônica de Varredura. De modo geral, esses sedimentos apresentaram textura bimodal bem marcada. Contudo, as amostras diferenciavam-se na proporção arcabouço/matriz como também nas dimensões de seus arcabouços, com valores



**Figura 52 - Eletromicrografia da amostra P1R obtida por ES com aumento de 250 x. Observar a presença de arcabouços, em média, com 10  $\mu\text{m}$  a 40  $\mu\text{m}$ , além da menor proporção arcabouço /matriz em relação a Figura 51.**

Ao fazermos uma análise das eletromicrografias por elétrons retroespalhados (ERE) percebemos que os grãos portadores de altas concentrações de elementos pesados, eram encontrados, principalmente, na fração fina dos sedimentos argilosos (Figura 53). Esses grãos apresentavam-se, normalmente, de maneira pontual, distantes entre si. Todavia, eventualmente, observamos estruturas formadas por agrupamentos dessas partículas.



**Principais elementos químicos poluentes no grão**

- [Blue square] Presença de Cobre (Cu), Níquel (Ni) e Cromo (Cr)
- [Red square] Presença apenas de Cobre (Cu)
- [Green square] Presença apenas de Níquel (Ni) e Cromo (Cr)
- [Yellow square] Ausência de contaminantes

**Figura 53 – Eletromicrografia da amostra P3R obtida por ERE juntamente com localização dos pontos analisados por EDS, aumento de 1500 x. Grãos brancos na imagem são portadores de elementos pesados. Observar indicações de diferentes cores nos locais de análise por EDS (legenda das cores acima). Aglomeração de grãos pesados (arco) no centro – norte da imagem (em vermelho) e grãos isolados ricos em níquel (em verde).**

As figuras apresentadas na sequência exibem espectrogramas obtidos por espectrometria por energia dispersiva de raio-X (EDS) em 6 dos 20 pontos (Anexos 10, 11, 12, 13, 14) referenciados na Figura 53. Níquel (Ni), cromo (Cr) e cobre (Cu) foram os principais elementos poluentes encontrados na amostra. Os dois primeiros comumente estão associados entre si e presentes nos mesmos grãos, enquanto o último e, por vezes, o primeiro, estão disseminados em toda a amostra.

### 5.5.2.1 Níquel e cromo

O Níquel foi encontrado em três situações distintas: concentrados em estruturas formadas por aglomerações de grãos pesados (Figura 53), em partículas segregadas ricas em metais e disseminado na matriz, possivelmente, adsorvido em argilas muito finas. Nas duas primeiras situações, o níquel estava sempre associado a cromo, além de ferro e manganês.

#### 5.5.2.1.1 Grãos em aglomerados

As Figuras 54 e 55 mostram os espectrogramas de raio-x relacionados aos alvos 12 e 15, ambos localizados em grãos pertencentes ao arco aludido na Figura 53. Observa-se que ambos contêm elementos químicos muito semelhantes, no entanto, com concentrações levemente distintas.

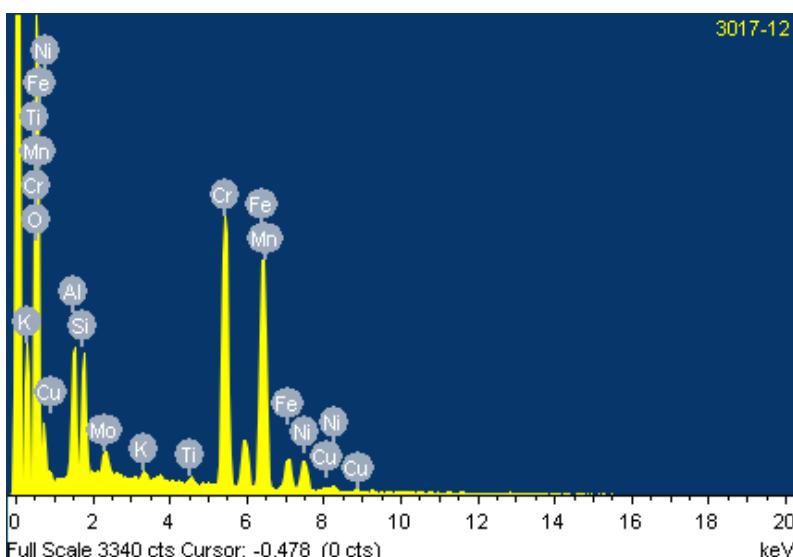


Figura 54 - Espectro de EDS do 12º alvo. Cu, Ni, Mo e Cr são os elementos contaminantes encontrados neste grão. Destaque para o Cr, um dos elementos de maiores proporções no grão.

Ferro (Fe), manganês (Mn), oxigênio (O) e cromo (Cr) foram os elementos de maior concentração nestes grãos, com destaque a Cr no 12º alvo e Fe e Mn no 15º alvo.

Alumínio (Al), silício (Si) e potássio (K) apresentaram contagens similares e medianas em ambas as análises.

Como parte dos elementos contaminantes, além do cromo mencionado acima, níquel (Ni), cobre (Cu) e molibdênio (Mo) foram encontrados. Entretanto, diferentemente do cromo, os três apresentaram teores baixos.

Convém mencionarmos que molibdênio apenas foi detectado no 12º alvo, grão o qual possui, em comparação com o 15º alvo, as maiores concentrações de níquel e cobre.

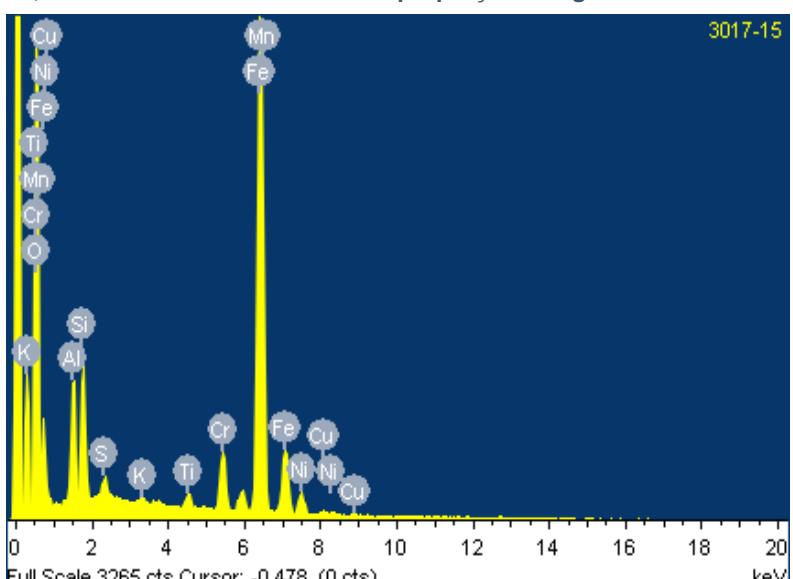


Figura 55 - Espectro de EDS do 15º alvo. Cu, Ni e Cr são os elementos contaminantes encontrados neste grão. Notar pequenas contagens dos três poluentes no espectrograma.

### 5.5.2.1.2 Grãos isolados

Os grãos isolados portadores de contaminantes revelaram elementos pesados similares aos aglomerados, ainda que em concentrações diferentes dos mesmos. Esse fato foi observado, a princípio, pela diferença na tonalidade dos grãos desagregados e agregados em eletromicrografias em ERE (Figura 53), com o 11º alvo mais claro e o 16º alvo levemente mais escuro do que os grãos pertencentes ao grupo descrito anteriormente.

Com a análise dos espectrogramas obtidos neste grupo de grãos, observamos que no primeiro caso (11º alvo), os picos de Fe e Mn apresentaram altas contagens, simultaneamente às altas contagens de Cr (Figura 56). Esse padrão químico dos pesados, difere dos grãos analisados acima, uma vez que os mesmos apresentaram ora altas contagens de Fe e Mn, ora altas contagens de cromo.

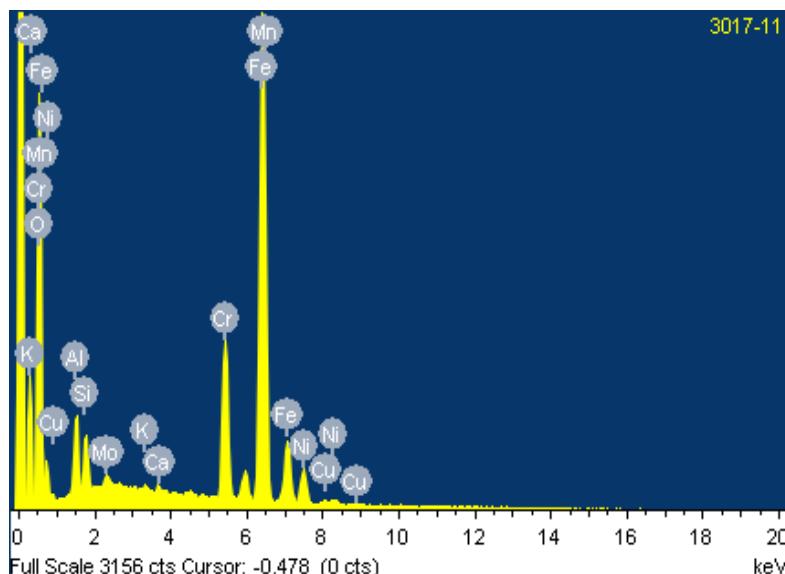


Figura 56 - Espectro de EDS do 11º alvo. Cu, Ni, Mo e Cr são os elementos contaminantes encontrados neste grão. Notar altas contagens de Fe e Mn simultaneamente às altas contagens de Cr na parte central do espectrograma.

No segundo caso (16º alvo), ferro, manganês, cromo e níquel mostraram baixas contagens (Figura 57), principalmente quando comparados aos níveis desses mesmos elementos presentes em grãos de níquel, analisados até o momento neste trabalho de formatura.

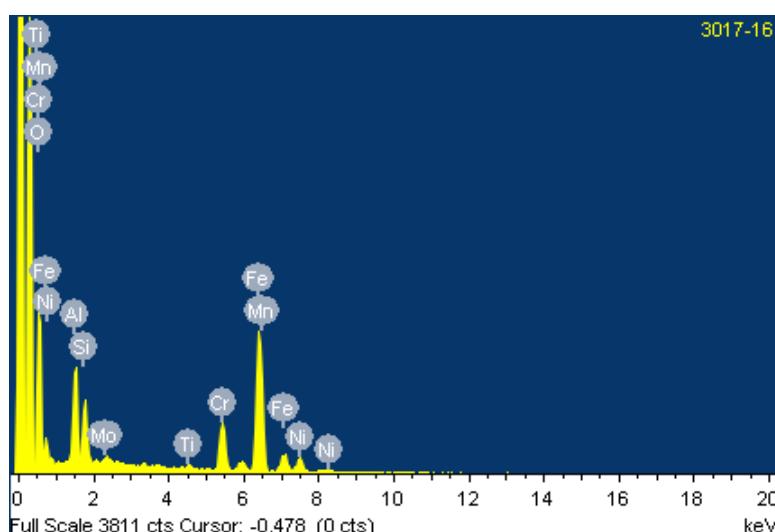


Figura 57 - Espectro de EDS do 16º alvo. Cu, Ni, Mo e Cr são os elementos contaminantes encontrados neste grão. Notar as baixas contagens de Fe e Mn simultaneamente às baixas contagens de Cr, Ni e Mo.

#### 5.5.2.1.3 Níquel disseminado

As figuras apresentadas a seguir mostram imagens produzidas por mapeamento de elementos químicos por EDS na amostra P3R, na mesma região das análises anteriores. A Figura 58 exibe os resultados para níquel, enquanto as Figuras 59 e 60 apresentam as determinações para ferro e cromo, respectivamente.

Nas Figuras 58, 59 e 60, níquel, ferro e cromo apresentaram maiores concentrações nas porções norte e sul, na faixa central da imagem (em vermelho). O local é coincidente com o conjunto de grãos estudados nos dois grupos descritos acima. Todavia, diferentemente de ferro e cromo, o níquel foi encontrado, também, disseminado em toda a matriz da amostra.

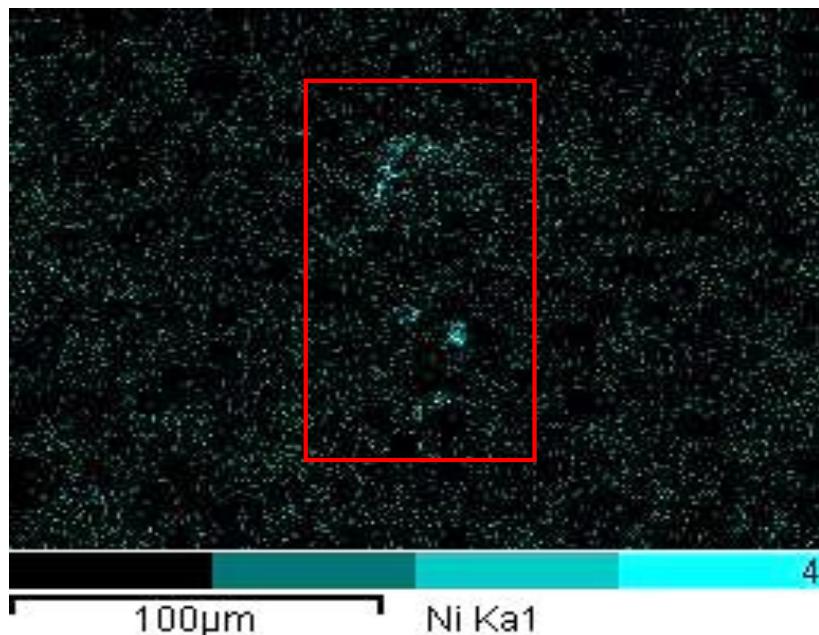


Figura 58 – Mapeamento químico elementar do Ni na amostra P3R, técnica realizada em MEV por EDS. Notar a presença de níquel em toda a amostra. Entretanto, maiores concentrações de Ni ocorrem na faixa central da imagem (dentro do retângulo vermelho).

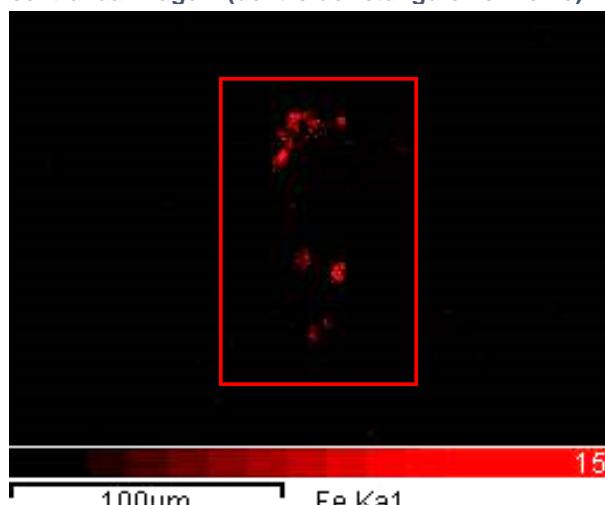


Figura 59 – Mapeamento químico elementar do Fe na amostra P3R, técnica realizada em MEV por EDS. Notar a presença de Ferro apenas na faixa central da amostra (retângulo vermelho).

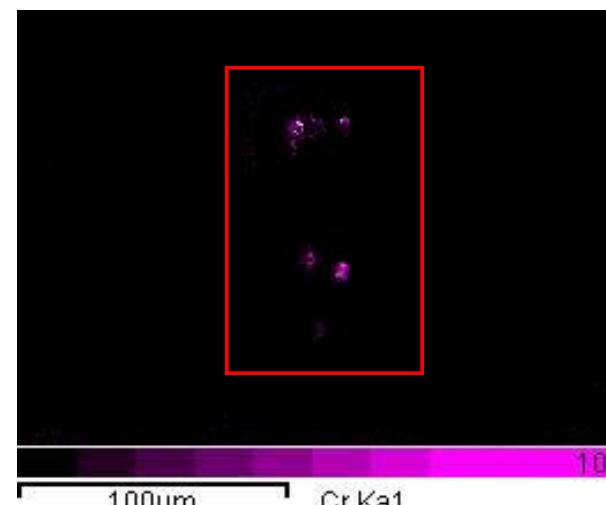


Figura 60 – Mapeamento químico elementar do Cr na amostra P3R, técnica realizada em MEV por EDS. Notar a presença de cromo apenas na faixa central da amostra (retângulo vermelho).

### 5.5.2.2 Cobre

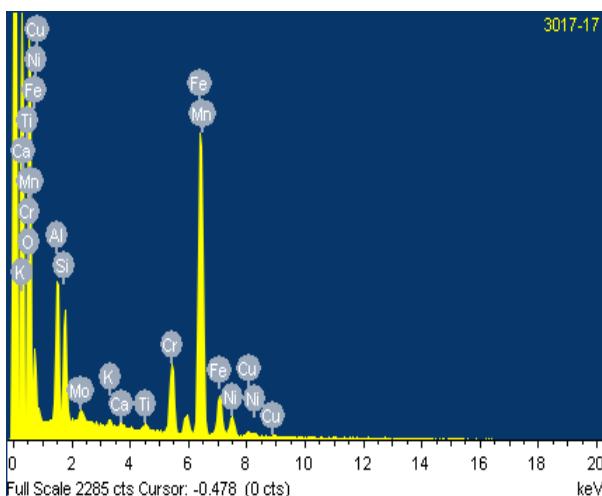
Ao analisamos os dados obtidos por microscopia eletrônica de varredura, percebemos que o cobre se manifestava nos mais variados tipos de grãos: desde grãos de baixa refletância em ERE, ausentes de elementos contaminantes, alongados e arredondados ( $1^{\circ}$ ,  $2^{\circ}$ ,  $3^{\circ}$ ,  $5^{\circ}$  alvo) a grãos de altas refletâncias, ricos em poluentes e angulosos ( $11^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ ,  $16^{\circ}$  e  $17^{\circ}$  alvo). Entretanto, suas concentrações apresentaram-se baixas em todos os grãos que indicavam cobre, exibindo, nos espectrogramas de EDS, picos diminutos (anexos 10, 11, 12, 13 ,14 e 15).

