AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE RADIONUCLÍDEOS NATURAIS DAS SÉRIES U-238
E Th-232, K-40 E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA INORGÂNICA DE PERFIS DE SOLO E
TESTEMUNHOS DE SEDIMENTO DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO RESERVATÓRIO
TAIAÇUPEBA, ESTADO DE SÃO PAULO**

JOSEILTON MARQUES DE SOUZA

**Dissertação apresentada como parte dos
requisitos para obtenção do Grau de
Mestre em Ciências na Área
de Tecnologia Nuclear - Aplicações**

**Orientadora:
Profa. Dra. Sandra Regina Damatto**

**São Paulo
2017**

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Autarquia associada à Universidade de São Paulo

**AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE RADIONUCLÍDEOS NATURAIS DAS SÉRIES U-238
E Th-232, K-40 E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA INORGÂNICA DE PERFIS DE SOLO E
TESTEMUNHOS DE SEDIMENTO DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO RESERVATÓRIO
TAIAÇUPEBA, ESTADO DE SÃO PAULO**

JOSEILTON MARQUES DE SOUZA

Dissertação apresentada como parte dos
requisitos para obtenção do Grau de
Mestre em Ciências na Área
de Tecnologia Nuclear - Aplicações

Orientadora:
Profa. Dra. Sandra Regina Damatto

#

Versão Corrigida
Versão Original disponível no IPEN

São Paulo
2017

Dedico este trabalho à minha mãe, Maria Angélica, e meus irmãos,
Cleunice, João, Francisco, Clarice, Bartolomeu, Claudice, Analice e Katiane;
e à memória do meu pai, Durvalino (Bento).

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela minha vida, pela saúde e por ter me permitido trilhar esse caminho e concluir mais esta etapa.

Ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN, por possibilitar a continuidade dos meus estudos e em especial ao departamento LRA, no qual este trabalho foi desenvolvido; e ao CNPQ pela bolsa de estudo fornecida durante a realização deste projeto.

À Dr^a. Sandra Regina Damatto, pela orientação, e principalmente pela paciência e dedicação em instruir-me desde a Iniciação Científica até a conclusão deste mestrado.

À minha família pelo apoio e compreensão em relação às minhas ausências nos eventos familiares, e em especial a meu pai, que vive em meu coração e em minha memória e cujos ensinamentos me tornaram o homem que sou hoje.

Ao Dr. Lucio Leonardo, Dr. Marcelo Francis Máduar e aos colegas André Rodrigo, Pedro Nascimento, que foram de grande e essencial ajuda durante as fases iniciais desse projeto, principalmente na fase de coletas.

Aos colegas Aline Ramos, que através de um simples convite para fazer iniciação científica acabou me possibilitando uma nova visão de mundo e consequentemente uma nova perspectiva de vida, e Levi Francisco pela ajuda e colaboração prestadas a mim durante ao longo desses anos.

À Dra. Bárbara Paci Mazzilli pela oportunidade de realizar esse trabalho no Laboratório de Radiometria Ambiental, LRA; e às Dra. Brigitte Pecequilo e Dra. Cátia Saueia e Dr. Marcelo Bessa Nisti por todo o apoio e incentivo.

Aos amigos de Faculdade, Christiane Meire, Ana Carolina, Douglas Santos, Daiane Baungardt, Carlos, Thiago e demais “Químilokos”; e também, aos amigos do Instituto Butantan, Dener, Nicole, Milena, Gustavo, Cristiane, Camila, Diana, André, Lisley, Marília, Vivian, Paulo, pelos pouco mais importantíssimos momentos de

descontração realizados ao longo destes dois anos e pela amizade e companheirismo, muito obrigado.

Aos colegas do Laboratório de Radiometria Ambiental: Carolina Silva, Arthur Athayde, Laíssa Bonifácio, Fernanda Cavalcante, Alice Costa, Luiz Flávio, Marcos Medrado, Denise, Graziela Mendonça, Gustavo Freitas, Thiago Oliveira, Camila Dias, Crislene, Donilda, Leandro, Marcia Campos, Maria Jose Oliveira, Paulo Renê, Rique Rocha, Tamires Mora e todos que de uma forma ou de outra me enriqueceu com a companhia e convivência, meu muito obrigado.

Faça o teu melhor, na condição que você tem, enquanto você não tem condições melhores, para fazer melhor ainda.

Mário Sérgio Cortella

O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.

José de Alencar

RESUMO

SOUZA, J.M. **Avaliação da concentração de radionuclídeos naturais das séries ^{238}U e ^{232}Th , ^{40}K e caracterização química inorgânica de perfis de solo e testemunhos de sedimento da área de influência do reservatório Taiaçupeba, estado de São Paulo.** 2017. 123 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear - Aplicações) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN – CNEN/SP. São Paulo.

O Reservatório Taiaçupeba, localizado no estado de São Paulo, na divisa dos municípios Mogi das Cruzes e Suzano, faz parte do Sistema Produtor Alto Tietê – SPAT. A água deste reservatório é captada pela ETA da Sabesp para tratamento e distribuição, abastecendo 3,1 milhões de pessoas. Para se avaliar possíveis riscos à qualidade da água deste importante reservatório; foram coletados quatro perfis de solo e quatro testemunhos de sedimento na área de influência do reservatório. Este trabalho teve como objetivo avaliar a concentração de atividade dos radionuclídeos naturais ^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{232}Th , ^{228}Ra , ^{228}Th e ^{40}K e realizar a caracterização química inorgânica determinando os elementos As, Ba, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Hf, K, La, Lu, Nd, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Ta, Tb, Th, U, Yb e Zn no solo e sedimento marginal. As técnicas analíticas empregadas foram a espectrometria gama de alta resolução e a análise por ativação com nêutrons instrumental (INAA), respectivamente. Realizou-se a análise do fator de enriquecimento – FE para avaliar a contribuição antrópica nas concentrações dos elementos químicos obtidos por INAA, utilizando como referência os valores da Crosta Continental Superior – CCS. Analisou-se, também, a composição granulométrica, o conteúdo de água e o teor de matéria orgânica para auxiliar na interpretação dos resultados obtidos. Na análise granulométrica os perfis de solo apresentaram maiores percentuais de fração fina (silte + argila), enquanto que os testemunhos de sedimento apresentaram em sua maioria maiores percentuais de fração grossa (areia). Todos os perfis de solo apresentaram umidade praticamente constante, entre 10% e 20%. O sedimento apresentou variação no conteúdo de água, no geral reduzindo com a profundidade, sendo esta mais acentuada em um dos testemunhos. Em relação à matéria orgânica constatou-se maiores percentuais médios nos testemunhos de sedimento. No estudo das concentrações dos radionuclídeos naturais, verificou-se as maiores concentrações de atividade para os radionuclídeos ^{40}K , ^{232}Th e ^{228}Th , no solo, e ^{232}Th e ^{210}Pb , no sedimento. Em relação à caracterização química inorgânica do solo e sedimento foram determinados altos valores para os elementos As e Sb (40 mg.kg^{-1} e $2,9 \text{ mg.kg}^{-1}$) quando comparados com os valores da CCS ($1,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ e $0,2 \text{ mg.kg}^{-1}$), respectivamente.

Um dos testemunhos apresentou concentração elevadíssima para o elemento Zn (concentração máxima de 38157 mg.kg⁻¹ e média de 6602,6 mg.kg⁻¹) quando comparada aos valores da crosta continental superior (71 mg.kg⁻¹), indicando forte contribuição antrópica. Na análise do fator de enriquecimento, além dos elementos citados acima, outros elementos como Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Hf, La, Lu, Nd, Sm, Tb, Th, U e Yb também apresentaram contribuição antrópica.

Palavras Chave: radionuclídeos naturais; caracterização química inorgânica; solo; sedimento; Alto Tietê; reservatório Taiaçupeba.

ABSTRACT

SOUZA, J.M. **Assessment of the natural radionuclides concentrations from ^{238}U and ^{232}Th decay series, ^{40}K and inorganic chemical characterization of soil profiles and sediment cores in the catchment area of the Taiaçupeba reservoir, São Paulo.** 2017. 123 p. Dissertação (Mestrado em tecnologia nuclear - Aplicações) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN – CNEN/SP. São Paulo.

The Taiaçupeba Reservoir, located in the state of São Paulo, on the border of the municipalities of Mogi das Cruzes and Suzano, is part of the Alto Tietê Producer System - SPAT. The water from this reservoir is captured by Sabesp's ETA for treatment and distribution, supplying 3.1 million people. In order to evaluate possible risks to the water quality of this important reservoir, four soil profiles and four sediment cores were collected in the area of influence of the reservoir. The aim of this work was to evaluate the concentration of the natural radionuclides ^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{232}Th , ^{228}Ra , ^{228}Th and ^{40}K and to perform the inorganic chemical characterization determining the elements As, Ba, Ca, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, K, La, Lu, Na, Nd, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Ta, Tb, Th, U, Yb and Zn in soil profiles and marginal sediment cores. The analytical techniques used were high resolution gamma spectrometry and instrumental neutron activation analysis (INAA), respectively. The analysis of the enrichment factor - EF was performed to evaluate the anthropic contribution in the concentrations of the chemical elements obtained by INAA, using as reference the values of the Upper Continental Crust – UCC. The granulometric composition, the water content and the organic matter content were also analyzed to aid in the interpretation of the obtained results. In the particle size analysis, the soil profiles presented higher percentages of fine fraction (silt + clay), while the sediment samples showed in the majority of the cores higher percentages of coarse fraction (sand). The soil samples presented almost constant moisture in all profiles, varying from 10% and 20%. The sediment cores presented variation in the water content, generally reducing with the depth. Regarding organic matter, it was observed a higher mean percentage in the the sediment cores. In the study of the natural radionuclide concentrations the highest values determined were verified for the radionuclides ^{40}K , ^{232}Th and ^{228}Th in the soil samples and ^{232}Th and ^{210}Pb in the sediment samples. In relation to the inorganic chemical characterization of soil and sediment, high values for As and Sb elements (40 mg.kg^{-1} and 2.9 mg.kg^{-1}) were determined when compared to the values of UCC (1.5 mg.kg^{-1} and 0.2 mg.kg^{-1}), respectively. One of the sediment cores presented very high concentration for

the element Zn (maximum concentration of 38157 mg.kg⁻¹ and mean value of 6602.6 mg.kg⁻¹), higher than the value of UCC (71 mg.kg⁻¹), indicating a strong anthropogenic contribution. In the analysis of the enrichment factor, other elements such as Ce, Co, Cr, Cs, Eu Hf, La, Lu, Nd, Sm, Tb, Th, U and Yb also presented anthropogenic contribution.

Keywords: natural radionuclides; inorganic chemical characterization; ground; sediment; Alto Tietê; Taiaçupeba reservoir

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 Reservatórios	20
1.2 Solo e Sedimento	24
1.3 Radioatividade natural	26
1.4 Elementos maiores, menores e traço.....	29
1.5 Reservatório Taiaçupeba	33
1.6 Justificativa do trabalho	41
2 OBJETIVOS.....	43
2.1 Objetivos secundários	43
3 PARTE EXPERIMENTAL.....	44
3.1 Coleta e pré-tratamento das amostras	44
3.2 Determinação da umidade	47
3.3 Análise Granulométrica	47
3.4 Determinação da Matéria Orgânica	48
3.5 Densidades real e aparente	48
3.6 Porosidade total.....	50
3.7 Determinação do pH	50
3.8 Espectrometria Gama	50
3.8.1 Análise de autoatenuação	54
3.8.2 Limite de detecção (LID)	54
3.9 Análise por ativação com nêutrons instrumental (INAA)	55
3.9.1 Limite de detecção (LID)	57
3.9.2 Precisão e exatidão	59
3.9.3 Z-score.....	60
3.11 Fator de enriquecimento (FE).....	61
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	63
4.1 Solo.....	63
4.1.1 Análise granulométrica e umidade	63
4.1.2 Determinação da Matéria Orgânica	65

4.1.3 Densidades real e aparente e porosidade.....	65
4.1.4 Determinação do pH	68
4.1.5 Espectrometria gama	69
4.1.6 Análise por ativação com nêutrons instrumental (INAA)	72
4.1.7 Fator de enriquecimento (FE).....	78
4.2 Sedimento	80
4.2.1 Análise granulométrica e conteúdo de água.....	80
4.2.2 Determinação da Matéria Orgânica	82
4.2.3 Espectrometria gama	84
4.2.4 Análise por ativação com nêutrons instrumental (INAA)	87
4.2.5 Fator de enriquecimento (FE),	93
5 CONCLUSÃO.....	96
6 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	99
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	100
APÊNDICE A.....	108
APÊNDICE B.....	112
APÊNDICE C.....	116
APÊNDICE D.....	124
APÊNDICE E.....	132
APÊNDICE F.....	136

LISTAS DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1.1 - Principais impactos das atividades humanas nos recursos hídricos do Brasil e suas interrelações.	18
FIGURA 1.2 - Zonação longitudinal de um reservatório.	22
FIGURA 1.3 - Séries radioativas do ^{238}U (1) e do ^{232}Th (2).	28
FIGURA 1.4 - Reservatório Taiaçupeba (imagem de satélite).	34
FIGURA 1.5 - Representação do Sistema Produtor Alto Tietê (SPAT).	35
FIGURA 3.1 - Reservatório Taiaçupeba – imagem de satélite	44
FIGURA 3.2 - Imagens da coleta e preparação das amostras..	46
FIGURA 3.3 - Imagens dos materiais e equipamento utilizado na análise de espectrometria gama..	53
FIGURA 3.4 - Representação esquemática da interação do nêutron incidente com núcleo alvo.	56
FIGURA 3.5 - Valores de Z obtidos na análise do material de referência SL1, utilizando o montana II como padrão.	61
FIGURA 3.6 - Valores de Z obtidos na análise do material de referência Montana II, utilizando o SL1 como padrão.	61
FIGURA 4.1 - Composição granulométrica e umidade do solo dos perfis de solo TASO 01, TASO 02, TASO 03 e TASO 04.	64
FIGURA 4.2 - Concentrações dos radionuclídeos naturais ^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{232}Th , ^{228}Ra , ^{228}Th e ^{40}K obtidos nos perfis TASO 01 e TASO 02.	70
FIGURA 4.3 - Concentrações dos radionuclídeos naturais ^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{232}Th , ^{228}Ra , ^{228}Th e ^{40}K obtidos nos perfis TASO 03, TASO 04.	71

FIGURA 4.4 - Concentrações dos elementos obtidos por INAA, conteúdo de água e fração grossa e fina do perfil TASSO 01.	74
FIGURA 4.5 - Concentrações dos elementos obtidos por INAA, conteúdo de água e fração grossa e fina do perfil TASSO 02.	75
FIGURA 4.6 - Concentrações dos elementos obtidos por INAA, conteúdo de água e fração grossa e fina do perfil TASSO 03.	76
FIGURA 4.7 - Concentrações dos elementos obtidos por INAA, conteúdo de água e fração grossa e fina do perfil TASSO 04.	77
FIGURA 4.8 - Valores do fator de enriquecimento - FE dos perfis TASSO 01 e TASSO 02.	78
FIGURA 4.9 - Valores do fator de enriquecimento - FE dos perfis TASSO 03 e TASSO 04.	79
FIGURA 4.10 - Composição granulométrica e conteúdo de água dos testemunhos de sedimento TASE 01, TASE 02, TASE 03 e TASE 04.	81
FIGURA 4.11 - Concentrações dos radionuclídeos naturais ^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{232}Th , ^{228}Ra e ^{228}Th obtidos nos testemunhos TASE 01 e TASE 02.	85
FIGURA 4.12 - Concentrações dos radionuclídeos naturais ^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{232}Th , ^{228}Ra e ^{228}Th obtidos nos testemunhos TASE 03 e TASE 04.	86
FIGURA 4.13 - Concentrações dos elementos obtidos por INAA, conteúdo de água e fração grossa e fina do testemunho TASE 01.	89
FIGURA 4.14 - Concentrações dos elementos obtidos por INAA, conteúdo de água e fração grossa e fina do testemunho TASE 02.	90
FIGURA 4.15 - Concentrações dos elementos obtidos por inaa, conteúdo de água e fração grossa e fina do testemunho TASE 03.	91
FIGURA 4.16 - Concentrações dos elementos obtidos por inaa, conteúdo de água e fração grossa e fina do testemunho TASE 04.	92

FIGURA 4.17 - Valores do fator de enriquecimento - FE do testemunho TASE 01.93

FIGURA 4.18 - Valores do fator de enriquecimento - FE do testemunho TASE 02.94

FIGURA 4.19 - Valores do fator de enriquecimento - FE do testemunho TASE 03.95

FIGURA 4.20 - Valores do fator de enriquecimento - FE do testemunho TASE 04.95

LISTA DE TABELAS

Página

TABELA 1.1 - Principais diferenças entre rios, lagos e reservatórios.....	23
TABELA 3.1 - Datas das coletas, coordenadas dos pontos de amostragem e denominação dos perfis de solo e testemunhos de sedimento.....	45
TABELA 3.2 - Principais energias dos radionuclídeos analisados.	52
TABELA 3.3 - Limites de detecção obtidos para os radionuclídeos ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{228}Ra , ^{228}Th e ^{40}K na espectrometria gama (Bq.kg^{-1})	55
TABELA 3.4 - Limites de detecção obtidos para os elementos estudados por INAA, em mg kg^{-1} , para os materiais de referência SL1 e Montana II.	58
TABELA 3.5 - Concentração dos elementos, valor calculado e valor certificado (mg.kg^{-1}), desvio padrão relativo (DPR) e erro relativo (ER) para o material de referência SL1.....	59
TABELA 3.6 - Concentração dos elementos, valor calculado e valor certificado (mg.kg^{-1}), desvio padrão relativo (DPR) e erro relativo (ER) para o material de referência Montana II.....	60
TABELA 4.1 -Percentual de matéria orgânica obtido por PMI nos perfis de solo TASSO 01, TASSO 02, TASSO 03 e TASSO 04.	66
TABELA 4.2 - Valores de densidade real, densidade aparente e porosidade dos perfis de solo TASSO 01, TASSO 02, TASSO 03 e TASSO 04.....	67
TABELA 4.3 - Valores médios de pH determinados para os perfis de solo TASSO 01, TASSO 02, TASSO 03 e TASSO 04.	68
TABELA 4.4 - Percentual de matéria orgânica obtido por PMI nos testemunhos de sedimento TASE 01, TASE 02, TASE 03 eTASE04.....	83

1 INTRODUÇÃO

A água é uma substância essencial à vida no nosso planeta e a mais abundante nos tecidos animais e vegetais, assim como na maior parte de tudo que cerca o ser humano. Embora três quartos da superfície terrestre sejam cobertos de água, ela é um recurso limitado, pois apenas 3% da água do planeta está disponível na forma de água doce. Destes 3%, grande parte se encontra congelada nas calotas polares; apenas 0,3% de toda água doce está disponível podendo ser utilizado pelo homem. Essa pequena fração de água aproveitável pelo homem encontra-se nos rios, lagos e lençóis subterrâneos, podendo ser utilizados para o abastecimento doméstico e industrial, agricultura, pecuária, recreação e lazer, geração de energia, entre outros (TUNDISI, 2003; 2014).

A água pode ser encontrada nos estados sólido, líquido e gasoso. O ciclo da água na natureza permite que ela interaja com os outros compartimentos ambientais como ar, solo e sedimento, fazendo com que os contaminantes solúveis na água passem também a compor os corpos aquáticos.

No Brasil, há muitos anos se observa um aumento na demanda de água para os municípios e indústrias. Essa maior demanda é provocada pela expansão e grau de urbanização da população, resultando em maior utilização dos recursos hídricos e usos múltiplos dos mesmos. Os usos múltiplos desses recursos referem-se principalmente ao abastecimento populacional e industrial, e também, às atividades rurais geradoras de alimentos, como a irrigação e criação de animais.

Deste modo a qualidade da água se tornou uma das grandes preocupações do ser humano na atualidade, devido à degradação do meio ambiente provocada pelas atividades humanas causadoras de poluição (TUNDISI, 2014), e também, devido a impactos que interferem no ecossistema aquático, como o desmatamento e a construção de reservatórios (TUNDISI, 2003).

Os reservatórios são formados principalmente pelo represamento de rios, sendo considerados desta forma como lagos artificiais. A construção de um reservatório afeta a hidrogeomorfologia associada ao rio, influenciando toda a bacia hidrográfica e oferecendo uma série de vantagens e ao mesmo tempo prejuízo ao meio ambiente e à população. Segundo NOGUEIRA et al. (2010) na região sudeste o número de reservatórios é elevado quando comparado às demais regiões do Brasil, sendo um total de 55 represas de médio e grande porte (ESTEVES, 2011).

As atividades humanas têm grande influência sobre a qualidade do meio ambiente, especialmente nos recursos hídricos. Os principais impactos nas bacias hidrográficas e suas consequências são resumidos e evidenciados por TUNDISI (2014) conforme FIG. 1.1, que apresenta um conjunto de inter-relações e consequências diretas e indiretas que afetam não só os recursos hídricos, mas também, a economia regional e a saúde humana.

FIGURA 1.1 - Principais impactos das atividades humanas nos recursos hídricos do Brasil e suas inter-relações. Em destaque pontos críticos das causas e consequências.

Fonte: TUNDISI, 2014.

O autor destaca dentre estas inter-relações o desmatamento, o uso do solo e as fontes pontuais e não pontuais de contaminação como sendo os principais causadores de impactos nos recursos hídricos e, como consequências desses impactos o aumento da

turbidez, da toxicidade na água e no sedimento, além de risco à saúde humana e impactos econômicos, como por exemplo, um custo alto na recuperação dos ecossistemas.

A qualidade da água armazenada nos reservatórios pode ser influenciada por muitos fatores, entre eles, as bacias hidrográficas que os formam, o clima, o solo e o volume de precipitação e vegetação ao redor do mesmo. As atividades humanas à montante do reservatório, também, influenciam diretamente nesta qualidade, uma vez que um reservatório se comporta como um coletor de tudo que possa ocorrer em seus arredores.

As causas da degradação da qualidade da água, ou seja, os fatores que influenciam na qualidade da água, podem ser classificados como fontes pontuais de poluição, que englobam os efluentes industriais e de esgoto, cujo local de lançamento e despejo é conhecido, e fontes difusas, compostas pela drenagem urbana e agrícola, pela precipitação atmosférica, entre outros (LLOYD, 1992).

A qualidade da água pode, ainda, ser influenciada pela alteração significativa do volume de água de um reservatório, visto que grandes vazões resultam em maior diluição dos poluentes; ou em outros casos, em uma maior erosão das margens, principalmente se as mesmas não estiverem devidamente protegidas, pois os elementos presentes no solo também serão lançados na água, aumentando assim os níveis destes no reservatório.

Do mesmo modo, reservatórios localizados em regiões que passam por longos períodos de estiagem podem ter a qualidade da água afetada devido às partes do leito ou até mesmo braços da represa ficarem expostos às intempéries do clima e às atividades humanas ou de animais, causando alterações físicas e químicas no meio aquático, como variações de pH, eliminação de gás sulfídrico ou aumentando da carga de nutrientes que entram no reservatório (RODGHER et al., 2005).

Em suma, a quantidade de água disponível e a qualidade da mesma estão relacionadas diretamente às condições naturais e antrópicas as quais os corpos de água estão expostos (SILVA, 2012). Segundo a Agência Nacional das Águas - ANA (2009) a escassez de água e a falta de qualidade da mesma impacta negativamente a população humana, pondo em risco o abastecimento público com água potável, a produção de alimentos, e também a saúde humana.

O reservatório Taiacupeba, área de estudo desse trabalho, está localizado na bacia hidrográfica Alto Tietê, classificada como bacia de vocação industrial, conforme designado pelo Anexo III da Lei Estadual nº 9.034 de 1.994. Quanto ao uso da água, este reservatório é classificado como classe especial - água destinada ao consumo humano com desinfecção, conforme a norma CONAMA 357/2005 (CETESB, 2017)

Essas características de certa forma demandam certa preocupação, pois ao mesmo tempo em que o reservatório se localiza em uma região industrializada, ou seja, uma região com alta produtividade industrial e consequentemente grande quantidade de rejeitos e contaminantes, o mesmo requer um controle rígido da qualidade em função de sua utilização.

O estudo do sedimento de um reservatório e do solo ao seu redor é uma forma de avaliar as concentrações dos elementos presentes neste ecossistema aquático, para que se possa acompanhar o grau de degradação das características locais, de modo a prevenir uma possível contaminação; impedindo que se contamine, também, a água disponível no reservatório.

1.1 Reservatórios

Os reservatórios, também denominados de represas, são ecossistemas aquáticos formados principalmente pelo represamento de rios, sendo considerados desta forma como lagos artificiais. Os primeiros reservatórios do mundo foram construídos inicialmente para irrigação, porém mais tarde receberam diversos fins como, por exemplo, a prevenção de cheias, a pesca, a navegação, o abastecimento industrial e populacional com água potável e mais recentemente a obtenção de energia elétrica e recreação (STRASKRABA e TUNDISI, 2008; TUNDISI e TUNDISI, 2008; ESTEVES, 2011).

A maioria das represas brasileiras resultou da segmentação de muitos rios, como é o caso do Rio Grande e do Rio Tietê. Atualmente existem mais de 55 represas de médio e grande porte no estado de São Paulo, que cobrem uma área de aproximadamente 5500 km² (ESTEVES, 2011). Os reservatórios artificiais possuem inúmeras interações com as bacias hidrográficas que lhes deram origem, com o sedimento e com o solo da região (TUNDISI e TUNDISI, 2008; ESTEVES, 2011).

A construção de represas implica em diversos impactos que podem ser classificados como positivos ou negativos. Dentre os principais impactos positivos é possível citar o controle do fluxo de água, possibilitando a prevenção de enchentes, a produção de eletricidade, o aumento na disponibilidade de água para abastecimento e irrigação, a recreação e turismo, a criação de postos de trabalho para a população local, entre outros. Em contrapartida, como impactos negativos, pode-se mencionar o deslocamento da população nativa com perda em aspectos culturais e históricos, perda da biodiversidade de rios e de espécies nativas, introdução de uma barreira para migração de peixes, inundação de terras que poderiam ser utilizadas para agricultura, efeitos na composição química da água, tanto à montante quanto à jusante decorrente da alteração no processo de sedimentação, podendo resultar em degradação da qualidade da água e aumento na transmissão de doenças (TUNDISI, 1999; ESPÍNDOLA, 2001; TEALDI et. al., 2011; LI et al., 2012). Uma vez que a água pode oferecer risco à saúde da população, nos reservatórios cuja água é utilizada para o consumo humano deve-se ter uma atenção maior quanto à qualidade da mesma. (TUNDISI, 1999, ESPÍNDOLA, 2001).

A construção de um reservatório afeta a hidrogeomorfologia associada ao rio, pois quando o tempo de residência da água (volume/vazão) é pequeno, o reservatório assume características similares às dos ecossistemas lóticos, rios; enquanto que se o tempo de retenção for grande, o mesmo tem suas características parecidas com ambientes lênticos, lagos (HENRY et al., 1998; MADRUGA et al., 2014).

O tempo de residência depende do manejo do reservatório e influencia principalmente na erosão das margens (COELHO, 2008) e na sedimentação e transporte de partículas suspensas e nutrientes dentro do reservatório. Se o tempo de retenção for pequeno, as partículas e nutrientes carregados pela água tendem a se depositar mais no interior do reservatório; enquanto que, se o mesmo for grande essa sedimentação ocorre na parte inicial. Também afeta o transporte dos radionuclídeos e sua deposição, seguindo a mesma lógica da sedimentação (CHEN et al., 2014), podendo ocorrer em uma das três zonas normalmente encontradas em uma represa: zona de influência dos rios ou zona rio, zona intermediária ou de transição e zona lacustre, próxima à barragem (COOKE et al., 2005; COPE, 2008; SMITH et al., 2014). Estas zonas e também as principais características de cada uma são apresentadas na FIG. 1.2 (COOKE et al., 2005).

FIGURA 1.2 - Zonação longitudinal de um reservatório.

Fonte: COOKE et al., 2005.

As principais características dos rios, dos lagos naturais e dos reservatórios, são apresentadas por COPE (2008), caracterizando-os quanto à variação no volume de água, a entrada e saída de água, o tempo de retenção, entrada de nutrientes e dinâmica destes no reservatório; e são apresentados na TAB. 1.1.

COOKE et al. (2005) e COPE (2008) ainda apontam algumas diferenças entre lagos naturais e reservatório. Enquanto os lagos naturais apresentam formas bastante simétrica e se localizam no centro da área de drenagem, podendo existir vários pontos profundos ao longo dos mesmos, os reservatórios apresentam formato alongados e ramificados, além disso, são normalmente construídos no limite à jusante da bacia, apresentando maior profundidade próxima da barragem.

Muitos reservatórios do Brasil foram construídos seguindo o modelo em cascatas. Segundo BARBOSA et al. (1999), nos reservatórios em cascata a alteração nas características do ecossistema aquático se dá nas dimensões lateral, vertical e longitudinal, conforme descrito no Conceito de Reservatório Contínuo em Cascata (do inglês: Cascading Reservoir Continuum Concept - CRCC). Nesse sentido, conforme citam OUYANG et al. (2011) e SMITH et al. (2014) é necessário buscar entender o efeito acumulado desse tipo de barragens sobre as características hidrológicas, sobre os sedimentos e a descarga de poluentes e nutrientes no ambiente.

TABELA 1.1 - Principais diferenças entre rios, lagos e reservatórios.

Propriedade	Rio	Lago	Reservatórios
Variação no volume de água	Grande e irregular; depende de condições climáticas.	Pequena e estável.	Grande e irregular; depende das regras de operação.
Entrada de água	Depende do clima e da geomorfologia da bacia.	Depende dos tributários e fontes difusas superficiais ou subterrâneas.	Depende dos tributários superficiais e derivações.
Saída de água	Fluxo contínuo.	Relativamente estável. Fluxo superficial (Evaporação).	Irregular; depende das regras de operação. Fluxo em várias profundidades da coluna d'água.
Tempo de residência	Pequeno. Algumas horas a poucas semanas.	Longo. De um a vários anos.	Variável. De dias a anos.
Entrada de nutrientes	Entradas laterais; depende da geologia e uso do solo.	Entrada moderada; depende dos processos biogeoquímicos dos ecossistemas no entorno.	Entrada maior que a dos lagos; depende da carga nos tributários e tipo de solo.
Dinâmica denutrientes	Associada ao fluxo e vazão.	Relacionada a gradientes verticais. Lago não eutrofizado pela ação antrópica (pequena carga interna).	Relacionada a gradientes Horizontais. Depende do tempo de residência, da taxa de sedimentação e do regime hidráulico.

Fonte: COPE, 2008 (modificada).

Para BARBOSA et al. (1999), NOGUEIRA et al. (2010) foram poucos os esforços realizados na busca de minimizar os prejuízos na estrutura e funcionamento ecológico de um rio após esse tipo de interferência. Entretanto para STRASKRABA (1994) a qualidade da água presente nos reservatórios distribuídos em sistema de cascata tende a melhorar, uma vez que parte dos nutrientes e poluentes é retida nos reservatórios anteriores através da sedimentação nos mesmos. O mesmo destaca a importância de se analisar essa qualidade em função da posição do reservatório e a relação com o efeito de descarga do reservatório anterior.

1.2 Solo e Sedimento

O solo e o sedimento, como já citado anteriormente, influenciam diretamente na qualidade da água de um reservatório, pois ocorrem continuamente troca de componentes entre estes e os corpos aquáticos.

O solo é um material complexo composto de minerais e componentes orgânicos, água e ar (FORKAPIC et al., 2017). Ele pode ser definido como o material resultante do intemperismo ou meteorização das rochas por desintegração mecânica ou ação de agentes como a água, a temperatura, a vegetação e o vento; ou ainda, por meio de processos de modificação química ou mineralógica das rochas, através da oxidação, hidratação ou carbonatação (MONIZ, 1975; JENNY, 1994).

