



UNIVERSIDADE DE ÉVORA

ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS

Avaliação Geoquímica do Impacto da Dragagem de Sedimentos de uma Linha de Água com Elevadas Concentrações de Metais Pesados, em Clima Tropical Seco

Luísa Catarina Guia Martins

Orientação: Prof.^ª Doutora Rita Maria Ferreira da Fonseca

Mestrado em Ciências e Tecnologias da Terra, da Atmosfera e do Espaço

Área de especialização: *Reabilitação de Ambientes Degradados*

Dissertação

Évora, 2014



UNIVERSIDADE DE ÉVORA

ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS

Avaliação Geoquímica do Impacto da Dragagem de Sedimentos de uma Linha de Água com Elevadas Concentrações de Metais Pesados, em Clima Tropical Seco

Luísa Catarina Guia Martins

Orientação: Prof.^a Doutora Rita Maria Ferreira da Fonseca

Mestrado em Ciências e Tecnologias da Terra, da Atmosfera e do Espaço

Área de especialização: *Reabilitação de Ambientes Degradados*

Dissertação

Évora, 2014

Agradecimentos

Os meus agradecimentos vão, antes de mais nada, a todos os que sempre estiveram perto, mesmo estando longe, à minha família e aos meus amigos que sempre me deram força para continuar, que ouviram os meus problemas e dificuldades e me ajudaram para que fizesse aquilo que mais gostasse e desafiasse...

A todos os que conheci em Évora, e a como me abriram as portas a um novo desafio. À minha professora e orientadora Rita Fonseca, que trabalhou ao lado de todos os que colaboraram no projecto, que ouviu todas as dúvidas e ideias com mente aberta e permitiu que fizesse parte da equipa de trabalho, assim como todos os que colaboraram para o sucesso deste trabalho, que trabalharam comigo durante todo este ano, com quem partilhei dúvidas, problemas e todas as alegrias e dissabores de um trabalho de laboratório, e que, para além de colegas de trabalho se tornaram também amigos.

E, acima de tudo, um enorme obrigado ao Nuno, que partilhou o trabalho e as suas alegrias e tristezas comigo, durante todos os dias, que me ajudou nos momentos bons e menos bons.

A todos, os mais sinceros agradecimentos...

Índice

	Página
1. Introdução	1
2. Enquadramento da Área em Estudo	19
2.1. Enquadramento Geográfico	21
2.2. Enquadramento Geológico	25
2.3. Enquadramento Climático	28
3. Metodologias	31
3.1. Amostragem	33
3.1.1. Sedimentos e Aluviões	41
3.1.2. Águas	43
3.2. Preparação das amostras e análises <i>in situ</i>	44
3.3. Análises Laboratoriais	45
3.3.1. Ensaio Químicos	47
3.3.1.1. Digestão Parcial	47
3.3.1.2. Extracção Sequencial	47
3.3.1.3. Análise Elementar de CHNS	51
3.3.1.4. Determinação do Fósforo Total	52
3.3.1.5. Ensaio de Lixiviação	52
3.3.1.6. Ensaio-Piloto para Avaliação do Efeito da Dragagem no Córrego	53
3.3.2. Ensaio Físicos	55
3.3.2.1. Textura	55
3.3.2.2. Densidade (Aparente e das Partículas) e Porosidade	56
4. Resultados	59
4.1. Parâmetros Físico-Químicos (pH, Eh, condutividade eléctrica)	61
4.1.1. Águas	61
4.1.2. Águas Intersticiais	62
4.1.3. Sedimentos	64
4.1.4. Aluviões	66
4.2. Química da Fracção Dissolvida	67
4.2.1. Águas	67
4.2.2. Águas Intersticiais	69
4.3. Fracção Particulada na Coluna de Água	73

4.4.	Digestão Parcial	74
4.4.1.	Sedimentos	74
4.4.2.	Aluviões	77
4.5.	Extracção Sequencial	80
4.5.1.	Sedimentos	80
4.5.2.	Aluviões	82
4.6.	Análise Elementar de CHNS	85
4.6.1.	Sedimentos	85
4.6.2.	Aluviões	86
4.7.	Fósforo Total	87
4.7.1.	Sedimentos	87
4.7.2.	Aluviões	88
4.8.	Ensaio de Lixiviação	90
4.8.1.	Sedimentos	90
4.8.2.	Aluviões	93
4.9.	Ensaio-Piloto para Avaliação do Efeito da Dragagem no Córrego	97
4.9.1.	Ensaio de Fundo e Superfície	97
4.9.1.1.	Material Dissolvido	97
4.9.1.2.	Material Particulado	98
4.9.2.	Ensaio de Turbidez	98
4.9.2.1.	Material Dissolvido	99
4.9.2.2.	Material Particulado	103
4.10.	Textura	105
4.11.	Densidade (Aparente e das Partículas) e Porosidade	107
5.	Discussão	111
5.1.	Águas e Águas Intersticiais	113
5.1.1.	Águas	113
5.1.2.	Águas Intersticiais	115
5.2.	Sedimentos e Aluviões	118
5.2.1.	Digestão Parcial e Determinação do Grau de Contaminação	118
5.2.2.	Parâmetros Físico-Químicos	148
5.2.3.	Extracção Sequencial	151
5.2.4.	Ensaio de Lixiviação	158
5.2.5.	Análise Elementar de CHNS	166
5.2.5.1.	Carbono	166
5.2.5.2.	Azoto	168

5.2.5.3. Enxofre	170
5.2.6 Fósforo Total	171
5.2.7 Textura	173
5.2.8 Porosidade	176
5.3 Ensaios-Piloto para a Avaliação do Efeito da Dragagem no Córrego	180
5.3.6 Ensaios de Fundo e Superfície	180
5.3.7 Ensaios de Turbidez	186
6. Remediação	197
7. Conclusões	211
8. Referências Bibliográficas	219
Anexos	231

Índice de Tabelas

	Página
Tabela 4.1: Valores máximos, mínimos, de média e mediana para o pH, Eh e condutividade eléctrica (C.E.) das águas recolhidas na campanha de Novembro de 2013.	62
Tabela 4.2: Valores máximos, mínimos, de média e mediana para o pH, Eh e condutividade eléctrica (C.E.) das águas recolhidas na campanha de Março de 2014.	62
Tabela 4.3: Valores máximos, mínimos, de média e mediana para o pH das águas intersticiais dos sedimentos recolhidos nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013.	63
Tabela 4.4: Valores máximos, mínimos, de média e mediana para o pH e condutividade eléctrica (C.E.) das águas intersticiais dos sedimentos recolhidos na campanha de março de 2014.	63
Tabela 4.5: Valores máximos, mínimos, de média e mediana para o pH das águas intersticiais de aluviões recolhidas nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013.	64
Tabela 4.6: Valores máximos, mínimos, de média e mediana para o pH e condutividade eléctrica (C.E.) das águas intersticiais de aluviões recolhidas na campanha de Março de 2014.	64
Tabela 4.7: Valores mínimos, máximos, de média e mediana de pH e Eh referentes às amostras de sedimentos recolhidas nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013.	65
Tabela 4.8: Valores mínimos, máximos, de média e mediana de pH e Eh referentes às amostras de sedimentos recolhidas na campanha de Março de 2014.	65
Tabela 4.9: Valores mínimos, máximos, de média e mediana de pH e Eh referentes às amostras de aluviões recolhidas nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013.	66
Tabela 4.10: Valores mínimos, máximos, de média e mediana de pH e Eh referentes às amostras de aluviões recolhidas na campanha de Março de 2014.	66
Tabela 4.11: Valores mínimos, máximos, de média e mediana dos teores em alguns elementos químicos na fracção dissolvida das águas recolhidas na campanha de Novembro de 2013.	68
Tabela 4.12: Valores mínimos, máximos, de média e mediana dos teores em alguns elementos químicos na fracção dissolvida das águas recolhidas na campanha de Março de 2014.	68
Tabela 4.13: Valores mínimos, máximos, de média e mediana dos teores de alguns elementos químicos na fracção dissolvida das águas intersticiais dos sedimentos recolhidas nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013, nas áreas A0 e A1.	69

Tabela 4.14: Valores mínimos, máximos, de média e mediana dos teores de alguns elementos químicos na fracção dissolvida das águas intersticiais dos sedimentos recolhidas nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013, nas áreas A3 e BG.	70
Tabela 4.15: Valores mínimos, máximos, de média e mediana dos teores de alguns elementos químicos na fracção dissolvida das águas intersticiais dos sedimentos recolhidas na campanha de Março de 2014.	70
Tabela 4.16: Valores mínimos, máximos, de média e mediana dos teores de alguns elementos químicos na fracção dissolvida das águas intersticiais de aluviões recolhidas nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013, nas áreas A1 e A2.	72
Tabela 4.17: Valores mínimos, máximos, de média e mediana dos teores de alguns elementos químicos na fracção dissolvida das águas intersticiais de aluviões recolhidas nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013, nas áreas A3 e A5.	72
Tabela 4.18: Valores mínimos, máximos, de média e mediana dos teores de alguns elementos químicos na fracção dissolvida das águas intersticiais de aluviões recolhidas na campanha de Março de 2014.	73
Tabela 4.19: Teores de metais e metalóides nos material particulado das águas recolhidas na campanha de Março.	74
Tabela 4.20: Teores mínimos, máximos, de média e mediana de metais (cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metalóides (arsénio) resultantes da digestão parcial dos sedimentos nas campanhas de Setembro e Novembro nas áreas A0 e A1.	75
Tabela 4.21: Teores mínimos, máximos, de média e mediana de metais (cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metalóides (arsénio) resultantes da digestão parcial dos sedimentos nas campanhas de Setembro e Novembro nas áreas A3 e A5	75
Tabela 4.22: Teores mínimos, máximos, de média e mediana de metais (cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metalóides (arsénio) resultantes da digestão parcial dos sedimentos nas campanhas de Setembro e Novembro na área BG.	76
Tabela 4.23: Teores mínimos, máximos, de média e mediana de metais (cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metalóides (arsénio) resultantes da digestão parcial dos sedimentos na campanha de Março nas áreas A1 e A3.	76
Tabela 4.24: Teores mínimos, máximos, de média e mediana de metais (cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metalóides (arsénio) resultantes da digestão parcial das aluviões nas campanhas de Setembro e Novembro nas áreas A0 e A1.	77
Tabela 4.25: Teores mínimos, máximos, de média e mediana de metais (cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metalóides (arsénio) resultantes da digestão parcial das aluviões nas campanhas de Setembro e Novembro nas áreas A2 e A3.	78

Tabela 4.26: Teores mínimos, máximos, de média e mediana de metais (cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metalóides (arsénio) resultantes da digestão parcial das aluviões nas campanhas de Setembro e Novembro na área A5.	78
Tabela 4.27: Teores mínimos, máximos, de média e mediana de metais (cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metalóides (arsénio) resultantes da digestão parcial das aluviões na campanha de Março nas áreas A1 e A2.	79
Tabela 4.28: Teores mínimos, máximos, de média e mediana de metais (cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metalóides (arsénio) resultantes da digestão parcial das aluviões na campanha de Março na área A3.	79
Tabela 4.29: Valores mínimos, máximos, de média e mediana da percentagem extraída para cada elemento metálico (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn) nas diferentes fases da extracção sequencial, para os sedimentos.	81
Tabela 4.30: Valores mínimos, máximos, de média e mediana da percentagem extraída para cada elemento metálico (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn) nas diferentes fases da extracção sequencial.	82
Tabela 4.31: Valores mínimos, máximos, de média e mediana obtidos por análise elementar dos sedimentos recolhidos nas campanhas de Setembro e Novembro.	85
Tabela 4.32: Valores mínimos, máximos, de média e mediana obtidos por análise elementar de aluviões recolhidos nas campanhas de Setembro e Novembro.	86
Tabela 4.33: Valores mínimos, máximos, de média e mediana de fósforo total nos sedimentos recolhidos nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013.	88
Tabela 4.34: Valores mínimos, máximos, de média e mediana de fósforo total nos sedimentos recolhidos na campanha de Março de 2014.	88
Tabela 4.35: Valores mínimos, máximos, de média e mediana de fósforo total em aluviões recolhidas nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013.	89
Tabela 4.36: Valores mínimos, máximos, de média e mediana de fósforo total em aluviões recolhidas nas campanhas de Março de 2014.	89
Tabela 4.37: Valores mínimos, máximos, de média e mediana de alguns elementos metálicos (Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn), metalóides (As), alcalinos e alcalino-terrosos (K, Ca e Mg) da lixiviação após uma hora de agitação das amostras das áreas A0, A1 e BG	91
Tabela 4.38: Valores mínimos, máximos, de média e mediana de alguns elementos metálicos (Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn), metalóides (As), alcalinos e alcalino-terrosos (K, Ca e Mg) da lixiviação após vinte e quatro horas de agitação das amostras das áreas A0, A1 e BG	92

Tabela 4.39: Valores mínimos, máximos, de média e mediana de alguns elementos metálicos (Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn), metalóides (As), alcalinos e alcalino-terrosos (K, Ca e Mg) da lixiviação após uma hora de agitação das amostras das áreas A0 e A1.	93
Tabela 4.40: Valores mínimos, máximos, de média e mediana de alguns elementos metálicos (Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn), metalóides (As), alcalinos e alcalino-terrosos (K, Ca e Mg) da lixiviação após uma hora de agitação das amostras das áreas A2, A3 e A5.	94
Tabela 4.41: Valores mínimos, máximos, de média e mediana de alguns elementos metálicos (Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn), metalóides (As), alcalinos e alcalino-terrosos (K, Ca e Mg) da lixiviação após vinte e quatro horas de agitação das amostras das áreas A0 e A1.	95
Tabela 4.42: Valores mínimos, máximos, de média e mediana de alguns elementos metálicos (Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn), metalóides (As), alcalinos e alcalino-terrosos (K, Ca e Mg) da lixiviação após vinte e quatro horas de agitação das amostras das áreas A2, A3 e A5.	96
Tabela 4.43: Valores mínimos, máximos, de média e mediana relativos à fracção dissolvida nas amostras em que se realizou o ensaio piloto. A vermelho encontram-se marcados os valores que excedem o Limite Máximo Admitido para Águas Superficiais de Classe 2 (CONAMA, 2012).	97
Tabela 4.44: Valores mínimos, máximos, de média e mediana relativos à fracção particulada nas amostras em que se realizou o ensaio piloto.	98
Tabela 4.45: Valores mínimos, máximos, de média e mediana relativos à fracção dissolvida no ensaio piloto após remeximento e após uma hora.	99
Tabela 4.46: Valores mínimos, máximos, de média e mediana relativos à fracção dissolvida duas e oito horas após remeximento.	100
Tabela 4.47: Valores mínimos, máximos, de média e mediana relativos à fracção dissolvida vinte e quatro e quarenta e oito horas após remeximento.	101
Tabela 4.48: Valores mínimos, máximos, de média e mediana relativos à fracção dissolvida noventa e seis horas e sete dias após remeximento.	102
Tabela 4.49: Valores mínimos, máximos, de média e mediana relativos à fracção particulada no ensaio piloto após remeximento e após uma hora. C.E.: condutividade eléctrica.	103
Tabela 4.50: Valores mínimos, máximos, de média e mediana relativos à fracção particulada duas e oito horas após remeximento. C.E.: condutividade eléctrica.	104
Tabela 4.51: Valores mínimos, máximos, de média e mediana relativos à fracção particulada vinte e quatro e quarenta e oito horas após remeximento. C.E.: condutividade eléctrica.	104