A Tabela 7 expressa os resultados da análise em EDS em grãos amostrados em duas porções distintas da amostra. As duas primeiras colunas destacam os elementos presentes e os de maiores concentrações encontrados em cada um dos espectros analisados, enquanto a última coluna realça apenas os elementos contaminantes. Observamos que o cobre aparece na maioria das análises realizadas, além de estar associado a grãos de naturezas diferentes.

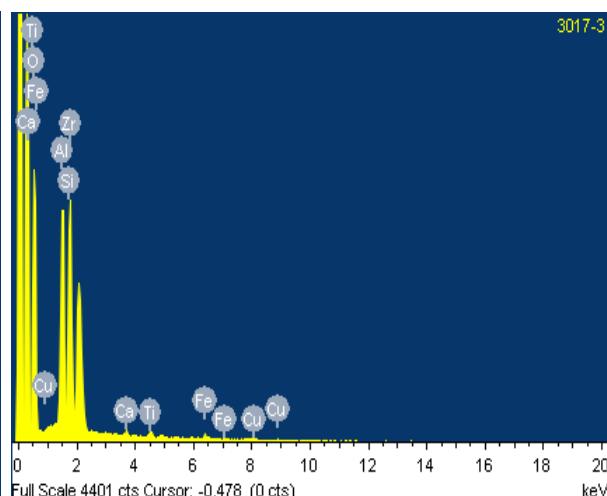
Zona profunda - Amostra P3R			
Espectro	Elementos presentes	Elementos de maior concentração	Contaminantes
3006-1	Fe,Mn,O,Si,Al,Cu	Fe,Mn,O	Cu
3006-2	Mn,O,Ti,Cu,Fe,Mg,Si,Al,Ca	O,Mn,Fe	Cu
3006-3	La,O,Ca,Ce,Nd,Al,Si,Th,P,Th	Th,P,O	
3006-4	Cu,Fe,Ca,Cl,Mn,O,Cu,S,Al,Si	Fe,Mn,O	Cu
3006-5	Zr,Si,Ti,Fe,O,Cu,Al	Zr,Si,O	Cu
3017-1	Cl,Ca,Ti,Fe,O,Al,Si,Mg,Si,P,S,K	Ca,Ti,Fe,O,Si,Al,Mg	
3017-2	Fe,Ti,O,K,Cu,Al,Si,K	Fe,Ti,O	Cu
3017-3	Ca,Ti,Fe,O,Cu,Al,Si,Zr	Fe,O,Ti,Ca,Si,Al,Zr	Cu
3017-4	Ca,Fe,O,Cu,Al,Si,Zr,K,Na,S,P,Ba	Fe,O,Ca,K,Al,Si,S	Ba e Cu
3017-5	Fe,Ti,O,K,Cu,Al,Si,K,Ca	Al,Si,Fe,Ti,O,Ca	Cu
3017-6	Ti,O,Al,Si,Cu	Ti,O	Cu
3017-7	Fe,Ti,O,K,Cu,Al,Si,Ca	Ti,Fe,O	Cu
3017-8	Fe,Ti,O,Al,Si,Sr,Yb	Fe,Ti,O,Al,Si,Sr	Sr
3017-9	Ti,O,Fe,Al,Si	Ti,Fe,O	
3017-10	Ti,Fe,O,Al,Si,Cu	Ti,Fe,O	Cu
3017-11	Ca,Fe,Ni,Mn,Cr,O,K,Cu,Al,Si,Mo	Ni,Mn,Cr,O,Fe	Cu,Ni,Mn,Cr,Mo
3017-12	Ca,Fe,Ni,Mn,Cr,O,K,Cu,Al,Si,Mo	Ni,Mn,Cr,O,Fe	Cu,Ni,Mn,Cr,Mo
3017-13	Ca,Fe,Ni,Mn,Cr,O,K,Cu,Al,Si,Mo,Ti	Ni,Mn,Cr,O,Fe,Si	Cu,Ni,Mn,Cr,Mo
3017-14	Ca,Fe,Ni,Mn,Cr,O,K,Cu,Al,Si,Mo,Ti	Ni,Mn,Cr,O,Fe	Cu,Ni,Mn,Cr,Mo
3017-15	Ca,Fe,Ni,Mn,Cr,O,K,Cu,Al,Si,Mo,Ti	Ni,Mn,Cr,O,Fe	Ni,Mn,Cr
3017-16	Ni,Ti,Cr,Mn,O,Fe,Al,Si	Cr,O,Ti,Mn,Fe	Ni,Mn,Cr,Mo
3017-17	Ca,Fe,Ni,Mn,Cr,O,K,Cu,Al,Si,Mo,Ti	Cr,O,Ti,Mn,Fe,Ca,Al,Si	Cu,Ni,Mn,Cr,Mo
3017-18	Ti,Cr,O,Ca,Fe,Ni,Mo,K,Ca	Ca,O,Fe,Ni,Cr,Ti	Ni,Cr,Mo
3017-19	Ti,Fe,O,Cu,Al,Si	Ti,O	Cu
3017-20	Ti,Fe,O,Cu,Al,Si	Ti,Fe,O	Cu

Tabela 7 – Resultados da análise dos espectrogramas de raio-x confeccionados, a partir, de tiros de EDS em grãos pertencentes à amostra P3R (zona profunda). A última coluna destaca os elementos contaminantes encontrados nas análises. O Cobre está destacado em vermelho e o níquel em verde.

As Figuras 61 e 62 representam os espectrogramas de dois grãos analisados na amostra P3R com características químicas e morfológicas contrastantes. Observamos que em ambos os grãos, o elemento químico cobre manifesta-se de maneira similar, com teores muito baixos.



**Figura 61 - Espectro de EDS do 17º alvo.** Cu, Ni, Mo e Cr são os elementos contaminantes encontrados no grão, exceto Cu, que apresentou baixíssimas contagens de Ni e Cu.



**Figura 62 - Espectro de EDS do 3º alvo.** Notar a ausência de poluentes no grão, exceto Cu, que apresentou baixíssimas contagens.

## 6 INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados das análises macroscópicas e de teor de orgânicos retrataram características distintas nos sedimentos coletados nas diferentes zonas morfológicas. Na zona crítica, argilas negras altamente bioturbadas, com teores de aproximadamente 16% de matéria orgânica (MO), prevaleciam na superfície deste domínio. Na zona profunda, argilas ricas em matéria orgânica, com teores de 46% a 52%, ausentes de vegetação, descreviam os sedimentos típicos dessa região.

Conjuntamente às informações descritas acima, as determinações dos elementos químicos Cu, Ni, Pb, Cr, Zn, Ba, Mn e Ti por ICP-EOS evidenciaram, claramente, um enriquecimento químico relativo dos elementos em cada um dos domínios morfométricos. As amostras localizadas na zona crítica, apresentaram valores superiores de níquel, cromo, chumbo e titânio, em comparação à zona profunda. Já os teores de cobre, manganês e zinco eram, nitidamente, maiores na zona profunda.

Esses elementos também apresentaram diferenças em sua estabilidade química frente às mudanças sedimentológicas e biológicas entre os domínios. Conforme as Figuras 34, 35, 36, 37, 38, 40 e 41, cobre, manganês e zinco apresentaram uma diminuição acentuada de suas concentrações (queda de 97% nos teores de Cu, 94% nos de Mn e 82% nos de Zn), enquanto níquel, chumbo, cromo e titânio alteraram pouco seus teores entre as zonas (elevação de 11% nos teores de Ni, 22% nos de chumbo, 27% nos de cromo e 69% nos de titânio).

Levando em consideração esses aspectos, acreditamos que a presença de vultosa vegetação na zona crítica e sua ausência na zona profunda, provavelmente, provocou o fracionamento químico dos contaminantes em virtude do consumo dos elementos químicos

cobre, manganês e zinco como micronutrientes para o metabolismo vegetal (aspecto confirmado no trabalho de Epstein, 1965).

## **6.1 Discussão referente aos elementos químicos poluentes problemáticos encontrados nos sedimentos de fundo da zona profunda.**

Considerando as restrições ambientais estabelecidas por CETESB (2014) – Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – e CONAMA (2012) – Valores Orientativos para Sedimentos de Material Dragado, bem como os dados apresentados na Tabela 6 observamos que apenas cobre, zinco e níquel manifestaram teores preocupantes nos sedimentos de fundo situados na zona profunda. Sendo assim, discutidos a seguir:

### **6.1.1 Cobre**

Sobre o elemento químico cobre, apresentado nas Tabelas 4, 5 e 6 e Figura 34, observamos que seus teores são de 15 a 20 vezes maiores do que VP, porém, abaixo de VI, classificando-o, deste modo, classificando seus sedimentos como péssimo (acima de TEL), segundo CETESB (2015) e classe II, conforme CETESB (2014) e CONAMA (2012).

Nas análises em MEV/EDS (Tabela 7 e Figuras 62 e 63) ficam evidentes três principais características geoquímicas deste elemento: sua disseminação em toda a amostra, pequenas concentrações pontuais e sua associação a grãos que exibem os elementos Fe, Al, Si e O em sua constituição. Tal comportamento químico nos permite inferir, em última análise, que o cobre está adsorvido, provavelmente, nas paredes das argilas negras ferruginosas, típicas dessa região.

Dado o exposto, provavelmente a presença de altos teores de cobre nesses sedimentos e sua disseminação amostral podem estar ligados à aplicação de augicidas de sulfato de cobre, com a finalidade de controlar a proliferação de algas potencialmente tóxicas no reservatório (Fregona & Sígolo, 2017). Tal conclusão é análoga à de Leal (2014), autor defensor da hipótese de que mais de 4.500 toneladas de Cu estão depositadas nos sedimentos do reservatório da Guarapiranga, em função da prática anteriormente descrita.

### **6.1.2 Níquel**

Sobre o elemento químico níquel, representado nas Tabelas 4, 5 e 6 e na Figura 35, constatamos que todos os seus valores se apresentam acima de VP, com teores 30 a 40x maiores do que esse limite, no entanto, como o Cu, abaixo de VI. Em virtude do apresentado, a classificação de seus sedimentos segundo CETESB (2015), os rotula como péssimos, e conforme CETESB (2014) e CONAMA (2012) como resíduos de classe II.

Pela observação dos dados obtidos por MEV/EDS, representados nas Figuras 53, 54 e 55, e 58, 59 e 60, o níquel pode ser encontrado, fundamentalmente, em dois arquétipos

principais: em grãos angulares, de espessura média entre 2 a 10 µm, com composição metalífera constituída, fundamentalmente, de Cr, Fe, Mn e Ni, por vezes, molibdênio, e disseminado em toda a matriz, com ausência de Fe e Cr associado ao elemento Ni.

Vale mencionamos que no primeiro caso, dos elementos químicos referenciados acima, apenas Fe e Mn apresentam, na grande maioria dos casos, concentrações granulares elevadas, tendo o cromo e o níquel comportamento inconstante nas análises, com o cromo variando entre teores altos a medianos, e o níquel raramente apresentando teores medianos, mais frequentemente, baixos teores.

Por todos esses aspectos, acreditamos que os grãos constituídos de Cr, Mn, Fe e Ni, composição típica do aço (Chiaverini, 1982), possivelmente, sejam partículas provenientes ou de estruturas de aço não utilizadas na construção das edificações margeantes a Guarapiranga (restaurantes, moradias, edifícios etc.), ou como parte dos cascos de embarcações (veleiros, jet skis etc.) que trafegam atualmente pela represa.

No entanto, com base nas análises químicas realizadas em ICP –EOS, observamos teores muito elevados de níquel em todas as amostras, normalmente, de 8 a 10x maiores do que as concentrações de cromo. Esses valores são incongruentes aos encontrados nos espectrogramas de EDS, onde o níquel sempre manifestou contagens inferiores às de cromo.

Dessa maneira, possivelmente, a fonte do níquel não está apenas relacionada aos grãos discutidos acima, uma vez que todos os grãos positivos para níquel eram, simultaneamente, constituídos de cromo.

Logo, acreditamos que o níquel possa, provavelmente, possuir duas fontes: uma relacionada aos grãos de aço sólidos despejados na represa e uma associada, possivelmente, a materiais niquelíferos dissolvíveis (produtos químicos), posteriormente adsorvidos por argilas orgânicas muito finas, presentes em toda a matriz desse sedimento.

#### 6.1.3 Zinco

Por fim, como parte dos elementos contaminantes preocupantes, o elemento zinco, retratado nas Tabelas 4, 5 e 6 e na Figura 38, exibiu teores totais acima do Valor de Prevenção, no entanto, felizmente, próximo deste limitante e muito distante do VI. Deste modo, as concentrações obtidas podem ser classificadas como boas, segundo CETESB (2015), e seus sedimentos como classe II, conforme CETESB (2014) e CONAMA (2012).

#### 6.1.4 Classificação dos sedimentos

Tendo em vista os dados retratados anteriormente, os sedimentos deste domínio são classificados como resíduos sólidos de classe II. Dessa forma, o tratamento dos sedimentos, nos quesitos de dragagem e disposição, devem seguir às normas vigentes para a respectiva classificação do grupo.

De acordo com o **Art. 10**, da resolução 454, outorga das diretrizes gerais para gerenciamento de material dragado em águas sob jurisdição nacional, estabelecida pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente. Os sedimentos desse domínio não necessitam de encaminhamento para unidades de disposição confinada ou aterros licenciados. No entanto, estudos de viabilidade técnica e locacional de implantação e programas de monitoramento no local de disposição são obrigatórios, sendo definidos a critério do órgão ambiental licenciador.

## **6.2 Discussão referente aos elementos químicos poluentes problemáticos encontrados nos sedimentos de fundo da zona crítica.**

Os resultados das análises de química total dos sedimentos de fundo situados na zona crítica trazem preocupação quanto as restrições ambientais estabelecidas pela CETESB, sobretudo devido aos teores de cromo, níquel e chumbo estarem acima do Valor de Prevenção (VP). Todavia, com sorte, abaixo dos Valores de Intervenção (VI).

As Tabelas 4, 5 e 6 e a Figura 35 expõem os resultados para o elemento químico níquel. Esse apresenta teores aproximadamente 45x maiores do que VP, classificando seus sedimentos como péssimos, de acordo com o Índice de Qualidade das Águas promovido por CETESB (2015). Segundo CETESB (2014) e CONAMA (2012), seus teores os colocam como classe II.

Sobre o elemento químico chumbo, apresentado nas Tabelas 4, 5 e 6 e Figura 36, observa-se teores próximos do Valor de Prevenção, ultrapassando-o em apenas 22 ppm. Entretanto, pela alta toxicidade desse elemento, pequenas concentrações acima de VP são suficiente para classificar seus sedimentos como ruins (acima de TEL), segundo CETESB (2015), e classe II, conforme CETESB (2014) e CONAMA (2012).

Como elemento químico contaminante acima do Valor de prevenção, o cromo apresentou os teores mais próximos de VP, com apenas 0,6 ppm acima desse padrão de qualidade. Por essa razão, CETESB (2015) classifica os teores retratados por esse elemento como bons, e CETESB (2014) e CONAMA (2012), rotula seus sedimentos como classe II.

### *6.2.1 Comparação entre os resultados obtidos em MEV/EDS e em análise química total.*

Os resultados das análises químicas totais dos sedimentos de fundo mostraram-se, em parte, contraditórios aos das análises realizadas em MEV/EDS. Os elementos cromo, níquel e chumbo encontrados em química total não foram observados em Microscopia Eletrônica de Varredura, muito menos os elevados teores obtidos em tal análise (Figuras 35, 36 e 37).

Conforme eletromicrografias e espectrogramas apresentados nas Figuras 47 a 50 e no anexo 9, os minerais pesados analisados continham apenas os elementos Fe, Ti, O, Al, Zr, Mn, Si, Ca e Sr, não sendo observados os elementos Ni, Cr e Pb.

Dessa maneira, em contrariedade aos resultados obtidos em análises químicas, os sedimentos da zona crítica apresentaram-se puros em MEV, sem qualquer contaminante definido por CONAMA (2012) e CETESB (2014, 2015), o que pode estar relacionado, em última análise, a investigação extremamente pontual da ferramenta MEV.

#### 6.2.2 *Classificação dos sedimentos*

Em vista dos argumentos apresentados e das normas estabelecidas por CONAMA (2012) e CETESB (2014), os sedimentos desse domínio, similarmente ao anterior, são classificados como resíduos de classe II, tendo orientação e coordenação técnica de sua remoção idênticas aos sedimentos do domínio anterior.

Entretanto, os resultados obtidos em MEV trazem desconforto e desconfiança, sendo interessante, conforme o autor do presente trabalho de formatura, a análise em MEV de mais uma alíquota, como forma de averiguar precisamente o comportamento desta zona.