Segundo a CETESB (2017) os solos do Estado de São Paulo apresentam naturalmente concentrações elevadas de alumínio, ferro e manganês. Dessa forma, o solo constitui-se em uma fonte significativa desses metais para os corpos hídricos, através da lixiviação de partículas e matéria orgânica devido a processos erosivos intensos, dentre outros fatores, por chuvas e carência ou ausência de cobertura vegetal.

O sedimento é um dos compartimentos mais importantes dos ecossistemas aquáticos. Ele pode ser definido como o material inconsolidado originado de partículas minerais ou rochas preexistentes susceptíveis de ser transportado e depositado. O mesmo é constituído de partículas de diferentes tamanhos, formas e composição química, sendo depositado, de acordo com suas propriedades texturais no fundo dos ambientes aquáticos, podendo ser classificado segundo o ambiente de sedimentação ou quanto ao tipo de sedimentação (GUERRA e GUERRA, 1997; SUGUIO, 1998).

Segundo KRMAR et al., (2013) a composição inorgânica do sedimento depende da variação dos diferentes componentes minerais que chegam no leito do rio, bem como do resultado da evolução química e mineralógica do sedimento ao longo do seu percurso nos corpos aquáticos.

Os processos da sedimentação nos reservatórios podem ser complexos. Os sedimentos transportados pelo sistema fluvial são depositados, primeiramente, devido à redução da velocidade da água, ou seja, próximo à entrada do reservatório ou zona de transição (lótico/lêntico). Quando se leva em consideração apenas o fator fluvial, a deposição do sedimento ocorre continuamente na zona de transição; entretanto, esta deposição pode variar entre as demais zonas do reservatório, influenciada pela operação e ocorrência de enchentes ou precipitações pluviométricas. Durante a ocorrência de enchentes, fortes chuvas ou mesmo grande liberação de água pelo reservatório, o fluxo de entrada da água aumenta e consequentemente a posição da zona de transição e deposição do sedimento muda. De modo geral, quanto maior for o fluxo de água no reservatório, mais no centro do reservatório será depositado o sedimento, e quanto menor o fluxo mais no início.

As partículas mais pesadas, como pedregulhos e areias grossas, são as primeiras a se depositar enquanto o sedimento mais fino adentra-se ao reservatório; e à medida que os sedimentos se acumulam, a capacidade de armazenamento de água no mesmo vai diminuindo (CARVALHO et al., 2000).

Os processos naturais de formação de sedimentos vêm sendo intensamente alterados pela ação do homem. A erosão do solo causada pelo desmatamento das margens e pela construção de prédios e rodovias (redução das áreas de infiltração), bem como o lançamento direto de efluentes industriais e domésticos tem propiciado um perfil significativamente diferente daqueles verificados em ambientes naturais não impactados (MUDROCK e MACKNIGHT, 1991).

Os principais fatores que afetam a produção de sedimentos segundo ICOLD (1989) apud CARVALHO et al. (2000) são:

- Volume, intensidade e frequência das precipitações;
- Geologia do solo e topografia (geomorfologia);

- Proteção do solo (vegetação, rochas aparentes e outros) e escoamento superficial;
- Uso do solo (práticas de cultivo, pastagens, exploração de florestas, atividades de construção e medidas de conservação);
- Natureza da rede de drenagem (densidade, declividade, forma, tamanho e conformação dos canais) e hidráulica dos canais;
- Características dos sedimentos (granulométricas, mineralógicas, etc.).

O sedimento contém materiais precipitados de processos químicos e biológicos que ocorrem nos ecossistemas aquáticos (GUERRA e GUERRA, 1997; SUGUIO, 1998), além disso, ele constitui um setor de grande potencial para o acúmulo de elementos traço (ROBBINS, 1989; ARGOLO, 2001; DAMATTO et al., 2003; ÁLVAREZ-IGLESIAS et al., 2007) e maiores, podendo ser utilizados no estudo da poluição, como indicadores da presença e dos níveis destes elementos, tornando-se assim uma importante ferramenta para a compreensão de aspectos geofísicos e geoquímicos desses ecossistemas (EISENBUD e GESELL, 1997).

Os elementos maiores e traço podem acumular-se em níveis elevados no sedimento, e o estudo da sua concentração pode indicar uma possível poluição do ecossistema. Uma atenção especial deve ser dada aos elementos que apresentam toxicidade, pois eles não são naturalmente degradados nem definitivamente fixados no sedimento, sendo, portanto, os principais responsáveis por contaminação inorgânica de ambientes aquáticos (BEVILACQUA et al., 2009).

Deste modo, o sedimento tem sido cada vez mais utilizado em estudos de avaliação da qualidade de ecossistemas aquáticos, relatando condições históricas da influência de atividades antrópicas sobre esses ambientes (CETESB, 2017).

1.3 Radioatividade natural

A radioatividade natural está presente no planeta Terra desde sua criação. Esta radioatividade se deve à presença de nuclídeos radioativos em concentrações variáveis na natureza (rochas, solo, água e ar) (UNSCEAR, 2000), podendo ser classificados quanto à origem em primordial, produzida a partir dos radionuclídeos encontrados naturalmente no solo, ou cosmogênicos, resultante da interação dos raios cósmicos com a atmosfera

terrestre (EISENBUD e GESELL, 1997; AMANJEET et al., 2017).

A radioatividade natural está relacionada principalmente à presença dos radionuclídeos naturais ^{40}K e demais radionuclídeos das séries do ^{235}U , ^{238}U e do ^{232}Th (NENADOVIĆ et al., 2012; MADRUGA et al., 2014; BAKM e GORGUN, 2015; ISINKAYE e EMELUE, 2015; FORKAPIC et al., 2017; AMANJEET et al., 2017), sendo os radionuclídeos dessas séries uma das maiores fontes de exposição à radiação natural às quais o ser humano está exposto (UNSCEAR, 2008). A influência dos radionuclídeos da série do ^{235}U é pouco significativa devido à baixa abundância isotópica do mesmo nos ambientes naturais.

As séries dos radionuclídeos ^{238}U e ^{232}Th , citadas acima, são apresentadas na FIG.1.3. Em destaque se encontram os radionuclídeos estudados nesse trabalho, além do ^{40}K .

Os níveis de radiação no solo, embora estejam relacionados com os radionuclídeos presentes na rocha-mãe, dependem primeiramente do processo de formação do solo e das condições geológicas e geográficas locais; logo, diferentes partes do mundo terão diferentes níveis de radiação natural (UNSCEAR, 2000; ISINKAYE e EMELUE, 2015).

A radiação natural presente nas rochas e no solo, assim como os elementos químicos, pode ser transferida a outros compartimentos do ambiente, por meio da ação do vento, do intemperismo químico e físico e da dissolução e incorporação destes na água, com posterior acúmulo nos corpos hídricos e no sedimento. Assim, a radiação natural se encontra distribuída nos vários compartimentos ambientais, como rochas, solo, água e ar (ISINKAYE e EMELUE, 2015).

Os radionuclídeos presentes no solo são adsorvidos pelos seus constituintes, como matéria orgânica, argilas e carbonatos; deste modo, as características do solo acabam interferindo nos diferentes processos relacionados à sua migração no ecossistema e fixação biológica (KOCH-STEINDL et al., 2001; TAKEDA et al., 2006, NAVAS et al., 2011; apud FORKAPIC et al., 2017).

FIGURA 1.3 - Séries radioativas do ^{238}U (1) e do ^{232}Th (2).

Fonte: DAMATTO, 2010 (modificada).

O sedimento representa, para a biota aquática, uma grande fonte de exposição à radiação. Seus níveis de radiação natural também estão relacionados aos tipos de rocha ou solo a partir dos quais este se origina. Além disso, ele atua como um depósito e meio de migração dos radionuclídeos para o meio aquático, através do processo de sedimentação e ressuspensão das partículas de fundo (ISINKAYE e EMELUE, 2015).

Segundo AGBALAGBA e ONOJA (2011) os lagos apresentam concentrações de atividades ligeiramente maiores do que no rio, devido ao acúmulo de partes dos radionuclídeos, transportados pelos rios, nesses ambientes. Isso implica que provavelmente o mesmo deva ser observado quanto aos reservatórios, uma vez que no mesmo há um fluxo de água mais lento, favorecendo a sedimentação.

As concentrações de atividades em todos os seguimentos ambientais podem e são na maioria afetados pelas atividades humanas. Atividades como a agricultura, por exemplo, ao fazer uso de fertilizantes derivados de rochas fosfáticas, pode aumentar a concentração dos radionuclídeo natural ^{40}K e demais radionuclídeos das séries do ^{232}U e ^{232}Th (NENADOVIĆ et al., 2012).

A exposição do ser humano à radiação natural ocorre por duas vias principais: via externa, caracterizada pela exposição através da irradiação proveniente dos radionuclídeos no meio ambiente, e via interna, caracterizada pela ingestão e inalação dos radionuclídeos (PULHANI et al., 2005 apud KRMAR et al., 2013). Esta última é a principal via e ocorre por meio da cadeia alimentar com a ingestão de água e alimentos como, plantas e carnes com altas concentrações de radionuclídeos (CHIKASAWA et al., 2001; AROGUNJO et al., 2004, AVWIRI e AGBALAGBA, 2007; SINGH et al., 2009; AGBALAGBA e. ONOJA, 2011; MADRUGA et al., 2014; AMANJEET et al 2017).

Para avaliar e acompanhar os efeitos dessa exposição é de suma importância o conhecimento sobre a distribuição dos radionuclídeos nos ambientes e seus níveis de radiação, a fim de identificar quaisquer mudanças que venham ocorrer (UNSCEAR, 2000; OBED et al., 2005; AMANJEET et al., 2017)

1.4 Elementos maiores, menores e traço

Elementos maiores é a denominação dada aos principais elementos químicos que compõe a crosta terrestre cuja presença nos componentes da crosta é maior que 1% em

massa. Esses elementos normalmente se apresentam na forma de óxidos como, por exemplo, SiO_2 , Al_2O_3 , FeO , Fe_2O_3 , CaO , MgO e Na_2O . Os elementos P, S, Mn e Ti também se apresentam na forma de óxidos e devido a uma abundância em torno de 0,01% a 1 % são denominados elementos menores. Elementos traços são todos os elementos encontrados na natureza em concentrações muito baixas e cuja presença não altera a composição mineralógica das rochas. Fazem parte desse grupo os elementos Cr, Ni, Rb, Sr, Nd, Ba, La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Ta, Hf, Th, U, entre outros. (KRAUSKOPF e BIRD, 1995; DAMATTO, 2010; SUGUIO, 2003; AMORIM, 2012).

Alguns elementos são encontrados nos seres vivos, como Ca, Fe, Na, P, Cr, Cu, S, Se, Mg e Mn, e devido à importância nos processos biológicos são classificados como elementos essenciais. Esses elementos também se encontram na natureza em rochas, solos, sistemas aquáticos e sedimentos; quando encontrados em altas concentrações são considerados tóxicos (SILVA, 2012). Elementos não essenciais também se encontram distribuídos nesses ambientes, em baixas concentrações quando em condições naturais, ou com concentração acima dos valores tidos como normais, quando em condições antrópicas, gerando assim um problema de contaminação.

A biodisponibilidade e o comportamento dos elementos traço, no solo, estão intrinsicamente relacionados ao processo de adsorção dos elementos (BRUMMER, 1986). Esta adsorção pode ocorrer por diversos mecanismos como, por exemplo, adsorção específica, adsorção não específica, complexação orgânica, entre outros (ALLOWAY, 1995). Na adsorção específica os elementos, na forma de cátions metálicos, são adsorvidos através de ligações covalentes entre íons e as superfícies adsorventes (KEENEY, 1979); na adsorção não específica, os elementos, presentes no solo na forma de cátions, serão adsorvidos de acordo com a densidade de íons negativos (ânions) presentes nas partículas finas do solo, bem como da seletividade desses íons (GAST, 1979); enquanto que na complexação orgânica os cátions metálicos são adsorvidos em substâncias húmicas formando complexos (CHEM e STEVENSON, 1986). Esses mecanismos de adsorção sofrem bastante influência do potencial hidrogeniônico (pH) e também da quantidade de matéria orgânica presente no solo (SILVA, 2006).

Ambientes aquáticos apresentam grande capacidade de acumulação desses elementos, podendo ser influenciada por fatores como a geologia local, por meio do arraste do solo e de seus componentes, ou, ainda, pela ação antrópica. Contaminantes provenientes

de descargas industriais e domésticas quando liberados na água, podem ser adsorvidos ou ligar-se ao material particulado, tornando-se parte do sedimento de fundo desses ambientes (VIGANÒA et al., 2003), caso estes contaminantes estejam presentes no solo, os mesmos são arrastados nos períodos chuvosos indo parar também nos corpos aquáticos. Do mesmo modo, fertilizantes agrícolas podem acarretar intensificação de contaminantes dependendo das práticas agrícolas utilizadas na região. De um modo geral, a contaminação será maior, quanto menos eficiente for o sistema de coleta e tratamentos de esgoto e/ou limpeza pública, ou ainda quanto menos conscientes forem as práticas rurais (CETESB, 2005).

A seguir, alguns dos principais contaminantes desses ambientes serão resumidamente caracterizados:

Arsênio (As) – O arsênio é um elemento de ocorrência natural, na crosta terrestre se apresenta em concentração entre 2 e 5 mg.kg⁻¹. Ele é frequentemente encontrado em minérios de ouro, prata, níquel, cobalto, cromo e antimônio, sendo obtido comercialmente no beneficiamento desses minérios. O arsênio é bastante utilizado em inseticidas, pesticidas, dissecante de plantas, detergentes e na indústria farmacêutica e têxtil (AZEVEDO e CHAIM, 2003, QUINÁGLIA, 2006; SILVA, 2012; CETESB, 2017).

O arsênio pode ser tóxico, e sua toxicidade dependerá da forma química como ele se apresenta (As⁺³ ou As⁺⁵), sendo o As⁺³ o mais preocupante devido seu alto potencial redox. A intoxicação por arsênio pode causar problemas nos sistemas respiratório, gastrointestinal, cardiovascular e nervoso, podendo levar a coma ou morte do indivíduo. Em mamíferos, esse elemento pode ainda ser passado ao feto causando malformações ou morte (CETESB, 2017).

Em ambientes aquáticos, o arsênio é predominantemente encontrado no sedimento, sendo sua dessorção e disponibilidade na água influenciada pelo pH, e presença de ferro total e carbonato de cálcio. Nas águas, em condições naturais, suas concentrações não ultrapassam 10 µg.L⁻¹ (QUINÁGLIA, 2006; CETESB 2017). O valor máximo permitido de arsênio em água para o consumo humano é de 0,01 mg.L⁻¹ conforme a Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011; CETESB, 2017).

Bário (Ba) – O Bário não é um elemento essencial ao homem. Esse elemento está naturalmente presente em águas (algumas fontes minerais) na forma de carbonatos, geralmente em concentrações entre 0,7 e 900 µg.L⁻¹; sendo 0,7 mg.L⁻¹ é o valor máximo

permitido de bário em água potável, conforme Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011; CETESB, 2017).

As principais fontes antrópicas deste metal são as fábricas têxteis e de papel, as lâmpadas fluorescentes, tintas, borrachas, cerâmicas, entre outras (QUINÁGLIA, 2006; CETESB, 2017).

São inúmeros os efeitos da contaminação por bário, dentre eles é possível citar problemas no coração e no sistema nervoso, constrição dos vasos sanguíneos com consequente elevação da pressão arterial (CETESB, 2016). QUINÁGLIA (2006) ainda cita, como efeito dessa contaminação, retardo mental em crianças, perda de memória, tendência de inflamação recorrente nas amígdalas, formação de gânglios, envelhecimento precoce, predisposição a aneurismas e derrames, ou até morte, caso seja ingerido aproximadamente 0,5 g de compostos de bário.

Cromo (Cr) – O cromo é o sétimo metal mais abundante na crosta terrestre, e mesmo assim, quase todo o cromo presente no ambiente aquático provém de atividades humanas. Sua disponibilidade neste, é decorrente do lançamento de efluentes nos rios, e seu acúmulo nos sedimentos ocorre em função da redução do Cr^{+6} para o Cr^{+3} , processo esse que ocorre de forma lenta, mas que é influenciado pelo tipo e quantidade de matéria orgânica, além das condições de oxirredução (AZEVEDO e CHAIN, 2003; QUINÁGLIA, 2006). Na forma trivalente (Cr^{+3}) o mesmo é essencial ao metabolismo humano e sua falta pode resultar em doenças; enquanto que na forma hexavalente (Cr^{+6}), ele se torna altamente tóxico e cancerígeno (CETESB, 2017).

O cromo é encontrado naturalmente em animais, plantas, solo, poeira, névoas vulcânicas e principalmente em rochas, em concentrações que variam conforme o tipo de rocha. Em argilas sua concentração pode variar de 30 a 590 mg.kg^{-1} (AZEVEDO e CHAIN, 2003).

Esse metal é amplamente utilizado na produção de ligas metálicas, estruturas da construção civil, fertilizantes, tintas, pigmentos, entre outros usos. Na maioria das águas superficiais sua concentração varia entre 1 e 10 $\mu\text{g.L}^{-1}$, sendo menor que 1 $\mu\text{g.L}^{-1}$ em águas subterrâneas (CETESB, 2017).

Os limites máximos de cromo em água potável são estabelecidos em função do cromo hexavalente (Cr^{+6}), sendo este de $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$, conforme a Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011; CETESB, 2017).

Zinco (Zn) – O zinco é um elemento essencial e, em concentrações baixas, é de fundamental importância ao metabolismo humano e ao crescimento das plantas e animais. Na antiguidade, esse elemento era usado na forma de óxidos para curar feridas e queimaduras. Hoje, sabe-se que ele é capaz de ativar cerca de 90 enzimas, ele é um dos constituintes da insulina. O zinco é também muito usado na fabricação de ligas e latão, na galvanização do aço, na produção de borracha como pigmento branco, em suplementos vitamínicos, protetores solares, desodorantes e xampus, etc. (SILVA, 2012; CETESB, 2017).

A carência de zinco no organismo pode levar à anorexia, nanismo, queda de cabelos e dificuldades na cicatrização e quando ingerido em concentrações muito elevadas pode acumular-se nos tecidos e provocar úlceras pancreáticas, anemias, má circulação sanguínea, fibrose pulmonar, etc. (SILVA 2012; CETESB, 2017).

Nas águas superficiais naturais, o zinco apresenta concentrações geralmente abaixo de $10 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$; nas águas subterrâneas esse valor pode chegar a $40 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$; podendo ser maior na água da torneira em função da dissolução do metal nas tubulações (CETESB, 2017). Em água potável o limite máximo de zinco é de 5 mg.L^{-1} , conforme a Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011; CETESB, 2017).

1.5 Reservatório Taiaçupeba

O reservatório Taiaçupeba, área de estudo do presente trabalho FIG.1.4, está localizado no estado de São Paulo, na sub-bacia do Taiaçupeba, porção oeste da bacia Alto Tietê Cabeceiras, entre os municípios de Mogi das Cruzes e Suzano. A bacia hidrográfica da qual esse reservatório faz parte, tem uma área de drenagem de aproximadamente 234 km^2 , sendo seus principais afluentes os rios Taiaçupeba-Açú, Taiaçupeba-Mirim e o Ribeirão Balainho (ARRUDA, 2014).

Este reservatório compõe juntamente com os reservatórios Ponte Nova, Jundiaí, Biritiba e Paraitinga o Sistema Produtor Alto Tietê– SPAT, FIG. 1.5, os quais estão dispostos em um sistema em cascata, cujas águas são interligadas por meio de canais

e túneis, sendo captada no reservatório Taiacupeba (DAEE, 2015).

FIGURA 1.4 - Reservatório Taiacupeba (Imagem de satélite).

Fonte: Google Earth

No reservatório Taiacupeba, a água é coletada por uma estação de tratamento de água - ETA, administrada pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP, para tratamento e distribuição, abastecendo cerca de 3,1 milhões de pessoas da zona leste da capital paulista e parte da região metropolitana de São Paulo, compreendendo os municípios de Arujá, Itaquaquecetuba, Poá, Ferraz de Vasconcelos, Suzano, Mauá, Mogi das Cruzes, e parte de Santo André e Guarulhos (USSIER, 2009; ARRUDA et al., 2014; DAEE 2015).

FIGURA 1.5 - Representação do Sistema Produtor Alto Tietê (SPAT).

Fonte: DAEE, 2017. In: www.dae.sp.gov.br

As barragens que compõe o SPAT foram inicialmente construídas exclusivamente para o controle da vazão do rio Tietê, com a finalidade de reter a água, antes que chegasse à cidade de São Paulo. Em fevereiro de 1964, por intermédio do DAEE, o Governo do Estado iniciou as obras (recomendadas pelo Plano Hibrace – Consórcio Hidroservice-Brasconsult-Cesa), sendo estas concluídas em 1977 (DAEE, 2017).

Em março de 1992, com a ETA Taiaçupeba entrando oficialmente em operação, esses reservatórios passaram a ter o aproveitamento múltiplo dos recursos hídricos. A ETA Taiaçupeba iniciou suas atividades com capacidade nominal de 5 m³/s; tendo sua capacidade ampliada para 10 m³/s em 1999, e trabalha atualmente com 15 m³/s (SETEC, 2017).

A área compreendida na Bacia hidrográfica do reservatório Taiaçupeba, Alto Tietê Cabeceiras, tem sofrido muitas alterações nas últimas décadas. Essa região, no que se refere ao uso da terra para fins urbanos, caracteriza-se principalmente por construções comerciais e residenciais sem infraestrutura devido à intensa ocupação irregular, como invasões, favelas e loteamentos clandestinos. Quanto ao uso da terra para fins rurais, a mesma tem como características atividades relacionada à agropecuária, entre elas a horticultura, com utilização de adubos e defensivos agrícola, e suinocultura e avicultura intensiva, atividades de criação de animais em confinamento com grande geração de resíduos sólidos e líquidos. (USSIER, 2007; USSIER, 2009; ARRUDA 2014, CETESB, 2017).

Segundo USSIER (2009) a porção oeste da bacia do Taiaçupeba constitui um grande polo de atividades industriais altamente poluidoras como, por exemplo, abatedouro de suínos, fabricação de papel e embalagens de papelão, mineração, etc. E embora algumas destas empresas já estejam desativadas, devido à disposição inadequada dos resíduos gerados e lançamento de efluente sem tratamento, elas acabaram contaminando alguns pontos de solo e águas subterrâneas. Ainda hoje, pequenas empresas de alto poder contaminante atuam na região, tais como metalúrgicas, galvanoplastia, fábrica de fertilizantes e produtos químicos, etc. (CETESB, 2017).

Segundo ARRUDA (2014), USSIER, (2009) e CETESB, (2017) essas atividades acabam interferindo na qualidade da água do reservatório Taiaçupeba e seus afluentes. As principais interferências nesse sistema hídrico estão relacionadas ao

lançamento de esgotos e outros materiais orgânicos (despejos domésticos não tratados) e significativa contribuição de origem rural, devido ao carreamento de fertilizantes e dejetos animais pela ação das águas pluviais (lixiviação) ou ainda pela ação de efluentes industriais sem tratamento.

Segundo a CETESB (2017) a bacia hidrográfica do Alto Tietê possui uma intensa urbanização e industrialização, contribuindo com uma carga de poluentes orgânicos e inorgânicos acima de sua capacidade de assimilação.

Embora o Reservatório Taiaçupeba seja de grande importância para o abastecimento público da região, poucos foram os trabalhos de pesquisas realizados sobre este reservatório ou seu entorno, com exceção ao trabalho de acompanhamento realizado pela CETESB.

MILANI (2000), em seu trabalho de mestrado, avaliou as concentrações dos metais cobre, chumbo, cádmio e zinco na água, fitoplâncton, zooplâncton e peixes, e demonstrou através dos seus resultados que foram obtidos baixos valores na água, mas valores elevados destes no fitoplâncton e zooplâncton analisados.

MILANI (2004), em sua tese de doutorado, avaliou a contaminação e a biomagnificação dos metais na represa Taiaçupeba e nos rios pertencentes à bacia que compõem o reservatório, com histórico de contaminação por metais. Nesse estudo, foram analisados a água e o sedimento do reservatório e dos rios Taiaçupeba Açu, Taiaçupeba Mirim, Balainho e do canal Jundiaí-Taiaçupeba, e também as comunidades de fitoplâncton, zooplâncton e peixes do reservatório.

Em seus resultados, MILANI (2004) constatou concentrações elevadas de alumínio na água da Represa Taiaçupeba e do Rio Taiaçupeba Açu, ultrapassando os limites da legislação vigentes. Constatou também concentrações de arsênio e cádmio acima dos valores da legislação e concentrações elevadíssimas para o alumínio no sedimento do reservatório e rios estudados. A autora ainda cita concentrações acima dos valores da legislação para cromo e cobre nos sedimentos do rio Taiaçupeba Açu; para cobre, zinco e chumbo nos sedimentos do rio Taiaçupeba Mirim; e para cobre e zinco no sedimento da Represa Taiaçupeba.

MILANI (2004) relatou altas concentrações de metais em peixes do reservatório, sobretudo para o cromo, zinco, arsênio e chumbo; e relacionou as altas concentrações dos metais às atividades antrópicas da região (indústria e agricultura), exceto para o alumínio que a autora relacionou às características geológicas. Ainda, sugeriu o replantio de árvores às margens do reservatório, a fim de minimizar o efeito de carreamento dos metais para a água, a erosão do solo e, também, barrar materiais orgânicos e inorgânicos.

ARRUDA et al. (2014) avaliaram a qualidade da água do reservatório Taiaçupeba através dos indicadores biológicos de qualidade da água (cianobactérias e coliformes termotolerantes) importantes para a saúde pública, e em função da correlação entre as informações de cianobactérias com os aspectos de urbanização e uso da terra. Os dados utilizados para a realização do trabalho foram retirados dos relatórios de qualidade da água, obtidos junto à CETESB, entre os anos de 2009 a 2013. A partir da análise dos dados, os autores verificaram uma melhora entre os anos de 2009 e 2011, e redução desse índice a partir de 2012, com um Índice de Qualidade da Água (IQA) caracterizado como regular para o ano de 2013. Devido ao grande número de cianobactérias encontradas na água, os autores concluíram que este reservatório se apresentava eutrofizado. Eles ainda apontaram a atividade humana como a principal causa da degradação da qualidade de água do reservatório, principalmente quanto à ocupação descontrolada na área de proteção e também devido a atividades de agropecuária.

VARGAS et al. (2015) estudaram a situação da qualidade das águas na parte inicial do Rio Tietê, entre os municípios Biritiba Mirim, Mogi das Cruzes e Suzano, parte compreendida no Sistema Produtor Alto Tietê - SPAT, entre os anos de 1985 e 2013. Este trabalho consistiu na análise de estudos realizados na região, em especial, sobre o meio ambiente e atividades socioambientais. Segundo os autores os dados foram obtidos junto à CETESB, SABESP, Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE, e também junto às prefeituras municipais e outros.

Na análise, VARGAS et al. (2015) utilizaram dados resultantes do monitoramento da qualidade da água, publicados pela CETESB, em 3 pontos de estudos da região. Os autores constataram uma redução do IQA no decorrer dos anos. Eles verificaram, para o ponto 1, localizado no município de Biritiba Mirim, que 65% das amostras analisadas foram classificadas como boa, 27% como ótima, e 8% como regular;

para o ponto 2, localizado no município de Mogi das Cruzes (captação do SEMAE), que 90% das amostras foram classificadas como boa e 10% como regular; e para o ponto 3, localizado à jusante da Estação de Tratamento de Esgoto - ETE Suzano, 88% das amostras foram classificadas como ruim, 7% como regular e 4% como péssima; constatando, desta forma, uma redução do IQA conforme o rio percorre os municípios, ou seja, à uma piora do IQA à medida que os pontos se distanciam da nascente. Este trabalho sugeriu, ainda, que este fato pode ser decorrente do crescimento populacional dos três municípios, da falta de tratamento de esgotos nas ETE's da região e do aumento de nutrientes lançado nas águas do rio em função das atividades agrícolas e das atividades industriais da região.

Devido ao período de seca, nos anos de 2013 e 2014, a CETESB ampliou e intensificou o monitoramento da qualidade da água nos principais mananciais responsáveis pelo abastecimento de água da região Metropolitana de São Paulo, entre eles o reservatório Taiaçupeba. A partir de maio de 2015, a CETESB passou a monitorar com frequência mensal, a qualidade da água no reservatório Taiaçupeba e no rio Taiaçupeba-Mirim, um de seus afluentes; além de acrescentar mais 9 pontos de estudo no Sistema Alto Tietê. Um desses pontos é o do Rio Guaió, cuja transposição de água bruta deverá adicionar um volume de água extra ao Reservatório Taiaçupeba (CETESB, 2017).

A CETESB classifica a água do reservatório Taiaçupeba como Classe especial (I), conforme a norma CONAMA 357/2005, água destinada ao abastecimento público, mas ela também é utilizada para o abastecimento agropecuário e industrial da região (USSIER, 2007).

A CETESB faz o acompanhamento da qualidade água do reservatório utilizando-se de vários índices como parâmetros, entre eles estão o IQA, IAP, CQS e IET, explicados sucintamente abaixo:

IQA – Índice de Qualidade das Águas. Considera as variáveis de qualidade que indicam o lançamento de efluentes sanitários para o corpo d'água; fornecendo uma visão geral sobre as condições de qualidade das águas superficiais.

IAP – É um índice utilizado pela CETESB para indicar as condições da qualidade das águas para fins de abastecimento público. Além das variáveis consideradas no IQA, são avaliadas as substâncias tóxicas e as variáveis que afetam a qualidade organoléptica da água.

CQS –Critério de Avaliação da Qualidade dos Sedimentos - Classifica o sedimento em categorias de acordo com linhas de evidência. As três principais são: Contaminação Química, Comunidade Bentônica e Toxicidade.

IET – Índice do Estado Trófico - Classifica os corpos de água em diferentes graus de trofia, ou seja, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas e cianobactérias.

De acordo com CETESB (2017) o estudo referente ao IQA, em 2016, para os 71 pontos estudados na bacia Alto Tietê, mostrou que 10% apresentou qualidade ótima, 24% boa, 10% regular e 17% ruim. Na análise da influência da sazonalidade, verificou um aumento de 6% no percentual de água caracterizada como boa em relação ao período chuvoso; demonstrando a influência de cargas difusas no sistema hídrico. Para o reservatório Taiaçupeba, o mesmo apresentou média anual de 84 pontos caracterizando-o como qualidade ótima; no entanto, esse resultado pode vir a ser prejudicado, já que seus afluentes, Rio Taiaçupeba Mirim e Rio Taiaçupeba Acú, caracterizaram-se como regular e ruim, respectivamente, para o mesmo índice.

Referente ao IAP para o reservatório Taiaçupeba, esse estudo mostrou índice na faixa de 52 a 79, caracterizando-o como bom. Ao analisar a relação desse índice com a sazonalidade, ficou novamente evidente melhora na qualidade da água no período seco, com 84 % dos pontos classificados como bom e ótimo, enquanto que no período chuvoso apenas 38% apresentou a mesma classificação. Para a CETESB, essa redução nos índices no período chuvoso, está relacionada aos metais ferro, alumínio e manganês devido à alta concentração dos mesmos na composição do solo e ao processo de lixiviação que se intensifica nesse período, principalmente na ausência de mata ciliar.

Para o CQS no reservatório Taiaçupeba, ao calcular o Fator de Enriquecimento, o mesmo indicou que os elementos Cu, Hg e Zn tinham origem antrópica, apresentando FE de 8,9, 1,8 e 20 respectivamente, nas camadas recentes do perfil. Em relação ao Carbono Orgânico Total, também avaliado nesse critério, mostrou incremento antrópico de suas concentrações na camada superficial do sedimento (5 cm), até 8,5%, enquanto que no resto do perfil esse percentual ficou em torno de 5%. Neste estudo, a CETESB atribui as concentrações dos elementos Cr, Pb e As ao caráter geológico da região.