Tabela 4.52: Valores mínimos, máximos, de média e mediana relativos à fracção particulada vinte e noventa e seis e sete dias após remeximento. C.E.: condutividade eléctrica.	105
Tabela 4.53: Valores mínimos, máximos, de média e mediana da percentagem de areia, silte e areia dos sedimentos da área em estudo.	106
Tabela 4.54: Valores mínimos, máximos, de média e mediana da percentagem de areia, silte e areia das aluviões da área em estudo.	107
Tabela 4.55: Valores mínimos, máximos, de média e mediana da densidade aparente, densidade das partículas e porosidade dos sedimentos.	108
Tabela 4.56: Valores mínimos, máximos, de média e mediana da densidade aparente, densidade das partículas e porosidade das aluviões.	108
Tabela 5.1: Categorias de classificação do Factor de Enriquecimento.	137
Tabela 5.2: Categorias de classificação do Índice de Geoacumulação.	142
Tabela 5.3: Categorias de classificação do factor de contaminação.	146
Tabela 5.4: Factor de Contaminação para os sedimentos.	146
Tabela 5.5: Factor de Contaminação para as aluviões.	146

Índice de Figuras

	Página
Figura 1.1: Sistemas de cobertura para a remediação de materiais contaminados.	6
Figura 1.2: Processo de solidificação/estabilização de contaminantes.	7
Figura 1.3: Processo de vitrificação <i>in situ</i> .	8
Figura 1.4: Injectores de químicos para o tratamento químico <i>in situ</i> de sedimentos.	9
Figura 1.5: Processo de lavagem do sedimento.	11
Figura 1.6: Localização das minas cujo minério é processado na unidade de Três Marias da Votorantim Metais S.A..	13
Figura 1.7: Localização dos depósitos de resíduos da unidade de Três Marias da Votorantim Metais S.A..	14
Figura 1.8: Localização dos antigos aterros de resíduos, construídos anteriormente à Barragem Velha.	16
Figura 2.1: Localização da área em estudo.	21
Figura 2.2: Bacia do rio São Francisco.	22
Figura 2.3: Classes de enquadramento das águas superficiais da bacia do rio São Francisco.	24
Figura 2.4: Enquadramento da área em estudo no Cratão de São Francisco.	26
Figura 2.5: Tipologia dos aquíferos da Bacia do rio São Francisco.	27
Figura 2.6: Classes climáticas no cratão de São Francisco.	29
Figura 3.1: Áreas seleccionadas por <i>Golder Associates</i> (2007) para descontaminação na área.	33
Figura 3.2: Delimitação das áreas contaminadas (a verde) e degradadas (a vermelho) na área industrial da Votorantim Metais S.A. (<i>Golder Associates</i> , 2007b).	34
Figura 3.3: Localização das áreas onde foram recolhidas as amostras de sedimentos.	35

Figura 3.4: Localização de pontos de amostragem de sedimentos na área A0 (amostras CA0-1A).	36
Figura 3.5: Localização de pontos de amostragem de sedimentos na área A0 (amostras CA0-2 e CA0-3).	36
Figura 3.6: Localização dos pontos de amostragem de sedimentos na área A1.	37
Figura 3.7: Localização dos pontos de amostragem de sedimentos na área A3.	37
Figura 3.8: Localização dos pontos de amostragem de sedimentos na área A5.	38
Figura 3.9: Localização dos pontos de amostragem de sedimentos na área BG.	38
Figura 3.10: Localização das áreas onde foram recolhidas amostras de aluviões.	39
Figura 3.11: Localização dos pontos de amostragem de aluviões na área A0.	39
Figura 3.12: Localização dos pontos de amostragem de aluviões na área A1.	40
Figura 3.13: Localização dos pontos de amostragem de aluviões na área A2.	40
Figura 3.14: Localização dos pontos de amostragem de aluviões na área A3.	41
Figura 3.15: Localização dos pontos de amostragem de aluviões na área A5.	41
Figura 3.16: Amostragem de aluviões (à esquerda) e sedimentos (à direita) no córrego Consciência.	42
Figura 3.17: Utilização de uma draga manual do tipo <i>Shipeck</i> (com vara) na amostragem de sedimentos.	42
Figura 3.18: Utilização de um <i>corer</i> de varas <i>Kajak</i> para a amostragem de coluna de materiais sedimentares.	43
Figura 3.19: Colocação dos amostradores passivos (DGT) no córrego Consciência	44
Figura 3.20: Recolha da água intersticial das amostras através da utilização de <i>rhizom samplers</i> .	45
Figura 3.21: Digestor microondas de alta pressão do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade de Évora.	46
Figura 3.22: Espectrómetro de emissão óptica por fonte indutiva de plasma (ICP-OES) do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade de Évora.	49

Figura 3.23: Câmara de radiação ultra-violeta (UV) presente no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade de Évora.	50
Figura 3.24: Analisador elementar do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade de Évora.	51
Figura 3.25: Espectrómetro de absorção molecular UV/Visível do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade de Évora.	52
Figura 3.26: Pipeta de Andersen do Laboratório de Geociências da Universidade de Évora.	56
Figura 4.1: Acumulações sulfatadas junto ao córrego Consciência (Época Seca 2010).	71
Figura 5.1: Concentração dos principais elementos químicos na época pós-seca (AS) e pós-chuva (AC) na coluna de água em CA1-14.	113
Figura 5.2: Concentração dos principais elementos químicos na época pós-seca (AS) e pós-chuva (AC) na coluna de água em CA1-35.	114
Figura 5.3: Fracções dissolvida e particulada para as águas recolhidas na campanha de Março de 2014.	115
Figura 5.4: Concentrações nos principais elementos metálicos para as águas intersticiais das amostras CA1-14 e CA1-22.	116
Figura 5.5: Concentrações nos principais elementos metálicos para as águas intersticiais das amostras CA1-29 e CA1-35.	117
Figura 5.6: Concentrações nos principais elementos metálicos para as águas intersticiais da amostra CA3-38.	117
Figura 5.7: Comparação dos valores obtidos por digestão parcial para os sedimentos da área A0 com os níveis legais locais (CONAMA, 2012).	119
Figura 5.8: Comparação dos valores obtidos por digestão parcial para os sedimentos da área A1, na época pós-seca (AS), com os níveis legais locais (CONAMA, 2012).	120
Figura 5.9: Comparação dos valores obtidos por digestão parcial para os sedimentos da área A1, na época pós-chuva (AC), com os níveis legais locais (CONAMA, 2012).	120
Figura 5.10: Comparação dos valores obtidos por digestão parcial para os sedimentos da área A3 com os níveis legais locais (CONAMA, 2012).	121

Figura 5.11: Comparação dos valores obtidos por digestão parcial para os sedimentos das áreas A5 e BG com os níveis legais locais (CONAMA, 2012).	122
Figura 5.12: Teor em cádmio, crómio e cobre nos sedimentos recolhidos nas campanhas após seca (AS) e após chuva (AC).	123
Figura 5.13: Teor em níquel, chumbo e zinco nos sedimentos recolhidos nas campanhas após seca (AS) e após chuva (AC).	123
Figura 5.14: : Comparação dos valores obtidos por digestão parcial para as aluviões da área A0 com os níveis legais locais (CONAMA, 2012).	124
Figura 5.15: Comparação dos valores obtidos por digestão parcial para as aluviões da área A1 com os níveis legais locais (CONAMA, 2012).	124
Figura 5.16: Comparação dos valores obtidos por digestão parcial para as aluviões da área A2 com os níveis legais locais (CONAMA, 2012).	125
Figura 5.17: Comparação dos valores obtidos por digestão parcial para as aluviões da área A3 com os níveis legais locais (CONAMA, 2012).	126
Figura 5.18: Comparação dos valores obtidos por digestão parcial para as aluviões da área A5 com os níveis legais locais (CONAMA, 2012).	127
Figura 5.19 Teor em cádmio, crómio e cobre nas aluviões recolhidas nas campanhas após seca (AS) e após chuva (AC).	128
Figura 5.20 Teor em níquel, chumbo e zinco nas aluviões recolhidas nas campanhas após seca (AS) e após chuva (AC).	128
Figura 5.21: Variação em profundidade dos valores de zinco nos sedimentos da área A0 (amostra CA0-1A). Situação em época pós-seca.	129
Figura 5.22: Variação em profundidade dos valores de zinco nos sedimentos da área A0 (amostras CA0-2A e CA0-3A). Situação em época pós-seca.	130
Figura 5.23: Variação em profundidade dos valores de zinco nos sedimentos da área A1 (época seca).	130
Figura 5.24: Variação em profundidade dos valores de zinco nos sedimentos da área A1 (época das chuvas).	131

Figura 5.25: Variação em profundidade dos valores de zinco nos sedimentos da área A3.	131
Figura 5.26: Variação em profundidade dos valores de zinco nos sedimentos da área A5. Situação em época pós-seca.	132
Figura 5.27: Variação em profundidade dos valores de zinco nos sedimentos da área BG. Situação em época pós-seca.	132
Figura 5.28: Variação em profundidade dos valores de zinco nas aluviões da área A0. Situação em época pós-seca.	134
Figura 5.29: Variação em profundidade dos valores de zinco nas aluviões da área A1. Situação em época pós-seca.	134
Figura 5.30: Variação em profundidade dos valores de zinco nas aluviões da área A2. Situação em época pós-seca, à exceção da amostra CA2-10A, recolhida em situação pós-chuva.	135
Figura 5.31: Variação em profundidade dos valores de zinco nas aluviões da área A3. Amostra CA3-18 em situação pós-chuva; amostra CA3-37 em situação pós-seca.	135
Figura 5.32: Variação em profundidade dos valores de zinco nas aluviões da área A5. Situação em época pós-seca.	136
Figura 5.33: Factor de Enriquecimento para os sedimentos da área em estudo.	138
Figura 5.34: Categorias do Factor de Enriquecimento nos sedimentos da área em estudo.	138
Figura 5.35: Somatório do número de ocorrências nos sedimentos em cada categoria do Factor de Enriquecimento.	139
Figura 5.36: Factor de Enriquecimento para as aluviões da área em estudo.	140
Figura 5.37: Categorias do Factor de Enriquecimento nas aluviões na área em estudo.	140
Figura 5.38: Somatório do número de ocorrências nas aluviões em cada categoria do Factor de Enriquecimento.	141
Figura 5.39: Índice de Geoacumulação para os sedimentos da área em estudo.	142
Figura 5.40: Categorias do Índice de Geoacumulação nos sedimentos na área em estudo.	143
Figura 5.41: Somatório do número de ocorrências nos sedimentos em cada categoria do Índice de Geoacumulação.	143

Figura 5.42: Índice de Geoacumulação para as aluviões da área em estudo.	144
Figura 5.43: Categorias do Índice de Geoacumulação para as aluviões na área em estudo.	145
Figura 5.44: Somatório do número de ocorrências nas aluviões em cada categoria do Índice de Geoacumulação.	145
Figura 5.45: Comparação dos valores de pH e de IGL para os sedimentos da área em estudo.	149
Figura 5.46: Comparação dos valores de pH e IGL das aluviões da área em estudo.	150
Figura 5.47: Fracções extraídas para os sedimentos em cada uma das fases da extracção sequencial para o cádmio, cobalto e crómio.	151
Figura 5.48: Fracções extraídas para os sedimentos em cada uma das fases da extracção sequencial para o cobre, ferro e manganês.	152
Figura 5.49: Fracções extraídas para os sedimentos em cada uma das fases da extracção sequencial para o níquel, chumbo e zinco.	153
Figura 5.50: Fracções extraídas para as aluviões em cada uma das fases da extracção sequencial para o cádmio, cobalto e crómio.	155
Figura 5.51: Fracções extraídas para as aluviões em cada uma das fases da extracção sequencial para o cobre, ferro e manganês.	156
Figura 5.52: Fracções extraídas para as aluviões em cada uma das fases da extracção sequencial para o níquel, chumbo e zinco.	157
Figura 5.53: Variação da concentração de cádmio nas águas de lixiviação dos sedimentos ao fim de 1 hora, 3 horas, 18 horas, 24 horas e 48 horas de agitação. O traço a vermelho representa o Valor de Investigação legislado para as águas subterrâneas (COPAM, 2011).	159
Figura 5.54: Variação da concentração de zinco nas águas de lixiviação dos sedimentos ao fim de 1 hora, 3 horas, 18 horas, 24 horas e 48 horas de agitação. O traço a vermelho representa o Valor de Investigação legislado para as águas subterrâneas (COPAM, 2011).	160
Figura 5.55: Variação da concentração de cádmio nas águas de lixiviação das aluviões ao fim de 1 hora, 3 horas, 18 horas, 24 horas e 48 horas de agitação. O traço a vermelho representa o Valor de Investigação legislado para as águas subterrâneas (COPAM, 2011).	161

Figura 5.56: Variação da concentração de zinco nas águas de lixiviação das aluviões ao fim de 1 hora, 3 horas, 18 horas, 24 horas e 48 horas de agitação. O traço a vermelho representa o Valor de Investigação legislado para as águas subterrâneas (COPAM, 2011).	162
Figura 5.57: Comparação dos valores da lixiviação dos sedimentos por agitação das amostras durante 18 horas, com os teores extraídos na primeira fase da extracção sequencial.	164
Figura 5.58: Comparação dos valores da lixiviação das aluviões por agitação das amostras durante 18 horas, com os teores extraídos na primeira fase da extracção sequencial.	165
Figura 5.59: Percentagem de carbono total obtida nos sedimentos por análise elementar.	167
Figura 5.60: Percentagem de carbono total obtida nas aluviões por análise elementar.	167
Figura 5.61: Percentagem de azoto total nos sedimentos, obtida por análise elementar.	169
Figura 5.62: Percentagem de azoto total nas aluviões, obtida por análise elementar.	169
Figura 5.63: Percentagem de enxofre nos sedimentos, obtida por análise elementar.	170
Figura 5.64: Percentagem de enxofre nas aluviões obtida por análise elementar.	171
Figura 5.65: Concentração de fósforo total nos sedimentos da área em estudo.	172
Figura 5.66: Concentração de fósforo total nas aluviões da área em estudo.	173
Figura 5.67: Classificação segundo o diagrama de Shepard para os sedimentos da área em estudo.	174
Figura 5.68: Classificação segundo o diagrama de Shepard para as aluviões da área em estudo.	175
Figura 5.69: Relação entre a porosidade e a percentagem de argila nos sedimentos das áreas A0, A3, A5 e BG.	176
Figura 5.70: Relação entre a porosidade e a percentagem de argila nos sedimentos da área A1.	177
Figura 5.71: Relação entre a porosidade e a percentagem de argila nas aluviões da área A1.	178
Figura 5.72: Relação entre a porosidade e a percentagem de argila nas aluviões das áreas A0, A2, A3 e A5.	179