## 7 CONCLUSÃO

A problemática deposição de sedimentos na margem leste da Guarapiranga vem causando adversidades e, muitas vezes, interrupções nas atividades dos clubes instalados no local. Esse obstáculo, há muito tempo, esteve sem solução, com o impedimento da retirada dos sedimentos assoreados pelos principais órgãos ambientais (no caso EMAE) e pela prefeitura de Santo Amaro. Com isso, a busca por uma metodologia eficaz visando auxiliar aos clubes do local a viabilizarem empreendimentos de dragagem tornou-se necessária.

O tratamento proposto para a solução teve por meta a caracterização da área e dos sedimentos problemáticos assoreados no local, segundo as orientações e normas definidas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente e pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Como trabalho técnico/metodológico, o presente estudo alcançou seus objetivos, de modo que proporcionou o conhecimento morfométrico da área de estudo, além da localização e caracterização química dos sedimentos problemáticos. Desta maneira, as conclusões alcançadas estão listadas a seguir:

- I. O levantamento batimétrico mostrou-se necessário, uma vez que orientou as etapas de amostragens e dragagem. Na primeira, em decorrência da correlação positiva entre as mudanças de relevo (domínios morfométricos) e a alteração das características dos sedimentos. Na segunda, como auxílio para delimitação da área a ser dragada e para o cálculo do volume a ser retirado.
- II. A delimitação das áreas que serão dragadas deve ser inferida utilizando-se as profundidades obtidas na estação seca, devido à diminuição acentuada na espessura da lâmina d'água na Guarapiranga.

- III. Os sedimentos de fundo da zona crítica e da zona profunda apresentaram características sedimentológicas parecidas, argilas negras ricas em matéria orgânica. No entanto, apenas a zona crítica apresentou vegetação e bioturbações.
- IV. Os sedimentos de fundo de ambas as zonas apresentaram teores de M.O acima do valor de alerta estabelecido por CONAMA (2012) e CETESB (2014).
- V. As amostras da zona profunda apresentaram teores diferentes dos elementos poluentes, em comparação com as concentrações encontradas na zona crítica.
  - a. Zona crítica: enriquecimento de Ni, Cr, Pb e Ti e empobrecimento de Cu, Mn e Zn.
  - b. Zona profunda: enriquecimento de Cu, Mn e Zn e empobrecimento de Ni, Cr, Pb e Ti.
- VI. Níquel, Cromo e Chumbo excederam os Valores de Prevenção (VP) na zona crítica, e cobre, níquel e zinco na zona profunda.
- VII. Os resultados em MEV apresentaram indicações concordantes com as análises de química geral em ICP-EOS nas amostras P3R e P1R (zona profunda). Entretanto, essa correspondência não foi observada na amostra P1i (zona crítica), onde em MEV mostrou-se pura (sem a presença de contaminantes) e em análises químicas, com teores elevados de níquel, cromo e chumbo.
- VIII. Os sedimentos da zona profunda apresentaram classificações similares aos sedimentos da zona crítica, segundo o Índice de Qualidade das Águas proposto por CETESB (2015). Ambos foram classificados como péssimos. Desse modo, acredita-se que esses sedimentos são prejudiciais tanto à biota presente no reservatório quanto a qualidade de suas águas.
- IX. Os sedimentos da zona profunda apresentaram classificações similares aos sedimentos da zona crítica, conforme CETESB (2014) e CONAMA (2012). Ambos foram classificados como resíduos de classe II. Dessa maneira, esses sedimentos devem ser dispostos de maneiras similares, necessitando de estudos de viabilidade técnica e locacional de implantação e programas de monitoramento no local de disposição.

Considerando as conclusões acima expostas, podemos admitir que a retirada dos sedimentos, considerando as restrições ambientais aqui apresentadas, mostra-se necessária, uma vez que as concentrações dos contaminantes, nos sedimentos de ambos os domínios, apresentam-se muito elevadas para ambientes aquáticos, pondo em risco a biota local e saúde da população abastecida pelas águas da represa Guarapiranga. Do ponto de vista técnico, a retirada dos sedimentos é possível, desde que sigam-se as normas e diretrizes impostas por CONAMA (2012) e CETESB (2014).

## **8 CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS**

A aceitação de um empreendimento de dragagem em águas doces, depende, em última instância, da apresentação do conjunto de dados e informações requeridos, em lei, pelo órgão ambiental licenciador estadual e/ou nacional. No caso do estado de São Paulo, a resolução nº 454 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), o Índice de Qualidade das Águas – 2015 e os Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2014 da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) são as diretrizes e os procedimentos padrões que devem ser obedecidos e seguidos.

De acordo com a CONAMA (2012), o levantamento batimétrico da área a ser dragada; a delimitação e localização da área a ser dragada; a caracterização do sedimento a ser dragado (física e quimicamente); o esperado volume a ser dragado; a delimitação das áreas de disposição; o cronograma de execução e as características dos equipamentos de dragagem são, primordialmente, os dados esperados no relatório conceitual de dragagem.

No desenvolver desse Trabalho de Formatura o objetivo principal foi formular e resolver os três primeiros quesitos dessa determinação, já que os outros itens estão a cargo da diretoria do clube e da empresa responsável pela execução da dragagem, mas entendeu-se que diante dos dados obtidos fosse interessante adicionar essas considerações nesse caso.

### **8.1 Discussão pertinente ao levantamento batimétrico, localização da área, metodologia de remoção e volume esperado de dragagem.**

A delimitação da área e o volume de material a ser dragado dependem, principalmente, da profundidade do canal, devido ao limitante de 1,9 m de lâmina d'água para o tráfego de veleiros. Esse parâmetro varia consideravelmente ao longo do ano, com níveis maiores na estação úmida e menores na seca.

No caso do YCSA, o levantamento batimétrico realizado na estação úmida apresentou apenas uma pequena área crítica, com menos de 1,9 m de profundidade, ao norte do píer (anexo 4). Essa configuração alterou na estação seca, uma vez que foi observado aproximadamente 1,5 metros de rebaixamento do nível de água na seca. Desta maneira, a zona profunda e a região de transição entre ela, anteriormente consideradas ótimas para a navegação, passaram a serem consideradas, em sua maior parte, críticas (anexo 15).

Convém lembrarmos que a zona lateral não se configura como zona crítica, mesmo possuindo, em sua totalidade, profundidades menores do que 1,9 m na seca. Tal fato ocorre devido à sua localização ao lado do píer, fora da rota de navegação.

O método de remoção do material não foi decidido devido à variedade de métodos e a mudança da estratégia dependendo das condições hídricas do reservatório. Entretanto, as diretrizes gerais foram estabelecidas. Assim sendo, pretende-se retirar os sedimentos de fundo apenas na faixa central do canal principal de modo a produzir uma estrutura côncava

em seu substrato. Dessa maneira, um canal arredondado se formará, com um centro profundo (local preferencial do tráfego de embarcações) e bordas rasas (Anexo 16 – Figura A).

Levando-se em consideração esses aspectos, juntamente com os resultados das discussões com a diretoria do clube, decidiu-se por retirar entre 0,8 m a 1,5 m de sedimentos na faixa central da zona profunda, prolongando a área de remoção até o banco arenoso localizado a 150 m da costa (Anexo 16 – Figura B). Conforme anexo 15 e 16 (Figura B), a área de remoção terá aproximadamente 1.800 m<sup>2</sup>, com 12 metros de largura e 150 metros de comprimento. Portanto, o volume retirado de sedimentos será de, no mínimo, 1.440 m<sup>3</sup>, caso se decida retirar 0,8 m de sedimentos, e de no máximo 2.700 m<sup>3</sup>, caso se decida retirar 1,5 m de sedimentos. Dessa maneira, conforme pesquisa realizada pelo autor e orientador do presente trabalho de formatura, o preço médio por m<sup>3</sup> de sedimentos retirados por dragas no estado de São Paulo é de 25 reais, consequentemente, com base nos volumes estimados, o valor desse empreendimento pode variar de 36.000 reais à 67.500 reais.

## 9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Lei nº 13.577, de 08 de julho de 2009. Dispõe sobre as diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, e dá outras providências correlatas. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislação/lei/2009/lei-13577-08.07.2009.html>>. Acesso em: 30 abr. 2017.

BEVILACQUA, J. E. Estudos Sobre a Caracterização e a Estabilidade de amostras de Sedimento do Rio Tietê – SP. Dissertação (Doutorado) - Instituto de Química da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1996.

CABRAL, J. B. P. Análise da sedimentação e aplicação de métodos para tomada de medidas mitigadoras quanto ao processo de assoreamento no reservatório de Cachoeira Dourada – GO/MG. 2006. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2006.

CARVALHO N.O. 1994. Hidrossedimentologia prática. Rio de Janeiro: Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CRPM): ELETROBRAS, p. 370 a 375.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Apêndice C – Índice de Qualidade das Águas - 2015. São Paulo: CETESB, 2015. Disponível em: <<http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-e-relatorios/>>. Acesso em: 30 abr. 2017.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Decisão de Diretoria nº 045/2014/E/C/I, de 20 de fevereiro de 2014. Publicada no DOU no 045, de 20/02/2014, p. 53 - Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2014, em substituição aos Valores Orientadores de 2005.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo 2015. São Paulo: CETESB, 2015. Disponível em: <<http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-e-relatorios/>>. Acesso em: 15 abr. 2017.

CHIAVERINI, V. Aço e ferros fundidos. São Paulo: ABM – Associação Brasileira de Metais, 1982. p. 321-358.

COBRAPE - Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos. Atualização do Plano de desenvolvimento e proteção ambiental da Bacia Hidrográfica da Guarapiranga (PDPA - Guarapiranga). São Paulo. 2011. p. 5-10.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 454, de 01 de novembro de 2012. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=693>>. Acesso em: 22 abr. 2017.

COOKE, G.D.; WELCH, E.B; PETERSON, S.A.; NICHOLS, S.A. Restoration and management lakes and reservoirs. Boca Raton, FL: CRC Press, 2005. p. 23 - 26 e 47 - 53.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Mapa Geológico do Estado de São Paulo. [Escala] 1:750.000. Organizado por PERROTTA, M. M. et al. 2005 - Programa Geologia do Brasil. São Paulo: CPRM, 2006.

EMPLASA. Mapa de uso e ocupação do solo na Região Metropolitana de São Paulo. São Paulo: EMPLASA, 2005. Escala 1:25.000.

EPSTEIN, P. Mineral metabolism. IN: BONNER, J.; VARNER, J.E (eds.). Plant Biochemistry. London: Academic Press, 1965. P.438 – 466.

FATORELLI, C. As indústrias e a desindustrialização em Santo Amaro. In: Brasil: Estado Forte de Povo Fraco – Tecnicismo Forçado. 2010. Disponível em: <http://www.carlosfatorelli27013.blogspot.com.br/2010/11/as-industrias-e-desindustrializacao-em.html>. Acesso em: julho de 2017.

FRAZÃO, R.H. O emprego do GPR na caracterização da Superfície e depósitos de fundo da represa Guarapiranga, São Paulo / SP. Dissertação de Mestrado - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, USP, São Paulo, SP, 2006. P. 4 – 11.

FREGONA, L.G.G., SÍGOLO, J. B. Determinação da qualidade de sedimentos de fundo visando sua caracterização para fins de dragagem e disposição ambiental apropriada. XVI Congresso Brasileiro de Geoquímica. Armação dos Búzios, RJ, 2017. Pôster.

GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J.; PIERANGELI, M. A. P.; ZULIANI, D. Q.; CAMPOS, M. L.; MARCHI, G. Elementos traço em solos e sistemas aquáticos. Tópicos Ci. Solo, n. 4, p. 345-350, 2005

HENRY, R.; NUNES, M.A.; MITSUKA, P.M.; LIMA, N.; CASANOVA, S.M.C. Variação espacial e temporal da produtividade primária pelo fitoplâncton na represa de Jurumirim (rio Paranapanema, SP). Rev. Brasil. Biol., São Carlos, 1998. p. 578-588.

HERING, J. G. Implications of complexation, sorption and dissolution kinetics for metal transport in soils. In: ALLEN, H. E.; HUANG, C. P.; BAILEY, G. W.; BOWERS, A. R. Metal speciation and contamination of soil. Boca Raton, Lewis Publishers, 1994. p. 61- 94.

HORTELLANI, M. A; JORGE, E. S. S; ABESSA, D. M. S; SOUSA, E. C. P. M. Avaliação da contaminação por elementos metálicos dos sedimentos do estuário Santos – São Vicente. Química Nova, v. 31, no.1, 2008 p. 10-19

JESUS, H. C; COSTA, E. A; MENDONÇA, A. S. F; ZANDONALE, E. 2004. Distribuição de metais pesados em sedimentos do sistema estuarino a ilha de Vitória – ES. Química Nova, v. 27, no 3. São Paulo, 2004.p. 378-386.

JULIEN, P.Y. Erosion and Sedimentation. In: Reservoir sedimentation. JULIEN, P.Y. 2<sup>a</sup> ed. Colorado: Colorado State University, 2010. p. 320 – 327.

KIMMEL, B.L; LIND, O.T; PAULSON, L.J. Reservoir primary production. In: Reservoir limnology: ecology perspective. Thorton, K.W; Kimmel, B.L; Payne, F.E. New York: John Wiley. 1990. p. 150-183.

LEAL, P.H. Geoestatística e ecotoxicologia como ferramentas para gestão de reservatórios: Estudo de caso: Reservatório Guarapiranga (São Paulo, BR). Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Instituto de Biociências, USP, São Paulo, SP, 2017.

LOPES, A. V. Aplicação de métodos de previsão de assoreamento de reservatórios. 1993. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Departamento de Hidráulica e Saneamento, UNICAMP, Campinas, SP, 1993.

MANNHEIMER, W. A.; SCHMIDT, P. F.; VOORT, G. F. V.; WILLIAMS, D. B. Microscopia dos materiais: uma introdução. In: Capítulo VII - Microscopia eletrônica de varredura. Sociedade Brasileira de Microscopia e Microanálise. E-papers. 2002. p. VII.1 a VII.18.

MORRIS, G. L.; FAN, J. Sediment Deposits in Reservoirs. In: Reservoir Sedimentation Handbook. New York: McGraw-Hill Book Co. 1998. p. 10.2-10.5.

NETO, F.G.; VEDOVELLO, R.; PENA, D.; FELIX, U.T. Projeto Jurubatuba – Restrição e controle de uso de água subterrânea. Cadernos do projeto estratégico aquíferos - Número 1. Governo do Estado de São Paulo São Paulo. São Paulo. 2009. p. 9 – 14.

OLIVEIRA, A. M. S., et al. (Coord.). Análise Geoambiental da Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da Cidade de São Paulo e da Bacia do Guarapiranga. Relatório Geoambiental 3. 2013. 27p + Anexos.

PREFEITURA REGIONAL CAPELA DO SOCORRO – PRCS. 2017. Secretaria Municipal de Prefeituras Regionais. Capela do Socorro. Histórico. 2017. Disponível em: [http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/regionais/capela\\_do\\_socorro/historico/index.php?p=916](http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/regionais/capela_do_socorro/historico/index.php?p=916). Acesso em: julho de 2017.

PREFEITURA REGIONAL M' BOI MIRIM – PRMB. 2017. Secretaria Municipal de Prefeituras Regionais. M'Boi Mirim. Histórico. 2017. Disponível em: [http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/regionais/m\\_boi\\_mirim/historico/](http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/regionais/m_boi_mirim/historico/). Acesso em: julho de 2017.

ROCHA, M.; ASTUTO, B. V. B.; YATSUZUKA, R. Espectrometria de emissão óptica com plasma – ICP – EOS. 2017. Disponível em: [ca.iq.usp.br/novo/paginas\\_view.php?idPagina=13](http://ca.iq.usp.br/novo/paginas_view.php?idPagina=13). Acesso: 02 de outubro de 2017

SABESP. Espaço das Águas – Dossiê Sistema Guarapiranga. Fundação Patrimônio Histórico da Energia e Saneamento São Paulo: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Sabesp. 2008. Disponível em: <[http://memoriasabesp.sabesp.com.br/acervos/dossies/pdf/9\\_sistema\\_guarapiranga.pdf](http://memoriasabesp.sabesp.com.br/acervos/dossies/pdf/9_sistema_guarapiranga.pdf)>. Acesso em: julho de 2017.

SORRINI, E. Atividades Agrícolas e Proteção Ciliar na Porção Leste do Reservatório de Biritiba Mirim (SP) e sua Implicação na Qualidade da Água e Sedimentos De Fundo. São Paulo. 2015. p. 17 - 41.

SILVA, S.A. Avaliação do Assoreamento do Lago Bonsucesso, Jataí - GO. Curitiba. 2007. p. 1-12.

SILVA, V.C; RADETSKI, G.P; TESTOLIN, R.C; FISCHER, L.L; RADETSKI, C.M. Estudo da influência da argila e da matéria orgânica na Fitogenotoxicidade de solos contaminados por arsênio ou zinco. Florianópolis. SC. 2017. P. 1-4.

TARIFA, J. R.; ARMANI, G. Unidades climáticas urbanas na cidade de São Paulo. São Paulo: PMSP/SVMA – Relatório Preliminar do Projeto “Atlas Ambiental do Município de São Paulo”. 2000.

TUNDISI, J.G. Reservoirs as complex systems. Ciência e cultura Journal of the Brazilian association for the advancement of science, v.48, n.5/6, 1996. p. 383-386.

USEPA. Process Design Manual for Land Application of Municipal Sludge. EPA-625/1-83-016, Cincinnati, OH, 1983.

QUEIROZ, W. Análise Geoambiental da bacia contribuinte do Reservatório Guarapiranga (SP) para avaliação da produção de sedimentos. Guarulhos. 2014.p. 21- 41.