No IET, para a bacia Alto Tietê, o índice mostrou alto grau de trofia, sendo que dos 46 pontos analisados, 52% apresentaram-se eutrofizado. No mesmo índice, o reservatório Taiaçupeba apresentou grau de trofia mesotrófica, com valor de 55,94 e os afluentes Taiaçupeba Açú e Taiaçupeba Mirim apresentaram valores de 59,89 e 61,70, respectivamente, caracterizando-os como estróficos.

A presença de esgotos nas águas dos rios e ambientes aquáticos como os reservatórios reduzem a sua qualidade das mesmas, podendo restringir seus múltiplos usos, além de contribuir para o aumento de doenças causadas por água contaminada. Em relação a esse fato cabe destacar que a bacia hidrográfica Alto Tietê possui alto índice populacional, com cerca de 20.823.378 habitantes, sendo que somente 83% desses recebem serviço de coleta de esgoto, e apenas 52% tem esgoto tratado. No que se refere aos municípios ao redor do reservatório Taiaçupeba a situação não é tão diferente: Em Suzano, população urbana de 277.919 habitantes, tem coleta de esgoto de 89%, tratando cerca de 70%; já em Mogi das cruzeiras, população de 396.120 habitantes, aproximadamente 93% da população urbana tem coleta de esgoto, tratando apenas 53%. Cabe ainda ressaltar que toda a carga remanescente sem tratamento desses dois municípios tem como corpo hídrico receptor o rio Tietê; outro fator importante é que esses dados se tratam apenas da zona urbana, a zona rural não foi apresentada CETESB (2017).

1.6 Justificativa do trabalho

As características do reservatório Taiaçupeba, principalmente no que se refere à classificação da bacia hidrográfica, bacia industrial - localizada em área com alta produtividade industrial e grande geração de rejeitos, e ao uso da água, consumo humano, demandam grande preocupação e implica na necessidade de pesquisas para avaliar e acompanhar a qualidade desse importante corpo hídrico e seu entorno.

Esse reservatório é muito importante para o Sistema Produtor Alto Tietê – SPAT, pois ele recebe a água dos demais reservatórios do sistema para abastecer milhões de pessoas da capital paulista e região metropolitana. Entretanto o mesmo tem sofrido interferência das atividades realizadas em seu entorno, como observado por MILANI (2000, 2004), relatórios da CETESB, e outros autores anteriormente citados.

Segundo EISENBUD e GESELL (1997) o estudo de perfis de solo e sedimento constitui uma importante ferramenta para a compreensão dos aspectos geoquímicos e

geofísicos de ecossistemas aquáticos, pois apresenta como os radionuclídeos estão distribuídos e como podem se difundir a outros compartimentos do ecossistema, como a flora, a água e o ar. Além disso, a partir das concentrações dos elementos maiores e traço, encontrados no ambiente, é possível verificar a contribuição antrópica sobre ele e identificar possível contaminação (ROBBINS, 1989; EISENBUD e GESELL, 1997; ARGOLO, 2001; DAMATTO et al., 2003; ÁLVAREZ-IGLESIAS et al., 2007; SALOMONS e FÖRSTNER, 1984 apud BEVILACQUA et al., 2009).

Uma vez que a análise destes compartimentos possui grande importância no estudo da exposição do ser humano à radiação natural e da poluição ambiental, este trabalho se faz necessário para verificar as concentrações dos radionuclídeos naturais das séries do ^{238}U e ^{232}Th , do radionuclídeo ^{40}K , e a caracterização química inorgânica do solo e do sedimento na área de influência do reservatório Taiaçupeba, a fim de se avaliar possíveis riscos à qualidade da água deste importante reservatório do SPAT e, também, criar um banco de dados com a concentração dos radionuclídeos estudados e a composição química inorgânica do solo e sedimento da área de estudo.

2 OBJETIVOS

Os objetivos do presente trabalho foram determinar a concentração de atividade dos radionuclídeos naturais ^{238}U , ^{226}Ra e ^{210}Pb , da série de decaimento do ^{238}U ; ^{232}Th , ^{228}Ra e ^{228}Th , da série do ^{232}Th e, o radionuclídeo ^{40}K e realizar a caracterização química inorgânica do solo e do sedimento na área de influência do Reservatório Taiaçupeba, determinando os elementos As, Ba, Ca, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, K, La, Lu, Na, Nd, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Ta, Tb, Th, U, Yb e Zn.

2.1 Objetivos secundários

- Determinar o percentual das frações granulométrica, da umidade, conteúdo de água e de matéria orgânica no solo e sedimento para auxiliar na interpretação dos resultados.
- Analisar os parâmetros físico-químicos pH, densidade real, densidade aparente e porosidade no solo.
- Contribuir com a literatura da região, quanto ao levantamento de um banco de dados em relação à presença de radionuclídeos e a caracterização inorgânica do solo e sedimento da represa Taiaçupeba.

3 PARTE EXPERIMENTAL

3.1 Coleta e pré-tratamento das amostras

Foram coletados quatro perfis de solo e quatro testemunhos de sedimento marginal na área de influência do Reservatório Taiapuêba, em pontos que melhor representassem a litologia local, um ponto por litologia, conforme visualizado na FIG. 3.1.

FIGURA 3.1 - Reservatório Taiapuêba – Imagem de satélite (A), litologia (B). Localização dos pontos 1, 2, 3 e 4, em amarelo, vermelho, verde e azul, respectivamente.

Fonte: autor da dissertação com base em PERROTA, et al. 2005.

Todos os pontos de coleta de solo foram georeferenciados por meio de um GPS. Para o sedimento admitiu-se as mesmas coordenadas, havendo um pequeno deslocamento para dentro do reservatório, até profundidade de aproximadamente 80 cm.

Na TAB. 3.1 são apresentados os pontos de coletas e coordenadas geográficas, bem como a data das coletas e as denominações dos perfis de solo e testemunhos de sedimento para cada ponto:

TABELA 3.1 - Datas das coletas, coordenadas dos pontos de amostragem e denominação dos perfis de solo e testemunhos de sedimento.

Pontos	Data	Coordenadas	Matrizes	Denominações
Ponto 1	05/06/2015	23° 36' 33.36" S e 46° 16' 8.94" O	Solo Sedimento	TASO 01 TASE 01
Ponto 2	01/07/2015	23° 35' 35.09" S e 46° 17' 28.68" O	Solo Sedimento	TASO 02 TASE 02
Ponto 3	08/07/2015	23° 35' 13.95" S e 46° 17' 20.13" O	Solo Sedimento	TASO 03 TASE 03
Ponto 4	20/07/2015	23° 35' 48.20" S e 46° 16' 48.33" O	Solo Sedimento	TASO 04 TASE 04

Fonte: autor da dissertação.

Os perfis de solo foram coletados próximos à margem do reservatório, em trincheiras de até 2 metros de profundidade e amostrado a cada 5 cm. No laboratório, as amostras de solo foram secas à temperatura ambiente.

Os testemunhos de sedimento foram coletados a uma profundidade da coluna de água de aproximadamente 80 cm, com amostrador de testemunhos manual de PVC. O comprimento dos mesmos variou de 42 cm a 61 cm, sendo este limitado pela impossibilidade do amostrador adentrar no sedimento. No laboratório os testemunhos foram abertos e fatiados a cada 2 cm ou conforme as características, de modo a não misturar as camadas do sedimento. As amostras foram separadas em béqueres e secas em estufa à 50°C.

Após a secagem, todas as amostras de solo e de sedimento foram peneiradas em malha de 2 mm, para retirar os pedregulhos, e acondicionadas em frascos de polietileno para as análises posteriores. As imagens da coleta e o pré-tratamento das amostras de solo e sedimento são apresentadas na FIG. 3.2.

FIGURA 3.2 - Imagens da coleta e preparação das amostras. **SOLO:** (1a) Abertura da trincheira, (1b) Medição do perfil e demarcação das fatias, (1c) Coleta das amostras, (1d) Secagem; **SEDIMENTO:** (2a) Coleta do testemunho de sedimento, (2b) Abertura e medição do teste.

Fonte: autor da dissertação.

3.2 Determinação da umidade

A determinação da umidade indica o percentual de água nos sedimentos e solo. Ela é uma ferramenta que normalmente auxilia na interpretação dos resultados, pois é por meio da água que muitos contaminantes são transportados para os ambientes. Segundo DAMATTO (2010) e POLETO e CHARLESWORTH (2010) normalmente é esperado uma relação direta entre concentração de determinados elementos traço e o conteúdo de água.

As amostras de solo e de sedimento foram pesadas antes e depois da secagem, e a umidade determinada pela diferença entre a massa úmida e seca das amostras, conforme DAMATTO (2010), e apresentado na expressão (3.1).

$$U = \left(\frac{M_U - M_s}{M_U} \right) \cdot 100 \quad (3.1)$$

Em que:

U = Umidade (%)

M_U = Massa úmida (g);

M_s = Massa seca (g).

3.3 Análise Granulométrica

A análise granulométrica é uma ferramenta que indica o percentual das diferentes frações que compõem as amostras de solo e sedimento. Assim como a umidade, a análise granulométrica auxilia na interpretação dos resultados, uma vez que a maioria dos elementos metálicos tende a acumular na fração fina do sedimento e do solo. A granulometria foi determinada passando-se 5g de amostra, com auxílio de água superpura, por peneiras capazes de separar as frações do solo e do sedimento em areia, silte e argila, conforme DAMATTO (2010).

As amostras foram classificadas segundo a NBR 6502/95 (ABNT, 1995) pelo diâmetro das partículas em: *Areia* (diâmetro entre 2 mm e 0,06 mm), *Silte* (diâmetro entre 0,06 mm e 2µm) e *Argila* (diâmetros menores que 2µm).

3.4 Determinação da Matéria Orgânica

A determinação da matéria orgânica foi realizada pelo processo de Perda de Massa por Ignição (PMI) que consiste na determinação gravimétrica do carbono (C) presente nas amostras, que volatiliza quando transformado em gás carbônico (CO₂) na queima em alta temperatura (SCHULTE e HOPKINS, 1996).

Em função das diferenças observadas na literatura para determinação da matéria orgânica, a metodologia utilizada para essa análise baseou-se nos trabalhos de CARMO (2011) e de RODELA e ALCARDE (1994), que adotam um pré-aquecimento das amostras à temperatura de 105° C para eliminar a água presente nas mesmas; e em função das diversas temperaturas utilizadas adotou-se duas temperaturas diferentes, 300° C e 500° C.

Na análise foram utilizadas aproximadamente 5 g do solo e do sedimento acondicionadas em cadinho de porcelana previamente pesados e identificados. As amostras foram aquecidas em mufla a 105°C, por um período de 2 horas; a 300° C, por um período de 3 horas; e a 500° C, por mais 3 horas. A cada intervalo entre uma temperatura e outra, os cadinhos contendo as amostras foram colocadas em dissecador até total resfriamento e posteriormente pesados. Os percentuais de perda de massa por ignição foram determinados a partir das massas anterior e posterior ao aquecimento conforme representado na expressão (3.2).

$$PMI = \left(\frac{P_1 - P_2}{P_1} \right) \cdot 100 \quad (3.2)$$

Em que:

PMI = Perda de Massa por Ignição (%);

P₁ = massa da amostra anterior ao aquecimento (g);

P₂ = massa da amostra posterior ao aquecimento (g).

3.5 Densidades real e aparente

A determinação das densidades real e aparente nas amostras de solo foi realizada baseada no Manual de Análise de Solo de DONAGEMMA (2011).

Para determinação da densidade real foram pesados aproximadamente 20 g de amostra. Estas foram levadas à estufa a 105 °C por um período de 3 horas, resfriadas em

dessecador e pesadas a fim de se obter a massa seca da amostra. Transferiu-se a amostra para um balão volumétrico de 50 mL e adicionou-se álcool etílico com auxílio de uma bureta, agitando o balão até eliminar todas as bolhas de ar. Após não haver mais bolhas, o volume do balão foi completado com álcool etílico, anotando-se a quantidade de álcool utilizado em cada uma das amostras. A quantidade de álcool utilizado em cada amostra foi relacionada à densidade real da mesma conforme a expressão (3.3):

$$\rho_{\text{real}} = \left(\frac{A}{50 - V_a} \right) \quad (3.3)$$

Em que:

ρ_{real} = Densidade real (g.cm^{-3});

A = massa da amostra seca (g);

V_a = volume de álcool etílico utilizado (cm^3).

Para a análise da densidade aparente foi utilizado um método que conforme DONAGEMMA (2011) pode ser comparado ao método do anel. Nesse método é utilizada uma proveta de 100 mL e 100 g de solo. Inicialmente pesou-se a proveta, tarando a balança. Adicionou-se aproximadamente 35 mL de solo na proveta, em seguida compactou-se o solo batendo a proveta 10 vezes sobre um lençol de borracha a uma distância de mais ou menos 10 cm. Repetiu-se esse procedimento por mais duas vezes até obter 100 mL de amostra. Após completar esse volume, pesou-se a proveta com o solo, anotando o valor da massa em cada uma das amostras. A massa obtida foi relacionada à densidade aparente da amostra conforme a expressão (3.4).

$$\rho_{\text{Ap}} = \frac{A}{V_s} \quad (3.4)$$

Em que:

ρ_{Ap} = Densidade aparente (g.cm^{-3});

A = Massa da amostra (g);

V_s = Volume da amostra de solo (cm^3).

3.6 Porosidade total

Após determinar as densidades real e aparente das amostras de solo, foi possível determinar também a porosidade total das mesmas. Essa técnica quantifica os poros totais no solo que são ocupados por água ou ar. A análise da porosidade foi realizada segundo DONAGEMMA (2011), conforme a expressão (3.5).

$$P_t = \left(\frac{\rho_{\text{real}} - \rho_{\text{Ap}}}{\rho_{\text{real}}} \right) \times 100 \quad (3.5)$$

Em que:

P_t = Porosidade total;

ρ_{real} = Densidade real (g.cm^{-3});

ρ_{Ap} = Densidade aparente (g.cm^{-3});

3.7 Determinação do pH

Conforme já citado anteriormente os mecanismos de adsorção dos elementos no solo são influenciados pelo pH. Em função disso, o mesmo foi determinado para as mostras de solo, segundo o manual de análises de solos de DONAGEMMA (2011).

Na análise foram utilizadas três soluções: água (superpura), KCl (1 mol.L^{-1}) e CaCl_2 ($0,01 \text{ mol.L}^{-1}$). Colocou-se 10 mL de amostra em três béqueres de 100 mL; em cada um dos béqueres adicionou-se 25 mL de uma das soluções acima citadas, agitando com o bastão de vidro até total homogeneização. Após 1 hora de repouso, homogeneizou-se novamente a solução e mediu-se o pH utilizando um medidor de pH de mesa com incerteza de 0,02. O pH foi definido como a média dos valores obtidos nas três soluções.

3.8 Espectrometria Gama

A espectrometria gama é uma técnica analítica não destrutiva capaz de analisar vários radionuclídeos em uma única medição; por essas características, ela é muito utilizada em laboratórios de medidas nucleares, (KNOLL, 2010; ALEGRE, 2016). Na espectrometria gama é possível medir as concentrações dos radionuclídeos a partir dos raios gama; energia emitida pelos nuclídeos ao sair de um estado mais excitado para um menos excitado. Esse raio gama é característico do estado de excitação do nuclídeo (PODGORSK, 2009 apud ALEGRE 2016).

Os fótons liberados a partir da transição de um nuclídeo mais excitado para um menos excitado possui uma energia que corresponde à diferença de energia entre eles. Quando esses fótons incidem no detector, eles geram pulsos elétricos que são registrados pelo detector. O acúmulo desses pulsos forma os picos de absorção total, onde a amostra emite fótons com diferentes energias, e cada energia é característica do nuclídeo emissor do fóton. Ao conjunto de picos de absorção é denominado espectro de raios gama. Pela posição do pico no espectro e energia conhecida dos radionuclídeos é possível identificá-los. A atividade de cada radionuclídeo presente na amostra é proporcional à área do pico presente no espectro (KNOLL, 2010; ALEGRE, 2016).

Alguns radionuclídeos apresentam tempo de meia vida muito grande, por exemplo, ^{226}Ra ($t_{1/2}=1600$ anos); para inferir a atividade destes radionuclídeos é comumente utilizado a atividade dos radionuclídeos filhos de maior probabilidade de decaimento em equilíbrio radioativo secular. O equilíbrio radioativo secular ocorre quando o tempo de meia vida do radionuclídeo pai é muito maior que a do radionuclídeo filho, desde modo o tempo de meia vida dos radionuclídeos filhos se tornam desprezíveis quando comparado ao do pai. Assim sendo, em um determinado momento o radionuclídeo filho irá decair com a mesma atividade que o radionuclídeo pai (EVANS, 1955).

Neste trabalho foi utilizado o equilíbrio secular do ^{226}Ra e seus radionuclídeos filhos. A concentração de atividade dos radionuclídeos foram determinadas a partir da atividade dos radionuclídeos filho em equilíbrio secular, cujos raios gama emitidos são detectáveis dentro das condições experimentais atuais.

A espectrometria gama foi utilizada, neste trabalho para determinar as concentrações dos radionuclídeos naturais ^{226}Ra e ^{210}Pb , da série de decaimento do ^{238}U , e ^{228}Ra e ^{228}Th da série de decaimento do ^{232}Th , e também a concentração do ^{40}K nas amostras de solo e de sedimento. As energias dos radionuclídeos com maior emissão gama analisados neste trabalho são apresentadas na TAB 3.2.

Na espectrometria gama, as amostras de solo e sedimento foram totalmente moídas, peneiradas em malha de 115 mesh e homogeneizadas. Foi utilizado aproximadamente 120 g de solo, acondicionado em frasco de polietileno de alta densidade (não poroso), e 15 g de sedimento, acondicionado em placas de Petri, geometria de contagem utilizada no laboratório para amostra com pouca massa. Todas as amostras

foram seladas, impedindo o escape do gás radônio, e armazenadas por um período de 30 dias para garantir o equilíbrio secular. Após esse período as amostras foram medidas por 150.000 s. A radiação de fundo do detector foi determinada utilizando-se água superpura e o mesmo frasco, geometria e tempo de contagem utilizado para as amostras.

Para a medida da radiação gama foi utilizado um detector de germânio hiperpuro (HPGe) do modelo XTRa 2520, com 25% de eficiência relativa e resolução de 2,0 keV em relação ao ^{60}Co , com janela de berílio da marca CANBERRA, e eletrônica associada. Os espectros foram analisados usando o programa InterWinnerWinnerGamma 6.0 da ORTEC (ORTEC, 2004). Na FIG. 3.3 o detector HPGE utilizado nas medidas.

TABELA 3.2 - Principais Energias dos radionuclídeos analisados.

Radionuclídeo Pai	Radionuclídeo Filho	Energia (keV)	Intensidade (%)
^{228}Ra ($T_{1/2}= 5,75$ a)	^{228}Ac ($T_{1/2}= 6,13$ h)	911,20	25,8
		968,97	15,8
^{226}Ra ($T_{1/2}= 1600$ a)	^{214}Pb ($T_{1/2}= 26,8$ min)	351,93	35,6
		295,22	18,42
	^{214}Bi ($T_{1/2}= 19,9$ min)	609,32	45,49
		1764,4	15,3
^{228}Th ($T_{1/2}= 1,91$ a)	^{212}Pb ($T_{1/2}= 10,6$ h)	238,63	43,6
		727,33	6,67
	^{212}Bi ($T_{1/2}= 60,6\text{min}$)	1620,5	1,47
		39,86	1,06
^{210}Pb ($T_{1/2}= 22,3$ a)	-	46,54	4,25
^{40}K ($T_{1/2}=1,27.10^9\text{a}$)	-	1460,82	10,66

Fonte: Autor com base em KNOLL, 2010.

Para a medida da radiação gama foi utilizado um detector de germânio hiperpuro (HPGe) do modelo XTRa 2520, da marca CANBERRA, com 25% de eficiência relativa e resolução de 2,0 keV em relação ao ^{60}Co , com janela de berílio e eletrônica associada. Os espectros foram analisados usando o programa InterWinnerWinnerGamma 6.0 da ORTEC (ORTEC, 2004). As imagens dos materiais e equipamento utilizados na análise de espectrometria gama são apresentados na FIG. 3.3.

FIGURA 3.3 - Imagens dos materiais e equipamento utilizado na análise de espectrometria gama. (A) placa de Petri com amostras de sedimento; (B) - frasco de polietileno (F100) com amostras de solo; (C) - frasco de polietileno (F100) com água; (D) - detector de germânio hiperpuro (HPGe).

Fonte: autor da dissertação.

A concentração de cada radionuclídeo nas amostras de solo e sedimento foi calculada a partir da área líquida do pico presente no espectro da transição gama associada ao radionuclídeo, segundo a expressão (3.6)

$$C_i = \frac{A_j - B_g}{m_a \cdot t \cdot E_f \cdot I_\gamma} \quad (3.6)$$

Em que:

C_i = concentração de atividade do radionuclídeo na amostra ($Bq \cdot kg^{-1}$);

A_j = área líquida do pico da transição gama considerada (contagens);

B_g = área líquida da radiação de fundo da transição gama (contagens);

m_a = massa da amostra (kg),

t = tempo de contagem (s);

E_f = eficiência de contagem da energia da transição gama ($cps^{-1} \cdot dps^{-1}$);

I_γ = intensidade absoluta da transição gama considerada (%).

3.8.1 Análise de autoatenuação

A radiação gama emitida pela amostra tende a interagir com as partículas da própria amostra, assim pode ocorrer uma redução dos fótons registrados pelo detector, principalmente para os radionuclídeos emissores de raios gama de baixa energia, como ^{210}Pb (NISTI; 2016). Segundo CUTSHALL et al (1983) e BARROS e PECEQUILO (2014) em amostras cuja densidade é maior que da matriz utilizada na determinação da eficiência e radiação de fundo do detector se faz necessária uma análise de auto atenuação. Assim sendo, nesse trabalho foi realizada a análise de auto atenuação para o ^{210}Pb , com uso de uma fonte líquida de ^{210}Pb , utilizando o método descrito por CUTSHALL et al (1983), conforme expressão (3.7).

$$f = \frac{\ln\left(\frac{T}{I}\right)}{\left(\frac{T}{I} - 1\right)} \quad (3.7)$$

Em que:

f = fator de autoatenuação;

T = diferença entre a medida da amostra com e sem fonte de ^{210}Pb ;

I = diferença entre a medida do padrão de água com e sem fonte de ^{210}Pb .

3.8.2 Limite de detecção (LID)

O LID foi determinado pela medida da contagem do frasco de F100 com água superpura por 150000 segundos, utilizando a equação descritas por CURRIE (1968), conforme apresentado na equação (3.8).

$$LID = 4,66 \frac{\sqrt{B_g}}{E_f \cdot m \cdot t \cdot I_\gamma} \quad (3.8)$$

Em que:

LID = limite de detecção (Bq.kg^{-1});

B_g = área líquida da radiação de fundo para a transição gama considerada (contagens);

E_f = eficiência de contagem para a energia de transição gama considerada (dps^{-1});

M = massa da amostra (kg);

t = tempo de contagem (s);

I_γ = intensidade absoluta da transição gama considerada (%);

4,66 = número que expressa o nível de confiança associado a 95%.

Os valores obtidos para o LID dos radionuclídeos analisados por espectrometria gama são apresentados na tabela 3.3.

TABELA 3.3 - Limites de detecção obtidos para os radionuclídeos ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{228}Ra , ^{228}Th e ^{40}K os elementos estudados por espectrometria gama em Bq.kg^{-1} .

Radionuclídeos	^{226}Ra	^{210}Pb	^{228}Ra	^{228}Th	^{40}K
LID	2,0	20,0	2,0	5,0	30,0

Fonte: autor da dissertação

A qualidade da medição (precisão e exatidão) da espectrometria gama é realizada no Laboratório de Radiometria Ambiental, pelo Programa Nacional de Intercomparação (PNI) coordenado pelo Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD) da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).

3.9 Análise por ativação com nêutrons instrumental (INAA)

A análise por ativação com nêutrons instrumental (INAA) foi descoberta em 1936. Ela é uma técnica analítica sensível e útil em análises multi elementares, podendo ser empregada em análises qualitativas e quantitativas de elementos maiores, menores e traço, nas mais variadas matrizes e em muitas áreas científicas e técnicas (SILVA, 2012).

Essa técnica é muito usada em análise de solos e sedimentos e consiste no bombardeamento da amostra com nêutrons, que devido a uma reação nuclear torna o núcleo dos elementos estáveis presentes na amostra em núcleos instáveis e radioativos, ou seja, formam radionuclídeos artificiais. Um dos processos em que esses radionuclídeos se tornam mais estáveis é pela emissão de uma partícula β^- e liberação da energia excedente na forma de raios gama. Essa energia é característica do radionuclídeo artificial formado podendo ser identificado pela espectrometria gama. A partir da energia do fóton correspondente a cada radionuclídeo formado é possível relacionar ao elemento estável, identificando este na amostra (SILVA, 2012; NISTI, 2016).

Na análise quantitativa, as matrizes são irradiadas juntamente com padrões certificados de material similar à matriz. Após a irradiação, as amostras e padrão são analisados em detectores gama nas mesmas condições. Uma vez que a intensidade da radiação emitida (área do pico) é proporcional à concentração do nuclídeo radioativo

presente na amostra, é possível determinar a concentração dos elementos por comparação com os valores obtidos para os padrões certificados.

FIGURA 3.4 - Representação esquemática da interação do nêutron incidente com núcleo alvo.

Fonte: Google imagem (modificada)

A análise por ativação com nêutrons instrumental foi utilizada para determinar as concentrações dos radionuclídeos ^{238}U e ^{232}Th e dos elementos As, Ba, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Hf, La, Lu, Nd, Rb, Sb, Sc, Sm, Tb, Th, U, Yb, e Zn, nos perfis de solo e testemunhos de sedimento. Na análise das amostras foram utilizados os materiais de referência, Lake Sediment (SL1), da Agência Internacional de Energia Atômica- IAEA e Montana II, do NIST.

Para a análise, foram pesados, separadamente, aproximadamente 200 mg de amostra e materiais de referência, em sacos duplos de polietileno previamente limpos. As amostras foram seladas, envolvidas em papel alumínio e irradiados por um período de 6h, sob um fluxo de nêutrons térmicos de $10^{12} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, no Reator de Pesquisa IEA-R1 do IPEN, conforme Damatto (2010).

A determinação dos elementos As, La, Nd, Sb, Sm, Tb, U e Yb, cujo tempo de meia vida é curto, foi realizada após 7 dias da irradiação das amostras e os demais elementos após 15 dias. A medida das concentrações foi determinada utilizando um detector de Germânio Hiperpuro (HPGe) da marca INTERTECHNIQUE, um computador com programa emulador de multicanal Maestro da ORTEC (Maestro, 2001) e um programa de análise de espectros InterWinner-WinnerGamma 6.0 da ORTEC (ORTEC INTERWINNER™ 6.0 MCA, 2004). A concentração dos elementos nas amostras foi

obtida, em mg.kg^{-1} , pela comparação das áreas de picos das amostras e dos materiais de referência ativados em conjunto com as amostras, conforme expressão (3.9).

$$C_{iA} = \frac{A_{iA}(t)m_p C_{iP}}{A_{iP}(t)m_a} e^{\lambda(t_a - t_p)} \quad (3.9)$$

Em que:

C_{iA} = concentração do elemento i na amostra (mg kg^{-1});

C_{iP} = concentração do elemento i no padrão (mg kg^{-1});

A_{iA} = atividade do elemento i na amostra (cps);

A_{iP} = atividade do elemento i no padrão (cps);

m_p = massa do padrão (g);

m_a = massa da amostra (g);

λ = constante de decaimento do radioisótopo;

$(t_a - t_p)$ = diferença de tempo entre a contagem da amostra e do padrão (min).

Para converter os resultados das concentrações dos elementos U e Th (mg.kg^{-1}) obtidas por INAA, para concentração dos radionuclídeos ^{238}U e ^{232}Th (Bq.kg^{-1}) foi utilizado a expressão (3.10):

$$A_I = \lambda \frac{C_{iA} N_A}{M} \quad (3.10)$$

Em que:

A_I = atividade específica do radioisótopo do elemento i (Bq.kg^{-1});

λ = constante de decaimento do radioisótopo;

C_{iA} = concentração do elemento i na amostra (mg kg^{-1});

N_A = constante de Avogadro (mol^{-1}),

M = massa molar do átomo (kg.mol^{-1}),

3.9.1 Limite de detecção (LID)

Os limites de detecção para os elementos determinados por INAA no solo e sedimento foram calculados utilizando-se os materiais de referência SL1 e Montana II, irradiados e analisados nas mesmas condições que as amostras. Os cálculos foram realizados conforme a expressão (3.11):

$$LID = \frac{3 \cdot V \cdot \sqrt{B_g}}{T \cdot C} \quad (3.11)$$

Em que:

LID = limite de detecção (mg/kg⁻¹);

V = valor certificado (mg/kg⁻¹);

B_g = contagens da radiação de fundo para o elemento analisado (contagens);

T = Tempo de contagem (s);

C = contagens do elemento de interesse (cps)

Os valores obtidos são apresentados na TAB. 3.4. Limites de detecção obtidos para os elementos estudados por INAA, em mg kg⁻¹, para os materiais de referência SL1 e Montana II.

TABELA 3.4 - Limites de detecção obtidos para os elementos estudados por INAA, em mg kg⁻¹, para os materiais de referência SL1 e Montana II.

Elementos	SL1	Montana II
As	1,45	2,18
Ba	101	87
Ce	2,42	1,63
Co	0,66	0,46
Cr	3,39	2,68
Cs	0,70	0,54
Eu	0,09	0,09
Fe	905	572
Hf	0,28	0,31
K	6066	9071
La	0,75	0,72
Lu	0,04	0,03
Na	138	68
Nd	*	2,93
Rb	14,4	10,5
Sb	0,26	0,21
Sc	0,13	0,09
Se	0,87	0,24
Sm	0,60	0,49
Ta	0,44	0,20
Tb	0,21	0,12
Th	0,37	0,35
U	0,58	0,47
Yb	0,44	0,29
Zn	15,0	16,7

* elemento não presente no material de referência

Fonte: autor da dissertação

3.9.2 Precisão e exatidão

Para determinar a precisão e exatidão do método os materiais de referência SL1 e Montana II foram analisados nas mesmas condições experimentais das amostras; e o valor calculado foi obtido pela média de 10 análises ($n=10$). Os desvios padrão relativo e erros relativos são apresentados na tabela 3.5 e 3.6, para SL1 e Montana II, respectivamente.

TABELA 3.5 - Concentração dos elementos, valor calculado e valor certificado (mg.kg^{-1}), desvio padrão relativo (DPR) e erro relativo (ER) para o material de referência SL1, tendo o Montana II como padrão.

Elemento	Valor Calculado	Valor Certificado	DPR %	ER %
As	$29,7 \pm 1,6$	$27,6 \pm 2,9$	7,8	8,2
K	16783 ± 3995	14500 ± 2100	15,7	14
La	$47,7 \pm 0,7$	$52,6 \pm 3,1$	9,4	7,7
Lu	$0,48 \pm 0,02$	$0,54 \pm 0,13$	11,3	14,5
Sb	$1,22 \pm 0,09$	$1,31 \pm 0,12$	6,6	14,7
Sm	$8,27 \pm 0,21$	$9,25 \pm 0,51$	10,6	6,5
Tb	$1,2 \pm 0,1$	$1,4 \pm 0,46$	16,1	18,2
U	$4,2 \pm 0,5$	$4,02 \pm 0,33$	3,8	18,2
Yb	$3,1 \pm 0,1$	$3,42 \pm 0,65$	10,6	6,0
Ba	635 ± 49	639 ± 53	0,6	11,8
Ce	$99,1 \pm 1,3$	117 ± 17	15,3	11,8
Co	$18,3 \pm 0,3$	$19,8 \pm 1,5$	7,8	4,7
Cr	$102,1 \pm 7,3$	104 ± 9	1,8	5,5
Cs	$6,4 \pm 0,5$	$7 \pm 0,9$	8,7	3,9
Eu	$1,74 \pm 0,17$	$1,6 \pm 0,5$	8,6	4,7
Hf	$4,38 \pm 0,09$	$4,2 \pm 0,6$	4,2	5,7
Rb	$103,8 \pm 9,7$	113 ± 11	8,1	11,5
Sc	$16,36 \pm 0,25$	$17,3 \pm 1,1$	5,5	5,9
Th	$13,41 \pm 0,57$	14 ± 1	4,2	7,4
Zn	$232,5 \pm 6,7$	223 ± 20	9,1	4,3

Fonte: autor da dissertação.