- Figura 5.73: Comparação da fracção dissolvida nos ensaios de fundo e superfície com o valor máximo permitido para águas superficiais de Classe 2 (CONAMA, 2012). Estes valores correspondem ao período imediatamente após agitação dos materiais sedimentares com água. 181
- Figura 5.74: Comparação da fracção dissolvida nos ensaios de fundo e superfície com o valor máximo permitido para águas superficiais de Classe 2 (CONAMA, 2012). Estes valores correspondem ao período imediatamente após agitação dos materiais sedimentares com água. 181
- Figura 5.75: Comparação para a fracção particulada dos teores obtidos nos ensaios de fundo e superfície. Estes valores correspondem ao período imediatamente após agitação dos materiais sedimentares com água. 182
- Figura 5.76: Comparação para a fracção particulada dos teores obtidos nos ensaios de fundo e superfície. Estes valores correspondem ao período imediatamente após agitação dos materiais sedimentares com água. 182
- Figura 5.77: Fracções dissolvida e particulada para o cádmio, cobalto e cobre nos ensaios de fundo e superfície. Estes valores correspondem ao período imediatamente após agitação dos materiais sedimentares com água. 183
- Figura 5.78: Fracções dissolvida e particulada para o ferro, manganês, e zinco nos ensaios de fundo e superfície. Estes valores correspondem ao período imediatamente após agitação dos materiais sedimentares com água. 185
- Figura 5.79: Comparação dos teores da fracção dissolvida do ensaio de turbidez com o valor máximo permitido para águas superficiais de Classe 2 (CONAMA, 2012). 187
- Figura 5.80: Comparação dos teores da fracção dissolvida do ensaio de turbidez com o valor máximo permitido para águas superficiais de Classe 2 (CONAMA, 2012). 188
- Figura 5.81: Comparação dos valores da fracção dissolvida obtidos no ensaio de turbidez (após remeximento e após 7 dias) com os valores obtidos nas amostras de água no córrego e com o valor máximo permitido para águas superficiais de Classe 2 (CONAMA, 2012). 189
- Figura 5.82: Comparação dos valores da fracção dissolvida obtidos no ensaio de turbidez (após remeximento e após 7 dias) com os valores obtidos nas amostras de água no córrego e com o valor máximo permitido para águas superficiais de Classe 2 (CONAMA, 2012). 189

Figura 5.83: Variação dos teores de arsénio, cádmio, cobalto, crómio, cobre e ferro na fracção particulada do ensaio de turbidez ao longo do tempo.	190
Figura 5.84: Variação dos teores de manganês, níquel, chumbo e zinco na fracção particulada do ensaio de turbidez ao longo do tempo.	191
Figura 5.85: Comparação dos valores na fracção particulada obtidos no ensaio de turbidez (após remeximento e após 7 dias) com os valores obtidos nas amostras de água no córrego.	192
Figura 5.86: Comparação dos valores na fracção particulada obtidos no ensaio de turbidez (após remeximento e após 7 dias) com os valores obtidos nas amostras de água no córrego.	192
Figura 5.87: Fracções dissolvida e particulada para o cádmio, cobalto e cobre no ensaio de turbidez.	193
Figura 5.88: Fracções dissolvida e particulada para o ferro, manganês e zinco no ensaio de turbidez.	194
Figura 6.1: Principais técnicas de remediação de sedimentos. Adaptado de Reis <i>et al.</i> (2007)	200
Figura 6.2: Cobertura de sedimentos como técnica de remediação.	201
Figura 6.3: Processo de solidificação/estabilização de contaminantes.	202
Figura 6.4: Injetor de químicos para o tratamento químico <i>in situ</i> de sedimentos.	202
Figura 6.5: Quelação de um ião metálico por EDTA.	205
Figura 6.6: Processo de lavagem.	206
Figura 6.7: Utilização da vitrificação como técnica de remediação.	207

Avaliação geoquímica do impacto da dragagem de sedimentos de uma linha de água com elevadas concentrações de metais pesados, em clima tropical seco

Resumo

A Votorantim Metais S.A., é uma das maiores produtoras mundiais de ligas metálicas. A unidade de Três Marias, no estado Brasileiro de Minas Gerais, produz ligas de zinco e encontra-se em funcionamento desde o final dos anos 60. Durante estes anos, os resíduos foram acumulados na área envolvente, o que levou à contaminação por metalóides e metais pesados (arsénio, cádmio, crómio, cobre, manganês, níquel, chumbo e zinco), muito acima dos níveis críticos, nos sedimentos das linhas de água, nos solos da área de drenagem e na coluna de água.

Este trabalho pretende discutir quer os níveis quer a extensão contaminada no córrego Consciência, um afluente do rio São Francisco, por análise geoquímica dos seus sedimentos, aluviões e coluna de água. Serão ainda discutidas estratégias de recuperação ambiental, especialmente a dragagem, e o seu impacte ambiental.

Geochemical evaluation of the dredging impact of river sediments rich in heavy metals, under a tropical climate

Abstract

Votorantim Metais S.A., is one of the world's largest metal alloy producers. The Três Marias Unit, in Minas Gerais State, Brazil produces zinc alloys and it has been operating since the 60s. During this time, the tailings from this activity have been accumulated in the surrounding area, leading to heavy metal contamination (arsenic, cadmium, chromium, copper, manganese, nickel, lead and zinc), much above the critical levels, which accumulate in the sediments of the nearby waterways, in the soils of the drainage area, and in the water column.

This work aims to discuss both the contamination level and its extent in the Consciência river, a small tributary of the São Francisco river, the longest river entirely Brazilian, by analyzing the geochemistry of the accumulated sediments, alluviums and water column. It will be also discussed the reclamation strategies, focusing on sediments dredging, and its impact on the environment.

1. Introdução



Introdução

São cada vez mais comuns casos de contaminação de sedimentos fluviais, marinhos e estuarinos, especialmente em metais pesados, mas também em fósforo e outros poluentes. Este não é, no entanto, um problema novo. Muitos processos naturais promovem a libertação de elementos contaminantes para as águas, para os sedimentos e para os solos, como a meteorização química de rochas ricas em metais pesados. Porém, quanto a estes processos, pouco podemos fazer. São as actividades humanas que levam a um excesso destes elementos, encontrando-se estas actividades associadas essencialmente com a mineração, a eliminação de efluentes domésticos (águas municipais e esgotos) e à presença de unidades industriais (Evanko & Dzombak, 1997; Kabata-Pendias, 2001; Li *et al.*, 2009). O problema dos sedimentos contaminados é ainda intensificado pelo fecho de lagoas, pelo aumento da extensão de áreas portuárias e da profundidade dos seus canais de navegação, assim como pela canalização e/ou represamento dos rios (Salomons & Förstner, 1980). Estas actividades humanas promovem a acumulação de sedimentos contaminados, o que leva ao aumento dos custos para a sua recuperação e à necessidade de criar áreas para a sua eliminação, em terra ou em ambiente aquático (Salomons & Förstner, 1980).

Os metais pesados, como dos mais importantes contaminantes nos sedimentos a nível mundial, podem ser encontrados sob variadas formas químicas, ou ligados de diferentes formas. Em sedimentos não poluídos, os metais pesados encontram-se ligados a silicatos e minerais primários, formando espécies minerais relativamente imóveis, enquanto em zonas contaminadas os sedimentos se encontram associados a outras fases minerais, mais móveis (Evanko & Dzombak, 1997; Rauret, 1998). Assim, a mobilidade de um determinado elemento químico é um dos factores mais importantes para a avaliação do seu impacte ambiental, permitindo determinar a sua toxicidade e biodisponibilidade (Rauret, 1998; Sahuquillo *et al.*, 2003). Esta, depende de (Sahuquillo *et al.*, 2003):

- Do tipo de sedimento e as suas características intrínsecas, como são exemplos os seus parâmetros físico-químicos (pH, Eh), a percentagem de carbonatos, a sua capacidade de troca catiónica, o teor em matéria orgânica ou a sua textura;
- Da natureza da contaminação, no que diz respeito à origem e características de deposição: se a emissão é local ou difusa, ou momentânea ou contínua, ou se os contaminantes se encontram sob fracções solúveis ou particuladas;

- Das condições ambientais que podem levar à meteorização, como a alteração do pH ou do potencial de oxidação-redução (Eh), da temperatura ou regime pluviométrico local.

É assim notório que, para compreender a perigosidade de um determinado elemento químico, é necessário não a determinação da sua concentração total, mas de fracções parciais, ligadas a fases mais móveis. Uma aproximação simples a esta fracção é a digestão por *aqua regia*, uma solução ácida de ácido clorídrico e ácido nítrico, optimamente na proporção de 3:1. Esta metodologia deixa uma fracção residual, rica em minerais silicatados, que são considerados estáveis e, portanto, não são importantes para a determinação da fracção móvel (Chen & Ma, 2001). No entanto, esta extracção fornece-nos dados pouco específicos, especialmente em zonas onde se pretendem estudar os riscos da contaminação e da recuperação dos sedimentos. Segundo Salomons & Förstner (1980), para compreender e avaliar o risco da recuperação ambiental, mais especificamente para a dragagem de sedimentos contaminados é necessário:

- Compreender se os metais pesados, ou outros contaminantes, contidos nos sedimentos são ou não remobilizáveis;
- Determinar a biodisponibilidade destes elementos para a vida aquática;
- Identificar o comportamento dos contaminantes em material dragado, se forem adoptadas técnicas de remoção dos contaminantes, durante e após a eliminação em áreas específicas;
- Determinar a disponibilidade destes elementos para a absorção pelas plantas, em aterros.

Deste modo, e para a determinação destes parâmetros, as extracções sequenciais fornecem informações mais detalhadas (Rauret, 1998). As extracções sequenciais consistem na solubilização de fracções cada vez mais estáveis, por alteração dos parâmetros físico-químicos (pH e Eh). Identificam-se na bibliografia inúmeros procedimentos de métodos de extracção sequencial (Salomons & Förstner, 1980; Rauret, 1998; Sahuquillo *et al.*, 2003; Fernández *et al.*, 2004; Pueyo *et al.*, 2004; Adamo *et al.*, 2006; Li *et al.*, 2009; Cheng-xiu & Jie-min, 2011), que em muitos casos são utilizações directas ou apenas baseadas em dois métodos principais: o método BCR de três fases, proposto pela Comunidade Europeia (*European Community Bureau of Reference*) (Rauret *et al.*, 1999; Fernández *et al.*, 2004; Cappuyns *et al.*, 2007) ou pelo método de quatro fases proposto por Tessier *et al.* (1979). Ambas as metodologias consistem no fraccionamento selectivo de material geológico (sedimento ou solo), correspondentes a diferentes fases minerais. Portanto, as diferentes versões e adaptações destes métodos prendem-se primeiramente, com os objectivos principais do trabalho, mas também com as características dos materiais geológicos (o seu tipo ou a sua mineralogia predominante), o que se relaciona directamente com a história geológica local e com o clima da área em estudo (Rauret, 1999; Cappuyns *et al.*, 2007).

Assim, e tendo como fundo um ambiente físico cada vez mais contaminado, torna-se urgente a necessidade de intervenção nestas áreas e de serem criadas soluções para que se possam remediar estes locais. Deste modo, a remediação e recuperação ambiental de sedimentos (à semelhança dos solos e dos corpos hídricos, superficiais e subterrâneos) são áreas emergentes do conhecimento científico, multidisciplinares, e cujo sucesso e eficácia, tornará o amanhã num futuro menos perigoso para o Homem e para o ambiente.

Os principais métodos de remediação de sedimentos contaminados podem dividir-se em quatro abordagens distintas (Evanko & Dzombak, 1997; Reis *et al.*, 2007):

1. No isolamento dos materiais contaminados, através da colocação de coberturas superficiais ou barreiras laterais de forma a impedir o alastramento da contaminação;
2. Na imobilização da contaminação, por solidificação ou fusão do material adjacente, o que leva a uma estabilização dos contaminantes e um aumento da sua resistência à lixiviação;
3. Na redução da toxicidade ou redução da mobilidade dos contaminantes, através da utilização de tratamentos biológicos ou químicos;
4. Na extracção, por fraccionamento físico, químico ou térmico dos contaminantes.

No entanto, e previamente a qualquer tipo de tratamento ou remediação ambiental, é necessário identificar as principais fontes, e minimizar os seus efeitos, para que se previnam problemas futuros de contaminação na área (U.S.EPA, 1990). Para além da identificação e controlo das fontes, e para que se possam compreender quais as melhores técnicas de remediação da área em estudo, são realizados um conjunto de estudos que permitam a caracterização física, química e biológica dos sedimentos e que avaliem o grau de perigosidade ambiental dos contaminantes (U.S.EPA, 1990; OSPAR Commission, 2008; CONAMA, 2012), entre as quais se destacam:

- i. Caracterização física do sedimento:
 - a. Determinação do peso específico (densidade) dos sedimentos;
 - b. Granulometria e textura dos sedimentos;
- ii. Caracterização química do sedimento:
 - a. Caracterização geoquímica do sedimento;
 - b. Comparação dos níveis legais dos principais contaminantes (orgânicos, inorgânicos e principais nutrientes) com os presentes nos sedimentos;
 - c. Identificação de principais fontes de contaminação.
- iii. Caracterização biológica:
 - a. Determinação de toxicidade aguda e crónica,
 - b. Determinação de potenciais de bioacumulação e de contaminação nas populações faunísticas.

Apenas com estes dados será possível determinar a técnica, ou as técnicas de remediação que sejam a mais adequadas à área, que produzam a mínima perturbação ao sistema e minimizem os problemas ambientais locais. Entre as técnicas de remediação destacam-se (Evanko & Dzombak, 1997; Reis *et al.*, 2007):

– Técnicas de isolamento:

• Cobertura

Os sistemas de cobertura são utilizados de forma a impermeabilizar a superfície de contacto de solos e sedimentos com a água superficial ou a coluna de água, respectivamente, o que previne a libertação de contaminantes para as águas superficiais. Os sistemas de cobertura permitem a escolha de coberturas simples ou multi-camadas, cuja aplicação depende das características específicas da área em estudo, dos objectivos da remediação e dos próprios materiais escolhidos na cobertura (Figura 1.1).