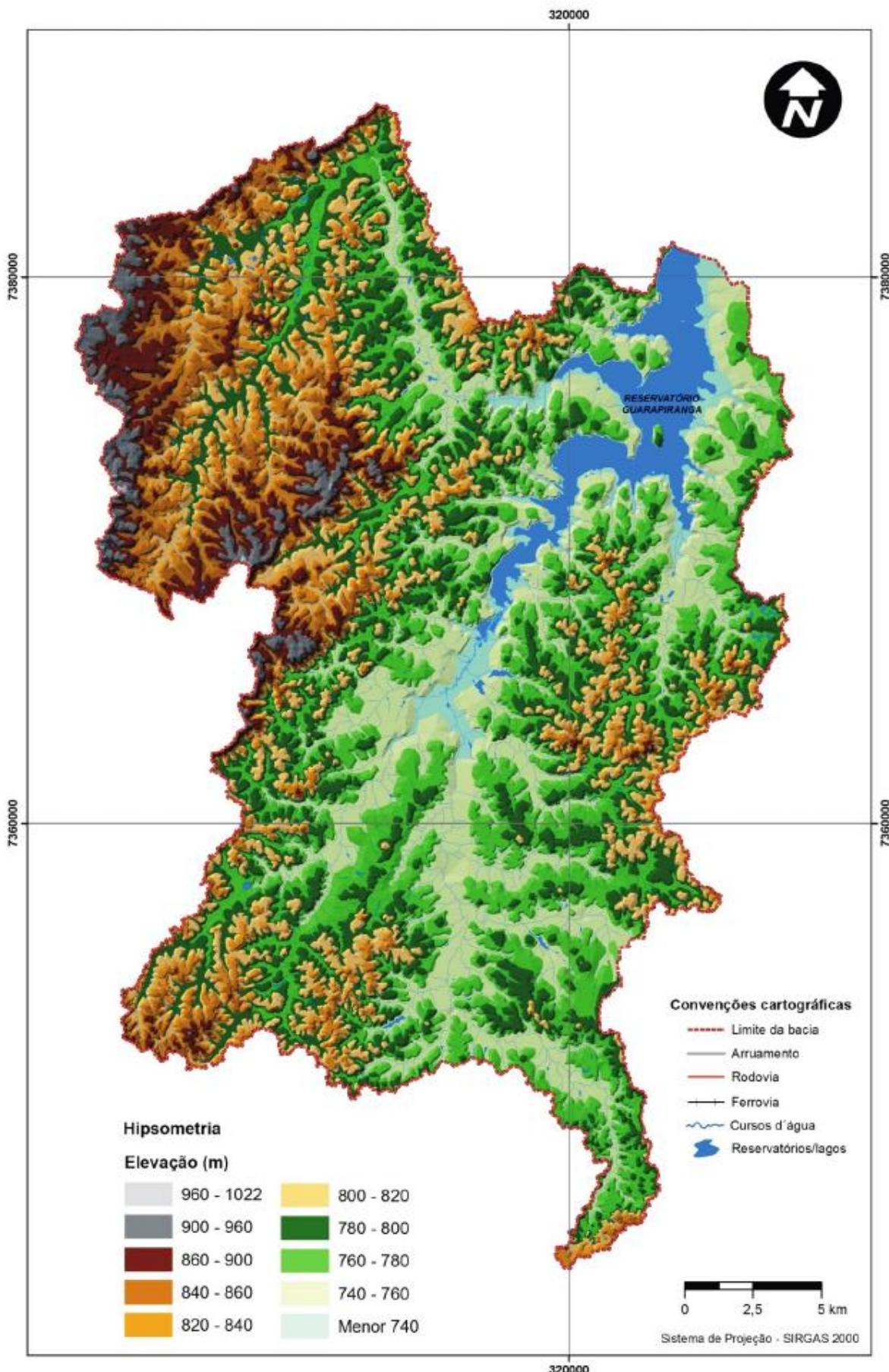
QUEIROZ, W.; OLIVEIRA, A.M.S.; ROSSI, M.; SAAD, A.R.; ANDRADE, M.R.M. Análise geoambiental da bacia do Guarapiranga, região metropolitana de São Paulo: produção de sedimentos e assoreamento do reservatório. Revista Brasileira de Geomorfologia, v.16, nº 1. São Paulo, 2015. p. 89-105.

ZAGATTO, P. A & BERTOLETTI, E. Ecotoxicologia aquática – princípios e aplicações. 2<sup>a</sup> ed. Rima Editora. São Carlos, SP. 2008. P. 477 – 489.

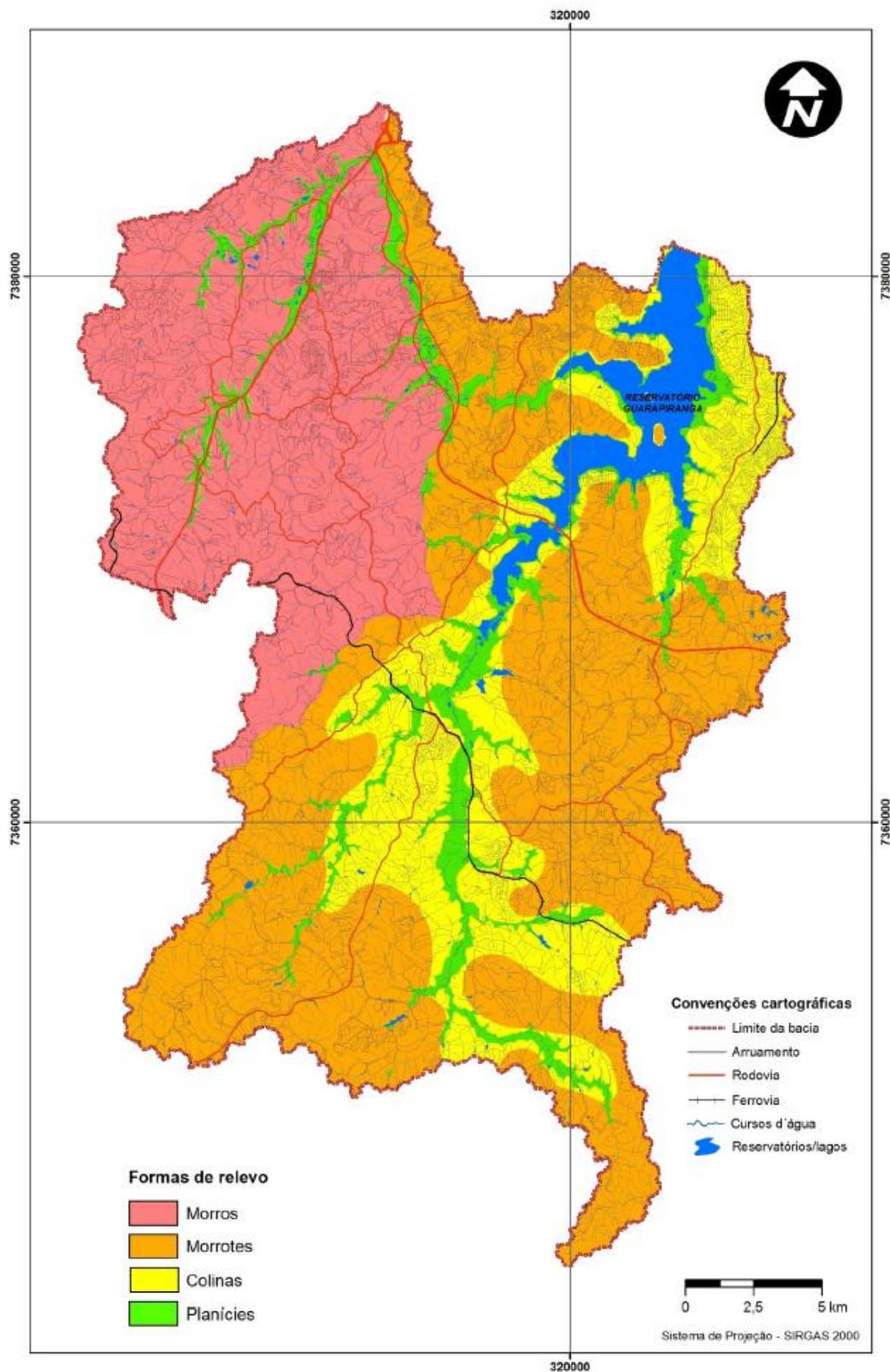
WHATELY, M.; CUNHA, P. M. (Org.). Seminário Guarapiranga: Proposição de ações prioritárias para garantir água de boa qualidade para abastecimento público. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2006. p. 140 - 160.

# **Anexos**

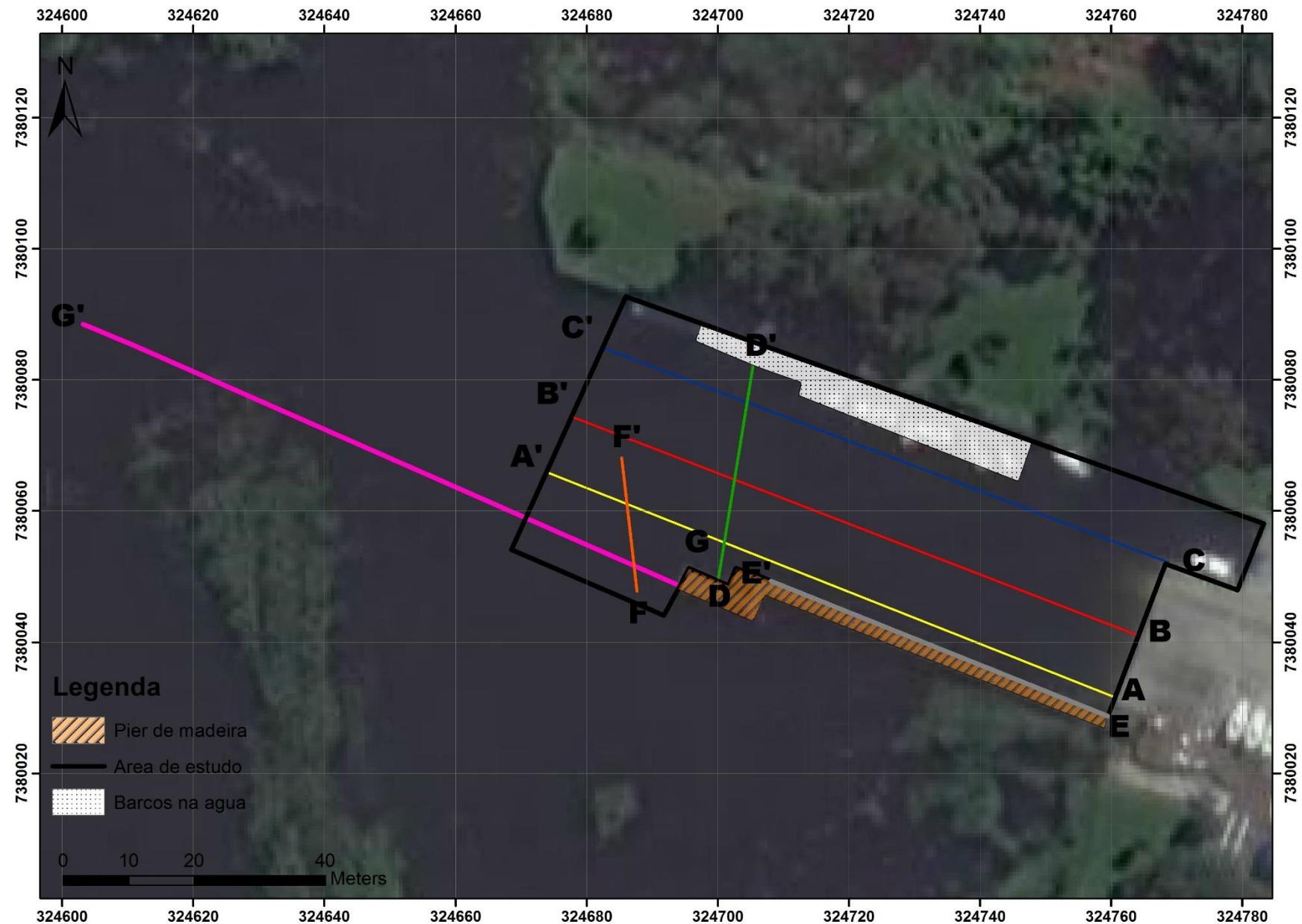
**Anexo 1: Mapa hipsométrico da Bacia do Guarapiranga (Oliveira et al., 2013)**



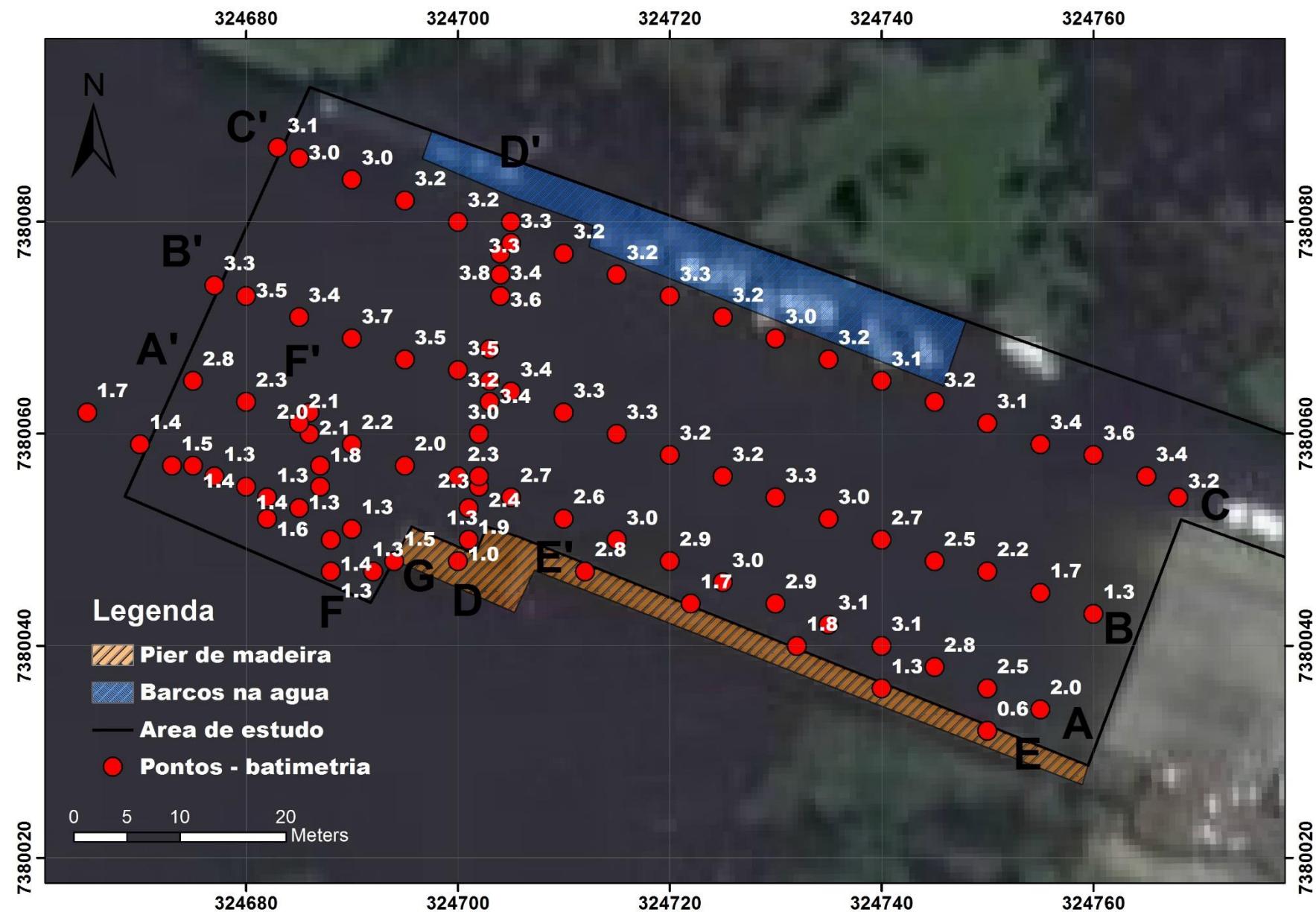
## Anexo 2: Mapa Geomorfológico da Bacia do Guarapiranga (Oliveira et al., 2013)