O material de referência Montana II apresenta alguns valores sem os correspondentes desvios padrão. Assim sendo, os mesmos foram utilizados apenas como valores de informação; não sendo possível a determinação do erro relativo.

TABELA 3.6 - Concentração dos elementos, valor calculado e valor certificado (mg.kg⁻¹), desvio padrão relativo (DPR) e erro relativo (ER) para o material de referência Montana II, tendo o SL1 como padrão.

Elemento	Valor Calculado	Valor Certificado	DPR %	ER %
As	100 ± 11	107 ± 5	6,6	8,5
K	22159 ± 6039	25300 ± 1000	12,4	14,9
La	38 ± 1	38 ± 1	0,0	7,9
Lu	0,5 ± 0,1	0,5	0,9	*
Sb	26 ± 3	23,8 ± 1,4	8,0	13,9
Sm	6,4 ± 0,2	5,93 ± 0,28	7,3	7,0
Tb	0,9 ± 0,2	0,8	9,5	*
U	3,6 ± 0,6	3,01 ± 0,12	19,4	13,6
Yb	3,4 ± 0,3	3	14,9	*
Ba	665 ± 56	730 ± 15	8,9	10,4
Ce	82 ± 7	70	17,0	*
Co	9,8 ± 0,3	9,89 ± 0,18	0,8	4,2
Cr	48 ± 4	52,3 ± 2,9	8,9	8,2
Cs	7,2 ± 1,1	6,7 ± 0,2	9,4	6,9
Eu	1 ± 0,1	1,1 ± 0,2	9,0	6,5
Hf	8,7 ± 0,5	9,2 ± 0,2	5,0	8,0
Rb	120 ± 13	120 ± 3	0,2	9,1
Sc	9 ± 0,3	8,5 ± 0,1	5,9	7,9
Th	14 ± 1	15 ± 1	4,6	6,0
Zn	384 ± 16	414 ± 11	7,3	17,9

* valor não determinado pela falta do desvio padrão do valor certificado

Fonte: autor da dissertação.

3.9.3 Z-score

A qualidade da medição da INAA foi verificada utilizando o critério de Z-score (Bode, 1996), calculado conforme a expressão (3.12).

$$Z = \frac{C_i - C_{i(ref)}}{\sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_{i(ref)}^2}} \quad (3.12)$$

Em que:

C_i = Concentração obtida para o elemento no material de referência;

$C_{i(ref)}$ = concentração certificada para o elemento no material de referência;

σ_i = incerteza da concentração obtida para o elemento no material de referência;

$\sigma_{i(ref)}$ = incerteza da concentração certificada para o elemento no material de referência.

Segundo esse critério, valores de Z-score entre o intervalo de -3 e +3 caracterizam-se por 99% de confiança dos resultados como verdadeiro e/ou aceitável.

Os valores de Z-score para os materiais de referência SL1 e Montana II, obtidos pela média de 10 medidas para cada padrão, são apresentados nas FIG. 3.5 e 3.6, respectivamente.

FIGURA 3.5 - Valores de Z obtidos na análise do material de referência SL1, utilizando o Montana II como padrão.

Fonte: autor da dissertação.

FIGURA 3.6 - Valores de Z obtidos na análise do material de referência Montana II, utilizando o SL1 como padrão.

Fonte: autor da dissertação.

3.11 Fator de enriquecimento (FE)

O fator de enriquecimento – FE é uma ferramenta que avalia as concentrações dos elementos para se verificar se estas têm uma influência antrópica, e indica se um elemento químico está enriquecido em relação a valores de referência. Nesta avaliação são usados elementos normalizadores que apresentem pouca variação como o Hf e o Sc (MOREIRA e BOAVENTURA, 2003). Neste trabalho foi utilizado como elemento Sc como normalizador e como valores de referência os da Crosta Continental Superior – CCS

(WEDEPOHL, 1995). O FE foi calculado conforme a expressão (3.13), segundo DAMATTO, 2010.

$$FE = \frac{(C_i/C_n) \text{ amostra}}{(C_i/C_n) \text{ Background}} \quad (3.13)$$

Em que:

C_i = Concentração do elemento de interesse

C_n = Concentração do elemento normalizador

Na avaliação dos resultados foi utilizada como parâmetro a classificação proposta por Sutherland (2000).

$FE < 2$ = Enriquecimento baixo;

FE entre 2 e 5 = Enriquecimento moderado;

$FE > 5$ e < 40 = Enriquecimento muito alto;

$FE > 40$ = Enriquecimento muito severo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das concentrações de atividades dos radionuclídeos, determinados pela espectrometria gama são apresentados nos apêndices A e B; as concentrações dos elementos determinados pela técnica análise por ativação com nêutrons instrumental - INAA, nos apêndices C e D; e os valores do fator de enriquecimento - FE nos apêndices E e F, para as amostras de solo e sedimento, respectivamente.

4.1 Solo

4.1.1 Análise granulométrica e umidade

Na FIG. 4.1 são apresentados os resultados da análise granulométrica, frações areia, silte e argila, e a umidade, em porcentagem, para os perfis de solo dos pontos 1, 2, 3 e 4, identificados como TASSO 01, TASSO 02, TASSO 03 e TASSO 04, respectivamente.

Os perfis de solo apresentaram, no geral, baixo percentual de umidade com pequena variação: 7,21% a 13,73%, para o TASSO 01, 9,59% a 14,68% para o TASSO 02, 9,8% a 14,4% para o TASSO 03 e 12,6% a 22,1% para o TASSO 04.

Em relação à granulometria, o perfil TASSO 01 mostrou-se mais argiloso quando comparado com os demais perfis, apresentando uma variação no percentual da fração argila entre 55,2% e 70,8%. A variação no percentual da mesma fração nos demais perfis foi de 39,2% a 66,2%, de 27,8% a 68,6% e de 50,0% a 65,4% para os perfis TASSO 02, TASSO 03 e TASSO 04, respectivamente. Dentre os quatro perfis analisados o perfil TASSO 02 e o perfil TASSO 03 foram os mais arenosos com percentual máximo chegando a 36,0% e 34,2%, respectivamente. A fração silte, apresentou o percentual máximo de 22,1%, para o perfil TASSO 01, seguido do TASSO 03 com 14,0%, do TASSO 02 com 9,6% e por último TASSO 04 com apenas 8,6%.

FIGURA 4.1 - Composição granulométrica e umidade do solo, em função da profundidade, dos perfis de solo TASO 01 e TASO 02, TASO 03 e TASO 04.

Fonte: autor da dissertação.

4.1.2 Determinação da Matéria Orgânica

Conforme citado anteriormente, os mecanismos de adsorção dos elementos no solo sofrem influência da matéria orgânica presente no solo (SILVA 2006); o que se faz esperar uma maior concentração dos elementos nos perfis com maior percentual de matéria orgânica.

Os percentuais de matéria orgânica obtidos por PMI nas temperaturas 300°C e 500°C para os perfis de solo TASO 01, TASO 02, TASO 03 e TASO 04 são apresentados na tabela TAB. 4.1.

Na temperatura 300°C, dentre os quatro perfis de solo analisados, o perfil TASO 04 apresentou maior percentual médio de matéria orgânica (0,7%) resultado que pode estar relacionado aos percentuais de argila e água apresentado pelo mesmo, ou ainda ao enriquecimento de matéria orgânica proveniente de atividades agrícolas e das atividades com turfas realizados próximos ao ponto em que o perfil foi coletado. Na temperatura 500°C o perfil TASO 01 apresentou maior percentual médio de matéria orgânica (0,37%).

Em ambas as temperaturas analisadas, o perfil TASO 03 apresentou menor percentual médio de matéria orgânica, corroborando com a premissa de que quanto maior percentual de argila, maior o percentual de matéria orgânica no solo.

4.1.3 Densidades real e aparente e porosidade

As densidades real e aparente, e porosidade, das amostras de solo, perfis TASO 01, TASO 02, TASO 03 e TASO 04 são apresentados na tabela TAB. 4.2.

O perfil TASO 01 apresentou maior valor médio das densidades real e aparente, seguido do TASO 03, o que de certa forma indica uma compactação das partículas do solo, implicando em uma menor infiltração da água e consequentemente dos elementos arrastados por ela. Quanto à porosidade, característica relacionada à espaços vazios que podem ser ocupados pela água ou ar, o perfil TASO 04 apresentou maior valor médio seguido do TASO 02.

TABELA 4.1 -Percentual de matéria orgânica, obtido por PMI, nos perfis de solo TASSO 01, TASSO 02, TASSO 03 e TASSO 04.

TASSO 01			TASSO 02			TASSO 03			TASSO 04		
Prof. (cm)	PMI % (300°C)	PMI % (500°C)	Prof. (cm)	PMI % (300°C)	PMI % (500°C)	Prof. (cm)	PMI % (300°C)	PMI % (500°C)	Prof. (cm)	PMI % (300°C)	PMI % (500°C)
0	0,35	0,32	0	0,35	0,37	0	0,21	0,20	0	0,87	0,34
10	0,16	0,36	10	0,27	0,36	10	0,18	0,21	10	0,83	0,29
20	0,12	0,32	25	0,25	0,26	25	0,11	0,19	20	0,83	0,30
30	0,13	0,33	35	0,22	0,29	35	0,09	0,24	30	0,76	0,31
40	0,09	0,33	45	0,19	0,29	50	0,06	0,28	40	0,70	0,29
50	0,09	0,33	55	0,19	0,32	60	0,06	0,30	50	0,68	0,31
60	0,15	0,40	65	0,19	0,36	70	0,05	0,26	60	0,55	0,28
70	0,13	0,37	75	0,18	0,39	80	0,03	0,14	70	0,72	0,25
80	0,13	0,41	90	0,18	0,31	95	0,03	0,08	80	0,67	0,23
90	0,17	0,44	100	0,16	0,18	105	0,12	0,28	90	0,73	0,22
100	0,14	0,44	115	0,11	0,36	115	0,11	0,25	100	0,77	0,25
105	0,11	0,39	130	0,07	0,32	125	0,11	0,28	110	0,71	0,25
---	---	---	140	0,10	0,35	135	0,11	0,26	120	0,73	0,24
---	---	---	155	0,14	0,49	145	0,09	0,22	130	0,70	0,29
---	---	---	170	0,12	0,47	155	0,08	0,20	145	0,79	0,33
---	---	---	180	0,10	0,48	165	0,09	0,16	155	0,71	0,37
---	---	---	190	0,09	0,48	180	0,08	0,16	165	0,74	0,41
---	---	---	---	---	---	190	0,08	0,18	175	0,67	0,37
---	---	---	---	---	---	---	---	---	185	0,55	0,38
---	---	---	---	---	---	---	---	---	195	0,36	0,38
MÁXIMO	0,35	0,44	MÁXIMO	0,35	0,49	MÁXIMO	0,21	0,30	MÁXIMO	0,87	0,41
MÍNIMO	0,09	0,32	MÍNIMO	0,07	0,18	MÍNIMO	0,03	0,08	MÍNIMO	0,36	0,22
MÉDIA	0,15	0,37	MÉDIA	0,17	0,36	MÉDIA	0,09	0,22	MÉDIA	0,70	0,30

--- limite de profundidade do perfil

Fonte: autor da dissertação.

TABELA 4.2 - Valores de densidade real, densidade aparente e porosidade dos perfis de solo TASO 01, TASO 02, TASO 03 e TASO 04.

TASO 01				TASO 02				TASO 03				TASO 04			
Prof. (cm)	ρ_{real} (g.cm ⁻³)	ρ_{Ap} (g.cm ⁻³)	P %	Prof. (cm)	ρ_{real} (g.cm ⁻³)	ρ_{Ap} (g.cm ⁻³)	P %	Prof. (cm)	ρ_{real} (g.cm ⁻³)	ρ_{Ap} (g.cm ⁻³)	P %	Prof. (cm)	ρ_{real} (g.cm ⁻³)	ρ_{Ap} (g.cm ⁻³)	P %
0	2,56	1,18	53,9	0	2,27	1,10	51,4	0	2,35	1,17	50,1	0	2,35	1,06	54,8
10	2,44	1,26	48,3	10	2,27	1,13	50,1	10	2,38	1,23	48,2	10	2,35	1,07	54,4
20	2,50	1,25	49,8	25	2,30	1,16	49,5	25	2,38	1,23	48,2	20	2,35	1,07	54,6
30	2,47	1,25	49,3	35	2,30	1,20	47,8	35	2,38	1,27	46,8	30	2,35	1,01	57,3
40	2,50	1,31	47,8	45	2,30	1,19	48,1	50	2,41	1,27	47,4	40	2,35	1,02	56,5
50	2,53	1,30	48,7	55	2,27	1,18	48,1	60	2,41	1,32	45,4	50	2,35	1,10	53,3
60	2,56	1,34	47,6	65	2,30	1,13	50,7	70	2,41	1,32	45,2	60	2,35	1,10	53,2
70	2,56	1,41	45,2	75	2,30	1,15	50,1	80	2,44	1,28	47,7	70	2,35	1,12	52,3
80	2,56	1,40	45,4	90	2,30	1,11	51,5	95	2,44	1,29	47,2	80	2,38	1,10	53,9
90	2,53	1,33	47,6	100	2,35	1,08	54,3	105	2,44	1,26	48,5	90	2,30	1,14	50,3
100	2,53	1,34	47,1	115	2,35	1,14	51,4	115	2,41	1,26	47,9	100	2,38	1,09	54,4
105	2,53	1,35	46,7	130	2,35	1,20	48,9	125	2,41	1,28	46,8	110	2,33	1,10	52,6
---	---	---	---	140	2,33	1,17	49,8	135	2,41	1,32	45,2	120	2,33	1,09	53,1
---	---	---	---	155	2,33	1,18	49,5	145	2,44	1,36	44,3	130	2,35	1,08	53,9
---	---	---	---	170	2,35	1,16	50,6	155	2,47	1,31	47,1	145	2,41	1,10	54,2
---	---	---	---	180	2,35	1,16	50,8	165	2,47	1,35	45,5	155	2,47	1,06	57,2
---	---	---	---	190	2,35	1,16	50,6	180	2,47	1,37	44,5	165	2,47	1,08	56,1
---	---	---	---	---	---	---	---	190	2,50	1,37	45,3	175	2,47	1,08	56,3
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	185	2,47	1,10	55,3
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	195	2,47	1,15	53,4
MÁXIMO	2,56	1,41	53,86	MÁXIMO	2,35	1,20	54,31	MÁXIMO	2,50	1,37	50,07	MÁXIMO	2,47	1,15	57,27
MÍNIMO	2,44	1,18	45,21	MÍNIMO	2,27	1,08	47,79	MÍNIMO	2,35	1,17	44,29	MÍNIMO	2,30	1,01	50,33
MÉDIA	2,52	1,31	48,11	MÉDIA	2,32	1,15	50,20	MÉDIA	2,42	1,29	46,74	MÉDIA	2,38	1,09	54,36

--- limite de profundidade do perfil

Fonte: autor da dissertação.

4.1.4 Determinação do pH

Segundo SILVA (2006), assim como a quantidade de matéria orgânica presente no solo, o pH também é um dos fatores que influencia na adsorção dos elementos químicos do solo, de modo que quanto maior a quantidade de íons negativos no solo, menor pH, maior será a adsorção dos cátions metálicos.

Os valores médios de pH obtidos para as amostras de solo, nos perfis estudados são apresentados na TAB.4.3. Observa-se o valor de pH variando em torno de 4 em todos os perfis. No perfil TASO 04 houve um aumento do pH a partir da profundidade 130 cm, passando a situar-se em torno de pH 5; esse aumento não foi observado nos demais perfis.

TABELA 4.3 - Valores médios de pH determinados para os perfis de solo TASO 01, TASO 02, TASO 03 e TASO 04.

TASO 01		TASO 02		TASO 03		TASO 04	
Prof. (cm)	pH	Prof. (cm)	pH	Prof. (cm)	pH	Prof. (cm)	pH
0	4,01	0	4,42	0	4,35	0	4,35
10	4,37	10	4,26	10	4,27	10	4,28
20	4,24	25	4,26	25	4,19	20	4,24
30	4,24	35	4,29	35	4,25	30	4,27
40	4,24	45	4,33	50	4,23	40	4,36
50	4,16	55	4,30	60	4,24	50	4,48
60	4,18	65	4,27	70	4,14	60	4,51
70	4,13	75	4,34	80	4,09	70	4,60
80	4,16	90	4,37	95	4,03	80	4,57
90	4,22	100	4,33	105	4,02	90	4,65
100	4,16	115	4,36	115	3,99	100	4,61
105	4,17	130	4,37	125	4,02	110	4,72
---	---	140	4,35	135	4,00	120	4,86
---	---	155	4,33	145	3,98	130	5,11
---	---	170	4,29	155	3,99	145	5,27
---	---	180	4,31	165	3,98	155	5,64
---	---	190	4,13	180	4,02	165	5,66
---	---	---	---	190	4,02	175	5,58
---	---	---	---	---	---	185	5,29
---	---	---	---	---	---	195	5,29
MAXIMO	4,37	MAXIMO	4,42	MAXIMO	4,35	MAXIMO	5,66
MÍNIMO	4,01	MÍNIMO	4,13	MÍNIMO	3,98	MÍNIMO	4,24
MÉDIA	4,19	MÉDIA	4,31	MÉDIA	4,10	MÉDIA	4,82

--- limite de profundidade do perfil

Fonte: autor da dissertação.

4.1.5 Espectrometria gama

Nas FIG. 4.2 e 4.3 são apresentadas as concentrações de atividade dos radionuclídeos naturais: ^{238}U , ^{226}Ra e ^{210}Pb , ^{232}Th , ^{228}Ra , ^{228}Th e ^{40}K obtidas por meio da espectrometria gama, e também as concentrações dos radionuclídeos ^{238}U e ^{232}Th , obtidas na análise por ativação com nêutrons instrumental, para os perfis de solo TASSO 01, TASSO 02, TASSO 03 e TASSO 04.

As maiores médias de concentrações de atividade foram obtidas para os radionuclídeos ^{40}K , nos perfis TASSO 01, TASSO 02 e TASSO 03, e ^{228}Th no perfil TASSO 04; e as menores para o ^{210}Pb , em todos os perfis.

Comparando-se as concentrações dos radionuclídeos ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{238}U e ^{40}K , com os valores de média mundial (UNSCEAR, 2000), é possível fazer as seguintes relações:

As médias de concentrações de atividade obtidas para os radionuclídeos ^{226}Ra , ^{238}U e ^{232}Th em todos os perfis de solo estão acima da média mundial de 35 Bq.kg^{-1} , 35 Bq.kg^{-1} e 30 Bq.kg^{-1} , respectivamente.

Para o radionuclídeo ^{40}K , verificou-se valores médios de concentração acima da média mundial (400 Bq.kg^{-1} , UNSCEAR, 2000) para os perfis TASSO 01 (496 Bq.kg^{-1}) e TASSO 03 ($447,3 \text{ Bq.kg}^{-1}$). Nos perfis TASSO 02 e TASSO 04 esses valores ficaram abaixo da média, $269,8 \text{ Bq.kg}^{-1}$ e $97,7 \text{ Bq.kg}^{-1}$, respectivamente. O resultado obtido para este radionuclídeo no perfil TASSO 04 não era esperado, uma vez que o ponto de coleta se localiza em uma área de horticultura com provável uso de fertilizantes, pois segundo AGBALAGBA e ONOJA (2011) a concentração de ^{40}K está diretamente relacionada ao uso de fertilizantes à base de nitrogênio, fósforo e potássio (NPK).

Comparando-se as médias de concentração de atividade dos os radionuclídeos obtidos para os 4 perfis de solo coletados ao redor do reservatório Taiaçupeba, com os valores de concentração apresentados por PERES (2007) para o solo do estado de São Paulo, é possível observar que todos os pontos apresentaram maiores valores de concentração de atividade, exceto para ^{238}U , que apresentou valores mais baixos nos quatro perfis e ^{210}Pb , nos perfis TASSO 01, TASSO 02 e TASSO 03.

FIGURA 4.2 - Concentrações dos radionuclídeos naturais ^{238}U , ^{226}Ra e ^{210}Pb , ^{232}Th , ^{228}Ra , ^{228}Th e ^{40}K obtidos nos perfis TASO 01, TASO 02.

Fonte: autor da dissertação.

FIGURA 4.3 - Concentrações dos radionuclídeos naturais ^{238}U , ^{226}Ra e ^{210}Pb , ^{232}Th , ^{228}Ra , ^{228}Th e ^{40}K obtidos nos perfis TASO 03, TASO 04.

Fonte: autor da dissertação.

4.1.6 Análise por ativação com nêutrons instrumental (INAA)

Nas FIG. 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7 são apresentadas as concentrações dos elementos, em mg.kg^{-1} e/ou em %, para os perfis TASO 01, TASO 02, TASO 03 e TASO 04 respectivamente. Nas figuras, também são apresentados os resultados do conteúdo de água e da granulometria (fração grossa e fina) dos perfis analisados.

Na Fig. 4.4, TASO 01, as concentrações dos elementos Sb, Lu, Yb, K, Hf, Sc, Th e Cr, mantiveram-se praticamente constantes com a profundidade, o mesmo foi observado no percentual de umidade. Os elementos Eu, Cs e Cr apresentaram aumento de suas concentrações com a profundidade, tendência observada também na fração fina, silte e argila (% S+A) do solo, embora menos acentuada. Os elementos Co, Zn e Ba apresentaram um aumento significativo entre as profundidades 10 e 40 centímetros.

Na FIG. 4.5, TASO 02, observa-se concentrações praticamente constantes ao longo do perfil para os elementos Lu, Sb, Hf e K, seguindo a tendência do percentual de umidade do perfil. Os elementos Co, Sc, Th, Rb e Cr apresentaram um pico em suas concentrações entre as profundidades 40 e 130 centímetros, fato que pode estar ligado ao aumento da fração fina do solo na mesma faixa de profundidade. Os elementos Eu e La apresentaram pequeno aumento em suas concentrações com a profundidade, e os demais variaram suas concentrações ao longo de todo o perfil.

Na FIG. 4.6, TASO 03, observa-se que as concentrações dos elementos Lu, Tb e Sb apresentaram concentrações constantes no decorrer de todo o perfil, seguindo tendência observada também no percentual de umidade. Os elementos, Cs, Sc, Cr e Rb apresentaram um aumento em suas concentrações entre 50 e 140 centímetros de profundidade, assim como foi observado quanto ao percentual da fração fina (% S+A) no perfil. Os demais elementos apresentaram um aumento de suas concentrações com o aumento da profundidade.

Na FIG. 4.7, TASO 04, observa-se concentrações praticamente constantes em todo o perfil para a maioria dos elementos. Os elementos As, Th e Cr apresentou um leve aumento em suas concentrações entre as profundidades 120 e 190 centímetros.

Comparando-se os valores de concentração obtidos para os elementos As, Ba, Co, Cr, Sb e Zn com os valores orientadores para o solo (CETESB 2005), observa-se que

apenas as concentrações dos elementos Co e Sb estão abaixo dos valores de prevenção em todos os perfis analisados. Os elementos As, Cr e Zn apresentaram concentrações, no perfil TASSO 04, acima dos valores de prevenção e o elemento Ba apresentou concentração acima do valor de investigação agrícola - APMáx nos perfis TASSO 01, TASSO 02 e TASSO 03, no perfil TASSO 04 o mesmo não foi determinado.

FIGURA 4.4 - Concentrações dos elementos obtidos por INAA, conteúdo de água e fração grossa e fina do perfil TASSO 01.

Fonte: autor da dissertação.

FIGURA 4.5 - Concentrações dos elementos obtidos por INAA, conteúdo de água e fração grossa e fina do perfil TASO 02.

Fonte: autor da dissertação.

FIGURA 4.6 - Concentrações dos elementos obtidos por INAA, conteúdo de água e fração grossa e fina do perfil TASO 03.

Fonte: autor da dissertação.

FIGURA 4.7 - Concentrações dos elementos obtidos por INAA, conteúdo de água e fração grossa e fina do perfil TASO 04.

Fonte: autor da dissertação.

4.1.7 Fator de enriquecimento (FE)

Nas FIG. 4.8 e 4.9 são apresentados os valores determinados pelo Fator de Enriquecimento – FE, utilizando como de referência os valores da Crosta Continental Superior – CCS (WEDEPOHL, 1995) e como normalizador o elemento Sc, para os elementos que apresentaram $FE > 2$ nos perfis TASO 01 e TASO 02 e TASO 03 e TASO 04, respectivamente.

No perfil TASO 01, apenas o elemento Hf apresentou valor de FE maior que 2, FE entre 2 e 5, nas primeiras camadas do solo, caracterizando-o segundo SUTHERLAND (2000) como enriquecimento moderado. No perfil TASO 02, os elementos com maiores valores de FE foram As e Sb ($FE > 5$ e < 40) caracterizando o perfil como alto enriquecimento para esses elementos, além disso, foi observado valores de FE entre 2 e 5 para os elementos Hf, Cs, Lu, e Yb, classificando-os como enriquecimento moderado.

FIGURA 4.8 - Valores do fator de enriquecimento - FE para os elementos cujo $FE > 2$, nos perfis TASO 01 e TASO 02.

Fonte: autor da dissertação.

No perfil de solo TASO 03, os elementos As, Ce, Cs, Eu, Hf, La, Lu, Nd, Sb, Sm, Tb, Th, U e Yb apresentaram valor de FE entre 2 e 5, sendo classificados como enriquecimento moderado para esses elementos. No perfil de solo TASO 04, o elemento As apresentou $FE > 5 < 40$, classificando o solo como enriquecimento alto para esse elemento; foi observado também valores de FE entre 2 e 5 para os elementos Hf, Lu e Sb, classificando-os como enriquecimento moderado.

FIGURA 4.9 - Valores do fator de enriquecimento - FE para os elementos cujo $FE > 2$, nos perfis TASO 03 e TASO 04.

Fonte: autor da dissertação.

Com esses resultados é possível verificar influência antrópica para as concentrações dos elementos apresentados no solo. Esta influência é elevada para o elemento As nos perfis TASO 02 e TASO 04, e para o elemento Sb no TASO 02; e

moderada para os demais elementos apresentados conforme os perfis. Em relação aos resultados apresentados para o elemento As, é necessário ressaltar que a CETESB atribui as altas concentrações do mesmo ao caráter geológico da região (CETESB, 2017).

4.2 Sedimento

4.2.1 Análise granulométrica e conteúdo de água

Na FIG. 4.10 são apresentados os resultados da análise granulométrica, nas frações areia, silte e argila, e o conteúdo de água, em porcentagem, dos testemunhos de sedimento dos pontos 1, 2, 3 e 4, identificados como TASE 01, TASE 02, TASE 03 e TASE 04, respectivamente.

Os quatro testemunhos de sedimento estudados apresentaram comportamento similar em relação ao percentual de água, mostrando uma redução com o aumento da profundidade, sendo esta mais acentuada nos testemunhos TASE 02 e TASE 03. No testemunho TASE 03, observou-se o decréscimo do percentual de água acompanhando a redução da fração argila; do mesmo modo, nos testemunhos TASE 01 e TASE 04, o percentual de água manteve-se mais constante, assim como o percentual de argila.

O testemunho TASE 01 apresentou percentual da fração areia variando entre 57,6% e 88,4%. Os testemunhos TASE 02 e TASE 03 apresentaram grandes oscilações quanto a fração de maior percentual ao longo do testemunho, alternando entre as frações argila e areia. No testemunho TASE 04, o percentual da fração argila foi maior ao longo de todo o testemunho, quando comparado com os outros, variando de 49% a 74,4%; seguido da fração areia, cujo percentual variou entre 18,4% e 44,6%. A fração silte, manteve-se baixa nos quatro testemunhos apresentando pequenas variações e maior percentual, de 16,6%, no testemunho TASE 03.

FIGURA 4.10 - Composição granulométrica e conteúdo de água, em função da profundidade dos testemunhos de sedimento TASE 01, TASE 02, TASE 03 e TASE 04.

Fonte: autor da dissertação.

4.2.2 Determinação da Matéria Orgânica

Os percentuais de matéria orgânica obtidos por PMI para os testemunhos de sedimento TASE 01, TASE 02, TASE 03 e TASE 04 são apresentados na TAB. 4.4.

O testemunho TASE 01 apresentou valores médios de matéria orgânica de 0,23%, na temperatura de 300° C, variando entre um máximo de 0,34% e um mínimo de 0,07%; e de 0,21%, na temperatura de 500° C, com um valor máximo de 0,30% e um mínimo de 0,7%. Os valores mínimos, em ambas as temperaturas, foram observados na mesma amostra, o que pode estar relacionado a quantidade de areia na fatia do sedimento. O percentual de água presente nas amostras secas não ultrapassou a 0,11%.

O testemunho TASE 02 apresentou valores médios de matéria orgânica de 0,24%, na temperatura de 300° C, variando entre um máximo de 0,67% e um mínimo de 0,12%; e de 0,26%, na temperatura de 500° C, com um valor máximo de 0,38% e um mínimo de 0,19%. O percentual de água presente nas amostras secas não ultrapassou a 0,13%.

O testemunho TASE 03 apresentou valores médios de matéria orgânica de 0,80%, na temperatura de 300° C, variando entre um máximo de 2,40% e um mínimo de 0,06%; e de 0,32%, na temperatura de 500° C, com um valor máximo de 0,81% e um mínimo de 0,02%. A diferença entre os valores máximos e mínimos pode estar relacionada à constituição do testemunho analisado com as camadas superiores contendo restos de vegetação e as da base contendo areia. O percentual de água presente nas amostras secas não ultrapassou a 0,37%.

O testemunho TASE 04 apresentou valores médios de matéria orgânica de 0,68%, na temperatura de 300° C, variando entre um máximo de 1,19% e um mínimo de 0,34%; e de 0,60%, na temperatura de 500° C, com um valor máximo de 0,84% e um mínimo de 0,22%. Na temperatura 300° C é nítida a redução da matéria orgânica com a profundidade, já na temperatura de 500° C verificou um aumento até as amostras do meio do testemunho e uma redução até os menores valores no fim do testemunho. O percentual de água presente nas amostras secas não ultrapassou a 0,43%.

TABELA 4.4 - Percentual de matéria orgânica, obtido por PMI, nos testemunhos de sedimento TASE 01, TASE 02, TASE 03 e TASE04.