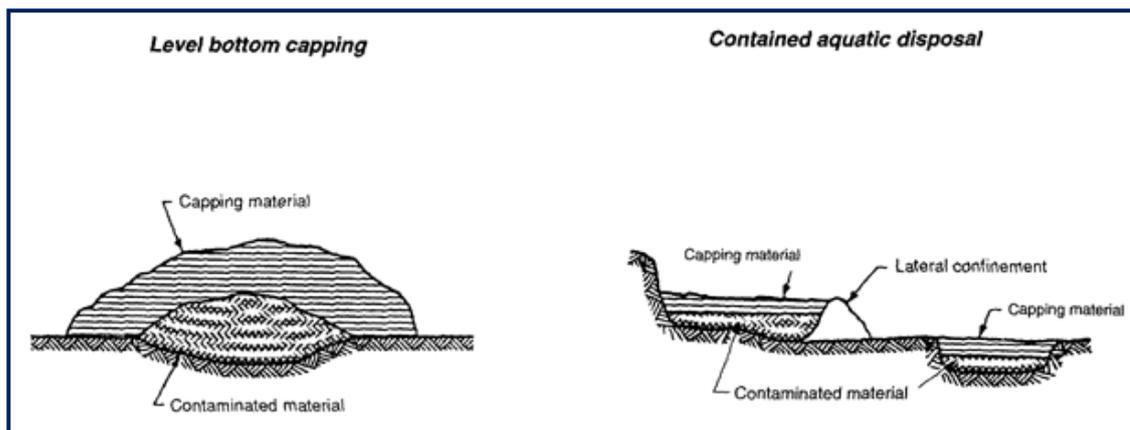


Figura 1.1: Sistemas de cobertura para a remediação de materiais contaminados.

Adaptado de: <http://www.epa.gov/greatlakes/arcs/EPA-905-B94-003/EPA-905-B94-003.html> (consultado a 08.10.2014).

– Técnicas de imobilização:

• Solidificação/Estabilização

A tecnologia solidificação/estabilização de imobilização são muitas vezes utilizadas como opções de tratamento em áreas contaminadas por metais. A solidificação envolve a formação de uma matriz sólida que liga fisicamente o material contaminado. Por seu lado, a estabilização, também denominada por fixação, envolve a utilização de uma reacção química de modo a converter o contaminante numa forma menos móvel. De uma forma geral, os

tratamentos por solidificação ou estabilização envolvem a mistura ou injeção de agentes de tratamento nos sedimentos contaminados, conforme ilustra a Figura 1.2. São utilizados assim agentes agregantes como cimento, cinzas volantes, resíduos de combustão ou betume de forma a criar uma rede cristalina, vítrea ou polimérica por associação aos sólidos contaminados.

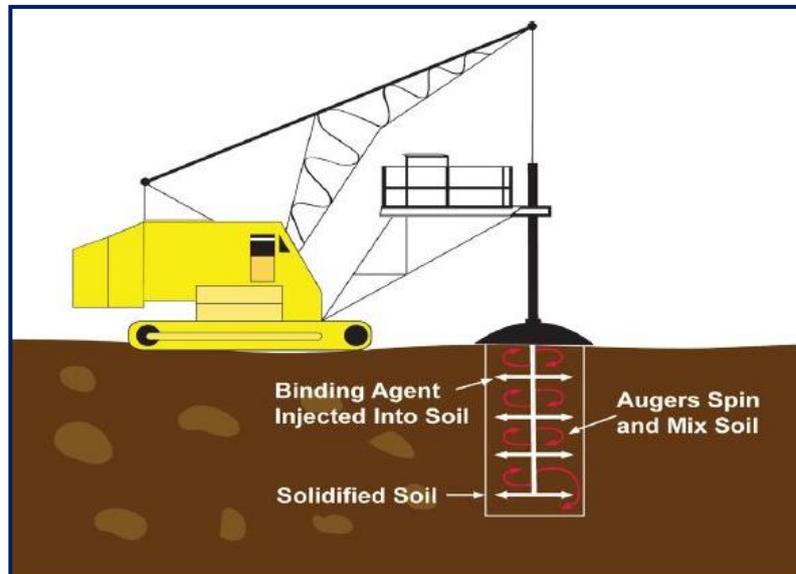


Figura 1.2: Processo de solidificação/estabilização de contaminantes.

Adaptado de: <http://www.geoengineer.org/education/web-based-class-projects/geoenvironmental-remediation-technologies/stabilization-solidification?start=1> (consultado a 06.10.2014)

• Vitrificação

A mobilidade dos contaminantes (no caso específico de contaminantes metálicos) pode ainda ser diminuída por tratamento a altas temperaturas, o que resulta na formação de um material vítreo, normalmente um óxido. Durante este processo, o aumento da temperatura pode volatilizar e/ou destruir contaminantes orgânicos ou espécies metálicas voláteis, como o mercúrio, que deverão ser recolhidas para tratamento ou eliminação. A maioria dos sedimentos emersos pode ser tratada por vitrificação, *in situ* ou *ex situ*, sendo os processos *in situ* preferíveis devido aos menores custos associados.

O processo *in situ* envolve a passagem de uma corrente eléctrica através do sedimento, por utilização de um conjunto de eléctrodos inseridos verticalmente no local contaminado (Figura 1.3). Por sua vez, o método *ex situ* envolve a remoção do material, o seu pré-tratamento, e mistura, sendo apenas após estas fases que está pronto para a fusão e vitrificação. A energia necessária para a fusão é um dos factores principais que influenciam o seu elevado custo, podendo o material após vitrificação ser reutilizado como cobertura ou agregados em obras de geotecnia.

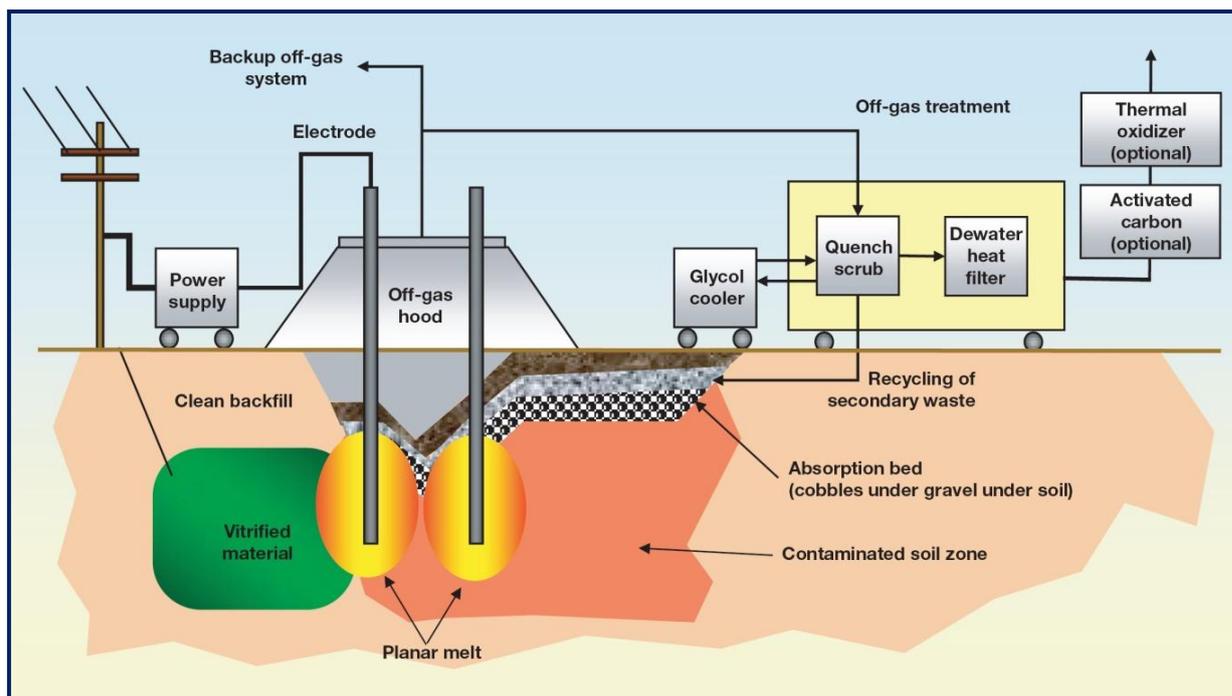


Figura 1.3: Processo de vitrificação *in situ*.

Adaptado de: <http://www.eurssem.eu/pages/4-5-3-in-situ-vitrification-ct> (consultado a 08.10.2014).

- Técnicas de Redução da Toxicidade e/ou Mobilidade:
 - Tratamentos Químicos

Tratamentos químicos podem ser utilizados para diminuir a toxicidade ou mobilidade de contaminantes metálicos. Assim, podem ser utilizadas reacções de oxidação, redução ou neutralização. A oxidação química altera o estado de oxidação dos iões metálicos, por perda de electrões. Entre os mais comuns agentes oxidantes incluem-se o permanganato de potássio, o peróxido de hidrogénio, hipoclorito e cloro. Por outro lado, reacções de redução alteram o estado de oxidação dos metais por adição de electrões. Reagentes redutores comuns incluem metais alcalinos (sódio, potássio), dióxido de enxofre, sulfitos ou sulfato de ferro. A alteração do estado de oxidação dos metais por oxidação ou redução pode precipitar ou solubilizar os metais presentes no material contaminado. Por fim, a neutralização química é utilizada para ajustar o pH de sedimentos extremamente ácidos ou básicos. Este procedimento pode ser usado para precipitar metais insolúveis das águas contaminadas, ou como preparação para técnicas de oxidação ou redução química.

O tratamento químico pode ser realizado *in situ* ou *ex situ*. No entanto, os reagentes utilizados no tratamento *in situ* devem ser seleccionados muito cautelosamente, para que não se solubilizem outras fracções minerais e haja maiores problemas de contaminação na área (Figura 1.4).

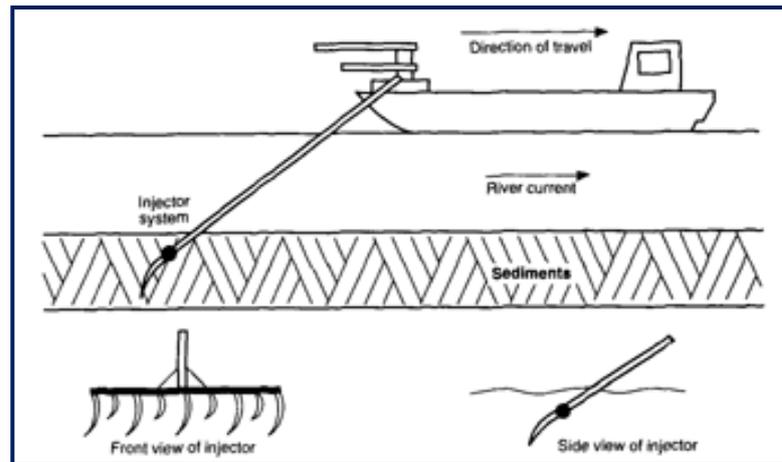


Figura 1.4: Injetor de químicos para o tratamento químico *in situ* de sedimentos.

Adaptado de: <http://epa.gov/greatlakes/arcs/EPA-905-B94-003/B94-003.ch3.html> (consultado a 06.10.2014).

- Tratamentos Biológicos

As tecnologias biológicas de tratamento só poderão ser utilizadas em sedimentos emersos, dispostos nas margens dos corpos de água ou imersos com uma baixa coluna de água. São comumente aplicados na remediação de contaminantes orgânicos, no entanto, podem ainda ser aplicadas na remediação de áreas contaminadas com elementos metálicos, devido à capacidade de algumas plantas e microrganismos de adsorver elementos metálicos ou alterar o potencial de oxidação/redução (Eh) do ambiente em que vivem. As técnicas de tratamento biológico podem ser realizadas por:

Bioacumulação – que envolve a captação dos contaminantes por organismos. Alguns microrganismos e plantas possuem a capacidade de acumular elementos metálicos como resultado dos seus processos metabólicos normais.

Fitorremediação – a fitorremediação refere-se à capacidade específica de algumas plantas auxiliarem a remediação de metais. A maioria da captação de elementos metálicos ocorre no sistema radicular das plantas, normalmente por absorção. Algumas tecnologias de fitorremediação potencialmente úteis na remediação de áreas contaminadas por metais pesados incluem a fitoextração, a fitoestabilização e a rizofiltração.

A fitoextração utiliza espécies vegetais acumuladoras para remover metais do sedimento por absorção pelo sistema radicular e acumulação na parte aérea. Deste modo, estas plantas podem ser recolhidas e dispostas em aterros devidamente impermeabilizados, ou tratadas para a recuperação dos metais.

A fitoestabilização envolve a utilização de plantas para limitar a mobilidade e biodisponibilidade dos elementos metálicos nos sedimentos. Espécies fitoestabilizadoras caracterizam-se por elevada tolerância a metais mas baixa acumulação na planta.

A rizofiltragem remove elementos metálicos da água por absorção, concentração e precipitação no sistema radicular. Esta técnica é mais eficiente em zonas de baixos níveis de contaminação e elevados volumes de água.

Biolixiviação – consiste na lixiviação induzida por microrganismos, que utiliza a acção directa de bactérias ou a sua interacção com produtos metabólicos para a solubilização de contaminantes metálicos. Este processo pode ser utilizado *in situ* ou *ex situ* no auxílio da remoção de elementos metálicos de sedimentos.

Processos Bioquímicos – consistem em reacções de oxidação e redução mediadas por microrganismos, que podem ser manipuladas para a remediação de contaminações metálicas. Alguns microrganismos são capazes de oxidar ou reduzir contaminantes metálicos directamente. Por outro lado, a metilação envolve a junção de grupos metilo a formas inorgânicas de iões metálicos, formando compostos organometálicos. Este processo pode ser mediado por acção de microrganismos, no entanto, são necessários tratamentos posteriores para que não ocorram contaminações secundárias, visto que estes compostos são mais voláteis e móveis.

– Técnicas de Separação Física:

A separação física é um processo *ex situ* que tem como objectivo a separação do material contaminado da restante matriz do sedimento através da exploração de determinadas características físicas do material. As técnicas de separação físicas baseiam-se na granulometria, na densidade das partículas e nas propriedades magnéticas do material contaminado.

A separação física é muitas vezes utilizada como pré-tratamento, de forma a reduzir o volume de material onde se procederá ao tratamento. Como técnicas para a separação física incluem-se a triagem, classificação, concentração gravitacional, separação magnética e a flotação.

– Técnicas de Extração:

• Lavagem do Sedimento

A lavagem pode ser utilizada para a remoção de elementos metálicos de um sedimento por tratamento químico ou físico em suspensão aquosa (Figura 1.5). O tratamento químico envolve a adição de agentes extractantes que reagem com os contaminantes e lixiviam-nos do sedimento. A fase líquida é separada, o que resulta numa fase sólida não contaminada. O tratamento físico consiste na separação da fracção fina de partículas, pois é normalmente na fracção $<63 \mu\text{m}$ que se encontram a maioria dos contaminantes. Este facto deve-se à maior área reactiva na superfície das partículas, o que leva a ligações mais facilitadas com iões livres no sedimento. No entanto, estas técnicas de separação podem não ser eficazes caso existam camadas de minerais secundários, como óxidos, nas partículas das fracções superiores.