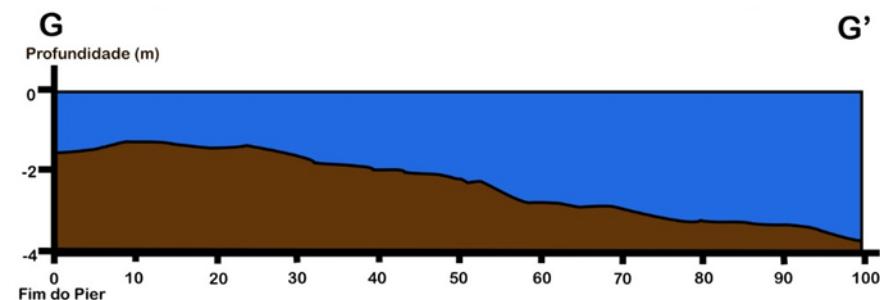
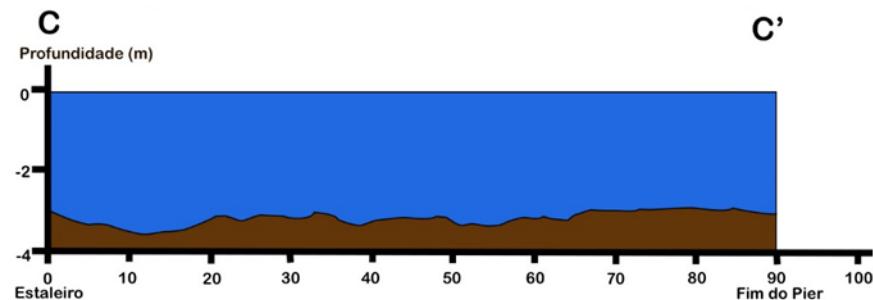
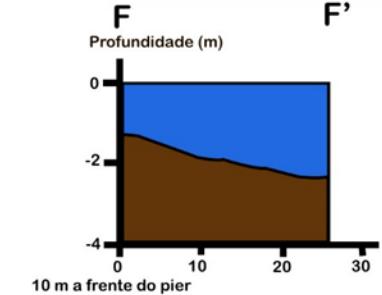
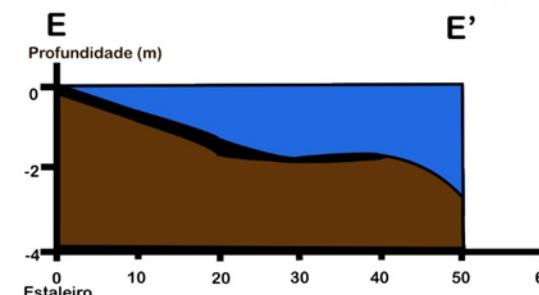
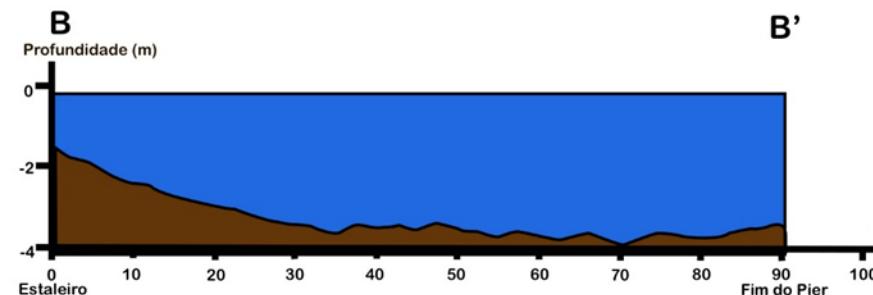
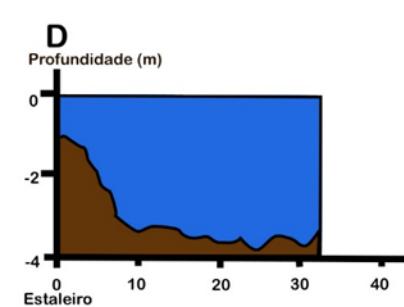
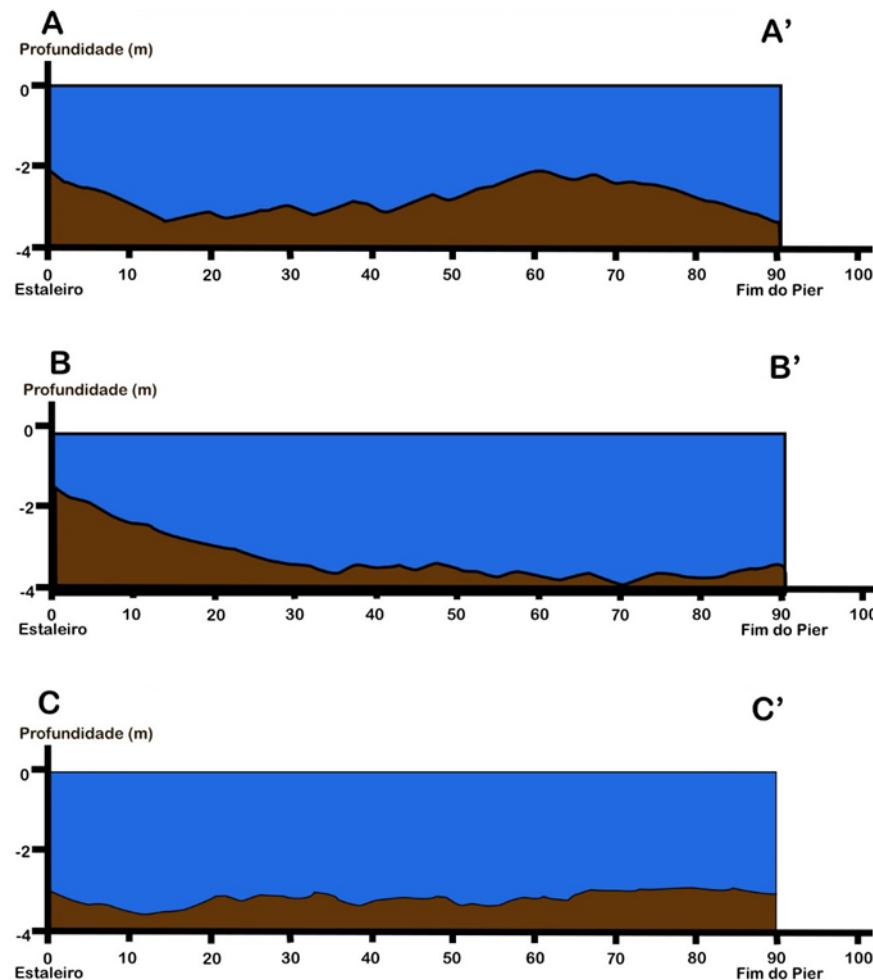
**Anexo 3: Localização dos perfis batimétricos levantados na rampa de embarque de navegações no YCSA.**



**Anexo 4: Perfis e pontos realizados durante levantamento batimétrico (pontos vermelhos indicam os locais onde se efetuou as medições da profundidade).**

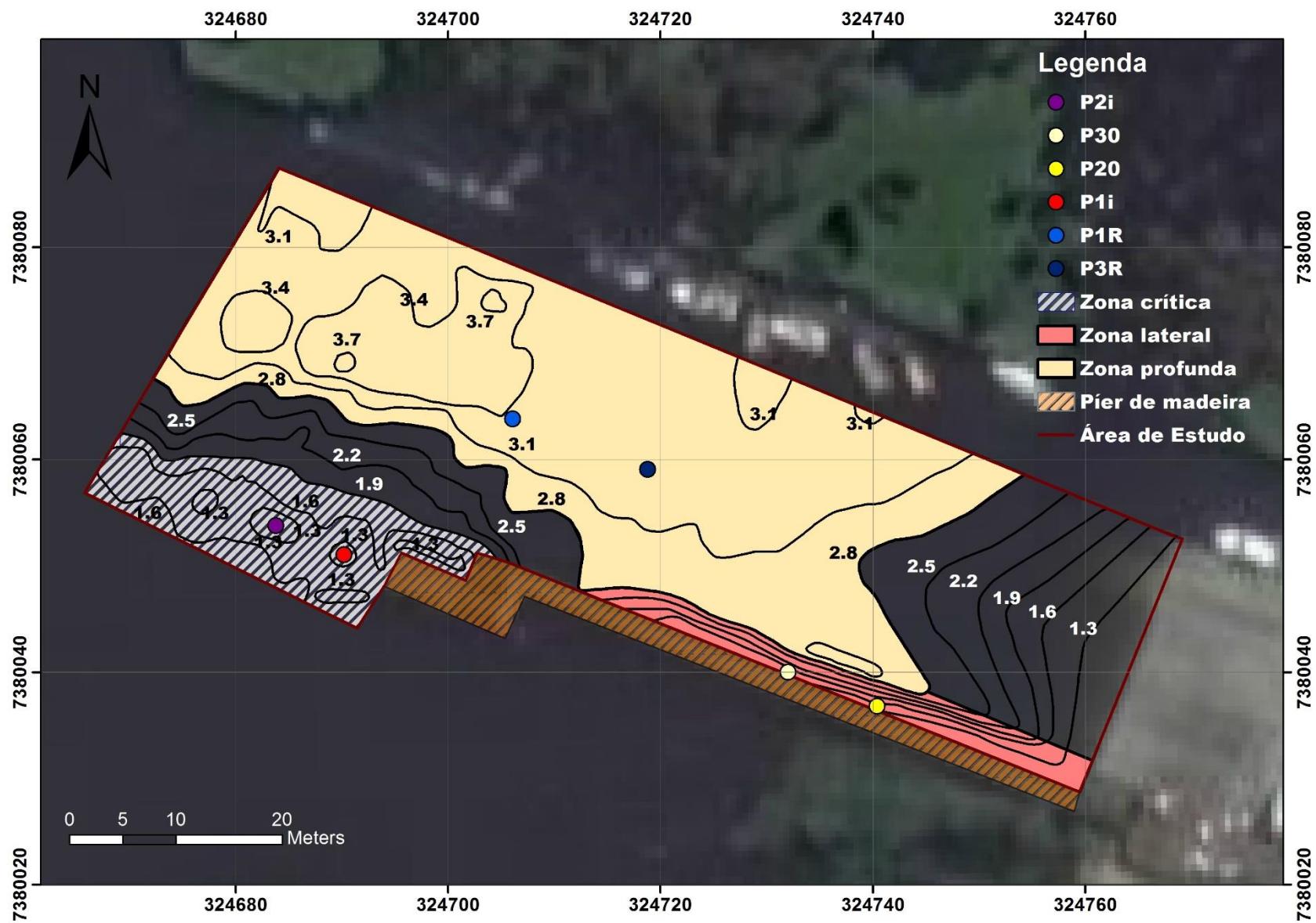


**Anexo 5: Perfis batimétricos realizados no canal do Yacht clube Santo Amaro. Em azul, lâmina de água, em marrom, sedimentos de fundo e em preto, camada de argila orgânica medida em campo.**



*Escala Vertical: 1:1000; Escala Horizontal: 1:200. Exagero vertical de 5x.*

**Anexo 6: Carta topográfica zonada da morfologia de fundo da área de estudo. Locais de coleta de amostras representados por pontos coloridos.**



## Anexo 7: Esquematização e descrição do testemunho P3R amostrado na zona profunda.

### Zona profunda (amostra P3R)

O domínio profundo é caracterizado por apresentar granodecrescência ascendente em seu pacote sedimentar, com sedimentos cascalhosos e areias siltosas na base, migrando para argilas negras ricas em matéria orgânica no topo.

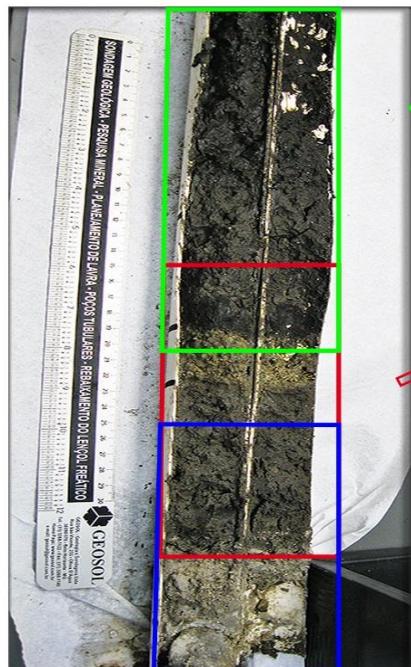


Figura A – À direita, testemunho amostrado à 70 m da costa no canal principal de tráfego de embarcações. Observar a graduação de camadas compostas por sedimentos grosseiros na base, para níveis de sedimentos mais finos no topo. À esquerda, imagens mais próximas das porções basais (em azul), intermediárias (em vermelho) e superiores (em verde).

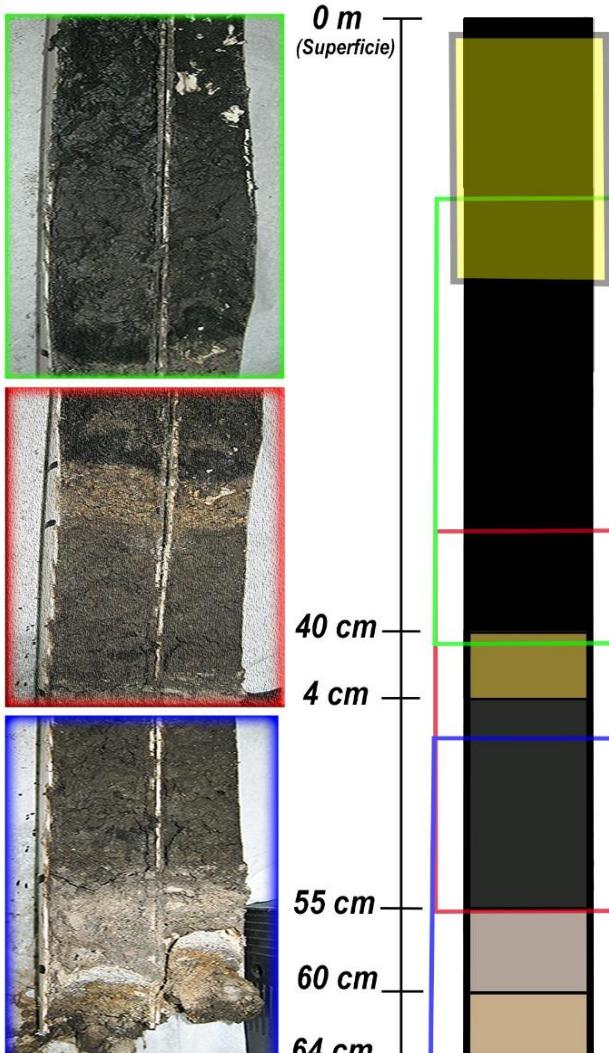


Figura B – Perfil vertical dos sedimentos observados na amostra P3R. Atentar a porção do testemunho utilizada para quantificação de MO, análise química em ICP-EOS e estudo em microscópio eletrônico de varredura (área em amarelo). Profundidades dos contatos entre as camadas à esquerda do perfil (linha vertical).

Porção superior da camada de argila orgânica.  
Zona amostrada para análise química e MEV.

### Descrição

Estrato com 40 cm de argila negra com mais de 40% de conteúdo de matéria orgânica total. Argila sem estruturação clara e plástica. Não observou-se vegetação em sua superfície.

Camada com 4cm de espessura formada por sedimentos amarelados de areia fina.

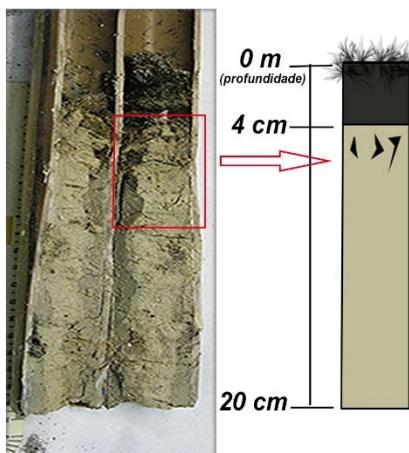
Porção cinza escura de granulometria silto-arenosa com 11 cm de espessura. Sem estruturas visíveis. Contato gradacional com camada superior e brusco com camada inferior.

Camada cinza clara constituída de clastos de quatzo e de minerais maficos na fração areia grossa.

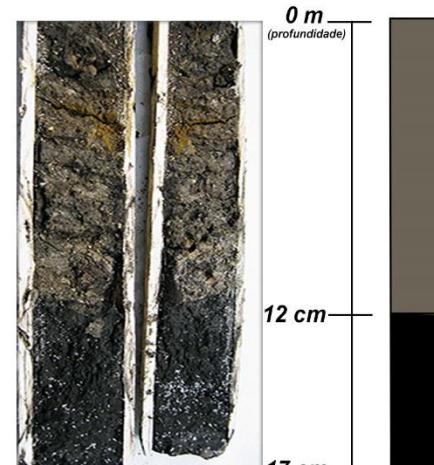
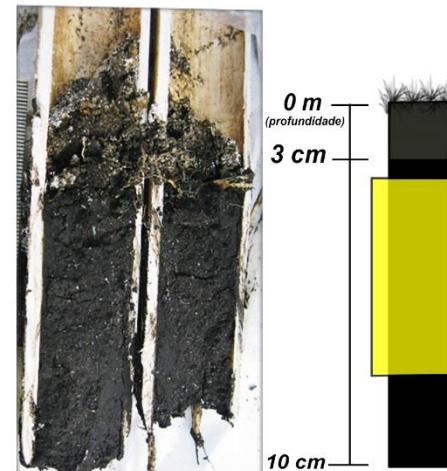
Camada conglomerática acinzentada com matriz de areia grossa e seixos centimétricos (1 a 3 cm) de quatzo.

## Anexo 8: Esquematização e descrição das amostras P20, P30 (zona lateral) e P1i, P2i (zona crítica).

### Zona lateral - Amostras P20 e P30



### Zona crítica - Amostras P1i e P2i



Camada argilosa com 5 cm de espessura e altos teores de matéria orgânica. Sem estruturas evidentes.

Figura A – No topo, amostra P30. Na base, amostra P20. Notar feições de retrabalhamento no topo da camada silto-arenosa em ambas as amostras (retângulo vermelho).

Figura B – No topo, amostra P1i. Na base, amostra P2i. Atentar a porção utilizada para quantificação de MO, análise química em ICP – EOS e estudo em microscópio eletrônico de varredura (destacado em amarelo). Região escolhida abaixo da zona de interferência vegetal, como forma de evitar o enviesamento excessivo dos teores metalíferos reais dos sedimentos.