TASE 01			TASE 02			TASE 03			TASE 04		
Prof. (cm)	PMI % (300°C)	PMI % (500°C)	Prof. (cm)	PMI % (300°C)	PMI % (500°C)	Prof. (cm)	PMI % (300°C)	PMI % (500°C)	Prof. (cm)	PMI % (300°C)	PMI % (500°C)
0	0,07	0,07	0	0,67	0,30	0	1,53	0,81	0	1,01	0,57
4	0,21	0,20	7	0,30	0,23	6	2,38	0,59	8	1,19	0,66
8	0,26	0,30	11	0,19	0,29	12	2,40	0,73	13	1,09	0,81
12	0,34	0,24	15	0,28	0,30	18	2,01	0,76	17	1,19	0,74
16	0,29	0,21	19	0,12	0,33	24	0,58	0,24	21	0,58	0,84
20	0,32	0,22	23	0,17	0,38	30	0,10	0,06	25	0,59	0,83
24	0,27	0,20	27	0,18	0,29	33	0,12	0,09	29	0,57	0,63
28	0,25	0,21	31	0,24	0,25	35,5	0,06	0,07	35	0,61	0,78
32	0,22	0,20	35	0,19	0,19	38	0,10	0,06	39	0,58	0,54
36	0,19	0,23	39	0,19	0,19	41	0,08	0,02	43	0,53	0,51
40	0,21	0,24	45	0,23	0,21	44	0,10	0,22	47	0,47	0,53
42	0,19	0,22	51	0,23	0,21	47	0,09	0,20	51	0,37	0,41
---	---	---	57	0,21	0,27	---	---	---	55	0,36	0,33
---	---	---	60	0,22	0,24	---	---	---	61	0,34	0,22
MÁXIMO	0,34	0,30	MÁXIMO	0,67	0,38	MÁXIMO	2,40	0,81	MÁXIMO	1,19	0,84
MÍNIMO	0,07	0,07	MÍNIMO	0,12	0,19	MÍNIMO	0,06	0,02	MÍNIMO	0,34	0,22
MÉDIA	0,23	0,21	MÉDIA	0,24	0,26	MÉDIA	0,80	0,32	MÉDIA	0,68	0,60

--- limite do comprimento do testemunho

Fonte: autor da dissertação.

4.2.3 Espectrometria gama

Nas FIG. 4.11 e 4.12 são apresentadas as concentrações de atividade dos radionuclídeos naturais: ^{238}U , ^{226}Ra e ^{210}Pb , ^{232}Th , ^{228}Ra , ^{228}Th obtidas através da espectrometria gama, e também as concentrações dos radionuclídeos ^{238}U e ^{232}Th , obtidas na análise por ativação com nêutrons instrumental, para os testemunhos de sedimento TASE 01, TASE 02, TASE 03 e TASE 04. Nos perfis de sedimento não foram determinados valores para ^{40}K .

As maiores concentrações de atividades foram obtidas para os radionuclídeos ^{210}Pb em todos os testemunhos, seguido do ^{232}Th nos testemunhos TASE 01, TASE 02 e TASE 03 e do ^{238}U no TASE 04. As menores concentrações de atividade foram obtidas para os radionuclídeos ^{226}Ra nos testemunhos TASE 01, TASE 02 e TASE 03 e para o ^{228}Ra , no TASE 04. Observa-se ainda, que o testemunho TASE 03 apresentou menores concentrações de atividades e o testemunho TASE 04 as maiores, quando comparados com os demais testemunhos analisados.

Comparando-se as concentrações dos radionuclídeos ^{226}Ra , ^{232}Th e ^{238}U obtidos nos sedimentos, com os valores de média mundial no solo (UNSCEAR, 2000) observa-se que as médias das concentrações de atividade obtidas para ^{232}Th , nos quatro testemunhos de sedimento estão acima da média mundial (30 Bq.kg⁻¹), apresentando valores de 76 Bq.kg⁻¹ para o TASE 01, 77 Bq.kg⁻¹ para o TASE 02, 40 Bq.kg⁻¹ para o TASE 03 e 128 Bq.kg⁻¹ para o TASE 04. Observa-se também que os radionuclídeos ^{226}Ra e ^{238}U , também apresentam médias de concentração de atividade acima da média mundial para o solo, exceto para o testemunho TASE 03, apresentando concentrações de atividade com valores médios de 31 Bq.kg⁻¹ e 32 Bq.kg⁻¹, respectivamente.

Comparando-se as médias de concentração de atividade dos os radionuclídeos obtidos para os quatro testemunhos de sedimento coletados no reservatório Taiaçupeba, com os valores de concentração apresentados por PERES (2007) para o solo do estado de São Paulo, é possível observar que todos os testemunhos apresentaram maiores valores de concentração de atividade, exceto para ^{238}U nos testemunhos TASE 01, TASE 02 e TASE 03.

FIGURA 4.11 - Concentrações dos radionuclídeos naturais ^{238}U , ^{226}Ra e ^{210}Pb , ^{232}Th , ^{228}Ra e ^{228}Th obtidos nos testemunhos TASE 01 e TASE 02.

Fonte: autor da dissertação.

FIGURA 4.12 - Concentrações dos radionuclídeos naturais ^{238}U , ^{226}Ra e ^{210}Pb , ^{232}Th , ^{228}Ra e ^{228}Th obtidos nos testemunhos TASE 03 e TASE 04.

Fonte: autor da dissertação.

4.2.4 Análise por ativação com nêutrons instrumental (INAA)

Nas FIG. 4.13, 4.14, 4.15 e 4.16 são apresentadas as concentrações dos elementos, em mg.kg^{-1} e/ou em %, para os testemunhos TASE 01, TASE 02, TASE 03 e TASE 04, respectivamente. Nas figuras, também, são apresentados os resultados do conteúdo de água e da granulometria, fração grossa e fina, dos testemunhos analisados.

Na Fig. 4.13, testemunho TASE 01, observa-se que os elementos Sb, Co, Cs e Zn seguiram o comportamento observado no conteúdo de água, apresentando um leve aumento em suas concentrações até a profundidade 10 cm e um decréscimo a medida que a profundidade aumenta, voltando a se elevar no fim do testemunho. Os elementos Eu, Tb, U, Hf, Sm, Sc, Th, Rb, Nd, Zn, La e Ce, se comportaram conforme a tendência observada na fração fina do sedimento, silte e argila, (% s + a), apresentando um leve aumento até a profundidade 10 cm, valores praticamente constantes ao longo do testemunho e uma leve redução na profundidade 40 cm; alguns desses elementos, como o Eu, Tb, Sm, Th, Nd, Ce e La, apresentaram um aumento expressivo entre as profundidades 10 e 15 cm.

Na FIG. 4.14, testemunho TASE 02, observa-se uma grande variação nas concentrações da maioria dos elementos analisados. Os elementos Nd e Zn apresentaram redução em suas concentrações com a profundidade, tendência observada também no percentual de água do testemunho. Os elementos U, Yb, Sb, Sm, La, As e K apresentaram redução acentuada de suas concentrações na profundidade 11 centímetros, fato que pode estar relacionado a um menor percentual de matéria orgânica nessa profundidade.

Na FIG. 4.15, testemunho TASE 03, observa-se, assim como no testemunho TASE 02, uma grande variação na concentração dos elementos, embora este não apresente a mesma variação na granulometria. É possível observar também, que os elementos Eu, Sb e Zn apresentaram redução das concentrações com a profundidade, seguindo a tendência do conteúdo de água. Os elementos Cs, Ba, Cr, Sc e outros seguiram a tendência observada na fração fina do sedimento com o aumento da concentração no final do testemunho, à partir da profundidade 30 cm. Verificou-se que o elemento Zn, neste testemunho, apresentou uma concentração muito elevada (38157 mg.kg^{-1}) quando comparada aos valores da crosta continental superior (71 mg.kg^{-1}), indicando uma possível contribuição antrópica provavelmente oriunda de um dos rios afluentes localizado próximo ao ponto de coleta e devido à influência de indústrias da região.

Na FIG. 4.16, testemunho TASE 04, observa-se um aumento nas concentrações dos elementos Lu, Co, Cs, Sb, Yb, Rb, Sc, Th, Hf, e Cr à medida que aumenta a profundidade, fato observado também na fração fina do sedimento, em menor intensidade. O elemento As apresentou redução com a profundidade e os demais elementos apresentaram - se praticamente constantes em todo o testemunho.

Comparando-se os valores de concentração obtidos para os elementos As, Ba, Co, Cr, Sb e Zn com os valores orientadores para o solo (CETESB 2005), observa-se que apenas as concentrações dos elementos Co e Sb estão abaixo dos valores de prevenção em todos os testemunhos analisados. Os elementos As e Cr apresentaram concentrações acima do valor de prevenção para os testemunhos TASE 01, TASE 02 e TASE 03, e para o testemunho TASE 04, respectivamente. O elemento Ba apresentou concentrações acima do valor de prevenção em todos os testemunhos, sendo esta no testemunho TASE 03, maior que o de investigação agrícola APM_{ax}. O elemento Zn apresentou concentração muito acima dos valores de orientadores para o solo, no testemunho TASE 03, ultrapassando o valor de investigação industrial até a profundidade 24 cm.

Muitos trabalhos realizam a comparação das concentrações dos elementos obtido na análise do sedimento com os valores guia de qualidade do sedimento, TEL - Threshold Effect Level e PEL - Probable Effect, estabelecidos pelo CANADIAN CONCIL of MINISTERS of the ENVIROMENT (2012). Ao realizar essa comparação da concentração média obtidas para os elementos As, Cr e Zn nos quatro testemunhos estudados foi possível observar que o elemento As apresentou concentração entre TEL e PEL no testemunho TASE 04 e acima de PEL nos testemunhos TASE 01, TASE 02 e TASE 03; o elemento Cr apresentou concentração abaixo de TEL no testemunho TASE 01, e entre TEL e PEL nos testemunhos TASE 02, TASE 03 e TASE 04; e o elemento Zn apresentou concentração abaixo de TEL no testemunho TASE 01, entre TEL e PEL nos testemunhos TASE 02 e TASE 04 e muito acima de PEL no testemunho TASE 03.

FIGURA 4.13 - Concentrações dos elementos obtidos por INAA, conteúdo de água e fração grossa e fina do testemunho TASE 01.

Fonte: autor da dissertação.

FIGURA 4.14 - Concentrações dos elementos obtidos por INAA, conteúdo de água e fração grossa e fina do testemunho TASE 02.

Fonte: autor da dissertação.

FIGURA 4.15 - Concentrações dos elementos obtidos por INAA, conteúdo de água e fração grossa e fina do testemunho TASE 03.

Fonte: autor da dissertação.

FIGURA 4.16 - Concentrações dos elementos obtidos por INAA, conteúdo de água e fração grossa e fina do testemunho TASE 04.

Fonte: autor da dissertação.

4.2.5 Fator de enriquecimento (FE),

Nas FIG. 4.17, 4.18, 4.19 e 4.20 são apresentados os valores determinados do Fator de Enriquecimento – FE para os elementos que apresentaram $FE > 2$ nos testemunhos TASE 01, TASE 02, TASE 03 e TASE 04, respectivamente.

No testemunho TASE 01, FIG. 4.17, observa-se que a maioria dos elementos analisados apresentou maiores valores de FE nos primeiros centímetros do testemunho. Os maiores valores foram obtidos para o elemento As ($FE > 40$), classificando-o como enriquecimento severo para esse elemento. Os elementos Hf, Ce Sb e Th, apresentaram valor de FE entre 5 e 40, caracterizando o testemunho como alto enriquecimento para esses elementos. Os demais elementos mostrados no gráfico apresentaram FE entre 2 e 5, sendo classificados como enriquecimento moderado.

FIGURA 4.17 - FE para os elementos que apresentaram valores de $FE > 2$, no testemunho TASE 01.

Fonte: autor da dissertação.

No testemunho TASE 02, FIG. 4.18, os maiores valores de FE foram obtidos para os elementos As e Sb ($FE > 5 < 40$), caracterizando-os como alto enriquecimento. Os demais elementos apresentados apresentaram valores de FE entre 2 e 5 sendo classificados como enriquecimento moderado.

FIGURA 4.18 - FE para os elementos que apresentaram valores de $FE > 2$, no testemunho TASE 02.

Fonte: autor da dissertação.

Para o testemunho TASE 03, FIG. 4.19, os elementos As e Zn apresentaram $FE > 40$, classificando-os como enriquecimento severo; nesse testemunho o Zn apresentou valor de FE de 663 na profundidade de 12 cm. Os elementos Sb, Hf, Lu, Nd, Th e Yb apresentaram FE entre 5 e 40 sendo classificados como alto enriquecimento. Os demais elementos apresentados são classificados como enriquecimento moderado (FE entre 2 e 5).

No testemunho TASE 04, FIG. 4.20, o elemento As apresentou valores de FE entre 5 e 40 classificando-o como enriquecimento alto. Os demais elementos apresentados são classificados como enriquecimento moderado.

Com esses resultados de FE é possível verificar influência antrópica para as concentrações dos elementos apresentados no sedimento. Esta influência é severa para o elemento As, no testemunho TASE 01, e para os elementos As e Zn no TASE 03; elevada para os elementos Hf, Ce, Sb e Th, no testemunho TASE 01, As e Sb, no TASE 02, Hf, Sb, Lu, Nd, Th e Yb, no TASE 03, e As, no TASE 04; e moderada para os demais elementos apresentados conforme os testemunhos. Em relação aos resultados apresentados

para os elementos As e Cr, novamente é necessário ressaltar que a CETESB atribui as altas concentrações dos mesmos ao caráter geológico da região (CETESB, 2017).

FIGURA 4.19 - FE para os elementos que apresentaram valores de $FE > 2$, no testemunho TASE 03.

Fonte: autor da dissertação.

FIGURA 4.20 - FE para os elementos que apresentaram valores de $FE > 2$, no testemunho TASE 04.

Fonte: autor da dissertação.

5 CONCLUSÃO

São poucos os trabalhos já realizados na área de estudo sobre o Reservatório Taiaçupeba. Neste trabalho foram estudados quatro perfis de solo e quatro testemunhos de sedimento coletados na área de influência do Reservatório Taiaçupeba, na divisa entre os municípios de Mogi das Cruzes e Suzano. Estes foram analisados quanto a concentração de atividade dos radionuclídeos naturais ^{238}U , ^{226}Ra e ^{210}Pb , da série de decaimento do ^{238}U ; ^{232}Th , ^{228}Ra e ^{228}Th , da série do ^{232}Th e do radionuclídeo ^{40}K e quanto a sua caracterização química inorgânica utilizando INAA. Ainda foram determinadas a composição granulométrica das amostras, umidade do solo e conteúdo de água no sedimento, e matéria orgânica, nas temperaturas 300°C e 500°C . Também, foi avaliado o fator de enriquecimento para os elementos obtido por INAA, utilizando os valores de referência da Crosta Continental Superior - CCS, com o objetivo de verificar uma possível contribuição de origem antropogênica nas concentrações obtidas para os elementos nas matrizes estudadas.

Na análise granulométrica pode-se observar que os perfis de solo apresentaram maiores percentuais da fração fina; o mesmo não ocorreu nos testemunhos de sedimento; exceto no testemunho TASE 04. A umidade do solo manteve-se praticamente constante em todos os perfis apresentando-se entre 10 e 20%. Os testemunhos de sedimento apresentaram variação no conteúdo de água, no geral reduzindo com a profundidade.

Na análise da matéria orgânica constatou maior percentual médio no perfil de solo TASE 04 (0,70% e 0,30%) e o menor no TASE 03 (0,09% e 0,22%), para as temperaturas 300°C e 500°C , respectivamente; o TASE 02 e TASE 01 apresentaram valores muito próximos em torno de 0,15% e 0,36% para as temperaturas descritas; no sedimento, o maior percentual foi verificado no testemunho TASE 03, na temperatura 300°C , e no TASE 04, na temperatura 500°C ; sendo que o TASE 02 e TASE 01 apresentaram percentuais bem próximos, em torno de 0,21% e 0,26%.

As maiores concentrações dos radionuclídeos naturais estudados foram dos radionuclídeos ^{40}K , ^{228}Th , ^{232}Th na maioria dos perfis de solo analisados; sendo as menores concentrações de atividades apresentadas pelo ^{210}Pb . Nos testemunhos de sedimentos analisados, as maiores concentrações de atividades foram obtidas para os radionuclídeos ^{210}Pb e ^{232}Th , e as menores os radionuclídeos ^{226}Ra .

A caracterização química inorgânica apresentou as concentrações em mg.kg^{-1} ou em porcentagem para os elementos As, Ba, Ca, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Hf, K, La, Lu, Nd, Rb, Sb, Sc, Sm, Tb, Th, U, Yb e Zn, utilizando a técnica de análise por ativação com nêutrons instrumental (INAA) nas amostras de solo e sedimento. Observou-se no solo e sedimento, altos valores para alguns elementos como, As e Sb (40 mg.kg^{-1} e $2,9 \text{ mg.kg}^{-1}$) quando comparados com os valores da CCS ($1,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ e $0,2 \text{ mg.kg}^{-1}$), respectivamente. O testemunho TASE 03 apresentou uma concentração muito elevada para o elemento Zn (máxima de 38157 mg.kg^{-1} ou média de $6602,6 \text{ mg.kg}^{-1}$) quando comparada aos valores da crosta continental superior (71 mg.kg^{-1}), indicando uma contribuição antrópica provavelmente oriunda de um dos rios afluentes localizado próximo ao ponto de coleta e devido à influência de indústrias da região conforme Milani (2004) e Vargas et al (2015).

Na análise do fator de enriquecimento (FE) o elemento As apresentou enriquecimento alto para a maioria dos perfis analisados, e os elementos Sb, U, Tb, Yb, Sm, Lu, Hf e Cs apresentaram enriquecimento moderado. Nos testemunhos de sedimento, os maiores valores de FE foram obtidos para os elementos As, em todos os testemunhos, caracterizando um enriquecimento muito alto a muito severo, e para o elemento Sb, no TASE 02 com enriquecimento alto. O elemento Zn, no testemunho TASE 03, caracterizou o enriquecimento como muito severo. Também se verificou um FE maior que 2 para os demais elementos apresentados na análise. Esses valores de FE podem, de certa forma, estar superestimados pois os valores da CCS, utilizados nesta análise, foram obtidos em áreas com geologia diferente da área de estudo; segundo Santos (2016) os melhores valores de referências para esta análise são os valores basais por representar o próprio local de estudo.

Os resultados obtidos pela caracterização química inorgânica, granulometria, determinação da matéria orgânica e da concentração de atividade dos radionuclídeos naturais determinados no presente trabalho, contribuem para o estabelecimento de um banco de dados sobre o a área estudada, de modo a registrar esses valores para possíveis

comparações futuras e acompanhamento das condições naturais do reservatório e seu entorno.

6 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho teve como objetivo determinar a concentração de atividade dos radionuclídeos naturais das séries de decaimento do ^{238}U e ^{232}Th e o radionuclídeo ^{40}K nos perfis de solo e testemunhos de sedimento, além de caracterizar a composição química inorgânica do solo e do sedimento da área de influência do reservatório, com a finalidade de avaliar uma possível contaminação que venha a ser prejudicial a qualidade da água do Reservatório Taiaçupeba. Sugere-se para trabalhos futuros que a mesma análise seja realizada para água, sedimento de fundo e plantas aquáticas do reservatório, e também uma análise quanto à dose efetiva proveniente da radiação natural presente no reservatório.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGBALAGBA, E. O.; ONOJA, R. A. Evaluation of natural radioactivity in soil, sediment and water samples of Niger Delta (Biseni) flood plain lakes, Nigeria. **Journal of Environmental Radioactivity**, vol. 102, p. 667 – 671, 2011.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS - ANA. **Conjuntura. Recursos Hídricos no Brasil**. 202 pp. 2009.
- ALEGRE, G. F. **Avaliação ecotoxicológica de sedimentos do rio Tietê, entre os municípios de Salesópolis e Suzano, SP**. 2009. 121 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- ALLOWAY, B. J. **Heavy metals in soil**. 2ª ed. London: Blackie Academic & Professional, 1995. 368 p.
- ÁLVAREZ-IGLESIAS, P.; QUINTANA, B.; RUBIO, B.; PÉREZ-ARLUCEA, M. Sedimentation rates and trace metal input history in intertidal sediments from San Simón Bay (Ría de Vigo, Nw Spain) derived from ^{210}Pb and ^{137}Cs chronology. **J. Environ. Radioact.**, v. 98, n. 3, p. 229 – 250, 2007.
- AMANJEET, A. K.; KUMAR, S.; SINGH, J.; SINGH, P.; BAJEA, B. S. Assessment of natural radioactivity levels and associated dose rates in soil samples from historical city Panipat, India. **Journal of Radiation Research and Applied Sciences**, vol 30, p. 1 – 6, 2017.
- AMORIM, E. P. **Avaliação da concentração de metais e outros elementos de interesse em amostras de sedimentos dos estuários de Santos/São Vicente e Cananéia, estado de São Paulo, Brasil**. 2012. 350 p. Tese (Doutorado em Ciências) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- ARGOLO, R. M. **Cronologias de Sedimentação Recente e de Deposição de Metais Pesados na Baía de Todos os Santos usando ^{210}Pb e ^{137}Cs** . 2001. 104 p. Tese (Doutorado em Geofísica) Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, Brasil.
- ARRUDA, R. O. M., SANTOS, M. A., VIPPER, H. P. A. F. Avaliação da qualidade do reservatório de Taiapuêba, Mogi das Cruzes-SP, sob o aspecto da saúde, entre 2009 e 2013. **Revista UnG – Geociências**, v. 13, n. 1, p. 38 – 49, 2014.
- AZEVEDO, F. A.; CHAIN, A. A. M. **Metais: Gerenciamento da toxicidade**. São Paulo, Atheneu, 2003. 554 p.
- BAKM, M., GORGUN, A. U. Radioactivity in soils and some terrestrial foodstuffs from organic and conventional farming areas in Izmir, Turkey. **J. Radioanal. Nucl. Chem.**, n. 306, p. 237 – 242, 2015.
- BARBOSA, F. A. R.; PADISÁK, J.; ESPÍNDOLA, E. L. G.; BORICS, G.; ROCHA, O.

The cascading reservoir continuum concept (CRCC) and its application to the River Tietê-basin, São Paulo State, Brazil. In TUNDISI, J. G.; STRAŠKRABA, M., ed. **Theoretical reservoir ecology and its application**. Leiden: Backhuys Publishers. p. 425 – 437, 1999.

BARROS, L. F.; PECEQUILO, B. R. S. Self-attenuation factors in gamma-ray spectrometry of select sand samples from Camburi Beach, Vitória, Espírito Santo, Brasil. **Radiation Physics and Chemistry**, vol. 95, p. 339 – 341, 2014.

BEVILACQUA, J. E. Extração seletiva de metais pesados em sedimentos de fundo do Rio Tietê, São Paulo. **Química Nova**, vol. 32, n. 1, p. 26 – 33, 2009.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União: República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, v. 148, n. 239, 14 dez. 2011. Seção 1, p. 39 – 46. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=39&data=14/12/2011>>. Acesso em: jun. 2017.

BRUMMER, G. W. Heavy metal species, mobility and availability in soils. In: BRINCKAMN, F. E.; SADLER, P. J. (Ed) **The importance of chemical speciation in enviromental processes**. Berlim: Springer-Verlag, 1986. p. 169 – 192.

CARMO, D. L. **Quantificação e fator de conversão de carbono em matéria orgânica para resíduos orgânicos**. 2011. 50 p. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo). Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais.

CARVALHO, N. O; FILIZOLA JÚNIOR, N. P; SANTOS, P. M. C; LIMA, J. E. F. W. **Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios**. Brasília: ANEEL. 2000. 140p.

CAVALCANTE, F. **Avaliação da radioatividade natural e artificial em rações comerciais para animais domésticos**. 2017. 115 p. Tese (Doutorado em Ciências) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo.

CCME – Canadian Concil of Ministers of the Enviroment. 2012. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life. Protocol for derivation of Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life. 2012.

CETESB. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2004**. São Paulo, 2005. 307 p. Disponível em: <http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-e-relatorios/>.

CETESB. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2016**. São Paulo, 2017. 287 p. Disponível em: <http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-e-relatorios/>.

CHEN, Y.; STEVENSON, F. J. The role of organic matter in modern agriculture. Dordrecht: Martinus Nijhoff, 1986. p. 73 – 112.

CHEN, B.; ZHENG, Z.; HUANG, K.; ZHENG, Y.; ZHANG, G. Radionuclide dating of recent sediment and the validation of pollen-environment reconstruction in a small

watershed reservoir in southeastern China. **Catena**, n. 115, p. 29 – 38, 2014.

COELHO, A.L.N. Geomorfologia Fluvial De Rios Impactados Por Barragens. **Caminhos de Geografia**, v. 9, n. 26, p. 16 – 32, 2008.

COOKE, G. D.; WELCH, E. B.; PETERSON, S. A.; NICHOLS, S. A. Restoration and management lakes and reservoirs. 3ª ed. Flórida: CRC press, 2005.

COPE, V. **Caracterização limnológica e balanço de massa de nutrientes, durante o enchimento das represas Paraitinga e Bititiba (Alto Tietê)**. 2008. 137 p. Dissertação (Mestrado em Aquicultura e Pesca) Instituto de Pesca, Secretaria de Agricultura e Abastecimento, São Paulo.

CURRIE, L. A. Limits for qualitative detection and quantitative determination. **Analytical Chemistry**, v. 40, p. 586 – 593, 1968.

CUTSHALL, N.; LARSEN, I. L.; OLSEN, C. R. Direct analysis of ²¹⁰Pb in sediment samples: absorption corrections. **Nuclear Instruments Methods**, v. 206, p. 309 – 312, 1983.

DAEE - **Departamento de Águas e Energia Elétrica**. Disponível em: <https://memoriadadaee.wordpress.com/2012/11/07/sistema-produtor-alto-tiete-e-as-barragens-do-dae/> acesso 1/10/2015.

DAEE. **Portal do Departamento de Águas e Energia Elétrica**. Disponível em: <http://www.dae.sp.gov.br/>. Acesso em: 01 de outubro de 2017.

DAMATTO, S. R.; FAVARO, D. I. T.; SAKAMOTO, A. Y.; MAZZILLI, B. M. Datação e determinação de metais dos sedimentos da lagoa do Meio, Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul. In: IX CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 18 a 23 de outubro, 2003, Belém, Pará. São Paulo. **Anais 1 CD-ROM**

DAMATTO, S.R. **Radionuclídeos naturais das séries do ²³⁸U e ²³²Th, elementos traço e maiores determinados em perfis de sedimento da Baixada Santista para avaliação de áreas impactadas**. 2010. 254 p. Tese (Doutorado em Ciências) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo.

DONAGEMMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO FILHO, S.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de janeiro: Embrapa, 2011.

EISENBUD, M.; GESELL, T. F. **Environmental Radioactivity**: From Natural, Industrial and Military Sources. 4ª. ed. San Diego: Academic Press, 1997.

ESPÍNDOLA, E. L. G. **Limnologia de Represas: alguns fatores determinantes**. 2001. 95 p. Tese (Livre Docência) Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos.

ESTEVES, F. D. A. **Fundamentos de Limnologia**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

FORKAPIC, S.; VASIN, J.; BIKIT, I.; MRDJA, D.; BIKIT, K.; MILIC, S. Correlations between soil characteristics and radioactivity content of Vojvodina soil. **Journal of Enviromental Radioactivity**, v. 166, p. 104 – 111, 2017.

GAST, R. G. **Encyclopedia of soil science**. Stroudsburg Pa: Hutchinson and Ross, 1979. p. 148 – 152.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário Geológico – Geomorfológico**. Rio de Janeiro, Brasil: Bertrand Brasil, 1997.

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). **Revista Brasileira de Biologia**, São Carlos, v. 58, n. 4, p. 571 – 590, 1998.

ISINKAYE, M. O.; EMELUE, H. U. Natural radioactivity measurements and evaluation of radiological hazards in sediment of Oguta Lake, South East Nigeria. **Journal of Radiation Research and Applied Sciences**, v. 8, p. 459 – 469, 2015.

JENNY, H. **Factors of soil formation. A system of quantitative pedology**. New York: Dover Publications, INC., 1994.

KEENEY, D. R. **Encyclopedia of soil science**. Stroudsburg Pa: Hutchinson and Ross, 1979. p. 8 – 9.

KNOLL, G. F. **Radiation detection and measurements**. 4 ed. New York: John Wiley and Sons Inc., 2010.

KRAUSKOPF, K. B.; BIRD, D. K. **Introduction to geochemistry**. McGraw-Hill International Editions – Earth Science and Geology Series, New York, United States, 1995.

KRMAR, M.; VARGA, E.; SLIVKA, J. Correlations of natural radionuclides in soil with in sediment from the Danube and nearby irrigation channels. **Journal of Environmental Radioactivity**, vol. 117, p. 31 – 35, 2013.

LI, J.; DONG, S.; YANG, Z.; PENG, M.; LIU, S.; LI, X. Effects of cascade hydropower dams on the structure and distribution of riparian and upland vegetation along the middle-lower Lancang-Mekong River. **Forest Ecology and Management**, v. 284, p. 251 – 259, 2012.

LLOYD, R. **Pollution and freshwater fish**. Oxford: Fishing News Books. 176 p. 1992.

MADRUGA, M. J.; SILVA, L.; GOMES, A. R.; LIBÂNIO, A.; REIS, M. The influence of particle size on radionuclide activity concentrations in Tejo River sediments. **Journal of Environmental Radioactivity**, n. 132, p. 65 – 72, 2014.

MILANI, G. M. **Estudo da contaminação pelos metais Cu, Pb, Cd, e Zn na rede trófica dos reservatórios de Taiacupeba e do parque ecológico do Tiête, SP**. 2000. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, São Paulo, São

Paulo.

MILANI, G. M. **A contaminação por Al, As, Cr, Cu, Pb, Cd, e Zn na bacia do Taiaçupeba Açu, SP – estudo da biomagnificação dos elementos**. 2004. Tese (Doutorado). Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo.

MONIZ, A. C. **Elementos de Pedologia**. 2ª Ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1975.

MOREIRA, R. C. A.; BOAVENTURA, G. R. Referência geoquímica regional para a interpretação das concentrações de elementos químicos nos sedimentos da bacia Lago Paranoá – DF. **Quím. Nova**, v. 26, n. 6, p. 812 – 820, 2003.

MUDROCK, A.; MACKNIGHT, S. D. **CRC Handbook of Techniques for Aquatic Sediments Sampling**, CRC Press: Boca Raton, 1991.

NENADOVIĆ, S.; NENADOVIĆ, M.; KLJAJEVIĆ, L.; VUKANAC, I.; POZNANOVIĆ, M.; MIHAJLOVIĆ-RADOSAVLJEVIĆ, A.; PAVLOVIĆ, V. Vertical distribution of natural radionuclides in soil: Assessment of external exposure of population in cultivated and undisturbed areas. **Science of the Total Environment**, n. 429, p. 309 – 315, 2012.

NISTI, M. B. **Lixiviação de metais e radionuclídeos em solos tropicais condicionados com fosfogesso**. 2016. 149 p. Tese (Doutorado em Ciências) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo.

NOGUEIRA, M. G.; FERRAREZE, M.; MOREIRA, M. L.; GOUÊA, R. M. Phytoplankton assemblages in a reservoir cascade of a large tropical-subtropical river (SE, Brazil). **Brazilian Journal of Biology**, v. 70, n. 3, p. 781 – 793, 2010.

OBED, R. I.; FARAI, I. P.; JIBIRIL, N. N. Population dose distribution due to soil radio-activity concentration levels in 18 cities across Nigeria. **J. Radiol. Prot**, v. 25, p. 305 – 312, 2005.

PEREZ, A. C. **Modelo para o estabelecimento de valores orientadores para elementos radioativos no solo**. 2007. 125 p. Tese (Doutorado em Ciências) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo.

PERROTTA, M. M. SALVADOR, E. D.; NETO, M. C. C.; JANASI, V. A.; PASSARELLI, C. R.; BASEI, M. A. S. Mapa geológico do estado de São Paulo, escala 1:750.000. São Paulo, CPRM (Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil). 2005.

POLETO, C.; CHARLESWORTH, S. M. **Sedimentology of aqueous systems**. 1 ed. UK: Wiley-Blackwell, 2010.

QUINÁGLIA, G. A. **Caracterização dos níveis basais de concentração de metais nos sedimentos do Sistema estuarino da Baixada santista**. 2006. 339 f. Tese (Doutorado em ciências) Departamento de Química Analítica, Universidade de São Paulo.

ROBBINS, J. A. The role of radiotracers in studies of Aquatic contamination. **Proc. Int. Conference Heavy Metals in the Environment**, Geneva, vol 1, 1989.