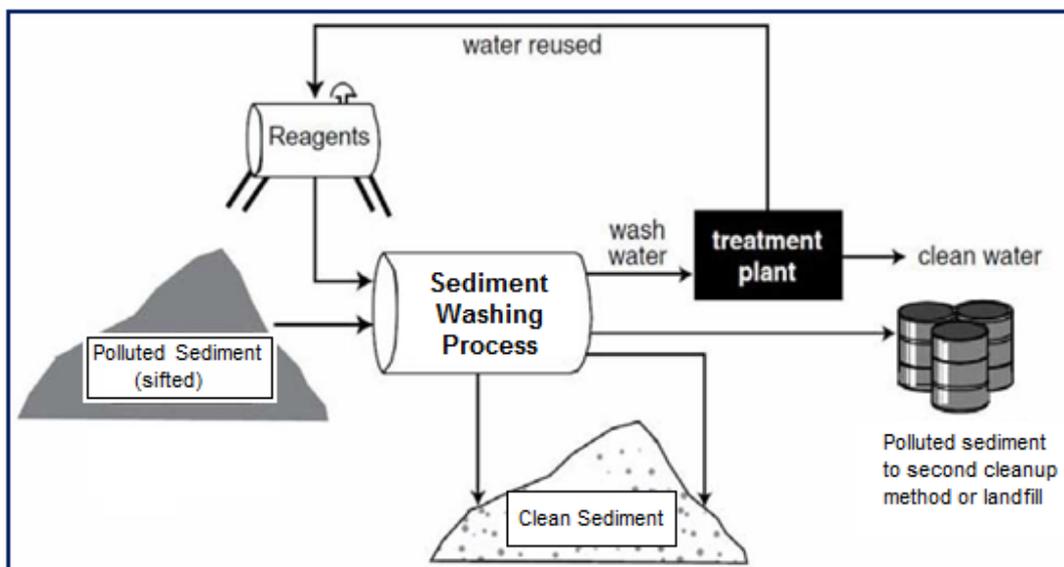


Figura 1.5: Processo de lavagem do sedimento.

Adaptado de: <http://renewcanada.net/2010/scottish-scientists-export-remediation-tech/> (consultado a 08.10.2014).

• Extração Térmica

A extração térmica utiliza elevadas temperaturas de forma a remover os metais de materiais contaminados. Os sedimentos são queimados em caldeiras a alta temperatura, de forma a remover contaminantes voláteis da fase sólida. Os resíduos da combustão, ricos em elementos metálicos, podem ser recuperados e reutilizados.

- Tratamento electrocinético

As tecnologias electrocinéticas de remediação em sedimentos emersos, aplicam uma corrente eléctrica ao material contaminado de forma a mobilizar os contaminantes na forma de espécies carregadas electricamente. A corrente eléctrica é aplicada através da inserção de eléctrodos na superfície do material e aguardar que a condutividade natural do material leve ao movimento de iões e partículas para os eléctrodos. Os contaminantes são assim concentrados na área próxima aos eléctrodos e têm de ser removidos, por precipitação, complexação ou por extracção do material.

O presente trabalho compreende a determinação do grau de contaminação de águas, sedimentos e aluviões da bacia de uma pequena linha de água, o córrego Consciência, pertencente à bacia hidrográfica do rio São Francisco, no estado brasileiro de Minas Gerais. Na área em estudo identificam-se inúmeros problemas ambientais relacionados com elevados níveis de metais pesados, cuja ocorrência se associa à presença e funcionamento da unidade industrial metalúrgica de Três Marias, pertencente à Votorantim Metais S.A.. Pretende-se ainda com este trabalho a identificação das principais técnicas de remediação ambiental passíveis de serem utilizadas na área, com especial foco na dragagem, assim como o reconhecimento dos seus principais riscos e impactos.

A Votorantim Metais S.A. é a maior empresa de mineração do Brasil e a terceira maior produtora mundial de zinco, sendo a líder a nível mundial na produção de zinco a partir de minério silicatado (Tundisi, 2005; Oliveira, 2007; de Abreu & Martins, 2009; Votorantim Metais). Em termos históricos, a unidade de Três Marias da então Companhia Mineira de Metais, foi constituída em 1956 com o objectivo de industrializar o minério silicatado proveniente da mina de Vazante (Golder Associates, 2007a; Santos, 2010). Deste modo, em 1959 iniciou-se a implantação da área industrial de Três Marias, próxima à unidade hidroeléctrica com o mesmo nome, junto à margem direita do rio São Francisco. A localização da unidade teve como princípio a proximidade a recursos básicos (água e electricidade) necessários para o seu funcionamento e obtenção de zinco metálico (Golder Associates, 2007a). Em 1969, a unidade metalúrgica iniciou o seu funcionamento e apenas um ano após o início da sua actividade, a Votorantim Metais S.A. produzia 10 mil t/ano de zinco metálico em lingotes. Em 1972, a produção aumentou para 25 mil t/ano, e em 1978, a empresa procedeu a uma terceira etapa de expansão, passando a produzir zinco electrolítico do tipo *High Grade*, com 99,9% de pureza, elevando gradualmente a produção para 70 mil t/ano, em 1990. Na década de 90, a

produção continuou a aumentar, mas apenas com a implementação de um sistema misto de transformação metalúrgica e com a possibilidade de processar, quer o minério silicatado proveniente da mina de Vazante, quer o minério sulfuretado da mina de Morro Agudo (Figura 1.6), em 2002, foi possível aumentar a produção anual para 180 mil t/ano, o que corresponde à actual produção de zinco metálico (Golder Associates, 2007a; de Abreu & Martins, 2009; Santos, 2010; Votorantim Metais).

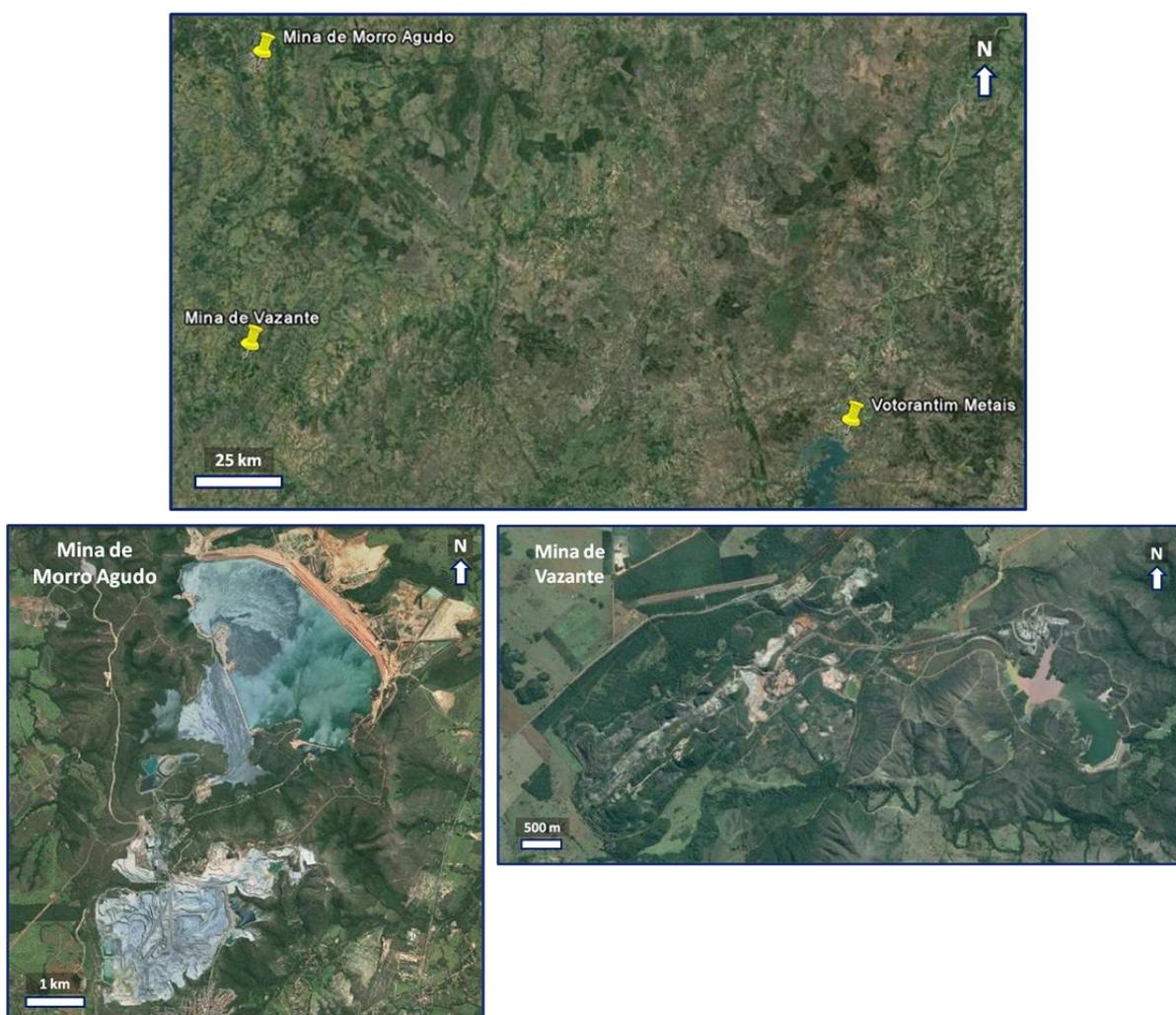


Figura 1.6: Localização das minas cujo minério é processado na unidade de Três Marias da Votorantim Metais S.A..

No entanto, e durante estes mais de quarenta anos de funcionamento, a presença e acção da Votorantim Metais S.A. desencadeou inúmeros problemas ambientais, quer nas águas, sedimentos e solos presentes na sua envolvente, quer no próprio rio São Francisco. No início da sua actividade não foram tomados quaisquer cuidados na eliminação dos resíduos, sendo estes lançados, *in natura*, para o rio São Francisco (Oliveira & Horn, 2006). Assim, e apenas quatro anos após o início da sua actividade, já se encontravam efeitos de poluição no rio São Francisco, e o Departamento Nacional

de Águas e Esgotos (DNAEE) apontava a Votorantim Metais S.A. como a principal responsável. No mesmo ano, o Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC) reconheceu a estagnação do córrego Consciência durante os períodos de chuva. Assim, quando se verificava um aumento do caudal do rio São Francisco, o córrego Consciência (um pequeno afluente do rio São Francisco localizado a jusante da unidade industrial de Três Marias) passava a funcionar como uma bacia de sedimentação (Oliveira & Horn, 2006). Em 1974, verificavam-se nas águas da foz do córrego Consciência valores de pH de 3,0, o que indicava a natureza ácida dos efluentes da Votorantim Metais S.A.. As mesmas águas apresentavam ainda teores de zinco de 560 mg/l, de cádmio de 0,17 mg/l e de cobre de 7,2 mg/l. Estudos complementares mostraram, em 1976, que o próprio córrego Consciência terá passado a constituir um local de descarga dos efluentes provenientes da unidade de Três Marias da Votorantim Metais S.A. (Oliveira & Horn, 2006). Dois anos depois, é o Conselho de Política Ambiental (COPAM) que afirma que os resíduos depositados nos solos da envolvente não poluem apenas os solos, mas também o rio São Francisco, devido à elevada erosão provocada pelas chuvas, a que se associam episódios de elevada mortalidade de peixes (Oliveira & Horn, 2006; Conflitos Ambientais Minas Gerais).

Assim, apenas em 1983 teve início o funcionamento do primeiro depósito de resíduos, a Barragem Velha, localizada nas margens do rio São Francisco (Figura 1.7), onde os resíduos eram armazenados directamente sobre o solo, condições que persistiram até 2002 (Oliveira & Horn, 2006; Oliveira, 2007; Ribeiro, 2010).



Figura 1.7: Localização dos depósitos de resíduos da unidade de Três Marias da Votorantim Metais S.A..

Para além da eliminação inadequada na Barragem Velha, durante vários anos foram depositados sobre os solos da envolvente outros tipos de resíduos, como sucatas, entulho de obras, tambores de óleo, restos de EPI (Equipamentos de Protecção Individual) e resíduos resultantes da purificação do minério ricos em zinco, cádmio, cobalto e cobre, assim como efluentes derivados do processo de tratamento (Figura 1.8). Embora muitos destes resíduos tenham sido removidos durante a década de 90, ainda restam vestígios nestes locais.

A Barragem da Lavagem, situada a cerca de 6 km da unidade de Três Marias (Figura 1.7) iniciou operação em 2002, o que fez com que a eliminação dos resíduos não fosse realizada directamente sobre coberturas superficiais, estando assim conforme com as directivas do órgão ambiental local (Oliveira, 2007). Conjuntamente ao início do funcionamento da Barragem da Lavagem, procedeu-se à construção de um Dique de Segurança a jusante da Barragem Velha, de forma a reter a drenagem pluvial e os sólidos transportados (Oliveira & Horn, 2006; Oliveira, 2007). Actualmente existe um sistema de drenagem das águas e dos sólidos, onde o material recolhido no dique é direccionado para a estação de tratamento de efluentes e, posteriormente, a água é lançada para o rio São Francisco, em condições ambientalmente reguladas (Oliveira, 2007; Ribeiro, 2010).

No entanto, também a Barragem da Lavagem se mostrou ineficaz na contenção da totalidade dos resíduos produzidos na unidade de Três Marias, quer pelo seu total preenchimento, quer pela identificação de episódios de poluição na sua envolvente, o que levou ao seu encerramento em 2011 (Batista *et al.*, 2008; Conflitos Ambientais Minas Gerais).

Durante o período de funcionamento da Barragem da Lavagem inúmeros estudos foram realizados no rio São Francisco, de forma a identificar quais os níveis de metais pesados presentes nas águas e sedimentos. Tundisi (2005) e Oliveira (2007) amostraram sedimentos e águas ao longo da bacia do Alto São Francisco tendo sido recolhidas amostras em pontos próximos à confluência dos córregos Barreiro Grande e Consciência. Estes pontos mostram elevadas concentrações de zinco nas águas e de zinco, cádmio, cobre, chumbo e crómio nos sedimentos. Estes autores relacionam as menores concentrações de metais pesados nas águas com a elevada capacidade de transporte, diluição e reoxigenação do rio São Francisco. Resultados semelhantes mostram-nos Mozeto *et al.*, (2007), Almeida (2010), Trindade (2010) e Ribeiro (2010), relacionando ainda estes valores à acção directa da Votorantim Metais S.A., e comparando os teores obtidos com as características físicas dos sedimentos.