**Anexo 9: Amostra P1i - Espectrogramas de raio - x produzidos, em análises de EDS, sobre superfície de grão de óxido de ferro e manganês.**

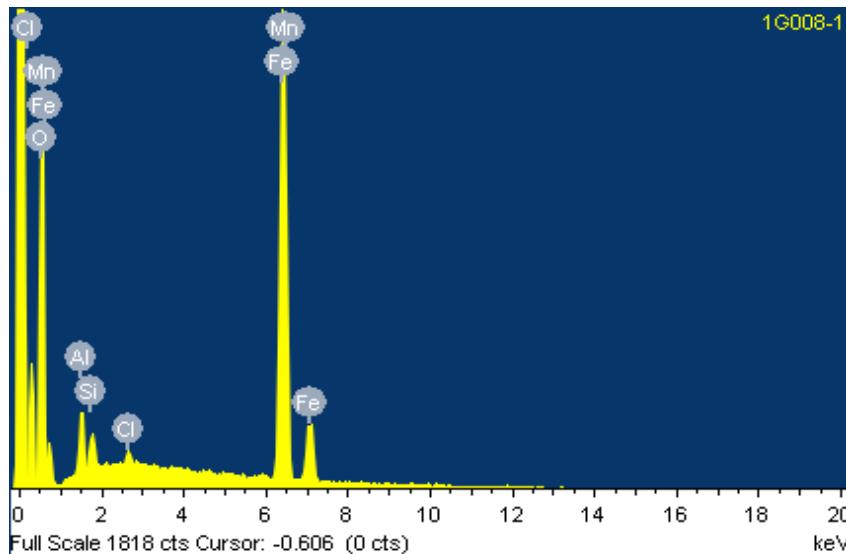


Figura A - Espectro de EDS do 1º alvo. Mn, Fe e O são os elementos de maiores concentrações. Destaque para a presença de Si e Al.

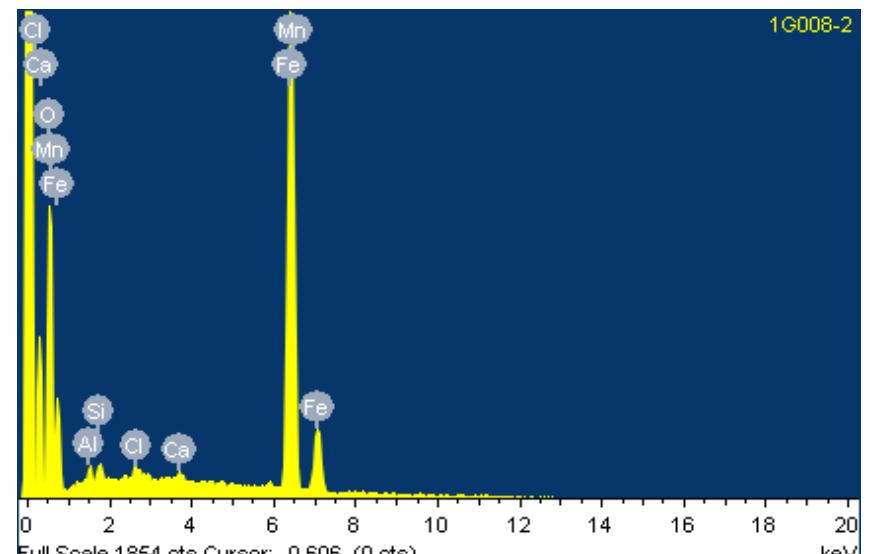


Figura B - Espectro de EDS do 2º alvo. Mn, Fe e O são os elementos de maiores concentrações. Destaque para a quase ausência de Si e Al.

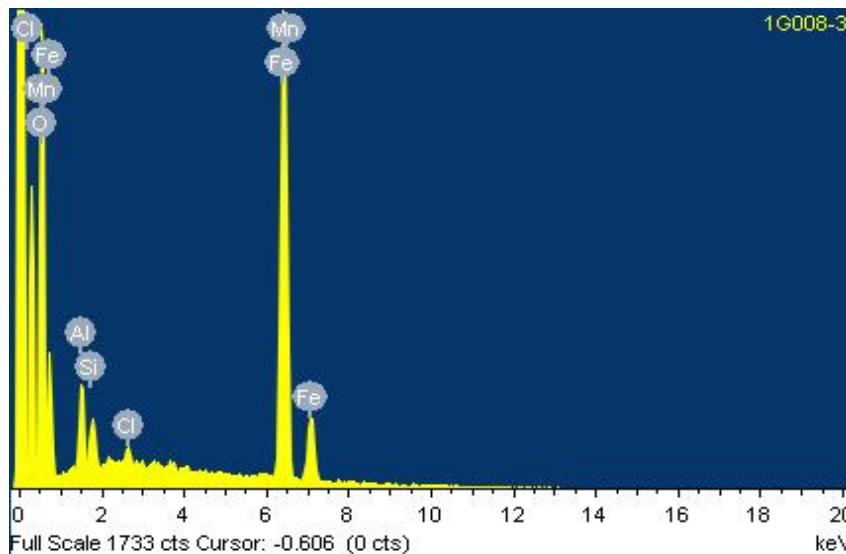


Figura C - Espectro de EDS do 3º alvo. Mn, Fe, O são os elementos de maiores concentrações. Destaque para a presença, significativa, de Si e Al.

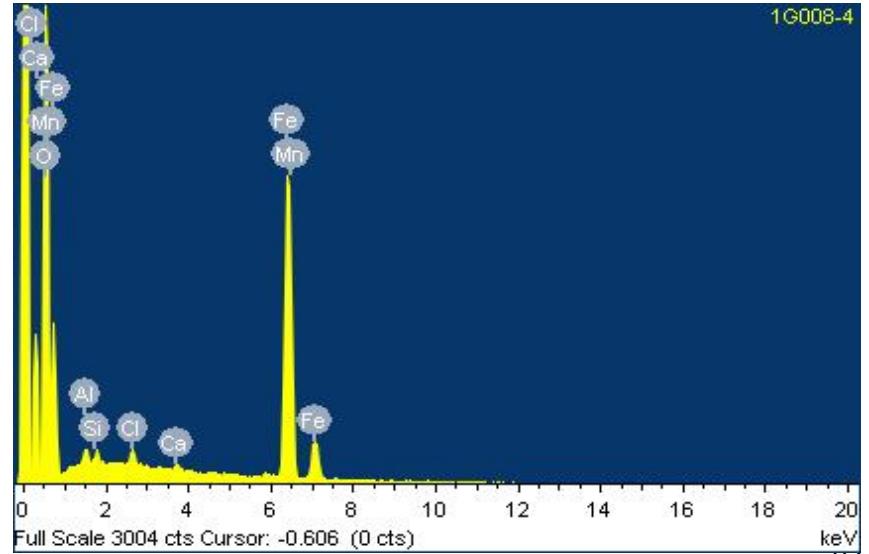


Figura D - Espectro de EDS do 4º alvo. Destaque para a diminuição nas concentrações de Mn e Fe em comparação, aos demais pontos analisados.

## Anexo 10: Amostra P3R - Espectrogramas de raio - x produzidos, em análises de EDS, sobre grãos, possivelmente, portadores de elementos pesados – alvos 1 a 4

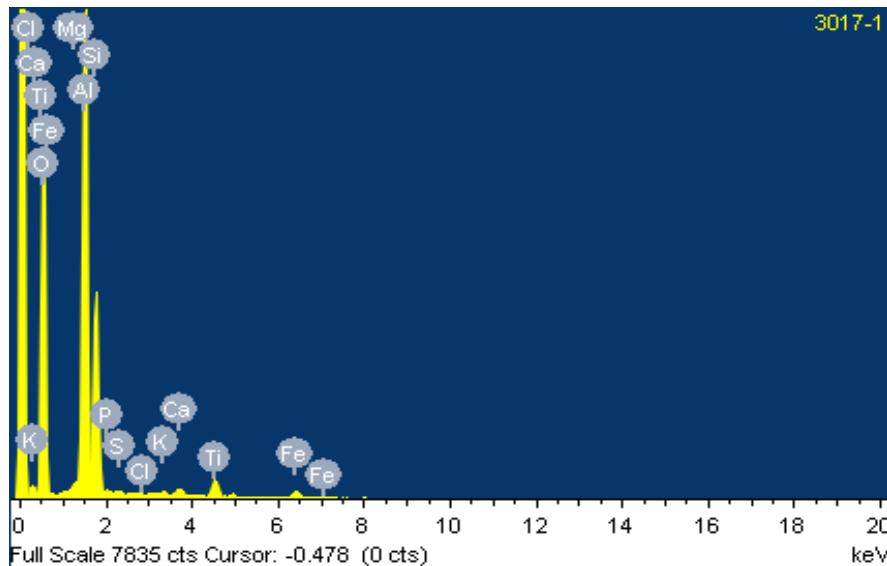


Figura A - Espectro de EDS do 1º alvo. Notar os altos teores de Si, Al, Ti, Fe e O. Ausência de poluentes no grão.

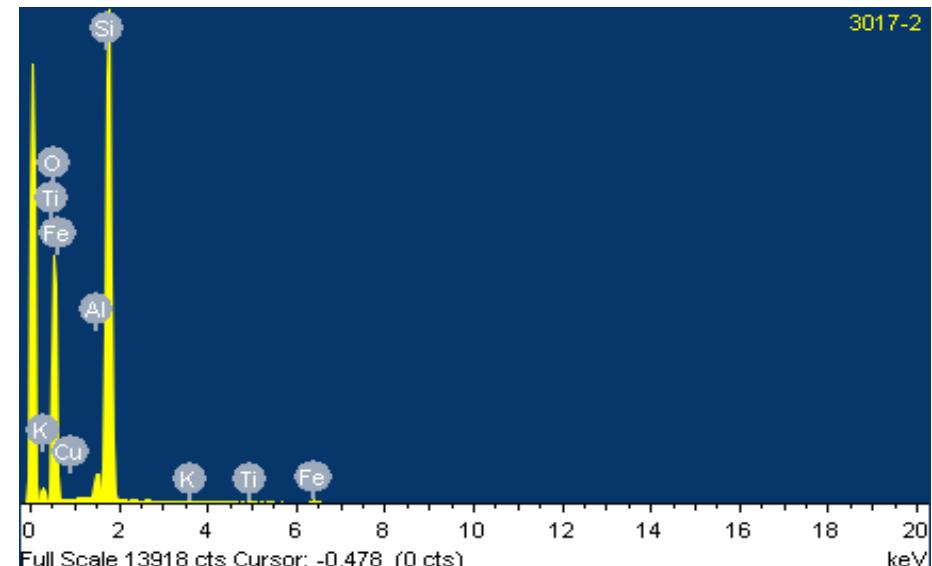


Figura B - Espectro de EDS do 2º alvo. Fe, Ti, O e Si são os elementos de maiores contagens no grão.

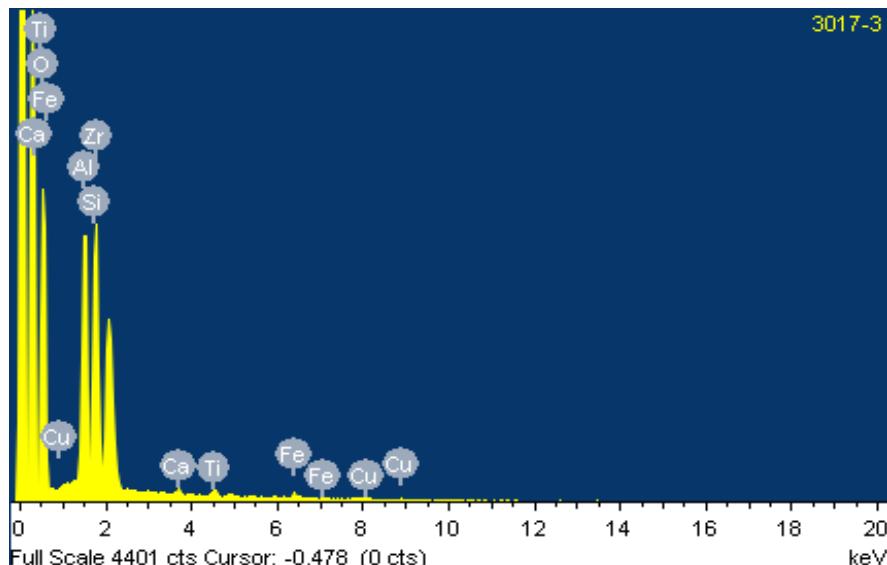


Figura C - Espectro de EDS do 3º alvo. Notar a presença de Zr e Cu no grão. O cobre apresentou baixíssimas contagens.

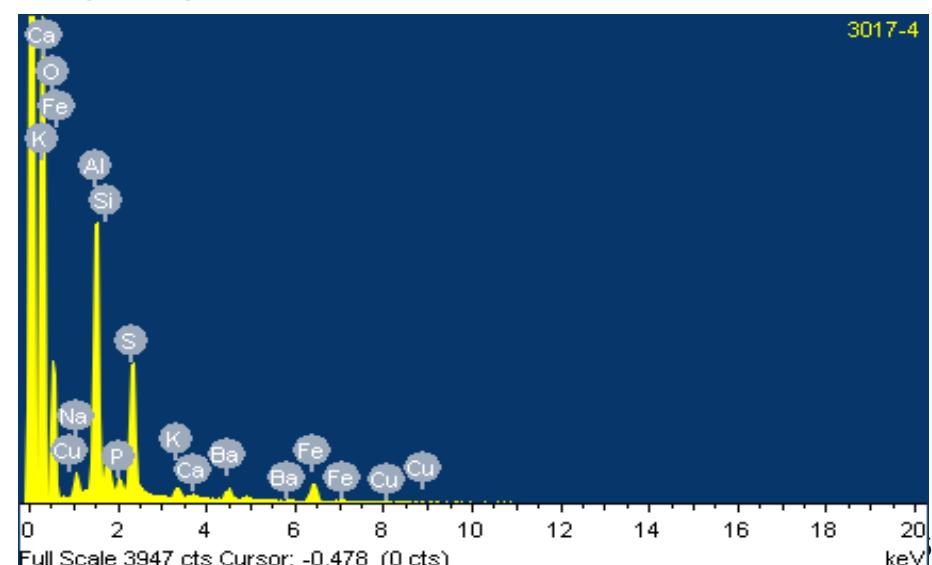


Figura D - Espectro de EDS do 4º alvo. Atentar aos elevados teores de Fe, O, Al, Si e S. Cu e Ba são os únicos elementos contaminantes, ambos apresentaram baixas contagens.

## Anexo 11: Amostra P3R - Espectrogramas de raio - x produzidos, em análises de EDS, sobre grãos, possivelmente, portadores de elementos pesados – alvos 5 a 8

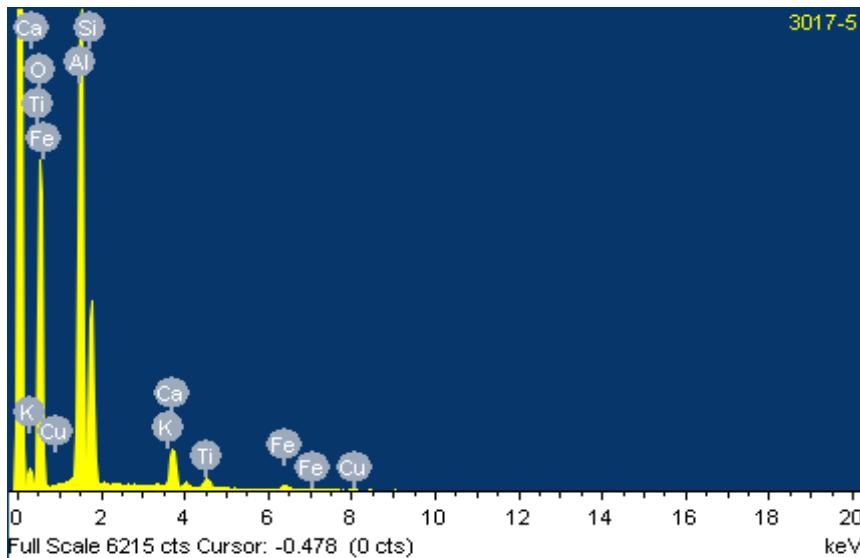


Figura A - Espectro de EDS do 5º alvo. Atentar os elevados teores de Ti, Fe, O, Al e Si. Notar a ausência de poluentes no grão, exceto Cu. Este apresentou baixíssimas contagens.

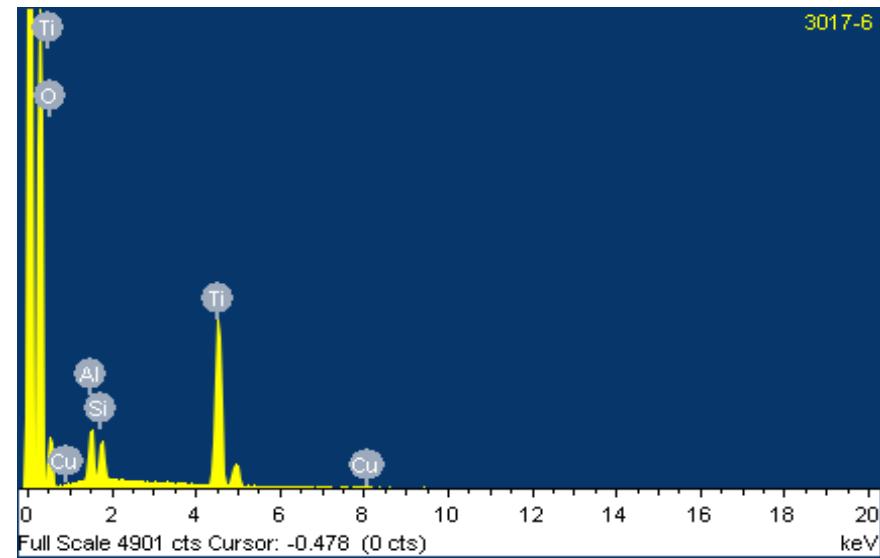


Figura B - Espectro de EDS do 6º alvo. Atentar os elevados teores de Ti e O. Observar as baixas contagens de Cu, único elemento contaminante no grão.