RODELLA, A. A.; ALCARDE, J. C. Avaliação de materiais orgânicos empregados como fertilizantes. **Sci. Agric.**, v. 51, n. 3, p. 556 – 562, 1994.

RODGHER, S.; ESPÍNDOLA, E. L. G.; ROCHA, O.; FRACÁRIO, R.; PEREIRA, R. H. G.; RODRIGUES, M. H. S. Limnological and ecotoxicological studies in the cascade of reservoirs in the Tietê River (São Paulo, Brazil). **Braz. J. Biol.**, vol. 65, n. 4, p. 697 – 710, 2005.

ROSAL, C. **Estrutura e dinâmica da comunidade fitoplanctônica de quatro reservatórios com diferentes graus de trofie, Bacia do Alto Tietê, SP, Brasil**. 2014. 97 p. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente) Instituto de Botânica, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo.

SANTOS, L. F. **Caracterização química inorgânica de perfis de sedimento do Pantanal da Nhecolândia - MS, datados pelo método do 210Pb**. 2016. 191 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) Instituto de Pesquisas Energeticas e Nucleares, São Paulo, SP.

SCHULTE, E. E; HOPKINS, B. G. Estimation of soil organic matter by weight loss-on-ignition. In: MAGDOFF, F.R.; TABATABAI, M.A. & HANLON Jr., E.A., eds. **Soil organic matter: Analysis and interpretation**. Madison, SSSA-ASA, 1996. p. 21 – 31.

SETEC 2017 In: www.setechidrobrasileira.com.br/port/Projetos/saneamento---agua/estacao-de-tratamento-de-agua-de-taiacupeba--

SILVA, M. L. S. **Avaliação do comportamento de elementos traço essenciais e não essenciais em solo contaminado sob cultivo de plantas**. 2006. 113 p. Tese (Doutorado em Agronomia) Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SILVA, S. A. **Avaliação da concentração de micro e macroconstituintes do sedimento do reservatório Ituporanga/Sorocaba – SP**. 2012. 177 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) Instituto de Pesquisa Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SINGH, J.; SINGH, H.; SINGH, S.; BAJWA, B. S.; SONKAWADE, R. G. Comparative study of natural radioactivity in soil samples from the Upper Siwaliks and Punjab, India using gamma ray spectrometry. **Journal of Environmental Radioactivity**, v. 100, p. 94 – 98, 2009.

SMITH, W.S.; ESPINDOLA, E.L.G.; ROCHA, O. Enviromental gradient in reservoirs of the medium and low Tietê River: Limnological differences through the habitat sequence. **Acta Limnologica Brasiliensia**, vol. 26, n. 1, p. 73 – 88, 2014.

STRAŠKRABA, M. & TUNDISI, J.G. 2008. **Diretrizes para o gerenciamento de lagos:**

gerenciamento de qualidade de água de represas. 2ª ed. São Carlos: ILEC/IEE, vol. 9. 300 p.

SUGUIO, K. **Dicionário de Geologia Sedimentar e áreas afins.** Bertrand Brasil. Rio de Janeiro, Brasil, 1998.

SUGUIO, K. **Geologia sedimentar.** 1 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2003.

SUTHERLAND, R. A. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. **Environ Geo**, v. 39, n. 6, p. 611-627, 2000.

TEALDI, S.; CAMPOREALE, C.; RIDOLFI, L. Modeling the impact of river damming on riparian vegetation. **Journal of Hydrology**, v. 396, p. 302 – 312, 2011.

TUNDISI, J.G. **Reservatórios como sistemas complexos: teoria, aplicações e perspectivas para usos múltiplos** In Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais. (R. Henry, Ed.). FUNDIBIO, Botucatu, p. 19 – 38, 1999

TUNDISI, J. G. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. **Ciência e cultura.** São Paulo, vol. 55, n. 4, 2003.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T.M. **Limnologia.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

TUNDISI, J. G. **Recursos hídricos no Brasil: problemas, desafios e estratégias para o futuro.** Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2014.

UNSCEAR – UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION. **Sources and Effects of Ionizing Radiation** – United Nations, New York, 2000. 659 p.

UNSCEAR – UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION. **Sources and Effects of Ionizing Radiation - Annex B - Exposures of Public and Workers from various sources of Radiation**, 2008. 683 p.

USSIER, L. F. **Efeitos do uso e ocupação do solo na qualidade das águas dos mananciais de abastecimento público: Estudo de caso no reservatório Taiaçupeba e seu entorno, municípios de Mogi das Cruzes e Suzano, SP.** 2007. 321 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo.

USSIER, L.F. Efeitos do uso e ocupação do solo na qualidade das águas dos mananciais de abastecimento público: estudo de caso na microbacia da represa Taiaçupeba – Mogi das cruze e suzano/SP. In: XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. Campo Grande, MS, 2009.

VARGAS, R.R.; ROCHA, M.S.; DALMAS, F.B.; SAAD, A.R.; ARRUDA, R.O.M. Qualidade das águas do rio Tiête, nos municípios de Biritiba Mirim, Mogi das Cruzes, e Suzano (SP), relativo ao período de 1985 a 2013. In: XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, de 22 a 27 de novembro, 2015, Brasília.

VIGANÒA, L.; ARILLOB, A.; BUFFAGNIA, A.; CAMUSSOA, M.; CIANNARELLAC,

R.; CROSAD, G.; FALUGIE, C.; GALASSIF, S.; GUZZELLAA, L.; LOPEZC, A.; MINGAZZINIA, M.; PAGNOTTAG, R.; PATROLECCOG, L.; TARTARIA, G.; VALSECCHIA, S. Quality assessment of bed sediments of the Po River (Italy). **Water Res.**, v. 37, n. 3, p. 501 – 518, 2003.

WEDEPOHL, K.H. The composition of the continental crust. **Geochim. Cosmochim. Acta.** v. 59, p. 1217 – 1232, 1995.

APÊNDICE A

Resultados das concentrações de atividades dos radionuclídeos ^{40}K , ^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{232}Th , ^{228}Ra e ^{228}Th , determinados pela espectrometria gama, para os perfis de solo analisados.

TABELA A 1– Profundidade, massa da amostra, e concentração de atividade dos radionuclídeos estudados com suas respectivas incertezas δ (Bq.kg^{-1}), perfil TASO 01.

Prof. (cm)	Massa (g)	^{40}K	δ	^{238}U	δ	^{226}Ra	δ	^{210}Pb	δ	^{232}Th	δ	^{228}Ra	δ	^{228}Th	δ
0	120,0	416,6	26,3	62,0	4,3	62,0	5,0	39,5	3,7	83,6	3,1	89,4	5,0	93,9	8,3
10	120,0	391,3	21,5	43,7	3,4	60,8	5,2	52,5	4,4	85,4	3,2	82,2	4,6	110,6	9,9
20	120,0	432,6	27,3	51,6	3,9	63,9	5,2	56,1	5,6	90,9	3,4	91,8	5,1	96,2	8,4
30	120,0	444,4	24,7	66,2	4,9	67,6	5,8	82,5	6,4	95,5	3,9	100,4	5,8	123,2	11,8
40	120,0	548,3	34,7	75,5	7,9	63,1	5,2	24,7	2,8	88,0	3,2	95,4	5,4	101,2	9,3
50	120,0	552,4	35,0	67,6	5,7	68,9	5,6	30,5	3,2	90,8	3,3	95,8	5,4	100,9	9,2
60	120,0	523,6	28,9	71,9	7,6	64,7	5,6	63,8	5,5	95,5	4,7	87,9	5,0	107,8	10,0
70	120,1	563,5	35,7	76,0	7,8	62,5	5,1	26,5	2,9	95,6	3,5	92,5	5,2	93,7	8,6
80	120,0	491,7	31,0	70,5	8,2	57,2	4,6	43,1	4,3	92,0	3,4	82,3	4,6	88,3	7,9
90	120,0	537,8	34,1	70,2	8,5	60,8	5,0	22,8	2,6	101,1	5,0	85,6	4,9	92,5	8,5
100	120,0	526,6	29,1	65,9	7,3	58,1	5,0	58,1	5,3	95,3	4,7	81,1	4,7	105,0	9,8
105	120,0	586,9	37,1	65,4	7,2	61,0	5,0	21,1	2,5	96,5	4,8	87,7	5,0	89,2	8,3

Fonte: autor da dissertação

TABELA A 2 – Profundidade, massa da amostra, e concentração de atividade dos radionuclídeos estudados com suas respectivas incertezas δ (Bq.kg⁻¹), perfil TASO 02.

Prof.(cm)	Massa (g)	⁴⁰ K	δ	²³⁸ U	δ	²²⁶ Ra	δ	²¹⁰ Pb	δ	²³² Th	δ	²²⁸ Ra	δ	²²⁸ Th	δ
0	120,05	220,5	14,3	37,8	3,0	35,5	2,9	46,1	4,8	53,0	2,0	53,5	3,1	54,0	5,3
10	120,1	210,1	13,8	34,9	2,9	36,4	3,0	33,4	3,9	63,9	2,4	53,8	3,1	57,7	5,7
25	120,12	235,0	16,4	34,6	2,3	44,6	4,0	41,1	4,4	59,9	2,2	59,6	3,7	66,5	7,0
35	120,02	253,4	14,6	41,5	3,3	42,0	3,7	34,3	3,7	55,7	2,1	54,4	3,2	71,4	6,9
45	120,02	242,4	17,0	44,0	3,6	44,6	4,0	45,1	4,7	62,4	2,3	60,0	3,7	68,7	7,1
55	120,04	251,2	16,3	52,9	4,1	39,7	3,3	13,5	1,8	81,8	4,1	60,9	3,5	66,4	6,4
65	120,04	289,2	16,4	54,2	4,3	44,1	3,8	40,1	3,8	85,5	3,2	72,7	4,2	91,9	8,7
75	120,01	277,2	15,5	43,7	3,7	46,5	4,0	27,6	3,4	100,2	5,0	77,8	4,4	97,2	8,9
90	120,01	345,1	22,1	59,7	4,8	47,3	3,9	19,3	2,3	113,8	5,7	93,9	5,3	98,5	9,0
100	120,05	335,1	21,5	48,3	5,0	44,3	3,7	16,5	2,0	102,6	3,8	88,7	5,0	88,6	8,2
115	120,03	275,9	17,8	41,1	4,3	39,3	3,3	16,6	2,0	91,1	3,3	71,8	4,1	77,1	7,3
130	120,05	209,4	12,2	38,4	4,1	37,1	3,3	43,0	3,7	74,8	2,7	70,7	4,1	86,2	8,3
140	120,07	244,3	15,9	40,1	4,2	44,3	3,7	32,3	3,7	97,4	3,6	89,4	5,1	96,4	9,0
155	120,03	264,9	18,4	47,9	4,8	51,0	4,5	66,3	6,5	97,8	4,2	91,0	5,6	112,7	10,8
170	120,05	289,0	18,7	54,3	5,4	52,6	4,3	20,3	2,2	95,4	4,1	88,9	5,0	95,4	8,8
180	120,01	304,6	17,0	52,9	5,3	57,0	4,9	56,4	4,7	99,9	3,7	93,7	5,3	80,9	7,6
190	120,01	339,4	19,2	40,6	4,4	56,3	4,9	57,1	5,4	97,6	3,6	91,1	5,2	122,2	11,3

Fonte: autor da dissertação

TABELA A 3 – Profundidade, massa da amostra, e concentração de atividade dos radionuclídeos estudados com suas respectivas incertezas δ (Bq.kg⁻¹), perfil TASO 03.

Prof. (cm)	Massa (g)	⁴⁰ K	δ	²³⁸ U	δ	²²⁶ Ra	δ	²¹⁰ Pb	δ	²³² Th	δ	²²⁸ Ra	δ	²²⁸ Th	δ
0	124,78	183,5	12,1	28,5	2,4	33,7	2,8	32,4	3,6	58,7	2,9	57,6	3,3	62,3	6,1
10	126	208,3	13,7	32,9	2,7	35,5	3,0	33,5	4,1	76,9	3,8	61,7	3,6	57,3	5,8
25	123,59	207,0	12,0	31,5	2,6	37,1	3,3	32,0	3,5	72,3	3,6	54,0	3,2	71,1	6,7
35	117,72	223,8	13,0	28,6	2,5	31,5	2,9	33,7	3,4	66,2	3,3	56,5	3,3	75,7	7,2
50	119,22	285,1	32,2	31,7	2,7	36,6	3,3	35,4	4,0	56,0	2,8	60,2	3,8	76,6	7,6
60	119	346,4	51,5	40,2	3,7	41,7	3,7	35,4	4,5	71,5	2,7	63,9	4,3	77,6	8,0
70	125,19	481,4	71,4	54,0	4,1	46,9	4,2	50,0	6,2	89,6	4,5	73,6	4,9	92,7	9,2
80	124,89	533,6	29,4	47,0	3,9	47,1	4,1	47,8	4,3	88,0	4,4	76,3	4,4	102,1	9,5
95	124,74	586,3	32,2	39,9	3,7	43,6	3,8	41,8	4,3	97,1	4,8	80,7	4,6	105,3	9,8
105	124,17	619,2	34,0	40,2	3,6	39,1	3,4	32,8	4,0	66,6	3,3	65,5	3,8	86,6	8,2
115	126,21	687,4	44,1	36,3	3,4	32,0	2,9	39,2	6,2	65,7	3,3	73,7	4,5	76,8	8,3
125	124,49	579,4	31,9	31,2	3,2	31,2	2,8	34,7	3,8	68,2	3,4	63,3	3,7	84,0	7,9
135	127,12	557,7	30,8	32,8	3,6	31,8	2,8	26,0	3,5	76,9	3,8	67,2	3,9	82,5	7,9
145	121,37	536,4	79,6	43,5	4,2	33,1	3,0	31,9	4,5	60,0	2,5	57,2	3,9	65,7	7,0
155	125,4	508,0	28,0	44,1	4,3	34,2	3,0	37,5	4,0	64,8	3,2	57,6	3,4	72,0	7,0
165	123,37	484,4	26,8	38,0	3,8	32,6	2,9	29,8	3,5	72,2	3,6	51,9	3,1	67,7	6,7
180	120,22	519,8	28,7	30,9	3,0	34,7	3,1	31,1	3,7	65,7	3,3	63,2	3,7	80,6	7,7
190	123,84	504,5	74,8	34,0	3,7	33,9	3,1	31,9	4,4	68,1	3,4	58,8	4,0	68,7	7,1

Fonte: autor da dissertação

TABELA A 4– Profundidade, massa da amostra, e concentração de atividade dos radionuclídeos estudados com suas respectivas incertezas δ (Bq.kg⁻¹), perfil TASO 04.

Prof. (cm)	Massa (g)	⁴⁰ K	δ	²³⁸ U	δ	²²⁶ Ra	δ	²¹⁰ Pb	δ	²³² Th	δ	²²⁸ Ra	δ	²²⁸ Th	δ
0	120,26	72,5	11,3	59,9	4,6	64,1	5,7	74,5	8,4	99,6	5,0	88,1	5,8	107,1	10,5
10	120,06	67,0	10,7	60,8	4,8	62,9	5,6	65,4	7,7	91,0	4,5	86,0	5,8	99,2	10,1
20	120,22	57,2	9,3	60,8	4,8	65,6	5,9	66,3	7,7	93,7	3,5	92,7	6,2	102,1	10,4
30	120,13	62,7	9,6	68,7	5,2	67,6	6,0	65,6	7,3	102,2	5,1	91,6	6,0	104,1	10,0
40	120,12	59,1	9,2	60,8	4,7	64,9	5,8	48,2	5,8	102,9	5,1	91,4	6,0	105,0	10,0
50	120,05	65,3	5,0	63,5	4,8	64,4	5,6	56,6	5,0	95,0	4,7	92,7	5,3	119,5	11,0
60	120,04	52,9	4,8	68,7	5,3	64,1	5,5	57,8	5,0	101,4	5,1	94,2	5,4	119,0	11,1
70	120,04	70,2	5,3	74,4	6,6	66,6	5,4	27,2	2,8	99,3	4,5	101,6	5,7	114,8	10,3
80	120,03	69,4	5,1	81,6	7,1	63,8	5,5	65,6	5,4	107,1	4,1	93,4	5,3	104,3	10,8
90	120,03	65,4	5,3	62,7	5,3	65,2	5,3	52,9	5,6	104,0	3,9	100,9	5,7	107,1	9,7
100	120,02	72,3	5,6	73,0	6,8	69,6	5,7	64,8	6,7	102,8	3,9	103,4	5,8	109,0	9,8
110	120,03	66,0	5,2	70,1	6,3	50,2	4,1	20,5	2,3	96,6	3,7	81,6	4,6	82,0	7,7
120	120,06	82,1	6,0	71,4	6,3	64,1	5,2	49,1	5,4	99,0	4,5	97,3	5,5	102,5	9,3
130	120,08	94,7	6,9	77,6	6,9	66,7	5,4	25,8	2,8	104,4	5,2	101,0	5,7	109,6	9,9
145	120,02	116,0	7,6	85,9	7,5	81,2	7,0	89,4	7,1	123,3	6,2	115,6	6,5	126,6	13,1
155	119,9	105,2	16,0	77,3	7,4	73,7	6,6	81,1	9,3	115,7	5,8	110,9	7,3	128,0	12,3
165	119,89	164,9	10,9	79,5	6,9	71,2	5,8	30,8	3,3	117,9	5,9	105,7	5,9	120,2	10,7
175	120,06	148,0	10,1	81,4	7,0	69,5	5,7	32,3	3,2	110,3	5,5	105,1	5,9	112,2	10,1
185	120,12	185,2	27,8	85,3	7,4	75,0	6,7	72,1	8,3	111,2	5,5	96,0	6,3	109,2	10,6
195	120,11	277,6	17,9	63,6	5,7	58,2	4,8	20,9	2,4	91,0	4,5	83,3	4,7	87,4	8,2

Fonte: autor da dissertação

APÊNDICE B

Resultados das concentrações de atividades dos radionuclídeos ^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{232}Th , ^{228}Ra e ^{228}Th , determinados pela espectrometria gama, para os testemunhos de sedimento analisados.

TABELA B 1– Profundidade, massa da amostra, e concentração de atividade dos radionuclídeos estudados com suas respectivas incertezas δ (Bq.kg^{-1}), testemunho TASE 01.

Prof.(cm)	Massa(g)	^{238}U	δ	^{226}Ra	δ	^{210}Pb	δ	^{232}Th	δ	^{228}Ra	δ	^{228}Th	δ
0	15	23,7	1,4	38,4	5,2	27,3	5,0	57,7	2,9	59,0	4,7	67,7	15,0
4	15	43,2	2,5	38,3	4,6	65,6	8,3	83,7	4,1	53,8	4,7	76,1	11,3
8	15	34,2	2,0	35,8	4,4	38,6	5,8	73,2	3,6	52,1	4,7	62,4	10,4
12	15	57,4	3,1	41,1	5,2	64,4	8,7	167,7	8,3	57,1	5,2	72,0	12,1
16	15	35,5	2,1	46,5	5,9	156,3	31,7	71,6	3,6	56,4	5,5	65,8	11,9
20	15	40,3	2,2	46,4	5,9	126,8	29,7	73,3	3,6	59,9	5,8	66,8	12,1
24	15	56,2	3,0	46,3	6,0	97,2	27,7	83,9	4,1	63,3	6,1	67,9	12,3
28	15	48,2	2,6	50,6	5,7	209,0	40,9	71,6	3,5	77,5	6,7	68,9	13,4
32	15	53,3	2,9	50,6	5,3	140,9	30,8	91,1	4,5	69,2	5,4	70,4	11,0
36	15	52,2	2,8	53,2	6,6	187,9	33,8	68,0	3,4	66,4	6,2	67,8	11,9
40	15	61,3	3,3	51,1	6,4	219,0	40,9	96,4	4,7	70,5	6,7	67,9	12,0
42	15	45,3	2,4	51,5	12,4	165,4	20,3	71,8	3,5	67,2	9,4	69,7	16,1

Fonte: autor da dissertação

TABELA B 2 – Profundidade, massa da amostra, e concentração de atividade dos radionuclídeos estudados com suas respectivas incertezas δ (Bq.kg⁻¹), testemunho TASE 02.

Prof. (cm)	Massa (g)	²³⁸ U	δ	²²⁶ Ra	δ	²¹⁰ Pb	δ	²³² Th	δ	²²⁸ Ra	δ	²²⁸ Th	δ
0	13,9	44,1	2,5	43,8	5,8	261,9	42,4	72,8	3,6	65,0	6,2	66,3	12,1
7	15,0	34,9	2,1	40,9	5,4	203,2	35,8	64,2	3,2	53,5	5,2	55,3	10,7
11	15,0	16,9	1,0	41,9	5,4	150,3	32,1	72,9	3,6	65,6	6,4	54,5	10,8
15	15,0	51,4	2,9	43,8	5,6	203,8	35,3	72,8	3,6	64,2	6,1	67,4	12,2
19	15,0	47,5	2,8	42,5	5,5	149,2	31,3	78,4	3,9	66,7	6,3	71,8	12,7
23	15,0	49,0	3,0	46,1	5,9	127,6	31,0	89,8	4,5	73,1	6,9	80,0	13,3
27	15,0	46,8	2,6	45,3	5,8	147,2	30,5	90,5	4,5	78,5	7,3	73,5	12,5
31	15,0	46,6	2,5	21,8	3,6	38,6	29,8	92,2	4,5	31,0	3,6	22,7	8,9
35	15,0	40,1	2,1	39,3	5,2	72,0	9,6	84,3	4,1	50,7	4,8	66,0	11,9
39	15,0	34,5	1,9	20,3	3,3	35,0	24,5	65,0	3,2	31,4	3,6	22,6	8,6
45	15,0	42,2	2,3	41,6	5,4	193,0	37,0	71,2	3,5	53,4	5,3	56,5	11,4
51	15,0	47,6	2,6	38,6	4,7	37,4	5,8	65,2	3,2	43,2	4,1	64,2	10,5

Fonte: autor da dissertação

TABELA B 3– Profundidade, massa da amostra, e concentração de atividade dos radionuclídeos estudados com suas respectivas incertezas δ (Bq.kg⁻¹), testemunho TASE 03.

Prof. (cm)	Massa (g)	²³⁸ U	δ	²²⁶ Ra	δ	²¹⁰ Pb	δ	²³² Th	δ	²²⁸ Ra	δ	²²⁸ Th	δ
0	10,35	38,60	2,17	28,43	4,79	106,50	14,49	56,52	2,79	33,10	4,14	37,15	9,50
6	9,66	37,47	2,10	37,69	5,82	256,50	50,04	53,47	2,64	49,81	5,62	47,44	14,25
12	9,66	27,02	1,89	53,00	7,72	151,40	20,23	43,06	2,14	74,91	8,01	87,64	22,23
18	8,78	41,79	2,43	36,90	5,15	73,86	10,67	54,07	2,68	33,11	4,19	52,91	12,92
24	15,01	44,35	2,47	41,11	4,99	77,25	9,38	83,54	4,12	58,40	5,32	72,18	11,53
30	15,00	29,53	1,76	31,49	4,16	120,20	27,05	59,03	2,91	6,31	0,80	55,61	11,19
33	15,00	29,45	2,12	28,89	3,56	27,61	4,58	52,70	2,63	41,75	3,83	59,32	9,16
35,5	15,01	19,36	1,77	24,20	3,32	25,93	5,05	55,96	2,79	41,77	4,06	48,15	9,09
38	15,01	30,36	2,20	32,29	4,38	23,74	6,31	63,44	3,16	50,84	4,72	65,17	10,98
41	15,00	24,94	1,97	26,55	4,09	98,70	30,45	46,45	2,33	37,10	4,14	38,59	9,99
44	15,00	31,69	2,33	25,16	3,54	32,95	6,27	49,27	2,47	41,22	4,00	50,34	10,13
47	15,01	30,93	2,31	7,87	2,52	32,14	20,66	60,61	3,03	15,62	2,57	14,77	8,23

Fonte: autor da dissertação

TABELA B 4 – Profundidade, massa da amostra, e concentração de atividade dos radionuclídeos estudados com suas respectivas incertezas δ (Bq.kg⁻¹), testemunho TASE 04.

Prof. (cm)	Massa (g)	²³⁸ U	δ	²²⁶ Ra	δ	²¹⁰ Pb	δ	²³² Th	δ	²²⁸ Ra	δ	²²⁸ Th	δ
0	14,6	70,5	4,2	62,9	7,7	329,7	48,9	66,8	3,3	61,2	5,9	57,4	11,1
8	13,5	98,1	5,8	76,2	9,1	391,0	55,3	97,5	4,8	78,2	7,2	80,6	13,6
13	13,7	110,7	6,6	45,3	5,9	337,2	51,4	100,4	4,9	42,2	4,6	52,2	11,5
17	13,5	160,7	11,1	59,0	6,8	76,4	9,8	111,3	5,5	72,6	6,4	98,7	15,0
21	14,1	156,9	9,2	91,9	10,9	380,5	55,2	123,4	6,1	86,6	8,0	91,0	14,9
25	14,4	155,4	10,6	89,8	10,6	336,7	50,1	116,8	5,7	90,3	8,2	92,9	14,6
29	15,0	162,4	9,5	99,1	11,6	382,4	54,2	113,1	5,6	96,6	8,7	99,3	14,9
35	14,8	171,6	13,0	94,2	10,5	96,2	11,5	163,1	8,1	101,3	8,5	112,5	15,4
39	14,8	158,2	10,1	129,6	14,8	471,8	61,2	158,2	7,8	116,3	10,1	119,8	16,5
43	15,0	151,1	10,8	94,2	10,5	96,2	11,5	148,3	7,4	101,3	8,5	112,5	15,4
47	14,7	170,2	10,6	114,1	12,7	108,8	12,7	180,1	8,9	97,0	8,3	130,0	18,3
51	15,0	132,7	8,5	112,4	12,3	126,1	14,5	140,6	7,0	94,4	8,1	129,7	21,3
55	15,0	102,9	6,6	129,2	14,9	451,3	60,3	120,4	6,0	112,3	10,0	116,1	16,7
61	15,0	106,5	7,0	138,9	15,9	550,6	69,4	149,0	7,4	127,4	11,0	132,4	17,7

Fonte: autor da dissertação

APÊNDICE C

Resultados das concentrações dos elementos (mg kg^{-1}) determinados pela técnica análise por ativação com nêutrons instrumental - INAA, para os perfis de solo analisados.

TABELA C 1 – Valores de concentração dos elementos e suas respectivas incertezas δ (mg kg^{-1}), perfil TASO 01.(Continua)

Prof. (cm)	Ba	δ	Ce	δ	Co	δ	Cr	δ	Cs	δ	Eu	δ	Hf	δ	K	δ	La	δ	Lu	δ
0	340	32	68,4	3,9	5,9	0,2	62	3,6	2,6	0,3	0,7	0,1	16	0,6	*	*	34	0,6	0,7	0,1
10	333	31	66,3	3,8	5,9	0,2	61	3,5	3,4	0,3	0,6	0,0	16	0,6	*	*	31	0,6	0,5	0,1
20	493	41	76,9	4,4	7,0	0,2	59	3,4	3,3	0,4	0,7	0,1	16	0,6	*	*	36	0,6	0,5	0,1
30	539	50	79,3	0,9	8,0	0,2	64	3,5	3,9	0,4	0,9	0,1	17	0,6	*	*	44	0,8	0,7	0,1
40	345	27	78,6	4,4	5,6	0,1	71	3,5	4,2	0,4	0,9	0,1	15	0,6	18388	2686	28	0,5	0,7	0,1
50	364	29	89,3	5,0	7,0	0,2	79	4,2	4,2	0,4	1,1	0,1	14	0,5	18947	2796	33	0,6	0,8	0,1
60	373	36	86,2	0,9	6,4	0,1	78	4,2	5,5	0,5	1,3	0,2	15	0,6	18045	2699	35	0,7	0,8	0,1
70	433	31	103,8	8,2	6,6	0,2	74	4,0	5,4	0,4	1,3	0,2	15	0,6	21231	3392	50	1,1	0,9	0,1
80	359	36	97,6	5,4	7,7	0,2	73	3,9	5,8	0,5	1,4	0,2	16	0,6	18563	3106	51	1,0	0,8	0,1
90	383	38	104,0	5,8	7,6	0,2	75	4,0	5,9	0,5	1,5	0,2	16	0,6	20196	3437	53	1,2	0,8	0,1
100	447	41	103,4	5,8	7,5	0,1	75	4,0	7,4	0,6	1,6	0,2	16	0,6	20789	3545	55	1,1	0,7	0,1
105	389	38	100,6	1,0	8,0	0,2	86	4,6	6,8	0,6	1,9	0,2	15	0,5	24817	4442	57	1,1	0,8	0,1

Fonte: autor da dissertação. * valor não determinado

TABELA C 2 – (continuação) Valores de concentração dos elementos e suas respectivas incertezas δ (mg kg⁻¹), perfil TASO 01.

Prof. (cm)	Nd	δ	Rb	δ	Sb	δ	Sc	δ	Sm	δ	Tb	δ	Th	δ	U	δ	Yb	δ	Zn	δ
0	33	2,6	69	5,1	0,3	0,0	14	0,4	4,8	0,1	1,1	0,2	21	0,8	5,0	0,3	3,8	0,2	70	2,8
10	22	2,0	58	4,8	0,3	0,0	14	0,4	4,5	0,1	0,6	0,1	21	0,8	3,5	0,3	3,6	0,2	70	2,6
20	26	2,2	62	5,7	0,3	0,0	15	0,4	5,5	0,1	1,0	0,2	22	0,8	4,1	0,3	3,5	0,2	87	3,9
30	29	2,2	70	6,1	0,4	0,1	17	0,4	6,4	0,2	1,8	0,3	24	1,0	5,3	0,4	4,5	0,3	81	4,3
40	26	4,1	73	5,5	0,3	0,0	15	0,2	5,5	0,1	0,8	0,1	22	0,8	6,0	0,6	4,7	0,3	63	3,7
50	27	4,4	95	6,8	0,3	0,0	17	0,4	7,1	0,2	1,4	0,3	22	0,8	5,4	0,5	5,2	0,4	45	3,1
60	40	5,2	103	7,2	*	*	16	0,4	8,1	0,2	1,1	0,1	24	1,2	5,8	0,6	4,9	0,3	51	2,8
70	30	2,7	119	8,1	*	*	16	0,4	7,6	0,2	1,2	0,1	24	0,9	6,1	0,6	5,6	0,4	52	2,9
80	33	3,4	102	7,0	0,3	0,0	16	0,4	9,9	0,3	1,1	0,1	23	0,8	5,6	0,7	4,9	0,3	60	3,0
90	34	3,5	105	7,4	0,4	0,1	16	0,3	8,7	0,2	1,4	0,1	25	1,2	5,6	0,7	5,4	0,3	63	3,4
100	43	4,0	112	7,8	0,3	0,1	16	0,4	10,6	0,3	1,2	0,1	24	1,2	5,3	0,6	5,5	0,4	65	3,1
105	45	4,2	130	8,7	0,5	0,1	16	0,4	10,7	0,3	1,0	0,1	24	1,2	5,2	0,6	5,4	0,4	64	3,1

Fonte: autor da dissertação. * valor não determinado

TABELA C 3 – Valores de concentração dos elementos e suas respectivas incertezas δ (mg kg⁻¹), perfil TASO 02. (continua)

Prof. (cm)	As	δ	Ba	δ	Ce	δ	Co	δ	Cr	δ	Cs	δ	Eu	δ	Hf	δ	K	δ	La	δ
0	6,8	0,4	219	19	59	3,7	4,0	0,1	51	3,0	10	1,1	0,5	0,1	11	0,4	7504	1163	24	0,4
10	7,0	0,4	210	19	70	4,4	3,6	0,1	50	2,9	10	1,2	0,5	0,1	11	0,4	7420	1194	28	0,5
25	6,3	0,4	201	20	55	3,4	3,7	0,1	57	3,3	12	1,4	0,4	0,0	12	0,4	6876	1116	25	0,4
35	5,5	0,3	234	21	42	0,6	3,4	0,1	53	3,1	15	1,2	0,4	0,0	12	0,4	8186	1289	23	0,4
45	6,0	0,4	225	21	57	3,5	3,7	0,1	56	3,3	14	1,5	0,4	0,0	13	0,4	10278	1797	28	0,5
55	6,6	0,4	342	26	74	4,6	4,4	0,1	73	3,9	18	1,4	0,5	0,1	12	0,7	11196	2150	35	0,6
65	7,9	0,5	324	34	78	1,0	5,2	0,2	84	4,5	19	1,4	0,5	0,1	12	0,4	9428	1842	42	1,0
75	8,7	0,6	334	37	102	1,2	5,0	0,1	84	4,9	18	1,4	0,5	0,1	12	0,4	10954	2179	51	1,2
90	12	0,7	390	29	140	1,6	5,7	0,2	110	6,4	16	1,2	0,6	0,1	11	0,4	10635	1879	66	1,2
100	15	0,9	447	36	150	10,9	5,3	0,1	89	6,6	15	1,0	0,7	0,1	12	0,4	10316	1580	54	0,8
115	11	0,6	297	28	126	9,2	4,9	0,1	83	4,3	12	0,8	0,6	0,1	11	0,4	7694	1226	50	0,8
130	4,7	0,4	205	22	108	7,9	3,5	0,1	58	4,3	8	0,6	0,6	0,1	10	0,4	8392	1331	58	1,4
140	7,5	0,5	305	28	107	7,8	4,4	0,1	77	5,7	9	0,6	0,7	0,1	12	0,4	9283	1357	56	0,9
155	6,0	0,4	403	30	101	7,4	4,1	0,1	86	6,4	9	0,7	0,9	0,1	12	0,4	10121	1472	56	1,3
170	8,8	0,6	404	34	103	7,5	4,0	0,1	79	5,8	11	0,8	1,0	0,1	13	0,4	8768	1320	67	1,6
180	5,3	0,4	248	26	107	7,8	4,5	0,1	70	5,2	12	0,9	1,3	0,1	12	0,4	8673	1374	71	1,7
190	4,2	0,4	361	27	110	8,0	4,1	0,1	70	5,2	13	0,9	1,2	0,1	12	0,4	8577	1429	68	1,0

Fonte: autor da dissertação

TABELA C 4 – (continuação) Valores de concentração dos elementos e suas respectivas incertezas δ (mg kg⁻¹), perfil TASO 02.