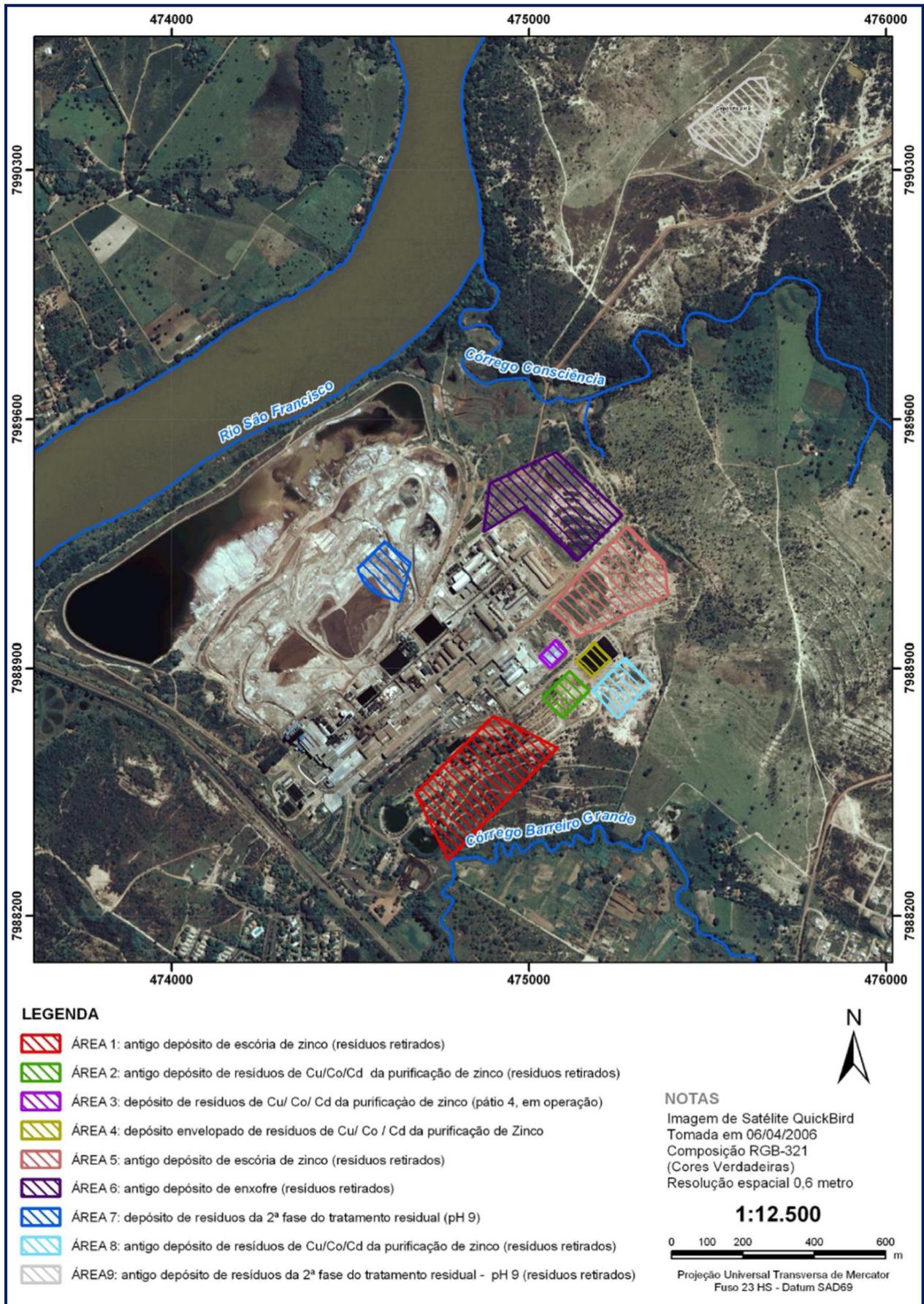


Figura 1.8: Localização dos antigos aterros de resíduos, construídos anteriormente à Barragem Velha. Adaptado de Golder Associates (2007a).

De forma a cessar a contaminação nas águas, solos e sedimentos provocadas pelas Barragens Velha e da Lavagem, foi construído o Depósito Murici em 2011 (Figura 1.7), um depósito completamente impermeabilizado e monitorizado que, para além de consistir no armazenamento dos resíduos da actual produção da Votorantim Metais S.A., terá ainda como finalidade a eliminação dos resíduos existentes nas barragens já desactivadas (Batista *et al.*, 2008). É no projecto de recuperação ambiental destas áreas que este trabalho se insere, cujo objectivo final é o de impedir o alastramento dos actuais níveis em metais pesados identificados nas bacias dos córregos Consciência e Barreiro Grande para o rio São Francisco.

Em Minas Gerais, a monitorização e avaliação da qualidade das águas superficiais são responsabilidade do Instituto de Gestão das Águas de Minas (IGAM), que utiliza características como o oxigénio dissolvido, os coliformes fecais, a Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO), o pH, a temperatura, a turbidez, a concentração em nitratos e fosfatos e os sólidos totais dissolvidos para determinar e calcular a qualidade das águas superficiais. O IGAM monitoriza ainda a contaminação por elementos tóxicos, através do índice Contaminação por Tóxicos (CT), que determina a contaminação em função das concentrações observadas em amónia, arsénio, bário, cádmio, chumbo, cianetos, cobre, crómio hexavalente, índice de fenóis, mercúrio, nitritos, nitratos e zinco, de acordo com os limites definidos na Deliberação Conjunta COPAM/CERH-MG de 5 de Maio de 2008 e na Resolução CONAMA (2012) (Ribeiro, 2010; IGAM). O IGAM dispõe assim de uma vasta rede de pontos de monitorização ao longo dos cursos dos principais rios do estado, onde são periodicamente realizadas análises dos parâmetros físico-químicos e elaborados relatórios públicos acerca da qualidade das águas (IGAM). Apresentam-se assim em Anexo os valores médios anuais para os anos de 2009, 2012 e 2013 nas Figuras A.1 a A.3.

Tendo em conta os principais objectivos deste trabalho, já referidos, este trabalho é dividido em sete capítulos principais onde:

- O primeiro corresponde à introdução teórica dos principais temas discutidos ao longo do trabalho;
- O segundo capítulo consiste no enquadramento da área em estudo, das suas principais características geográficas, geológicas e climáticas;
- O capítulo terceiro aborda as principais metodologias, realizadas no campo para a recolha das amostras e no laboratório no tratamento das amostras e na sua análise;
- No quarto capítulo apresentam-se os dados obtidos para as águas, para os sedimentos e para as aluviões;
- A discussão dos resultados é realizada no quinto capítulo, onde se separam os resultados obtidos para as águas e águas intersticiais, para os sedimentos e aluviões. Discutem-se ainda os resultados dos ensaios-piloto que serviram de base para a identificação dos principais impactos da dragagem nos sedimentos da área;
- No capítulo sexto são identificados os principais métodos e técnicas de remediação de sedimentos contaminados, apresentando-se as principais limitações e a melhor metodologia a ser aplicada na área em estudo;
- O sétimo capítulo corresponde às principais conclusões deste trabalho.

2. Enquadramento da Área em Estudo



Enquadramento da Área em Estudo

2.1. Enquadramento Geográfico

A área em estudo localiza-se a cerca de 2 km da cidade de Três Marias, no estado brasileiro de Minas Gerais, fazendo parte da bacia hidrográfica do rio São Francisco. A unidade industrial de Três Marias da Votorantim Metais S.A. é limitada a Norte pelo córrego Consciência, a Sul pelo córrego Barreiro Grande e a Oeste pelo rio São Francisco (Figura 2.1), sendo os pontos amostrados correspondentes a sedimentos e aluviões das principais linhas de água que drenam esta área.

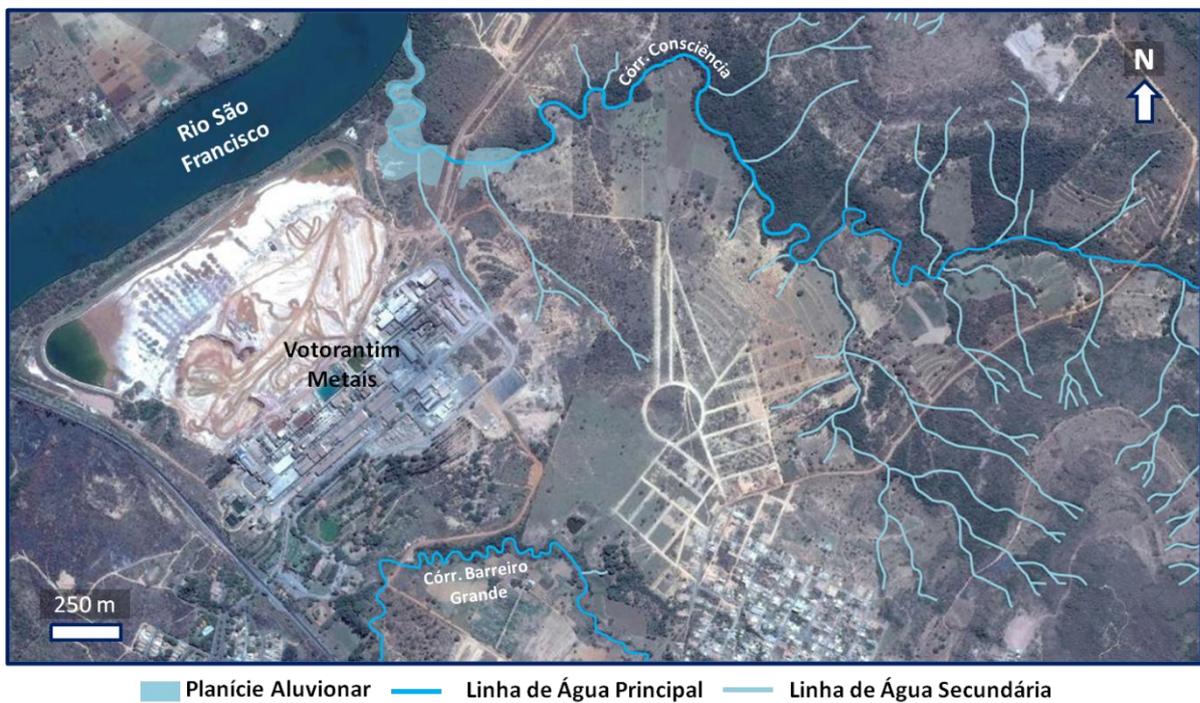


Figura 2.1: Localização da área em estudo.

O rio São Francisco é um dos mais importantes cursos de água do Brasil e da América do Sul. A sua nascente localiza-se na Serra da Canastra, no estado de Minas Gerais e desagua no Oceano Atlântico, entre os Estados de Sergipe e Alagoas, tendo uma extensão global de cerca de 2700 km e uma bacia de drenagem de aproximadamente 640 000 km² (ANA).

Devido à sua grande extensão e aos diferentes ambientes que drena, a bacia do rio São Francisco encontra-se dividida em quatro regiões (Marinho *et al.*, 2006; Mozeto *et al.*, 2007) (Figura 2.2):

- Alto São Francisco: da nascente até à cidade de Pirapora (Minas Gerais), região onde se insere a área em estudo;
- Médio São Francisco: de Pirapora até à cidade de Remanso (Bahia);
- Sub-Médio São Francisco: de Remanso até à cidade de Paulo Afonso (Bahia);
- Baixo São Francisco: de Paulo Afonso até à sua foz.

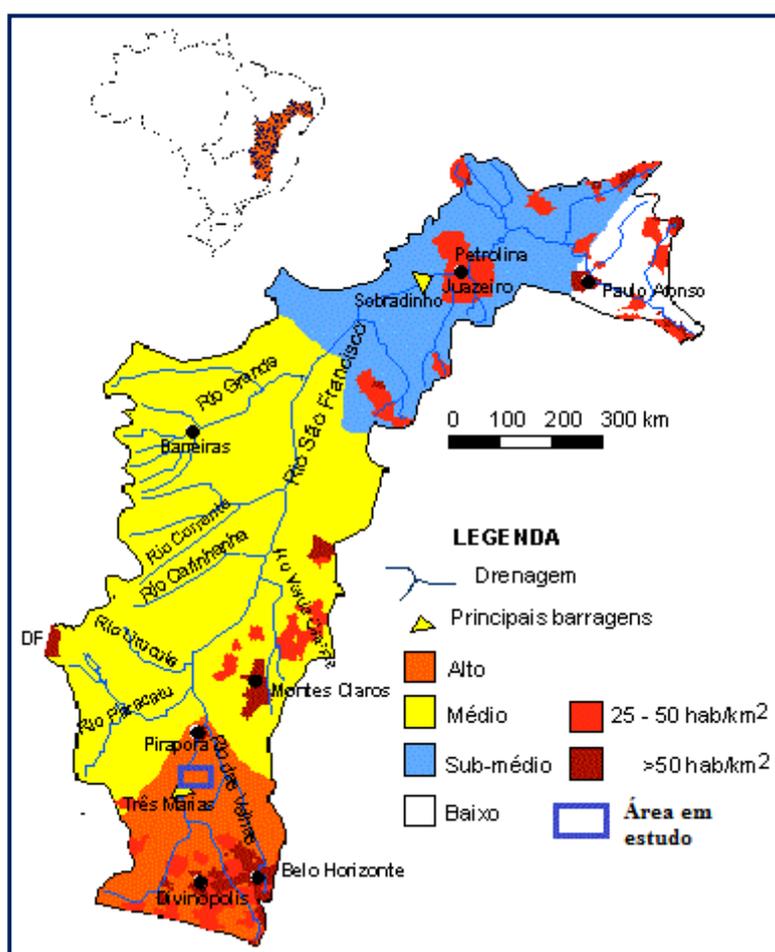


Figura 2.2: Bacia do rio São Francisco.

Adaptado de: <http://baciafrancisco.blogspot.pt/2010/06/bacia-do-rio-sao-francisco-e-terceira.html> (consultado a 27.07.2014)

De acordo com os parâmetros legais, as águas superficiais podem ser classificadas, segundo a sua utilização, em (CONAMA, 2012):

- Classe especial, se destinadas ao abastecimento para consumo humano (após desinfecção), preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas e/ou à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de protecção integral;
- Classe 1, se destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado, à protecção das comunidades aquáticas, à recreação de contacto primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam junto ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película e/ou à protecção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas;
- Classe 2, se destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional, à protecção das comunidades aquáticas, à recreação de contacto primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de desporto e lazer, com os quais o público possa vir a ter contacto directo e/ou à aquacultura ou à actividade de pesca;
- Classe 3, se destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado, à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras, à pesca amadora, à recreação de contacto secundário e/ou à dessedentação de animais;
- Classe 4, se destinadas à navegação e/ou à harmonia paisagística.