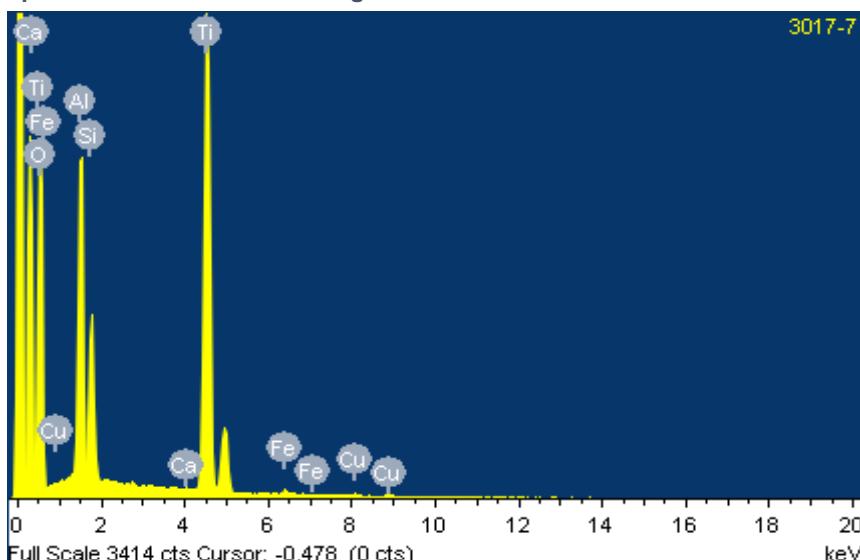


Figura C - Espectro de EDS do 7º alvo. Reparar os elevados teores de Ti, Fe, O, Al, Si. Notar a ausência de poluentes no grão, exceto Cu. Este apresentou baixíssimas contagens.

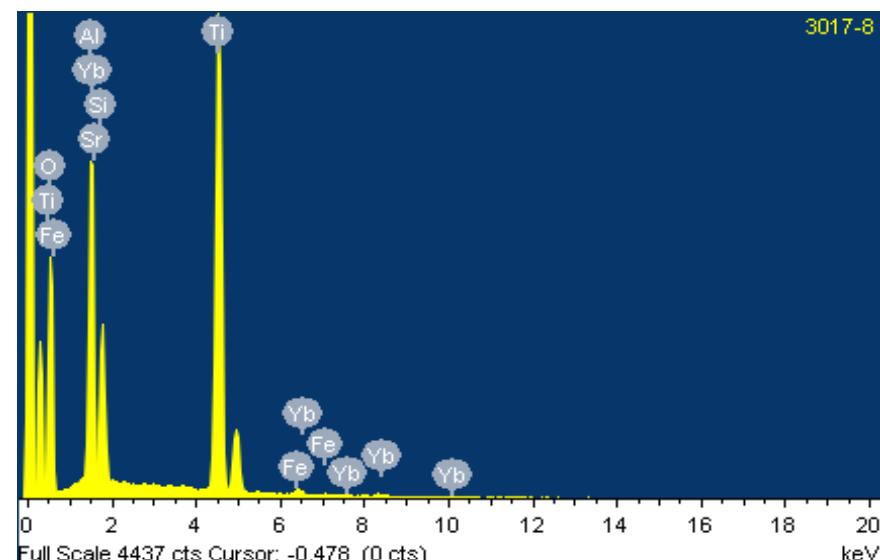


Figura D - Espectro de EDS do 8º alvo. Notar os elevados teores de Ti, Fe, O, Al, Si. Observar a presença de Yb, elemento pertencente ao grupo dos lantanídeos (terrás raras). Itérbio apresentou baixíssimas contagens.

**Anexo 12: Amostra P3R - Espectrogramas de raio - x produzidos, em análises de EDS, sobre grãos, possivelmente, portadores de elementos pesados – alvos 9 a 12**

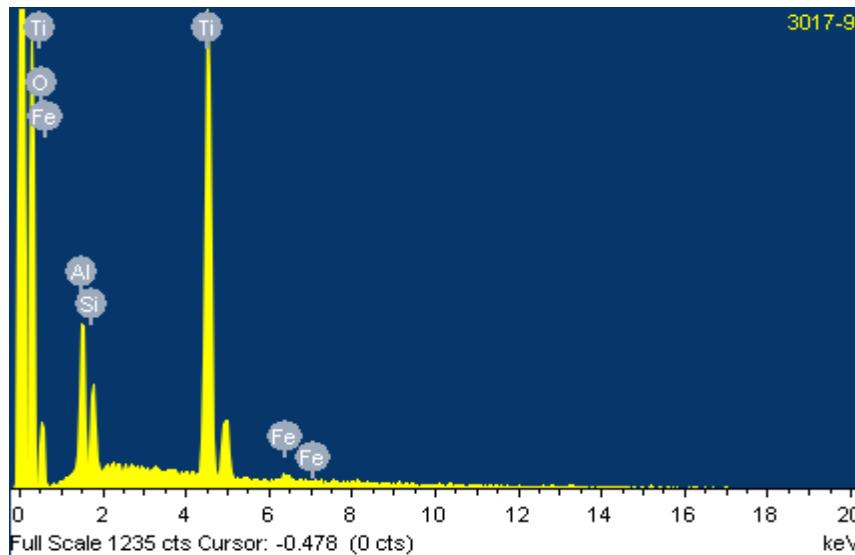


Figura A - Espectro de EDS do 9º alvo. Notar as altas contagens de Ti. Ausência de elementos contaminantes neste grão.

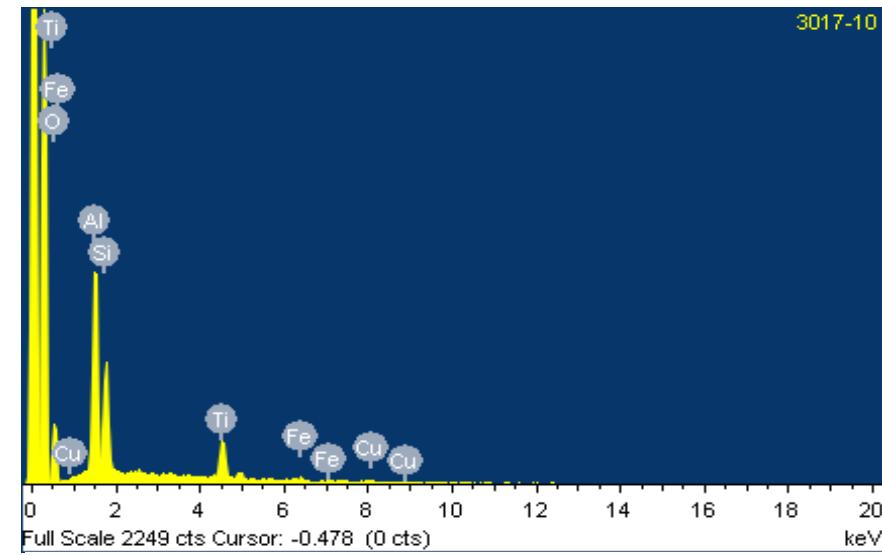


Figura B - Espectro de EDS do 10º alvo. Notar as altas contagens de Ti e baixíssimos teores de Cu, único elemento contaminante no grão.

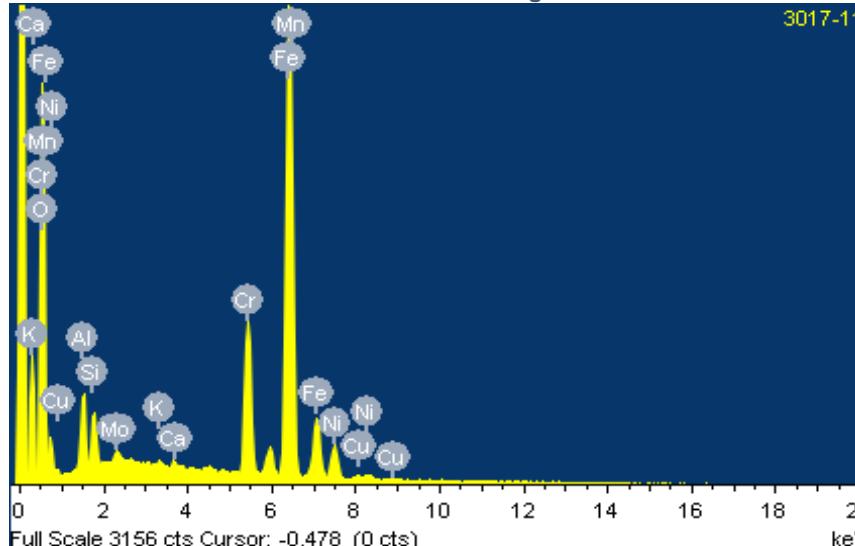


Figura C - Espectro de EDS do 11º alvo. Notar as altas contagens de Fe e Mn, simultaneamente, as altas contagens de Cr. Cu, Ni, Mo e Cr são os elementos contaminantes encontrados neste grão.

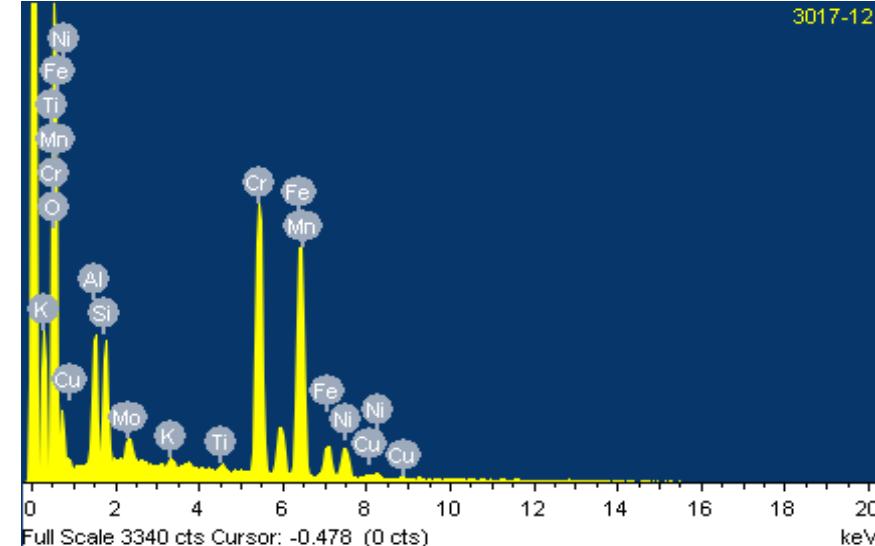


Figura D - Espectro de EDS do 12º alvo. Notar a presença dos poluentes Cu, Ni, Mo e Cr. Destaque para as elevadas contagens de Cr.

**Anexo 13: Amostra P3R - Espectrogramas de raio - x produzidos, em análises de EDS, sobre grãos, possivelmente, portadores de elementos pesados – alvos 13 a 16**

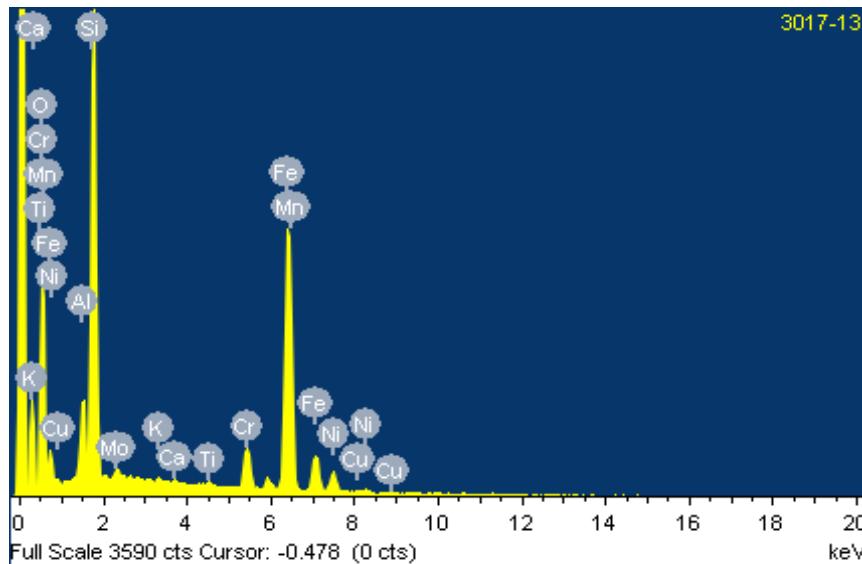


Figura A - Espectro de EDS do 13º alvo. Cu, Ni, Mo e Cr são os elementos contaminantes encontrados neste grão. Observar as pequenas contagens dos quatro poluentes no espectrograma.

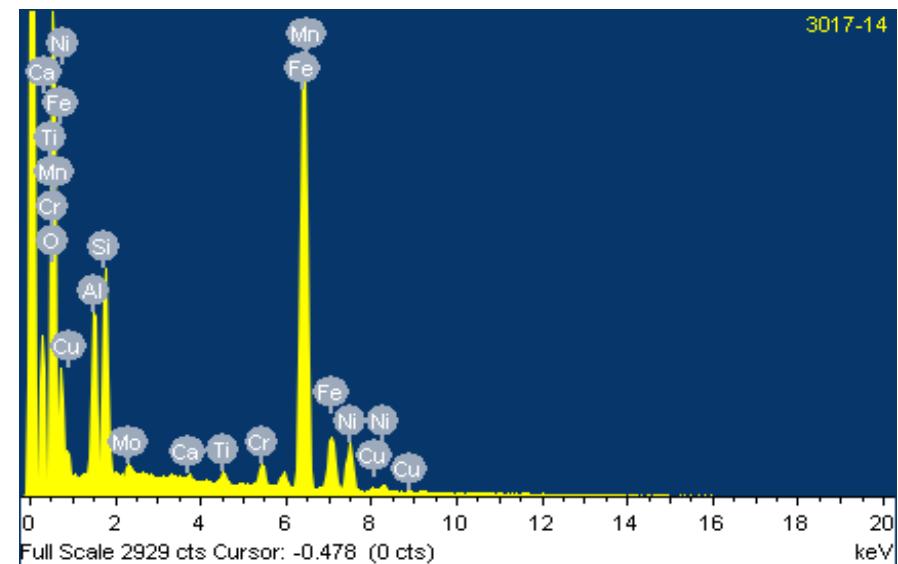


Figura B - Espectro de EDS do 14º alvo. Cu, Ni, Cr e Mo são os elementos contaminantes encontrados neste grão. Atentar as pequenas contagens dos três poluentes no espectrograma.

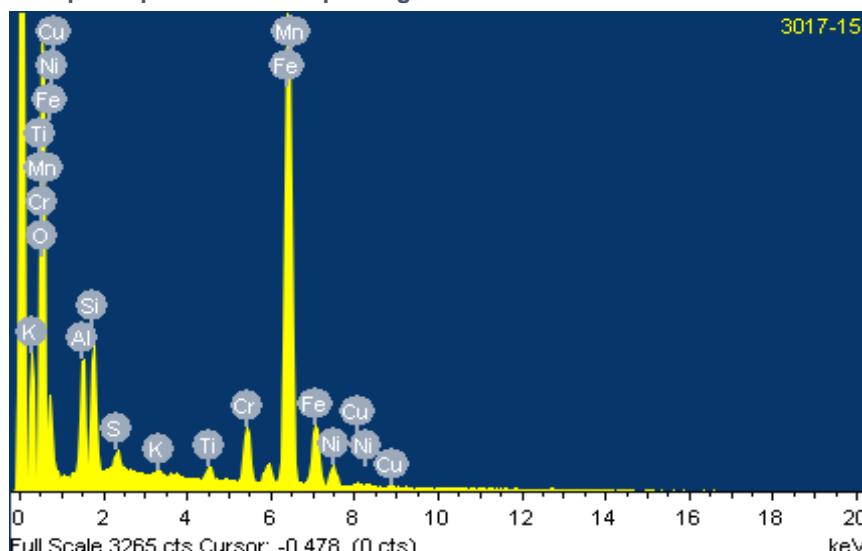


Figura C - Espectro de EDS do 15º alvo. Cu, Ni e Cr são os elementos contaminantes encontrados neste grão. Notar pequenas contagens dos três poluentes no espectrograma.

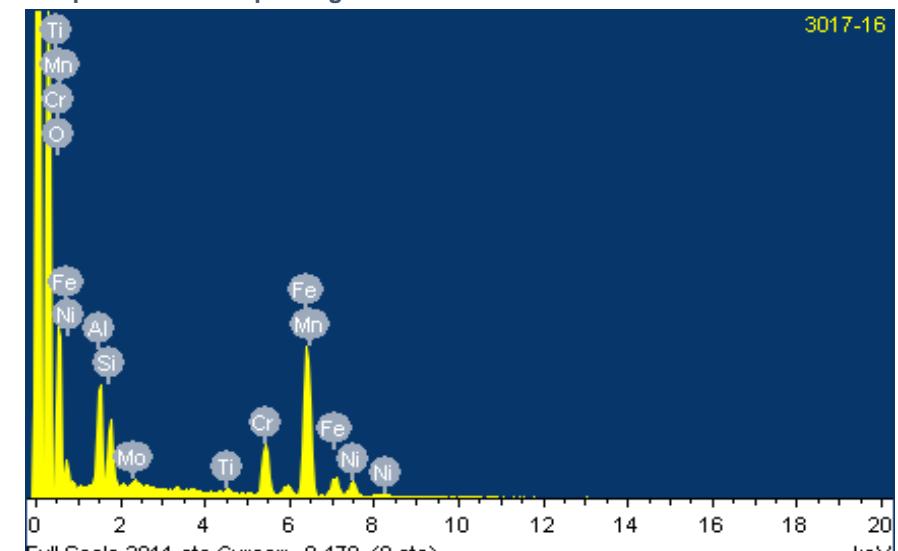


Figura D - Espectro de EDS do 16º alvo. Cu, Ni, Mo e Cr são os elementos contaminantes encontrados neste grão. Notar as baixas contagens de Fe e Mn, simultaneamente, as baixas contagens de Cr, Ni e Mo.