Prof. (cm)	Lu	δ	Nd	δ	Rb	δ	Sb	δ	Sc	δ	Sm	δ	Tb	δ	Th	δ	U	δ	Yb	δ	Zn	δ
0	0,6	0,1	17	3,1	41	3,0	0,8	0,1	9	0,2	3,1	0,1	0,5	0,1	13	0,5	3,0	0,2	3,6	0,2		
10	0,7	0,1	32	2,5	36	2,7	0,7	0,0	9	0,2	3,5	0,1	0,8	0,1	16	0,6	2,8	0,2	3,7	0,2	98,3	3,3
25	0,7	0,1	*	*	43	3,1	0,7	0,0	10	0,2	2,6	0,1	0,9	0,2	15	0,6	2,8	0,2	4,4	0,2	70,0	2,6
35	0,7	0,1	*	*	50	3,7	1,5	0,1	9	0,2	2,3	0,1	0,4	0,1	14	0,5	3,3	0,3	4,3	0,2	41,7	1,9
45	0,7	0,1	*	*	48	3,3	0,8	0,1	10	0,3	3,0	0,1	0,7	0,1	15	0,6	3,5	0,3	4,2	0,2	*	*
55	0,8	0,1	20	2,4	53	3,9	0,8	0,1	12	0,3	3,6	0,1	0,8	0,1	20	1,0	4,2	0,3	4,8	0,2	*	*
65	0,9	0,1	25	4,1	59	4,2	1,0	0,1	13	0,3	2,2	0,1	0,7	0,1	21	0,8	4,3	0,3	5,8	0,3	*	*
75	0,7	0,1	28	4,4	64	4,6	1,3	0,1	14	0,2	2,3	0,1	0,6	0,1	25	1,2	3,5	0,3	3,7	0,1	*	*
90	0,7	0,1	21	3,9	75	5,0	1,3	0,1	18	0,3	2,5	0,1	0,8	0,1	28	1,4	4,8	0,4	4,0	0,1	*	*
100	0,6	0,1	14	4,7	60	4,9	1,5	0,1	20	0,5	2,8	0,1	0,7	0,1	25	0,9	3,9	0,4	4,0	0,2	62,2	3,3
115	0,7	0,1	19	3,9	50	4,3	1,3	0,1	17	0,4	3,1	0,1	0,5	0,1	23	0,8	3,3	0,3	4,3	0,2	71,1	3,3
130	0,5	0,0	24	3,0	27	2,6	0,9	0,1	13	0,3	3,7	0,1	0,5	0,1	18	0,7	3,1	0,3	3,3	0,1	34,9	2,0
140	0,7	0,1	17	4,4	47	4,0	1,2	0,1	17	0,4	4,4	0,1	0,6	0,1	24	0,9	3,2	0,3	4,4	0,3	42,4	2,4
155	0,7	0,1	23	3,9	51	4,3	1,5	0,1	19	0,4	3,8	0,1	0,7	0,1	24	1,0	3,8	0,4	4,4	0,3	61,0	3,3
170	0,7	0,1	29	3,4	53	4,5	1,2	0,1	19	0,4	6,0	0,2	0,9	0,1	24	1,0	4,3	0,4	4,5	0,2	68,0	3,3
180	0,9	0,1	30	4,5	47	3,9	1,0	0,1	19	0,4	6,1	0,2	0,7	0,1	25	0,9	4,2	0,4	5,3	0,3	62,0	3,3
190	0,8	0,1	30	5,7	57	4,6	1,1	0,1	19	0,4	4,9	0,1	1,1	0,1	24	0,9	3,3	0,4	4,9	0,2	62,8	3,3

Fonte: autor da dissertação. * valor não determinado

TABELA C 5 – Valores de concentração dos elementos e suas respectivas incertezas δ (mg kg⁻¹), perfil TASO 03. (continua)

Prof. (cm)	As	δ	Ba	δ	Ce	δ	Co	δ	Cr	δ	Cs	δ	Eu	δ	Hf	δ	K	δ	La	δ
0	2,3	0,2			57	0,6	2,0	0,1	30	1,7	3,2	0,3	0,5	0,1	7,9	0,4	*	*	31	0,6
10	2,7	0,2	120	15	63	0,7	2,1	0,1	31	1,7	3,3	0,3	0,6	0,1	7,8	0,4	*	*	37	0,7
25	3,3	0,3	104	14	66	0,7	2,6	0,1	35	1,9	3,8	0,3	0,6	0,1	8,5	0,5	3549	991	41	0,8
35	4,5	0,3	246	21	59	0,7	2,5	0,1	47	2,6	3,8	0,3	0,5	0,1	7,5	0,4	3405	992	34	0,5
50	4,1	0,3	174	16	56	0,6	2,6	0,1	46	2,5	4,1	0,3	0,4	0,1	6,0	0,3	3070	952	30	0,6
60	4,8	0,4	208	23	69	0,8	4,7	0,1	69	3,7	5,1	0,4	0,6	0,1	8,2	0,4	6174	1731	41	0,8
70	3,8	0,4	303	29	93	1,0	6,1	0,2	73	3,9	8,5	0,6	0,9	0,1	11	0,6	*	*	52	0,9
80	*	*	334	29	101	1,1	8,5	0,3	74	4,0	11	0,8	1,1	0,1	13	0,7	*	*	60	1,0
95	*	*	427	35	110	1,2	11	0,3	74	4,0	13	0,9	1,5	0,2	12	0,6	9089	2557	62	1,1
105	4,0	0,3	398	35	82	0,8	10	0,3	72	4,5	13	1,0	1,1	0,1	8,5	0,2	16291	3994	49	0,8
115	3,8	0,3	423	36	88	0,9	12	0,4	69	3,7	14	1,1	1,9	0,2	6,3	0,2	20567	4953	61	1,1
125	2,8	0,3	432	34	93	0,9	12	0,4	71	4,4	13	1,0	2,3	0,3	8,1	0,3	27486	6642	66	1,1
135	1,6	0,3	323	31	100	1,0	9,8	0,3	63	3,9	11	0,8	2,3	0,3	7,4	0,3	21786	5244	67	1,2
145	1,8	0,3	332	31	89	0,9	8,8	0,2	62	3,3	10	0,8	1,7	0,2	9,2	0,3	17014	4364	58	1,0
155	3,4	0,3	373	29	95	0,9	8,2	0,3	53	2,9	8,0	0,6	1,7	0,2	8,3	0,2	16545	4230	59	1,0
165	3,7	0,3	369	32	98	1,0	7,6	0,2	57	3,6	8,2	0,6	1,7	0,2	11	0,8	18781	4848	61	1,0
180	1,8	0,3	404	34	122	1,0	7,6	0,2	53	3,3	7,9	0,6	2,2	0,2	9,7	0,3	17112	4706	64	1,1
190	*	*	370	32	100	1,0	7,4	0,2	52	2,8	7,5	0,6	1,9	0,2	10	0,2	*	*	61	1,1

Fonte: autor da dissertação. * valor não determinado

TABELA C 6 – (continuação) Valores de concentração dos elementos e suas respectivas incertezas δ (mg kg⁻¹), perfil TASO 03.

Prof. (cm)	Lu	δ	Nd	δ	Rb	δ	Sb	δ	Sc	δ	Sm	δ	Tb	δ	Th	δ	U	δ	Yb	δ	Zn	δ
0	0,4	0,0	21	2,8	35	3,3	0,2	0,0	6,3	0,2	4,5	0,1	0,9	0,1	15	0,7	2,3	0,2	2,7	0,1	*	*
10	0,5	0,0	30	3,2	37	2,9	0,2	0,0	5,1	0,1	5,4	0,1	0,9	0,1	19	0,9	2,6	0,2	3,0	0,1	*	*
25	0,5	0,0	24	2,7	46	3,4	0,3	0,0	8,5	0,3	5,2	0,1	0,6	0,1	18	0,9	2,5	0,2	2,8	0,1	*	*
35	0,4	0,0	22	2,6	43	3,3	0,3	0,0	10	0,4	4,1	0,1	*	*	16	0,8	2,3	0,2	2,3	0,1	*	*
50	0,3	0,0	15	2,2	63	4,6	0,4	0,0	12	0,4	2,7	0,1	*	*	14	0,7	2,5	0,2	1,8	0,1	*	*
60	0,5	0,0	29	2,0	70	5,0	0,6	0,1	15	0,6	4,5	0,1	*	*	18	0,7	3,2	0,3	2,6	0,1	*	*
70	0,6	0,1	29	3,4	126	8,2	0,7	0,1	18	0,7	5,7	0,1	1,0	0,1	22	1,1	4,3	0,3	3,4	0,2	*	*
80	0,6	0,1	36	4,0	144	9,3	0,5	0,0	19	0,7	6,9	0,2	1,1	0,1	22	1,1	3,8	0,3	4,0	0,2	*	*
95	0,6	0,1	43	4,6	165	11	0,3	0,0	21	0,8	8,8	0,2	1,0	0,1	24	1,2	3,2	0,3	3,9	0,1	*	*
105	0,5	0,0	42	3,0	147	13	0,7	0,1	15	0,2	8,6	0,3	0,9	0,1	16	0,8	3,2	0,3	3,3	0,1	73	3,6
115	0,5	0,0	48	3,4	152	13	0,7	0,1	16	0,2	13	0,5	1,3	0,1	16	0,8	2,9	0,3	3,5	0,1	84	3,5
125	0,5	0,0	50	3,6	149	13	0,6	0,0	15	0,2	14	0,5	1,3	0,1	17	0,8	2,5	0,3	3,3	0,1	118	4,1
135	0,5	0,0	56	3,9	116	10	0,5	0,0	13	0,2	15	0,5	1,3	0,1	19	0,9	2,6	0,3	3,5	0,2	84	3,5
145	0,5	0,0	51	2,9	142	10	0,5	0,0	13	0,3	12	0,4	1,5	0,3	15	0,6	3,5	0,3	3,3	0,1	78	3,5
155	0,5	0,0	53	2,9	106	9,4	0,6	0,0	11	0,2	12	0,4	1,0	0,1	16	0,8	3,5	0,3	3,1	0,1	64	2,9
165	0,5	0,0	59	3,1	103	9,1	0,6	0,0	10	0,2	13	0,5	1,2	0,1	18	0,9	3,0	0,3	3,4	0,1	72	3,0
180	0,6	0,0	54	3,8	99	8,8	0,4	0,0	9,9	0,2	15	0,5	1,3	0,1	16	0,8	2,5	0,2	3,7	0,2	65	3,0
190	0,6	0,0	52	3,3	96	8,5	0,2	0,0	9,6	0,1	14	0,5	1,3	0,1	17	0,8	2,7	0,3	4,1	0,2	66	2,5

Fonte: autor da dissertação. * valor não determinado

TABELA C 7 – Valores de concentração dos elementos e suas respectivas incertezas δ (mg kg⁻¹), perfil TASO 04. (continua)

Prof. (cm)	As	δ	Ce	δ	Co	δ	Cr	δ	Cs	δ	Eu	δ	Hf	δ	La	δ
0	16	0,9	45	3,4	2,4	0,1	76	4,3	2,2	0,3	0,5	0,1	15	0,4	14	0,3
10	15	0,9	30	2,3	2,5	0,1	72	3,9	3,3	0,3	0,4	0,0	15	0,6	12	0,2
20	14	0,8	47	3,6	2,4	0,1	71	3,9	2,8	0,3	0,5	0,1	15	0,4	14	0,2
30	14	0,8	43	3,2	2,5	0,1	78	4,4	3,0	0,3	0,6	0,1	17	0,5	14	0,2
40	15	0,9	49	3,7	2,4	0,1	75	4,3	2,9	0,3	0,5	0,1	17	0,4	15	0,3
50	14	0,9	40	3,0	2,4	0,1	78	4,2	2,9	0,3	0,4	0,1	17	0,4	12	0,2
60	15	0,9	34	2,6	2,3	0,1	77	4,4	2,8	0,3	0,5	0,1	15	0,4	13	0,3
70	16	0,9	42	3,2	2,5	0,1	69	5,6	3,2	0,4	0,4	0,1	16	0,7	14	0,3
80	17	1,0	49	3,7	2,8	0,1	74	6,0	2,8	0,3	0,5	0,1	17	0,6	15	0,3
90	16	0,9	52	3,9	2,5	0,1	78	4,2	3,1	0,3	0,6	0,1	16	0,6	18	0,4
100	16	0,9	51	3,8	2,8	0,1	69	5,6	3,1	0,3	0,5	0,1	16	0,7	18	0,3
110	15	0,9	38	2,9	2,5	0,1	63	5,1	3,6	0,4	0,4	0,1	15	0,7	15	0,3
120	15	0,9	39	3,0	2,9	0,1	67	5,4	3,3	0,3	0,5	0,1	15	0,7	14	0,2
130	17	1,0	27	0,5	2,6	0,1	70	4,8	3,6	0,3	0,3	0,0	16	0,5	9	0,1
145	18	1,0	30	0,5	2,9	0,1	93	5,0	3,2	0,3	0,4	0,0	17	0,9	12	0,2
155	19	1,1	30	0,6	2,7	0,1	90	4,9	3,8	0,4	0,4	0,0	17	0,6	11	0,1
165	19	1,1	30	0,6	2,7	0,1	92	4,9	3,6	0,3	0,4	0,0	15	0,7	11	0,2
175	19	1,1	24	0,4	3,1	0,1	91	4,9	3,4	0,4	0,3	0,0	14	0,4	9	0,1
185	15	0,9	39	0,6	3,1	0,1	90	4,8	3,8	0,4	0,4	0,0	15	0,4	14	0,2
195	11	0,7	35	0,6	3,0	0,1	64	3,5	2,9	0,3	0,4	0,0	14	0,5	12	0,2

Fonte: autor da dissertação

TABELA C 8 – (continuação) Valores de concentração dos elementos e suas respectivas incertezas δ (mg kg⁻¹), perfil TASO 04.

Prof. (cm)	Lu	δ	Sb	δ	Sc	δ	Sm	δ	Tb	δ	Th	δ	U	δ	Yb	δ	Zn	δ
0	0,9	0,1	0,8	0,1	15	0,4	2,8	0,1	0,9	0,2	25	1,2	4,8	0,4	5,9	0,3	38	2,8
10	0,7	0,1	0,8	0,1	14	0,5	2,7	0,1	0,9	0,1	22	1,1	4,9	0,4	4,9	0,3	39	2,8
20	0,8	0,1	0,7	0,1	15	0,4	3,6	0,1	0,6	0,1	23	0,9	4,9	0,4	5,7	0,3	28	2,7
30	1,0	0,1	0,8	0,1	16	0,2	2,9	0,1	0,7	0,1	25	1,3	5,5	0,4	6,2	0,3	39	2,9
40	0,9	0,1	0,7	0,1	15	0,4	3,2	0,1	0,9	0,1	25	1,3	4,9	0,4	6,0	0,4	23	2,4
50	0,8	0,1	0,6	0,0	15	0,4	1,6	0,0	0,7	0,1	23	1,2	5,1	0,4	5,1	0,3	30	2,5
60	0,8	0,1	0,7	0,1	16	0,4	1,6	0,0	0,6	0,1	25	1,2	5,5	0,4	4,9	0,2	39	2,3
70	1,0	0,1	0,8	0,1	17	0,4	3,1	0,1	1,2	0,3	25	1,1	6,0	0,5	6,1	0,4	*	*
80	1,0	0,1	0,9	0,1	17	0,4	3,2	0,1	1,5	0,3	26	1,0	6,5	0,6	6,2	0,4	*	*
90	0,9	0,1	0,8	0,1	16	0,4	3,5	0,1	1,0	0,2	26	1,0	5,0	0,4	5,8	0,6	31	3,1
100	0,8	0,1	0,8	0,1	17	0,4	3,4	0,1	1,0	0,2	25	1,0	5,8	0,5	5,0	0,5	*	*
110	0,8	0,1	0,7	0,1	17	0,6	2,8	0,1	1,1	0,2	24	0,9	5,6	0,5	5,1	0,3	*	*
120	0,8	0,1	0,8	0,1	17	0,4	2,6	0,1	1,1	0,2	24	1,1	5,7	0,5	4,7	0,5	*	*
130	0,9	0,1	1,0	0,1	17	0,3	1,6	0,0	0,6	0,1	26	1,3	6,2	0,6	5,4	0,3	*	*
145	1,0	0,1	0,8	0,1	19	0,3	2,2	0,1	1,0	0,2	30	1,5	6,9	0,6	6,1	0,2	*	*
155	0,9	0,1	0,9	0,1	20	0,7	1,7	0,0	*	*	29	1,4	6,2	0,6	5,5	0,3	*	*
165	0,8	0,1	0,9	0,1	20	0,7	1,9	0,0	*	*	29	1,5	6,4	0,5	5,1	0,3	*	*
175	0,9	0,1	0,9	0,1	18	0,3	1,5	0,0	0,7	0,1	27	1,4	6,5	0,6	5,4	0,3	33	3,0
185	1,0	0,1	0,7	0,1	19	0,6	2,6	0,1	0,8	0,2	27	1,4	6,8	0,6	6,0	0,2	36	3,2
195	0,8	0,1	0,6	0,0	17	0,6	1,6	0,0	0,9	0,2	22	1,1	5,1	0,5	5,0	0,2	*	*

Fonte: autor da dissertação. * valor não determinado

APÊNDICE D

Resultados das concentrações dos elementos (mg kg^{-1}) determinados pela técnica análise por ativação com nêutrons instrumental - INAA, para os testemunhos de sedimento analisados.

TABELA D 1 – Valores de concentração dos elementos e suas respectivas incertezas δ (mg kg^{-1}), testemunho TASE 01. (continua)

Prof. (cm)	As	δ	Ba	δ	Ce	δ	Co	δ	Cr	δ	Cs	δ	Eu	δ	Hf	δ	La	δ	Lu	δ
0	17	1,0	130	16	74	6,0	1,3	0,1	18	1,1	0,7	0,1	0,3	0,04	9,5	0,5	29	0,7	0,3	0,04
4	21	1,3	134	19	94	7,6	2,2	0,1	31	1,7	3,0	0,3	0,7	0,09	11	0,6	47	1,1	0,5	0,07
8	20	1,2	143	20	84	6,8	2,6	0,1	41	2,2	4,0	0,3	0,7	0,09	12	0,6	40	1,0	0,4	0,05
12	17	1,0	196	25	216	17	2,3	0,1	42	2,3	4,6	0,4	1,0	0,13	11	0,6	99	2,4	0,7	0,09
16	22	1,3	150	20	85	6,9	2,5	0,1	41	2,2	4,5	0,4	0,4	0,07	11	0,5	38	0,9	0,6	0,08
20	19	1,1	124	20	81	6,6	2,4	0,1	41	2,2	4,3	0,4	0,7	0,09	11	0,6	40	1,0	0,7	0,09
24	27	1,3	119	17	100	7,7	2,6	0,1	42	2,2	4,6	0,3	0,9	0,10	11	0,6	49	1,2	0,8	0,11
28	22	1,3	140	18	77	5,9	2,2	0,1	35	1,9	3,7	0,3	0,7	0,08	11	0,5	45	1,1	0,6	0,09
32	30	1,8	158	18	101	7,8	2,3	0,1	36	1,9	4,2	0,3	0,8	0,10	11	0,5	56	1,4	0,5	0,07
36	15	0,9	98	15	68	5,2	2,0	0,1	31	1,6	3,7	0,3	0,7	0,08	8,1	0,4	44	1,1	0,9	0,12
40	17	1,0	206	21	106	8,1	2,5	0,1	39	2,0	4,1	0,3	0,9	0,11	11	0,5	53	1,3	0,6	0,09
42	29	1,7	217	22	75	5,7	2,5	0,1	37	1,9	4,6	0,3	0,9	0,11	9,5	0,5	42	1,0	0,5	0,08

Fonte: autor da dissertação

TABELA D 2 – (continuação) Valores de concentração dos elementos e suas respectivas incertezas δ (mg kg⁻¹), testemunho TASE 01.

Prof. (cm)	Nd	δ	Rb	δ	Sb	δ	Sc	δ	Sm	δ	Tb	δ	Th	δ	U	δ	Yb	δ	Zn	δ
0	28	4,3	6,5	1,2	0,3	0,02	2,5	0,1	4,7	0,2	0,6	0,1	14	0,7	1,9	0,1	2,2	0,2	23	1,4
4	44	6,0	16	2,0	0,6	0,04	6,9	0,2	7,2	0,3	1,2	0,2	21	1,0	3,5	0,2	3,9	0,3	48	2,1
8	*	*	23	2,3	0,6	0,04	8,6	0,3	5,3	0,2	0,7	0,1	18	0,9	2,7	0,2	2,9	0,2	47	2,2
12	68	9,5	22	2,3	0,4	0,03	7,9	0,3	13	0,5	1,8	0,4	41	2,0	4,6	0,3	4,3	0,3	45	2,2
16	*	*	25	2,3	0,4	0,03	8,2	0,3	5,5	0,2	0,9	0,1	18	0,9	2,8	0,2	4,2	0,3	37	2,0
20	20	3,9	22	2,1	0,4	0,03	7,9	0,3	5,6	0,2	1,1	0,2	18	0,9	3,2	0,2	4,8	0,4	36	1,9
24	13	*	22	1,8	0,5	0,03	7,9	0,3	8,0	0,3	1,0	0,1	21	1,0	4,5	0,2	5,2	0,4	43	1,7
28	32	2,4	23	1,9	0,4	0,03	7,2	0,2	7,1	0,3	0,7	0,1	18	0,9	3,9	0,2	3,8	0,3	33	1,5
32	45	3,1	24	1,9	0,4	0,03	7,8	0,3	9,3	0,4	0,8	0,1	22	1,1	4,3	0,2	3,1	0,2	37	1,6
36	30	3,8	20	1,7	0,4	0,03	6,9	0,2	7,5	0,3	0,8	0,1	17	0,8	4,2	0,2	5,4	0,4	34	1,5
40	43	3,0	24	1,8	0,4	0,03	8,1	0,3	9,7	0,4	1,0	0,2	24	1,2	4,9	0,3	3,8	0,3	44	1,7
42	31	2,2	20	1,8	0,5	0,03	7,9	0,3	7,4	0,3	0,7	0,1	18	0,9	3,6	0,2	3,3	0,3	34	1,6

Fonte: autor da dissertação. * valor não determinado

TABELA D 3 – Valores de concentração dos elementos e suas respectivas incertezas δ (mg kg⁻¹), testemunho TASE 02. (continua)

Prof. (cm)	As	δ	Ba	δ	Ce	δ	Co	δ	Cr	δ	Cs	δ	Eu	δ	Hf	δ	K	δ	La	δ
0	31	1,8	286	24	101	9,0	5,7	0,2	47	2,5	5,4	0,4	1,1	0,1	12	0,7	7219	2229	43	1,0
7	40	2,3	248	21	90	8,0	4,3	0,1	38	2,1	5,4	0,4	0,8	0,1	7,6	0,4	7000	1705	44	1,1
11	3	0,2	357	28	100	8,9	4,7	0,1	53	2,8	7,6	0,6	1,2	0,2	9,6	0,5	127	40	13	0,3
15	37	2,1	306	25	95	8,4	4,1	0,1	43	2,3	6,4	0,5	1,0	0,1	8,9	0,5	11008	2610	53	1,3
19	23	1,3	339	29	131	12	5,8	0,2	53	2,8	8,7	0,7	1,1	0,1	11	0,6	*	*	65	1,6
23	36	2,1	303	27	96	8,6	4,8	0,2	66	3,6	8,6	0,7	1,1	0,1	11	0,6	*	*	55	1,3
27	23	1,3	242	19	78	6,5	5,6	0,2	73	3,7	7,5	0,6	0,7	0,1	12	0,6	6950	597	44	1,1
31	35	2,0	209	18	77	6,4	4,1	0,1	70	3,6	8,5	0,6	0,7	0,1	14	0,7	6418	554	34	0,8
35	22	1,2	243	18	73	6,0	4,5	0,1	58	3,0	8,9	0,7	0,6	0,1	13	0,7	5886	512	30	0,7
39	35	2,0	221	16	63	5,2	4,2	0,1	51	2,6	8,2	0,6	0,6	0,1	12	0,6	5318	475	25	0,6
45	30	1,7	306	21	76	6,3	4,1	0,1	54	2,8	10,7	0,8	0,8	0,1	14	0,7	7484	639	30	0,7
51	21	1,2	239	18	51	4,3	3,8	0,1	53	2,7	17,2	1,2	0,6	0,1	15	0,8	6424	599	25	0,6

Fonte: autor da dissertação. * valor não determinado

TABELA D 4 – (continuação) Valores de concentração dos elementos e suas respectivas incertezas δ (mg kg⁻¹), testemunho TASE 02.

Prof. (cm)	Lu	δ	Nd	δ	Rb	δ	Sb	δ	Sc	δ	Sm	δ	Tb	δ	Th	δ	U	δ	Yb	δ	Zn	δ
0	0,6	0,1	30	2,4	54	4,2	0,9	0,1	10	0,3	6,7	0,2	0,8	0,1	18	0,9	3,5	0,2	4,2	0,3	272	7,5
7	0,4	0,1	28	2,2	47	3,5	1,9	0,1	8,2	0,3	6,4	0,2	0,9	0,2	16	0,8	2,8	0,2	3,0	0,2	168	4,8
11	0,4	0,0	27	2,1	69	4,9	0,1	0,0	12	0,4	2,4	0,1	1,0	0,1	18	0,9	1,4	0,1	2,2	0,2	146	4,3
15	0,6	0,1	40	3,0	56	4,0	1,6	0,1	10	0,3	7,9	0,3	0,8	0,2	18	0,9	4,1	0,2	3,4	0,2	115	3,5
19	0,6	0,1	36	2,8	57	*	1,0	0,1	14	0,5	7,8	0,3	1,2	0,2	19	1,0	3,8	0,2	3,7	0,3	89	3,1
23	0,6	0,1	36	3,0	59	4,6	1,8	0,1	15	0,5	7,1	0,3	1,1	0,2	22	1,1	3,9	0,2	3,6	0,3	84	3,0
27	0,6	0,1	23	2,6	47	3,2	1,4	0,1	15	0,5	4,7	0,2	1,2	0,1	22	1,1	3,7	0,2	3,5	0,3	169	5,9
31	0,6	0,1	18	2,2	39	2,8	2,6	0,1	14	0,5	4,1	0,2	1,0	0,2	23	1,1	3,7	0,2	3,6	0,3	126	4,5
35	0,6	0,1	18	2,2	47	3,1	0,9	0,1	12	0,0	4,2	0,2	1,0	0,2	21	1,0	3,2	0,2	3,5	0,3	119	4,2
39	0,6	0,1	12	1,7	42	2,8	2,9	0,2	10	0,4	3,5	0,1	1,0	0,2	16	0,8	2,8	0,2	3,3	0,2	63	2,9
45	0,7	0,1	13	1,7	42	2,9	2,2	0,1	12	0,4	4,1	0,1	1,0	0,2	17	0,9	3,4	0,2	3,7	0,3	69	3,1
51	0,8	0,1	14	1,9	43	2,8	0,8	0,0	11	0,4	3,4	0,1	0,9	0,2	16	0,8	3,8	0,2	4,8	0,3	71	3,0

Fonte: autor da dissertação. * valor não determinado

TABELA D 5 – Valores de concentração dos elementos e suas respectivas incertezas δ (mg kg⁻¹), testemunho TASE 03. (continua)

Prof. (cm)	As	δ	Ba	δ	Cr	δ	Cs	δ	Eu	δ	Hf	δ	K	δ	La	δ	Lu	δ	Nd	δ
0	13	0,7	237	22	59	3,1	6,9	0,5	1,4	0,2	2,9	0,1	8359	1900	56	1,3	0,4	0,0	41	3,3
6	7,5	0,4	171	20	60	3,2	6,4	0,5	1,9	0,2	2,2	0,1	8627	1986	67	1,6	0,4	0,1	59	4,7
12	7,1	0,4	127	27	53	2,9	4,9	0,4	1,4	0,2	1,8	0,1	5296	1275	44	1,0	0,3	0,0	31	2,8
18	10	0,6	327	28	55	2,9	8,1	0,6	1,5	0,2	3,1	0,2	6471	1554	62	1,4	0,4	0,0	47	3,8
24	19	1,1	244	21	34	1,8	4,0	0,3	1,1	0,1	11	0,6	7860	2861	55	1,3	0,6	0,1	47	3,8
30	23	1,3	226	17	20	1,1	2,1	0,2	0,5	0,1	9,2	0,5	11235	2911	39	0,9	0,4	0,0	27	2,4
33	29	1,6	226	21	22	1,2	2,7	0,2	0,5	0,1	7,4	0,4	11992	998	35	1,2	0,3	0,0	32	3,3
35,5	29	1,6	266	23	22	1,3	3,1	0,3	0,5	0,1	7,0	0,4	10223	869	35	1,2	0,3	0,0	33	3,2
38	29	1,6	297	24	19	1,1	2,0	0,2	0,6	0,1	8,6	0,5	12687	1059	42	1,4	0,5	0,1	51	4,7
41	30	1,7	408	30	27	1,5	4,0	0,3	0,7	0,1	6,5	0,3	18125	1498	36	1,2	0,4	0,0	39	3,7
44	22	1,2	602	42	47	2,5	7,9	0,6	0,9	0,1	6,8	0,4	25246	2062	43	1,4	0,3	0,0	40	3,7
47	21	1,2	725	47	53	2,8	8,2	0,6	0,5	0,1	5,8	0,3	26672	2173	49	1,6	0,3	0,0	50	4,6

Fonte: autor da dissertação

TABELA D 6 – (continuação) Valores de concentração dos elementos e suas respectivas incertezas δ (mg kg⁻¹), testemunho TASE 03.