Assim, e de acordo com Marinho *et al.* (2006), as águas superficiais do rio São Francisco corresponderão à Classe 2 (Figura 2.3). No entanto, e apesar de todo o seu caudal, as águas do rio São Francisco encontram-se cada vez mais susceptíveis à contaminação, riscos estes relacionados com as diversas actividades que existem nas suas margens ao longo do seu percurso, como indústrias, pecuária, agricultura, habitação e tráfico terrestre (Marinho *et al.*, 2006; Oliveira, 2007). Este é um risco ainda mais acrescido para as populações ribeirinhas e para aqueles que utilizam a água do rio São Francisco para fins agrícolas e domésticos, assim como para actividades relacionadas com a pesca ou o turismo, que são fontes económicas muito importantes na região de Três Marias (Oliveira, 2007). Estas utilizações da água superficial tornam muito importante a monitorização do rio São Francisco, assim como a gestão da sua bacia hidrográfica, de modo a não comprometer a sua qualidade ecológica.

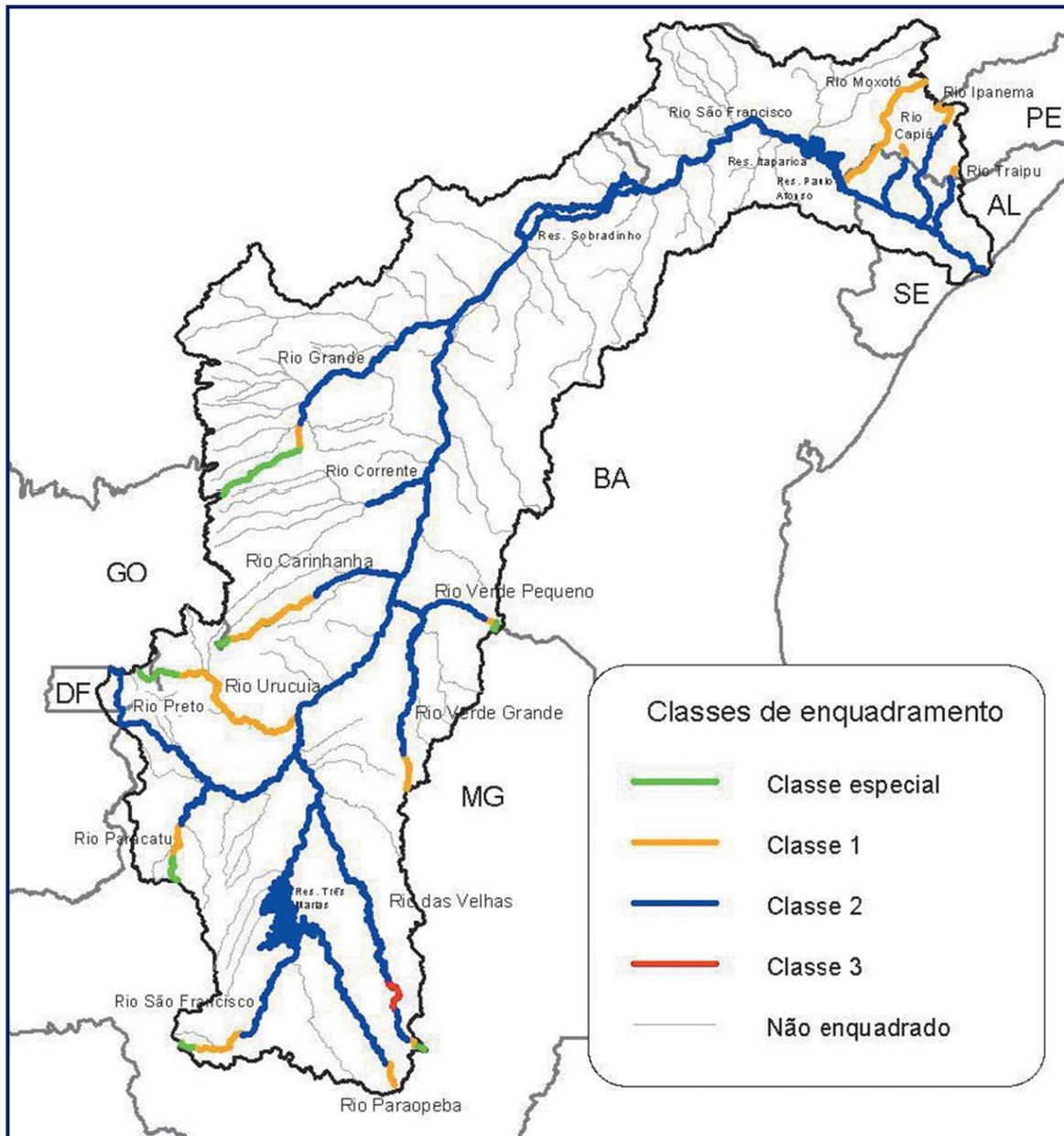


Figura 2.3: Classes de enquadramento das águas superficiais da bacia do rio São Francisco. Adaptado de Marinho *et al.* (2006).

O córrego Consciência nasce nas imediações do aeroporto de Três Marias e desagua no rio São Francisco, a jusante da Votorantim Metais S.A.. Com uma área total de drenagem de 11,5 km², possui uma baixa declividade e profundidade, verificando-se uma largura máxima de cerca de 4 m junto à foz (Oliveira, 2007).

O córrego Barreiro Grande nasce também nas imediações do aeroporto de Três Marias e desagua no rio São Francisco, constituindo uma área total de drenagem de 16,3 km², dos quais 9,5 km² rodeiam a Votorantim Metais S.A.. O estado de deterioração do córrego é muito visível, o que se deve ao lançamento de efluentes (esgotos urbanos) da cidade de Três Marias sem qualquer tratamento (Oliveira, 2007). As águas do córrego Barreiro Grande apresentam baixa concentração de

oxigénio dissolvido, potencial de oxidação/redução negativo e elevadas concentrações de fósforo e amónia, evidenciando a poluição por esgotos domésticos não tratados (Almeida, 2010).

2.2. Enquadramento Geológico

Do ponto de vista geotectónico, a área em estudo encontra-se na porção Sul do Cratão de São Francisco, definido por Almeida (1977, 1981) *in* Trindade (2010) como uma das porções da plataforma Sul-Americana individualizada no decurso dos processos orogénicos do evento Brasileiro (\pm 600 Ma). Estes eventos originaram durante o Neoproterozóico a Faixa Araçuáí a Este e a Oeste a Faixa de Dobramento Brasília (Trindade 2010). Para Alkmin & Martins-Neto (2001) *in* Trindade (2010), a Faixa de Dobramento Brasília corresponde a um cadeia de dobramentos e cavalgamentos de antepaís que atinge uma largura máxima de cerca de 200 km na parte Sul da bacia. Nas proximidades da cidade de Três Marias, as linhas estruturais condicionam a morfologia local, exercendo um forte controlo no arranjo da rede de drenagem.

Assim, o Cratão de São Francisco encontra-se circundado por Faixas Neoproterozóicas (Figura 2.4), nomeadamente, a Faixa de Dobramento Brasília e rio Preto a Oeste e a Faixa Araçuáí a Este.

Neste contexto, Alkmin *et al.* (1993, 1996) *in* Trindade (2010) propõem uma compartimentação baseada nos elementos neoproterozóicos da bacia, distinguindo assim um Compartimento Oeste, correspondente à Faixa de Dobramento Brasília e rio Preto, um Compartimento Este, representado pela Faixa Araçuáí e um Compartimento Central, onde se localizam as unidades Pré-Câmblicas, e com baixa deformação. A área em estudo situa-se no Compartimento Central, onde o relevo se apresenta pouco acidentado, com declividades médias inferiores a 8%.

Do ponto de vista geológico, a área em estudo insere-se na formação de Três Marias, pertencente ao Grupo Bambuí (Figura 2.4). A Formação Três Marias constitui uma espessa sequência sedimentar com relativa persistência lateral, sendo representada por camadas de arenitos arcósicos de granulometria fina a muito fina, intercalados por siltitos arcósicos cinza-esverdeados e violáceos, ricos em quartzo, feldspato e minerais pesados como óxidos de ferro, turmalina, zircão, epídoto e granada, com uma idade aproximada de 600-650 Ma (Signorelli *et al.*, 2003; Chiavegatto, 1992 *in* Trindade, 2010; Costa *et al.*, 2011). Os aspectos deposicionais da Formação Três Marias são marcados principalmente pelo carácter discordante erosivo, não apresentando deformações significativas, facto que atesta a relativa estabilidade tectónica do Compartimento Central durante a deposição (Trindade, 2010).

A sedimentação da Formação de Três Marias sugere um ambiente deposicional característico de uma plataforma continental de baixa profundidade, dominada por tempestades e sujeita a uma ciclicidade de eventos deposicionais em que cada ciclo descreve períodos de alternância de acarreo sedimentar durante períodos calmos e tempestuosos (Campos & Dardenne, 1994; Bizzi *et al.*, 2003; Trindade, 2010). Os depósitos pelíticos e areníticos da Formação de Três Marias identificados na área em estudo indicam que o paleoambiente, marcado por alternâncias deposicionais, favoreceu a intercalação de sedimentos finos a muito finos, favorecendo o alto grau de compactação adquirido (Trindade, 2010).

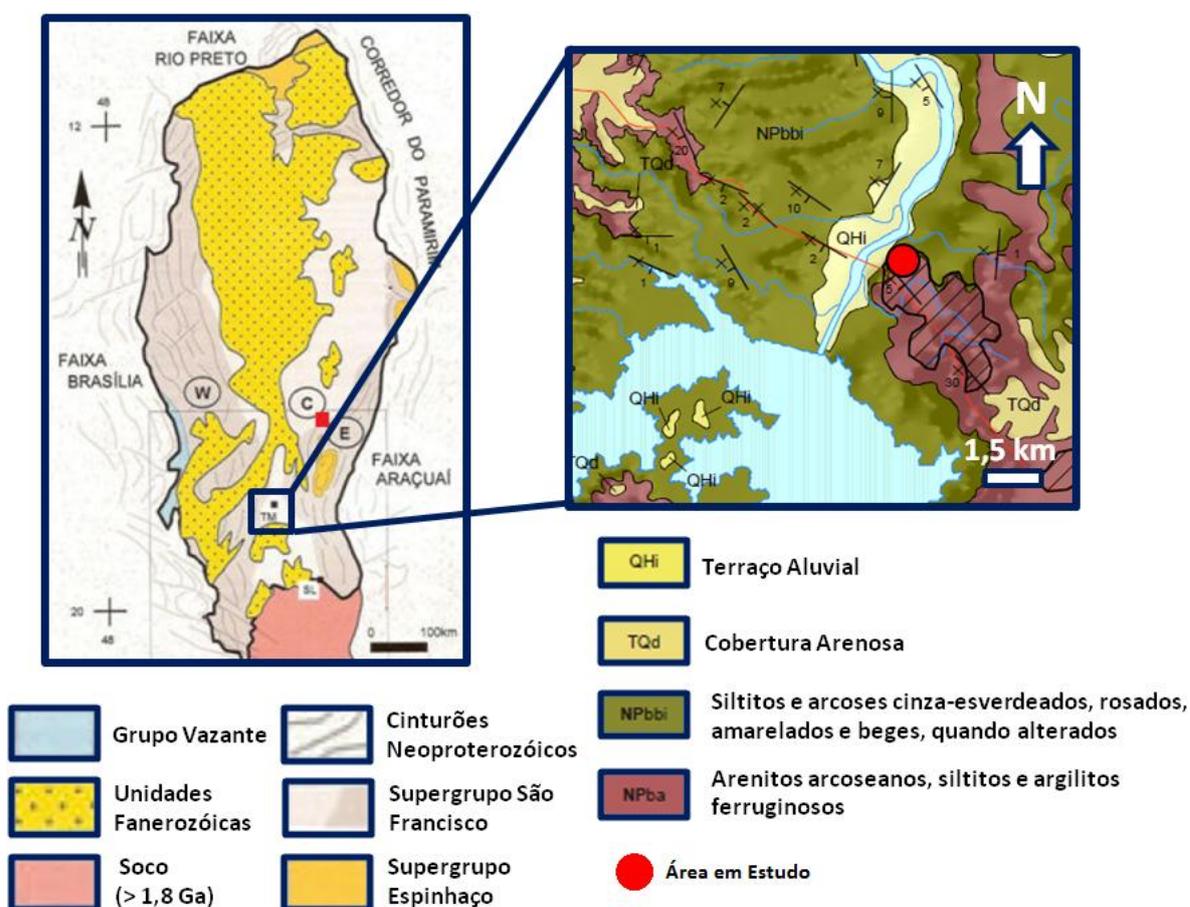


Figura 2.4: Enquadramento da área em estudo no Cratão de São Francisco. Adaptado de Signorelli *et al.* (2003) e Trindade (2010)

Oliveira (2007) caracteriza ainda os aquíferos da área em estudo. Esta caracterização fundamentou-se essencialmente nos aspectos litoestruturais e na natureza e permeabilidade das rochas. Na área da barragem de Três Marias e na sua envolvente, a água encontra-se armazenada nas fissuras, fracturas e falhas ou outras descontinuidades, consistindo assim um Sistema Aquífero Fissurado (Figura 2.5). Sendo a área representada pelos arenitos e siltitos tabulares horizontais ou semi-horizontais da Formação de Três Marias, a infiltração das águas ocorre ao longo de sistemas de

fracturas, a percolação através das rochas meteorizadas e o mecanismo de recarga pelas rochas granulares sobrejacentes.

No entanto, os aquíferos fissurados são mais vulneráveis à contaminação uma vez que não existem coberturas sedimentares (cretácicas, terciárias ou quaternárias) a protegê-los por atenuação natural (diminuição ou remoção dos contaminantes durante a infiltração). Deste modo, quando e onde estas coberturas estão presentes, o risco de contaminação diminui.