**Anexo 14: Amostra P3R - Espectrogramas de raio - x produzidos, em análises de EDS, sobre grãos, possivelmente, portadores de elementos pesados – alvos 17 a 20**

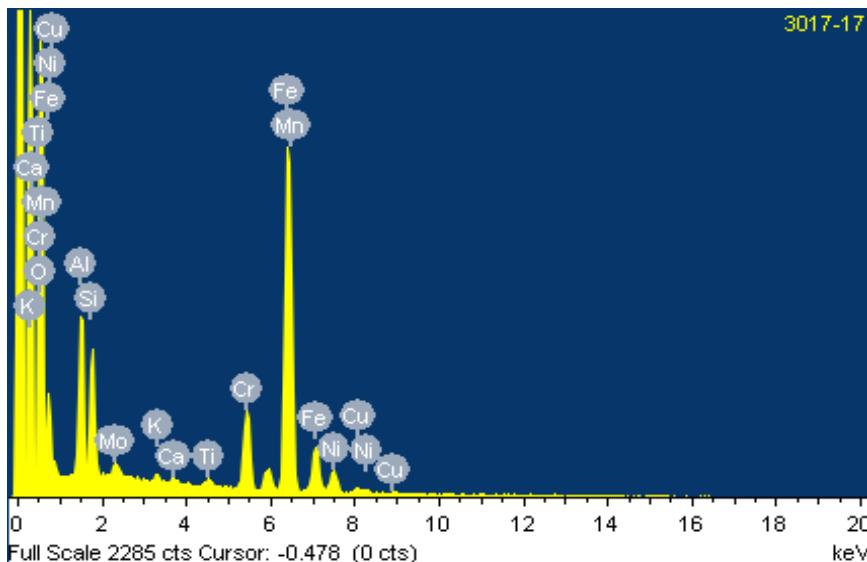


Figura A - Espectro de EDS do 17º alvo. Cu, Ni, Mo e Cr são os elementos contaminantes encontrados neste grão. Notar as contagens medianas de Cr e baixíssimas contagens de Ni e Cu.

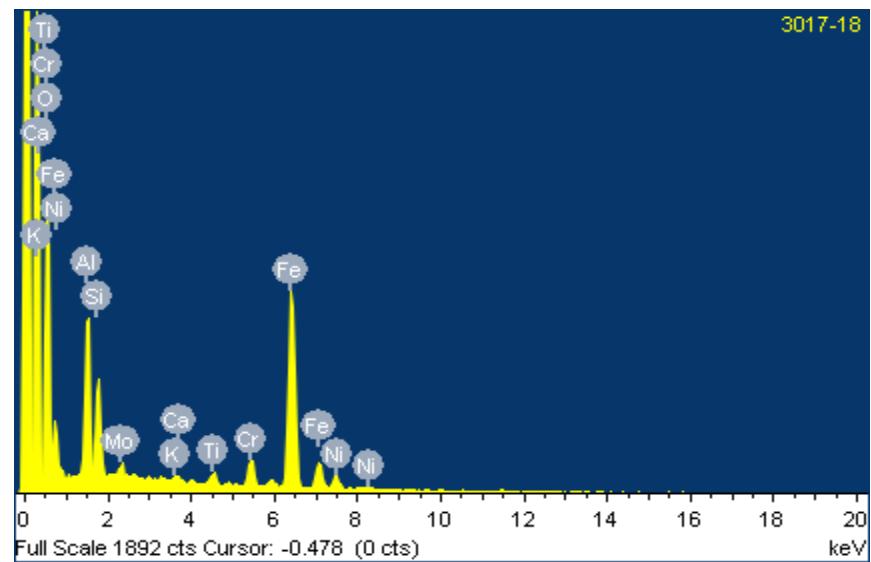


Figura B - Espectro de EDS do 18º alvo. Cu, Ni, Mo e Cr são os elementos contaminantes encontrados neste grão. Notar as baixíssimas contagens de Ni, Cr, Mo e Cu.

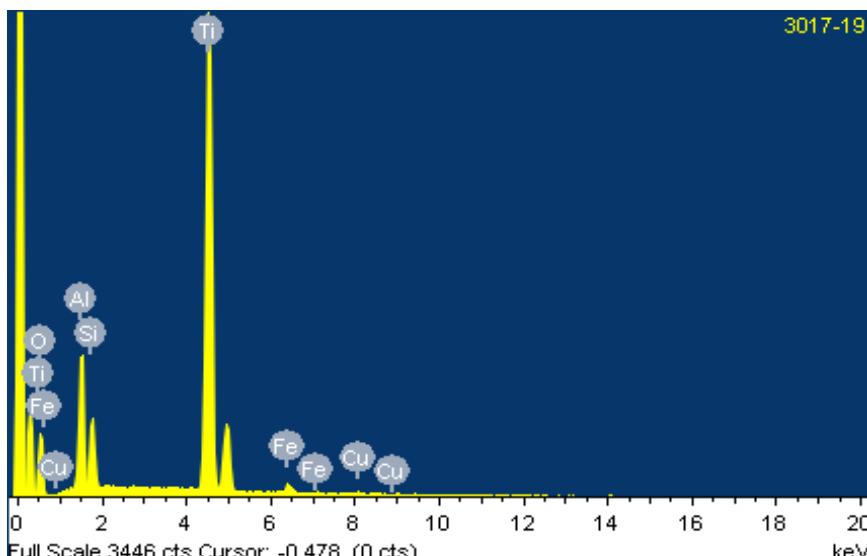


Figura C - Espectro de EDS do 19º alvo. Notar altas as contagens de Ti e baixíssimas contagens de Cu. Cobre é o único elemento contaminante no grão.

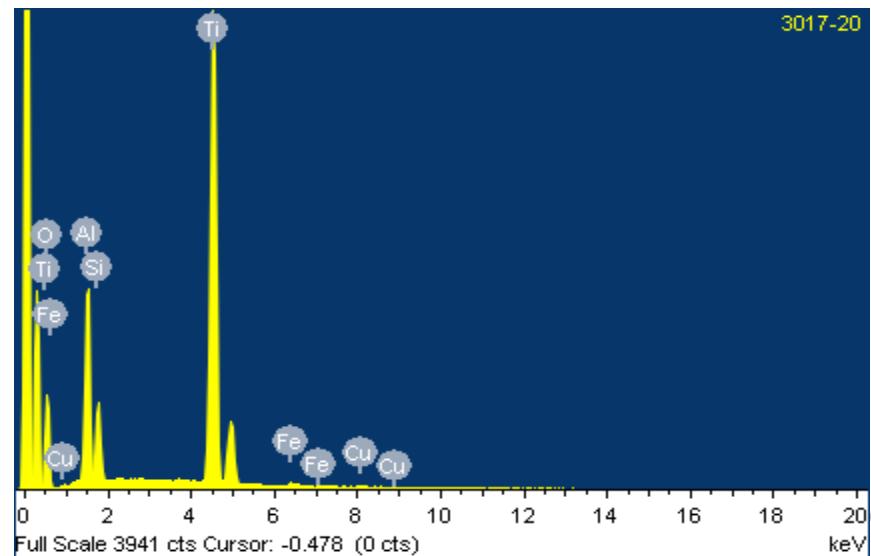
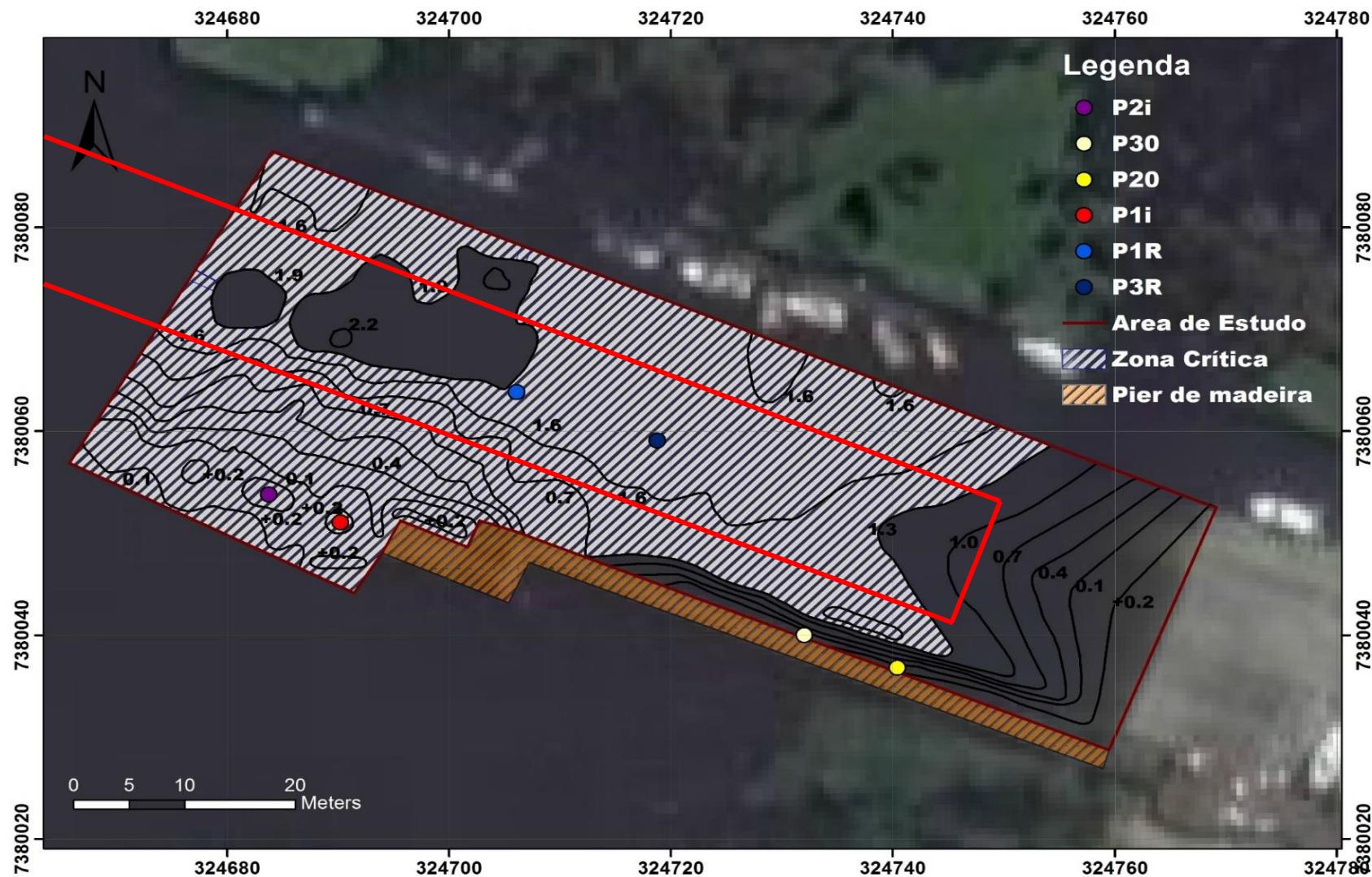


Figura D - Espectro de EDS do 20º alvo. Atentar aos altos teores de Ti e as diminutas contagens de Cu.

**Anexo 15: Carta topográfica da morfologia de fundo da área de estudo na estação seca. Valores das profundidades estimadas a partir da subtração de 1,5 metros da profundidade medida na estação chuvosa (Anexo 4). Em vermelho, faixa central de remoção de sedimentos de fundo com 12 m de largura por 150 metros de comprimento.**



## Anexo 16: Plano de remoção dos sedimentos de fundo e perfil batimétrico da represa Guarapiranga.

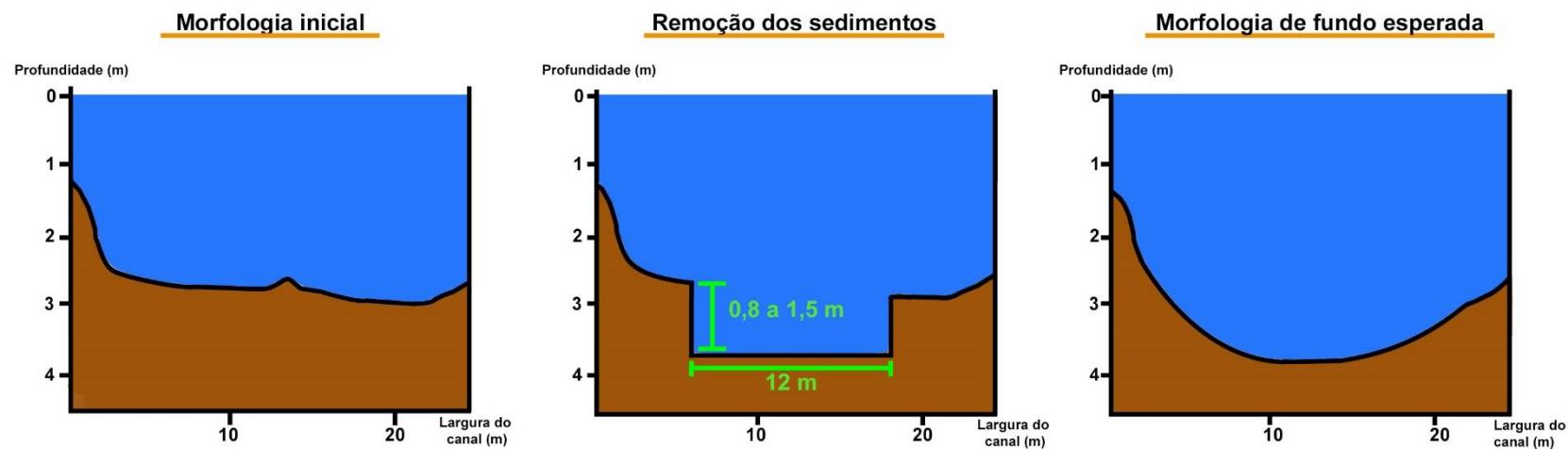


Figura A - Planejamento geral de remoção dos sedimentos de fundo do canal principal do Yacht Club Santo Amaro. Em verde, marcações indicando profundidade e largura do corte. Notar a variação da morfologia do corte pré e pós corte.

### Morfologia de fundo do reservatório Guarapiranga

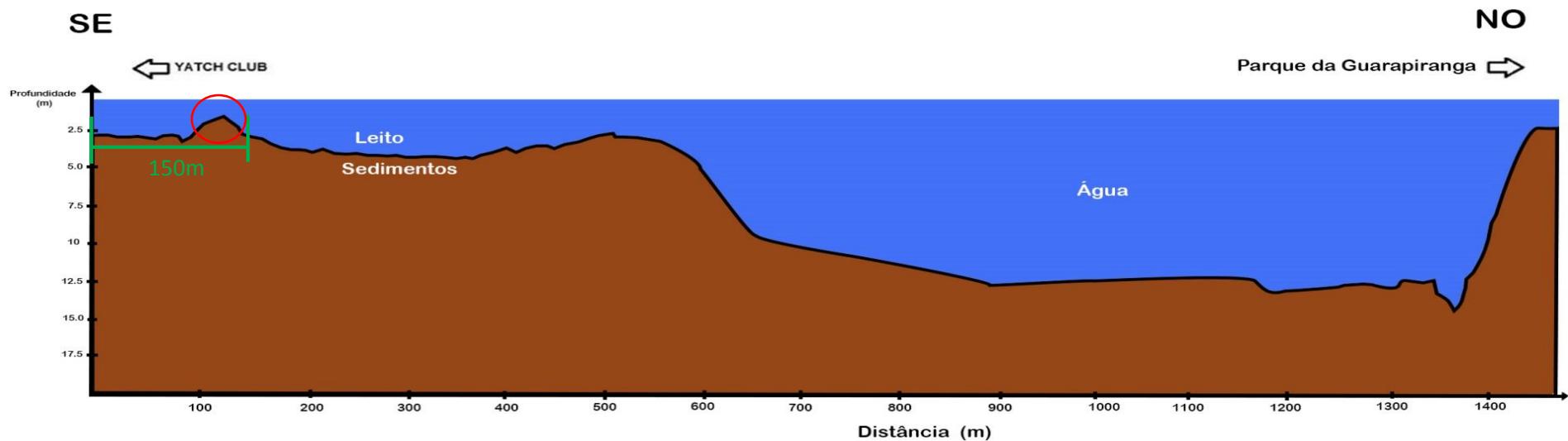


Figura B - Perfil batimétrico transversal da Represa Guarapiranga. Perfil delimitado a sudeste pelo Yatch Club Santo Amaro, e à noroeste pelo Parque da Guarapiranga. Em vermelho, limite noroeste da área de remoção de sedimentos (banco de sedimentos). Em verde, a extensão total da área de remoção.