Prof. (cm)	Rb	δ	Sb	δ	Sc	δ	Sm	δ	Tb	δ	Th	δ	U	δ	Yb	δ	Zn	δ
0	47	3,7	2,3	0,1	11	0,4	7,5	0,3	1,3	0,3	14	0,7	3,1	0,2	2,3	0,2	8446	254
6	35	2,7	2,0	0,1	11	0,4	9,6	0,4	1,1	0,2	13	0,6	3,0	0,2	2,3	0,2	11633	350
12	47	4,0	2,2	0,1	8,9	0,3	6,5	0,2	1,1	0,3	11	0,5	2,2	0,2	1,5	0,1	38157	1147
18	54	3,9	1,5	0,1	13	0,4	9,1	0,3	1,0	0,1	13	0,7	3,3	0,2	2,4	0,2	12646	380
24	48	3,3	0,6	0,0	7,7	0,3	8,9	0,3	1,1	0,2	21	1,0	3,5	0,2	3,5	0,2	4592	138
30	40	2,8	0,4	0,0	3,6	0,1	5,7	0,2	0,8	0,2	14	0,7	2,4	0,1	2,4	0,2	751	23
33	50	3,5	0,5	0,0	4,5	0,1	5,3	0,2	0,7	0,1	13	0,6	2,4	0,2	1,8	0,1	659	19
35,5	49	3,3	0,5	0,0	4,4	0,1	5,3	0,2	0,6	0,1	14	0,7	1,5	0,1	1,8	0,1	543	16
38	47	3,2	0,5	0,0	3,0	0,1	6,0	0,2	0,9	0,2	16	0,8	2,4	0,2	3,0	0,2	535	16
41	74	4,8	0,5	0,0	5,2	0,2	6,0	0,2	0,6	0,1	11	0,6	2,0	0,2	2,1	0,2	602	18
44	113		0,5	0,0	7,9	0,3	5,6	0,2	0,6	0,1	12	0,6	2,5	0,2	2,0	0,1	415	13
47	151	9,5	0,5	0,0	11	0,4	6,5	0,2	0,9	0,2	15	0,7	2,5	0,2	2,0	0,1	253	8

Fonte: autor da dissertação

Tabela D 7 – Valores de concentração dos elementos e suas respectivas incertezas δ (mg kg⁻¹), testemunho TASE 04. (continua)

Prof. (cm)	As	δ	Ba	δ	Ce	δ	Co	δ	Cr	δ	Cs	δ	Eu	δ	Hf	δ	La	δ	Lu	δ
0	17	1,0	185	20	72	5,8	2,5	0,1	48	2,6	2,7	0,2	0,7	0,1	9,3	0,5	31	0,8	0,7	0,1
8	18	1,0	237	24	117	9,4	3,9	0,1	68	3,6	3,7	0,3	1,1	0,1	13	0,7	45	1,1	0,8	0,1
13	16	0,9	187	22	154	12	2,9	0,1	72	3,8	3,5	0,3	1,3	0,2	14	0,7	51	1,3	0,7	0,1
17	17	1,0	193	23	194	16	3,5	0,1	81	4,3	4,2	0,4	1,9	0,2	14	0,7	61	1,5	0,9	0,1
21	21	1,2	198	24	171	14	3,7	0,1	91	4,8	4,6	0,4	1,8	0,2	17	0,9	52	1,3	1,2	0,2
25	19	1,1	238	26	138	11	3,2	0,1	77	4,1	3,9	0,3	1,5	0,2	14	0,7	53	1,3	1,1	0,2
29	18	1,1	126	22	128	10	3,5	0,1	83	4,4	3,7	0,3	1,5	0,2	15	0,8	46	1,1	1,4	0,2
35	13	0,8	212	30	217	18	5,1	0,2	111	6,0	6,7	0,6	2,0	0,4	23	1,2	56	1,3	1,1	0,1
39	7,6	0,5	298	38	162	13	5,9	0,2	112	6,0	6,7	0,5	1,9	0,2	24	1,2	49	1,2	1,2	0,1
43	6,7	0,5	198	32	135	11	5,4	0,2	104	5,6	7,0	0,6	1,9	0,2	24	1,2	43	1,0	1,3	0,2
47	9,2	0,6	281	39	185	15	5,9	0,2	104	5,6	6,2	0,5	2,2	0,3	23	1,2	57	1,3	1,4	0,2
51	9,6	0,7	277	36	128	10	4,9	0,2	95	5,1	7,0	0,6	1,6	0,2	20	1,0	46	1,1	1,1	0,1
55	9,5	0,7	274	34	76	6,3	5,6	0,2	83	4,5	5,8	0,5	1,0	0,1	17	0,9	33	0,8	0,9	0,1
61	3,5	0,5	223	36	94	7,8	6,3	0,2	108	5,8	7,3	0,6	1,2	0,1	19	1,0	35	0,8	1,1	0,1

Fonte: autor da dissertação

TABELA D 8 – (continuação) Valores de concentração dos elementos e suas respectivas incertezas δ (mg kg⁻¹), testemunho TASE 04.

Prof. (cm)	Nd	δ	Rb	δ	Sb	δ	Sc	δ	Sm	δ	Tb	δ	Th	δ	U	δ	Yb	δ	Zn	δ
0	20	2,7	11	1,5	0,6	0,0	11	0,4	4,4	0,2	1,0	0,2	16	0,8	5,6	0,3	3,8	0,3	123	3,8
8	22	3,1	17	2,0	1,0	0,1	16	0,5	6,7	0,3	1,2	0,2	24	1,2	7,8	0,5	4,8	0,4	219	6,4
13	27	3,4	12	1,8	1,0	0,1	18	0,6	7,4	0,3	1,1	0,2	25	1,2	8,9	0,5	4,6	0,3	149	4,6
17	47	5,1	16	2,1	1,0	0,1	22	0,7	12	0,4	1,6	0,3	27	1,3	13	0,9	5,2	0,4	257	7,4
21	44	5,0	19	2,3	1,4	0,1	24	0,8	11	0,4	2,2	0,4	30	1,5	13	0,7	6,7	0,5	165	5,1
25	39	8,1	14	2,1	1,2	0,1	22	0,7	11	0,4	1,8	0,3	29	1,4	12	0,8	6,2	0,5	79	3,2
29	39	4,5	13	1,9	1,2	0,1	22	0,8	11	0,4	2,0	0,4	28	1,4	13	0,8	7,4	0,5	132	4,2
35	62	6,0	24	2,9	0,9	0,1	32	1,1	13	0,5	2,2	0,5	40	2,0	14	1,0	6,9	0,5	176	6,3
39	47	4,6	29	3,4	0,9	0,1	29	1,0	13	0,5	2,4	0,5	39	1,9	13	0,8	7,7	0,6	137	5,2
43	39	3,9	27	3,2	0,7	0,1	27	0,9	12	0,4	2,4	0,5	36	1,8	12	0,9	8,5	0,6	145	5,3
47	56	5,8	26	3,3	0,9	0,1	31	1,0	15	0,5	2,5	0,5	44	2,2	14	0,9	8,4	0,6	182	6,4
51	43	4,2	27	3,3	0,8	0,1	27	0,9	13	0,5	1,3	0,3	35	1,7	11	0,7	7,4	0,5	136	5,1
55	31	3,2	28	3,1	0,9	0,1	20	0,7	8,0	0,3	1,5	0,3	30	1,5	8,2	0,5	6,0	0,4	107	4,1
61	28	3,4	34	3,8	0,9	0,1	28	0,9	7,6	0,3	1,3	0,3	37	1,8	8,5	0,6	6,8	0,5	152	5,4

Fonte: autor da dissertação

APÊNDICE E

Resultados dos valores do fator de enriquecimento – FE determinados para os perfis de solo analisados. Na análise utilizou-se os valores da crosta continental superior CCS como valores de referência e o elemento Sc como elemento normalizador.

TABELA E 1 – Valores de FE determinados para as concentrações dos elementos no perfil de solo TASO 01.

Prof. (cm)	Ba	Ce	Co	Cr	Cs	Eu	Hf	La	Lu	Nd	Rb	Sb	Sm	Tb	Th	U	Yb	Zn
0	0,4	0,8	0,5	1,4	0,5	0,6	2,1	0,9	1,6	1,0	0,5	1,3	0,8	1,3	1,5	1,5	1,3	0,8
10	0,4	0,8	0,4	1,3	0,7	0,5	2,1	0,8	1,3	0,6	0,4	1,2	0,8	0,7	1,6	1,1	1,2	0,8
20	0,5	0,9	0,5	1,2	0,6	0,6	1,9	0,9	1,2	0,7	0,4	0,9	0,9	1,1	1,6	1,2	1,1	0,9
30	0,5	0,8	0,5	1,2	0,7	0,7	1,9	1,0	1,4	0,7	0,4	1,2	0,9	1,7	1,5	1,4	1,3	0,7
40	0,4	0,9	0,4	1,5	0,8	0,7	1,9	0,7	1,7	0,7	0,5	1,3	0,9	0,9	1,6	1,8	1,6	0,7
50	0,3	0,9	0,4	1,4	0,7	0,8	1,6	0,7	1,6	0,7	0,6	1,0	1,0	1,4	1,4	1,4	1,5	0,4
60	0,4	0,9	0,4	1,6	1,0	1,0	1,9	0,8	1,7	1,1	0,7	0,0	1,3	1,1	1,6	1,6	1,6	0,5
70	0,4	1,1	0,4	1,4	1,0	1,0	1,7	1,1	1,9	0,8	0,7	0,0	1,1	1,2	1,5	1,6	1,7	0,5
80	0,4	1,0	0,5	1,4	1,1	1,0	1,9	1,1	1,6	0,8	0,6	1,1	1,5	1,1	1,5	1,5	1,5	0,6
90	0,4	1,1	0,5	1,4	1,1	1,1	1,8	1,2	1,7	0,9	0,6	1,2	1,3	1,4	1,6	1,5	1,6	0,6
100	0,5	1,1	0,5	1,5	1,4	1,2	1,9	1,3	1,5	1,1	0,7	1,2	1,6	1,3	1,6	1,4	1,7	0,6
105	0,4	1,1	0,5	1,6	1,2	1,4	1,7	1,3	1,7	1,2	0,8	1,7	1,6	1,1	1,5	1,4	1,6	0,6

Fonte: autor da dissertação

TABELA E 2 – Valores de FE determinados para as concentrações dos elementos no perfil de solo TASO 02.

Prof. (cm)	As	Ba	Ce	Co	Cr	Cs	Eu	Hf	La	Lu	Nd	Rb	Sb	Sm	Tb	Th	U	Yb	Zn
0	5,4	0,4	1,1	0,5	1,7	3,3	0,6	2,2	0,9	2,4	0,8	0,4	4,8	0,8	0,9	1,5	1,4	2,0	
10	5,6	0,4	1,3	0,4	1,7	3,3	0,7	2,3	1,1	2,4	1,4	0,4	4,2	0,9	1,4	1,8	1,3	2,0	1,6
25	4,7	0,3	1,0	0,4	1,8	3,8	0,5	2,3	0,9	2,6	*	0,4	3,9	0,6	1,5	1,6	1,3	2,3	1,1
35	4,3	0,4	0,8	0,4	1,8	4,8	0,5	2,4	0,9	2,7	*	0,5	9,1	0,6	0,7	1,6	1,6	2,3	0,7
45	4,4	0,4	1,0	0,4	1,8	4,1	0,5	2,4	1,0	2,5	*	0,5	4,6	0,7	1,2	1,6	1,5	2,1	*
55	4,2	0,5	1,1	0,4	2,0	4,6	0,6	2,0	1,1	2,4	0,7	0,5	3,7	0,8	1,1	1,9	1,6	2,0	*
65	4,4	0,4	1,0	0,4	2,0	4,2	0,5	1,7	1,2	2,2	0,8	0,4	4,1	0,4	0,8	1,7	1,4	2,2	*
75	4,4	0,4	1,2	0,4	1,8	3,7	0,4	1,6	1,3	1,7	0,8	0,4	4,8	0,4	0,7	1,8	1,1	1,3	*
90	4,9	0,4	1,4	0,4	1,9	2,6	0,4	1,2	1,4	1,4	0,5	0,4	4,0	0,3	0,8	1,7	1,2	1,1	*
100	5,3	0,4	1,3	0,3	1,4	2,1	0,4	1,1	1,0	1,0	0,3	0,3	4,1	0,3	0,5	1,3	0,8	1,0	0,5
115	4,4	0,3	1,2	0,3	1,5	2,0	0,4	1,2	1,1	1,3	0,5	0,3	4,1	0,4	0,5	1,4	0,8	1,2	0,6
130	2,6	0,3	1,4	0,3	1,4	1,8	0,6	1,5	1,6	1,4	0,8	0,2	3,8	0,7	0,6	1,5	1,0	1,2	0,4
140	3,2	0,3	1,1	0,3	1,4	1,5	0,5	1,3	1,2	1,4	0,4	0,3	4,0	0,6	0,6	1,5	0,8	1,3	0,4
155	2,4	0,4	0,9	0,2	1,5	1,5	0,6	1,2	1,1	1,3	0,5	0,3	4,3	0,5	0,6	1,4	0,9	1,2	0,5
170	3,4	0,3	0,9	0,2	1,3	1,7	0,6	1,3	1,3	1,3	0,6	0,3	3,4	0,8	0,7	1,3	1,0	1,2	0,5
180	2,0	0,2	1,0	0,3	1,2	2,0	0,8	1,2	1,4	1,6	0,7	0,2	2,8	0,8	0,6	1,4	1,0	1,4	0,5
190	1,6	0,3	1,0	0,2	1,2	2,0	0,8	1,3	1,3	1,4	0,7	0,3	3,2	0,6	0,9	1,4	0,8	1,3	0,5

Fonte: autor da dissertação. * valor não determinado

TABELA E 3 – (continuação) Valores de FE determinados para as concentrações dos elementos no perfil de solo TASO 03.

Prof. (cm)	As	Ba	Ce	Co	Cr	Cs	Eu	Hf	La	Lu	Nd	Rb	Sb	Sm	Tb	Th	U	Yb	Zn
0	2,6	0,0	1,5	0,3	1,5	1,5	0,9	2,4	1,8	2,4	1,4	0,6	2,1	1,8	2,4	2,5	1,6	2,1	*
10	3,9	0,4	2,1	0,4	1,9	1,9	1,3	2,9	2,6	3,3	2,5	0,7	2,6	2,6	3,0	4,0	2,3	3,0	*
25	2,8	0,2	1,3	0,3	1,3	1,3	0,8	1,9	1,7	2,0	1,2	0,5	2,0	1,5	1,2	2,2	1,3	1,7	*
35	3,3	0,4	1,0	0,3	1,4	1,1	0,6	1,4	1,2	1,3	0,9	0,4	1,4	1,0	0,0	1,7	1,0	1,1	*
50	2,5	0,2	0,8	0,2	1,2	1,0	0,4	0,9	0,9	0,9	0,5	0,5	1,9	0,5	0,0	1,2	0,9	0,8	*
60	2,3	0,2	0,8	0,3	1,4	1,0	0,5	1,0	1,0	1,1	0,8	0,5	2,1	0,7	0,0	1,2	0,9	0,8	*
70	1,5	0,3	0,9	0,4	1,2	1,4	0,6	1,1	1,0	1,1	0,7	0,7	2,0	0,8	0,9	1,3	1,0	0,9	*
80	*	0,3	0,9	0,5	1,2	1,6	0,7	1,2	1,1	1,1	0,8	0,7	1,4	0,9	1,0	1,2	0,8	1,0	*
95	*	0,3	0,9	0,6	1,1	1,7	0,9	1,0	1,1	1,0	0,8	0,8	0,8	1,0	0,8	1,2	0,7	0,9	*
105	1,9	0,4	0,9	0,7	1,5	2,6	0,9	1,1	1,2	1,1	1,2	1,0	2,4	1,4	1,0	1,2	0,9	1,1	0,8
115	1,8	0,4	1,0	0,8	1,4	2,7	1,5	0,8	1,4	1,2	1,3	1,0	2,5	2,0	1,4	1,1	0,8	1,1	0,8
125	1,4	0,5	1,1	0,9	1,5	2,6	1,9	1,0	1,6	1,1	1,4	1,0	2,2	2,3	1,4	1,2	0,7	1,1	1,2
135	0,9	0,4	1,3	0,8	1,5	2,5	2,1	1,1	1,9	1,2	1,8	0,9	2,1	2,7	1,6	1,5	0,9	1,3	1,0
145	1,1	0,4	1,2	0,8	1,6	2,5	1,6	1,4	1,7	1,4	1,7	1,1	2,4	2,4	1,9	1,3	1,2	1,3	1,0
155	2,4	0,6	1,6	0,9	1,6	2,3	2,0	1,5	2,1	1,5	2,1	1,0	3,1	2,9	1,6	1,6	1,5	1,5	0,9
165	2,6	0,6	1,6	0,8	1,7	2,3	2,0	1,9	2,1	1,7	2,4	1,0	3,1	3,0	2,0	1,8	1,3	1,6	1,1
180	1,4	0,7	2,1	0,8	1,7	2,4	2,7	1,9	2,4	2,0	2,3	1,0	2,3	3,7	2,1	1,7	1,1	1,9	1,0
190	*	0,6	1,8	0,9	1,7	2,3	2,5	2,0	2,3	2,0	2,3	1,0	1,3	3,5	2,2	1,9	1,2	2,1	1,1

Fonte: autor da dissertação. * valor não determinado

TABELA E 4 – Valores de FE determinados para as concentrações dos elementos no perfil de solo TASO 04.

Prof. (cm)	As	Ce	Co	Cr	Cs	Eu	Hf	La	Lu	Sb	Sm	Ta	Tb	Th	U	Yb	Zn
0	8,0	0,5	0,2	1,6	0,5	0,4	1,9	0,3	2,1	2,8	0,5	0,9	1,1	1,8	1,4	2,0	0,4
10	7,7	0,4	0,2	1,6	0,7	0,4	2,0	0,3	1,8	3,3	0,5	0,8	1,0	1,7	1,5	1,7	0,4
20	6,8	0,6	0,2	1,5	0,6	0,4	2,0	0,4	2,0	2,6	0,6	0,7	0,7	1,7	1,5	2,0	0,3
30	6,7	0,5	0,2	1,6	0,6	0,5	2,1	0,3	2,2	2,7	0,5	0,7	0,8	1,7	1,6	2,0	0,4
40	7,0	0,5	0,2	1,5	0,6	0,4	2,1	0,4	2,1	2,4	0,5	0,7	1,0	1,8	1,4	2,0	0,2
50	6,9	0,4	0,2	1,6	0,6	0,3	2,1	0,3	1,9	2,2	0,3	0,7	0,8	1,6	1,5	1,7	0,3
60	7,1	0,4	0,2	1,6	0,5	0,4	1,9	0,3	1,7	2,6	0,3	0,7	0,6	1,7	1,6	1,6	0,4
70	6,9	0,4	0,2	1,3	0,6	0,3	1,9	0,3	2,0	2,6	0,5	0,7	1,2	1,6	1,6	1,8	*
80	7,3	0,5	0,2	1,4	0,5	0,3	2,0	0,3	2,0	2,9	0,5	0,8	1,5	1,7	1,7	1,8	*
90	7,1	0,6	0,2	1,5	0,6	0,5	1,8	0,4	1,9	2,8	0,5	0,7	1,0	1,7	1,4	1,8	0,3
100	7,0	0,5	0,2	1,3	0,6	0,4	1,8	0,4	1,6	2,6	0,5	0,6	1,0	1,6	1,5	1,5	*
110	6,7	0,4	0,2	1,2	0,6	0,3	1,7	0,3	1,6	2,4	0,4	0,7	1,1	1,5	1,5	1,6	*
120	6,6	0,4	0,2	1,2	0,6	0,3	1,7	0,3	1,5	2,5	0,4	0,6	1,1	1,5	1,5	1,4	*
130	7,5	0,3	0,2	1,3	0,6	0,2	1,8	0,2	1,8	3,2	0,2	0,7	0,6	1,6	1,6	1,6	*
145	7,0	0,3	0,2	1,5	0,5	0,2	1,7	0,2	1,8	2,3	0,3	0,7	0,8	1,7	1,6	1,6	*
155	6,8	0,3	0,1	1,4	0,6	0,2	1,6	0,2	1,5	2,4	0,2	0,6	0,0	1,5	1,4	1,4	*
165	6,8	0,3	0,1	1,4	0,5	0,2	1,4	0,2	1,4	2,5	0,2	0,6	0,0	1,5	1,4	1,3	*
175	7,6	0,2	0,2	1,6	0,6	0,2	1,5	0,2	1,6	2,7	0,2	0,7	0,6	1,6	1,6	1,5	0,3
185	5,8	0,4	0,2	1,5	0,6	0,3	1,5	0,3	1,8	2,0	0,3	0,6	0,7	1,5	1,6	1,6	0,3
195	4,9	0,4	0,2	1,2	0,5	0,3	1,6	0,3	1,7	1,9	0,2	0,4	0,9	1,4	1,3	1,5	*

Fonte: autor da dissertação. * valor não determinado

APÊNDICE F

Resultados dos valores do fator de enriquecimento – FE determinados para os testemunhos de sedimento analisados. Na análise utilizou-se os valores da crosta continental superior CCS como valores de referência e o elemento Sc como elemento normalizador.

TABELA F 1 – Valores de FE determinados para as concentrações dos elementos no testemunho de sedimento TASE 01.

Prof. (cm)	As	Ba	Ce	Co	Cr	Cs	Eu	Hf	La	Lu	Nd	Rb	Sb	Sm	Tb	Th	U	Yb	Zn
0	48,7	0,8	5,0	0,6	2,3	0,8	1,6	7,1	4,2	4,2	4,6	0,0	5,6	4,5	3,9	5,9	3,3	4,3	1,4
4	22,8	0,3	2,4	0,3	1,4	1,3	1,2	3,0	2,5	2,7	2,7	0,2	4,6	2,6	2,8	3,2	2,2	2,8	1,1
8	17,4	0,3	1,7	0,3	1,5	1,4	1,0	2,6	1,7	1,7	2,7	0,3	3,9	1,5	1,3	2,2	1,4	1,7	0,8
12	16,1	0,4	4,7	0,3	1,7	1,7	1,6	2,7	4,6	3,0	3,6	0,3	2,8	4,1	3,8	5,6	2,6	2,7	0,9
16	19,3	0,3	1,8	0,3	1,6	1,6	0,6	2,4	1,7	2,5	2,3	0,3	2,9	1,6	1,8	2,3	1,5	2,5	0,7
20	17,4	0,3	1,8	0,3	1,6	1,6	1,1	2,6	1,9	3,0	1,1	0,3	2,6	1,7	2,3	2,4	1,8	3,1	0,7
24	24,5	0,2	2,2	0,4	1,6	1,7	1,3	2,7	2,3	3,4	0,7	0,3	3,5	2,5	2,0	2,8	2,5	3,3	0,8
28	22,1	0,3	1,8	0,3	1,5	1,5	1,1	2,8	2,3	3,0	1,9	0,3	3,4	2,4	1,7	2,6	2,4	2,6	0,7
32	28,0	0,3	2,2	0,3	1,4	1,6	1,3	2,6	2,6	2,3	2,4	0,3	3,1	2,9	1,6	3,1	2,4	2,0	0,7
36	15,9	0,2	1,7	0,3	1,4	1,6	1,2	2,2	2,3	4,3	1,8	0,3	3,2	2,7	1,8	2,6	2,7	3,9	0,8
40	15,7	0,4	2,3	0,3	1,5	1,5	1,4	2,5	2,4	2,7	2,2	0,3	2,7	2,9	2,0	3,1	2,7	2,4	0,8
42	26,8	0,5	1,6	0,4	1,5	1,7	1,4	2,3	1,9	2,3	1,7	0,2	3,3	2,3	1,5	2,4	2,0	2,1	0,7

Fonte: autor da dissertação

TABELA F 2 – Valores de FE determinados para as concentrações dos elementos no testemunho de sedimento TASE 02.

Prof. (cm)	As	Ba	Ce	Co	Cr	Cs	Eu	Hf	La	Lu	Nd	Rb	Sb	Sm	Tb	Th	U	Yb	Zn
0	22,6	0,5	1,7	0,6	1,5	1,6	1,3	2,3	1,6	2,2	1,3	0,5	4,8	1,6	1,4	1,9	1,6	2,1	4,2
7	36,1	0,5	1,9	0,6	1,5	2,0	1,2	1,8	2,0	1,7	1,4	0,6	12,5	1,9	1,8	2,1	1,5	1,9	3,2
11	2,1	0,5	1,4	0,4	1,4	1,9	1,2	1,5	0,4	1,1	1,0	0,6	0,6	0,5	1,4	1,6	0,5	0,9	1,9
15	26,7	0,5	1,6	0,4	1,3	1,9	1,3	1,7	1,9	2,0	1,7	0,6	8,8	1,9	1,4	1,9	1,8	1,7	1,8
19	12,5	0,4	1,7	0,5	1,2	1,9	1,0	1,6	1,8	1,5	1,1	0,4	3,8	1,4	1,5	1,5	1,2	1,3	1,0
23	17,8	0,3	1,1	0,4	1,4	1,7	0,9	1,3	1,4	1,3	1,0	0,4	6,9	1,2	1,3	1,6	1,2	1,2	0,9
27	10,8	0,3	0,9	0,4	1,5	1,4	0,6	1,4	1,1	1,4	0,6	0,3	5,1	0,7	1,3	1,5	1,1	1,1	1,7
31	18,3	0,2	0,9	0,3	1,6	1,8	0,6	1,9	0,9	1,6	0,5	0,3	10,1	0,7	1,2	1,7	1,2	1,3	1,4
35	13,3	0,3	1,0	0,4	1,5	2,2	0,6	2,0	0,9	1,6	0,6	0,4	4,2	0,8	1,4	1,8	1,2	1,4	1,5
39	25,0	0,3	1,0	0,4	1,5	2,3	0,7	2,2	0,9	2,0	0,5	0,4	15,2	0,8	1,6	1,6	1,2	1,6	0,9
45	18,3	0,4	1,1	0,4	1,4	2,6	0,8	2,2	0,9	2,0	0,5	0,3	10,0	0,8	1,4	1,5	1,2	1,5	0,9
51	13,6	0,4	0,8	0,4	1,5	4,6	0,7	2,5	0,8	2,6	0,5	0,4	4,1	0,8	1,4	1,5	1,5	2,2	1,0

Fonte: autor da dissertação

TABELA F 3 – Valores de FE determinados para as concentrações dos elementos no testemunho de sedimento TASE 03.

Prof. (cm)	As	Ba	Ce	Co	Cr	Cs	Eu	Hf	La	Lu	Nd	Rb	Sb	Sm	Tb	Th	U	Yb	Zn
0	8,5	0,3	1,1	1,1	1,6	1,8	1,5	0,5	1,8	1,2	1,5	0,4	11	1,6	1,8	1,3	1,2	1,0	115
6	5,0	0,3	1,4	1,3	1,7	1,7	2,1	0,4	2,2	1,3	2,3	0,3	10	2,1	1,7	1,3	1,2	1,0	164
12	5,8	0,2	1,3	2,7	1,9	1,6	1,9	0,4	1,8	1,1	1,5	0,5	14	1,8	2,1	1,3	1,1	0,9	663
18	5,7	0,4	1,3	1,6	1,3	1,9	1,4	0,5	1,8	1,1	1,5	0,4	6,4	1,7	1,3	1,1	1,1	0,9	153
24	18	0,5	2,5	1,2	1,4	1,5	1,7	2,8	2,6	2,5	2,6	0,6	4,6	2,8	2,5	2,8	2,0	2,3	92
30	46	1,0	3,7	0,9	1,8	1,8	1,8	4,9	4,0	3,4	3,3	1,1	5,8	3,9	3,6	4,3	2,9	3,3	33
33	48	0,8	2,7	0,9	1,5	1,8	1,3	3,1	2,9	2,1	3,0	1,1	6,1	2,9	2,4	3,1	2,3	2,0	23
36	49	1,0	2,8	0,9	1,6	2,1	1,4	3,0	2,9	2,4	3,1	1,1	6,4	2,9	2,2	3,3	1,5	2,0	19
38	72	1,7	4,3	1,2	2,1	2,0	2,7	5,5	5,2	5,4	7,3	1,6	9,3	5,0	5,0	5,6	3,6	5,0	28
41	42	1,3	2,6	1,2	1,6	2,3	1,7	2,4	2,5	2,3	3,2	1,4	5,4	2,8	2,0	2,3	1,7	2,0	18
44	21	1,3	1,9	1,8	1,9	3,0	1,4	1,6	2,0	1,2	2,1	1,4	3,5	1,7	1,4	1,6	1,4	1,3	8
47	13	1,0	1,4	1,4	1,5	2,1	0,6	1,0	1,6	0,9	1,8	1,3	2,5	1,4	1,3	1,4	1,0	0,9	3

Fonte: autor da dissertação

TABELA F 4 – Valores de FE determinados para as concentrações dos elementos no testemunho de sedimento TASE 04.

Prof. (cm)	As	Ba	Ce	Co	Cr	Cs	Eu	Hf	La	Lu	Nd	Rb	Sb	Sm	Tb	Th	U	Yb	Zn
0	11	0,3	1,1	0,2	1,3	0,7	0,7	1,6	1,0	2,0	0,8	0,1	2,8	1,0	1,5	1,6	2,2	1,7	1,7
8	8,0	0,2	1,2	0,3	1,3	0,7	0,8	1,6	1,0	1,7	0,6	0,1	3,5	1,0	1,2	1,6	2,1	1,5	2,1
13	6,5	0,2	1,5	0,2	1,3	0,6	0,9	1,5	1,0	1,4	0,6	0,1	3,1	1,0	1,0	1,5	2,2	1,3	1,3
17	5,8	0,1	1,5	0,2	1,2	0,6	1,0	1,2	1,0	1,5	0,9	0,1	2,5	1,3	1,2	1,3	2,6	1,2	1,8
21	6,5	0,1	1,2	0,2	1,2	0,6	0,9	1,3	0,8	1,8	0,8	0,1	3,2	1,1	1,5	1,3	2,3	1,4	1,1
25	6,3	0,2	1,1	0,2	1,1	0,5	0,8	1,2	0,9	1,8	0,8	0,1	2,9	1,3	1,4	1,4	2,5	1,4	0,6
29	6,0	0,1	1,0	0,2	1,2	0,5	0,8	1,3	0,8	2,1	0,7	0,1	2,8	1,2	1,5	1,3	2,6	1,6	0,9
35	2,9	0,1	1,2	0,2	1,1	0,6	0,8	1,4	0,6	1,1	0,8	0,1	1,5	1,0	1,2	1,3	1,9	1,1	0,8
39	1,9	0,2	1,0	0,2	1,2	0,7	0,8	1,6	0,6	1,5	0,7	0,1	1,7	1,1	1,4	1,4	1,9	1,3	0,7
43	1,8	0,1	0,9	0,2	1,2	0,8	0,9	1,7	0,6	1,7	0,6	0,1	1,4	1,1	1,5	1,4	2,0	1,6	0,8
47	2,2	0,2	1,0	0,2	1,1	0,6	0,9	1,4	0,7	1,5	0,8	0,1	1,6	1,2	1,4	1,5	2,0	1,4	0,9
51	2,6	0,2	0,8	0,2	1,1	0,8	0,7	1,4	0,6	1,4	0,7	0,1	1,7	1,2	0,8	1,4	1,7	1,4	0,8
55	3,4	0,2	0,6	0,3	1,3	0,9	0,6	1,6	0,6	1,6	0,7	0,1	2,4	1,0	1,2	1,6	1,8	1,5	0,8
61	0,9	0,1	0,6	0,3	1,2	0,8	0,5	1,3	0,5	1,3	0,4	0,1	1,7	0,7	0,8	1,4	1,4	1,2	0,9

Fonte: autor da dissertação