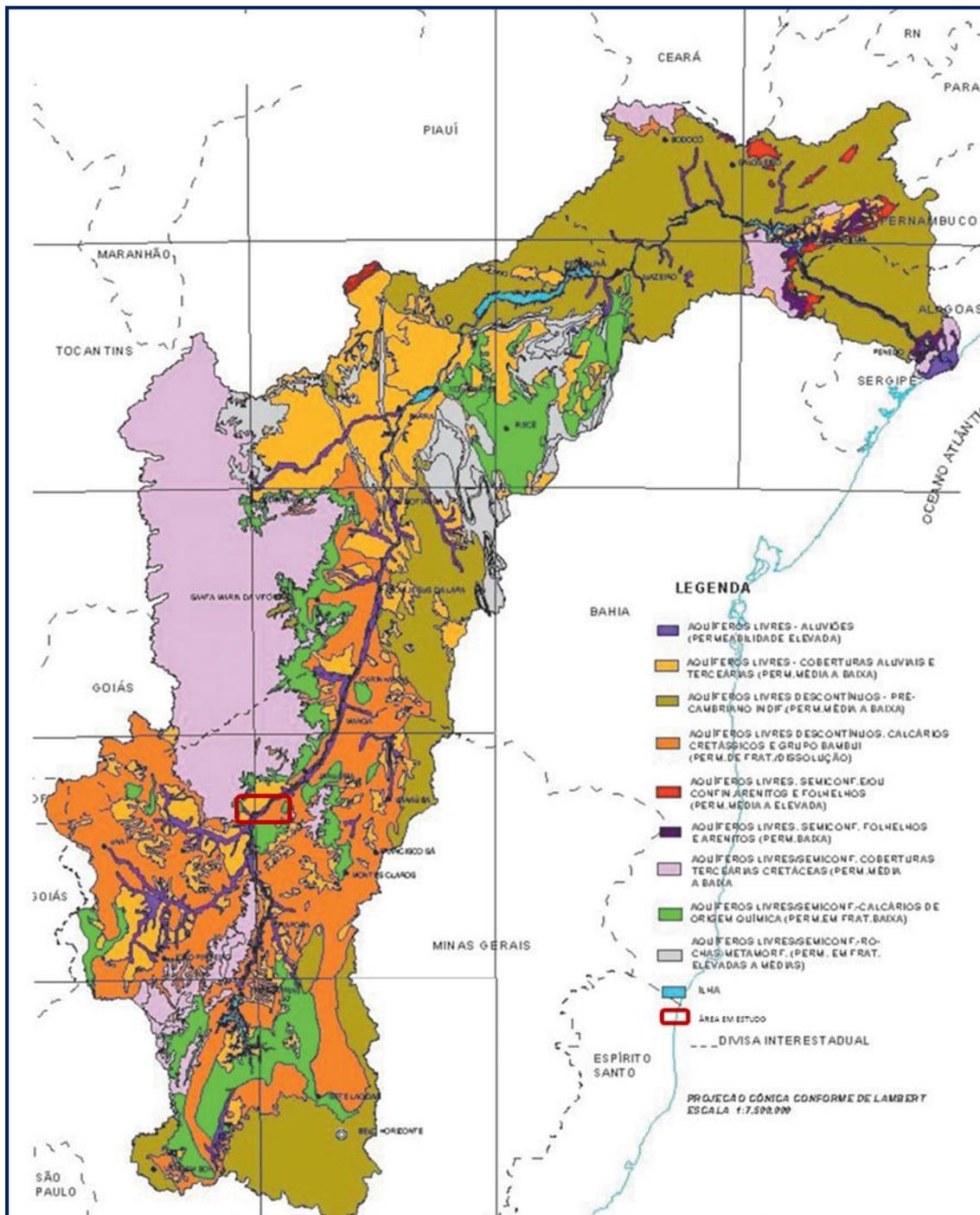


Figura 2.5: Tipologia dos aquíferos da Bacia do rio São Francisco.
Adaptado de Marinho *et al.* (2006).

2.3. Enquadramento Climático

Segundo a classificação climática de Köpen, podem ser descritos três tipos climáticos para o cratão de São Francisco (Figura 2.6) (Patrus *et al.*, 2001 *in* Trindade, 2010):

- *Cwb* – Clima temperado moderado, com Verão ameno e chuvoso e Inverno moderado. É definido pela temperatura do mês mais quente inferior a 22°C e a do mês mais frio inferior 18°C, por um Inverno seco e um Verão chuvoso;
- *Cwa* – Clima temperado moderado com Verão quente e chuvoso e Inverno moderado, apresentando temperaturas médias do mês mais quente superiores a 22°C e a média do mês mais frio inferior 18°C. A estação seca ocorre no Inverno e o mês mais seco tem precipitação inferior à décima parte do mês mais chuvoso;
- *Aw* – Clima tropical chuvoso, quente e húmido, com Inverno seco e Verão chuvoso. É caracterizado pela temperatura média do mês mais frio sempre superior a 18°C.

Na área em estudo, verifica-se o clima referente à tipologia *Aw*. Deste modo, o clima da região apresenta temperaturas médias anuais de cerca de 24°C, existindo predominância de temperaturas elevadas durante todo o ano, principalmente durante a Primavera e Verão. O mês mais quente, Janeiro, apresenta temperaturas médias máximas entre os 28 e 30°C (Oliveira & Horn, 2006; Oliveira, 2007). A área apresenta ainda totais pluviométricos anuais de 1022 mm, concentrados nos meses de Verão e em regime torrencial, o que corresponde a um regime pluviométrico típico de regiões de clima tropical (Oliveira & Horn, 2006; Oliveira, 2007).

Uma das principais características que marcam o clima na área em estudo relacionam-se com a sazonalidade, marcada pela amplitude térmica e variação pluviométrica, principalmente entre o Inverno e o Verão (Ribeiro, 2010).

A sazonalidade constitui um importante factor de interferência, especialmente em estudos relacionados com as concentrações de metais pesados em linhas de água. No período chuvoso, o escoamento superficial acarrea os materiais dispostos ao longo da bacia de drenagem, alterando a composição química e os parâmetros físico-químicas da água. Por sua vez, o maior aporte de água aumenta o poder de diluição do rio, principalmente em relação a fontes pontuais de contaminação, bem como a capacidade de dispersão e distribuição dos contaminantes ao longo do canal fluvial (Ribeiro, 2010).

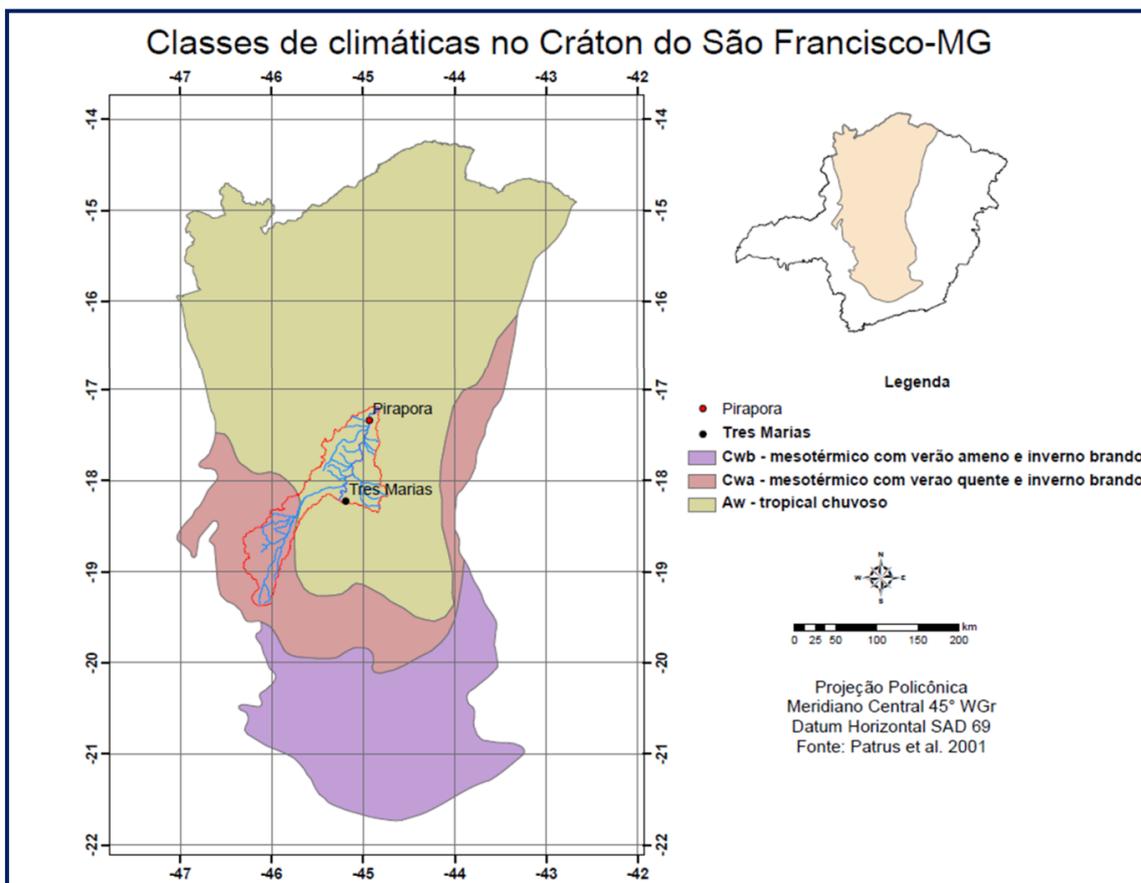


Figura 2.6: Classes climáticas no cratão de São Francisco.
 Adaptado de Trindade (2010).

3. Metodologias



Metodologias

3.1. Amostragem

A amostragem realizada na área em estudo teve como base o estudo diagnóstico realizado pela empresa de consultoria *Golder Associates* (Golder Associates, 2007b), que delimitou na área sob a influência da Votorantim Metais S.A., cinco zonas (Figura 3.1):

- Área A1: Leito do córrego Consciência (0,98 ha);
- Área A2: Planície aluvionar do córrego Consciência (2,707 ha);
- Área A3: Bacia de acumulação de sedimentos, correspondente a parte da bacia de drenagem do córrego Grota Seca (0,51 ha);
- Área A4: Bacia de contenção, que corresponde a uma pequena mancha numa zona de aterro degradada (0,15 ha);
- Área A5: Antiga área de deposição de resíduos (4,79 ha).



Figura 3.1: Áreas seleccionadas por *Golder Associates* (2007b) para descontaminação na área.

A *Golder Associates* distinguiu ainda dois tipos distintos de zonas: zonas contaminadas e zonas degradadas (Figura 3.2). Foi tendo como base estas delimitações que foram realizadas as amostragens, apenas nas áreas consideradas como contaminadas, tendo sido procurada a representatividade de todos os tipos de materiais sedimentares, nomeadamente sedimentos e aluviões das bacias dos córregos Consciência e Barreiro Grande. Em cada área seleccionada, foram escolhidos vários pontos de amostragem representativos, segundo um sistema de amostragem rectangular, com espaçamentos entre 50 e 100 m, correspondendo sempre que possível, a zonas de topografia variável, de forma a serem amostrados, em cada uma das áreas, aluviões e sedimentos, sempre que as áreas eram marginais aos córregos. Nas áreas junto ao córrego Consciência, procurou-se igualmente amostrar aluviões e sedimentos acumulados, em ambas as margens. Amostraram-se sedimentos em três situações distintas:

- Sedimentos emersos nas margens dos córregos durante o período de estio;
- Sedimentos imersos por pequena película de água junto às margens; e
- Sedimentos no meio do leito do córrego principal com coluna de água que variou entre os 30 cm e os 2,5 m.



Figura 3.2: Delimitação das áreas contaminadas (a verde) e degradadas (a vermelho) na área industrial da Votorantim Metais S.A. (Golder Associates, 2007b).

Para uma melhor avaliação da concentração de elementos metálicos sob influência das atividades da Votorantim Metais S.A., escolheram-se pontos distintos, a montante da unidade industrial e a diferentes distâncias desta, numa área designada por A0, nas margens direita e esquerda do Córrego Consciência, de forma a representar o *background* geoquímico da área. Nesta área foram amostrados aluviões e sedimentos das margens.

Foram assim recolhidas, no total, 167 amostras de sedimentos (correspondentes a 24 pontos de amostragem), 82 de aluviões (correspondentes a 16 pontos de amostragem) e 37 de águas (correspondentes a 16 pontos de amostragem), em três períodos distintos de amostragem, georreferenciados com GPS, cuja localização e descrição se encontram em Anexo nas Tabelas A.1 e A.2. Os períodos de amostragem corresponderam a dois períodos sazonais distintos: (1) pós-seca – duas campanhas, em Setembro e Novembro de 2013 e (2) pós-chuva – uma campanha, em Março de 2014. Nestas campanhas foram ainda repetidas algumas amostras nos diferentes períodos sazonais, de forma a compreender a influência do clima nas concentrações de elementos químicos (especialmente metálicos).

Os sedimentos foram recolhidos em cinco áreas distintas, identificadas na Figura 3.3, sendo as Figuras 3.4 a 3.9 representativas dos diferentes pontos de amostragem na área em estudo. Das cinco áreas delimitadas pela *Golder Associates* (Golder Associates, 2007b) como áreas contaminadas, apenas não se fez amostragem na área A4, dado ser uma área que não faz limite com nenhum dos córregos. Por outro lado, recolheram-se ainda sedimentos do leito do córrego Barreiro Grande, em dois pontos de amostragem, correspondentes à área BG.

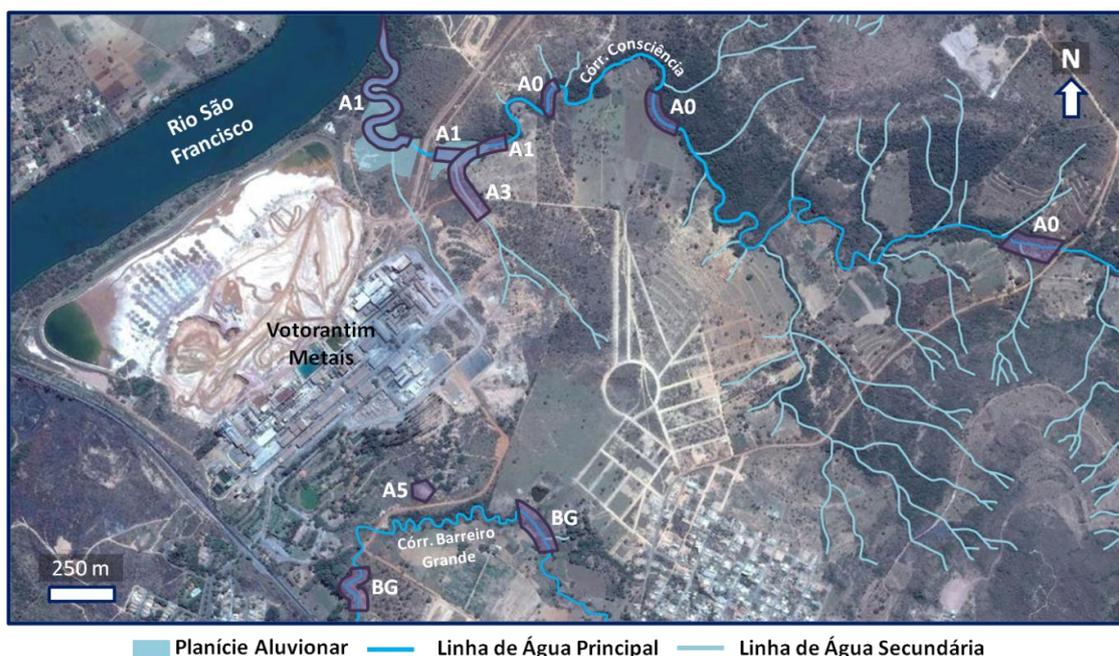


Figura 3.3: Localização das áreas onde foram recolhidas as amostras de sedimentos.

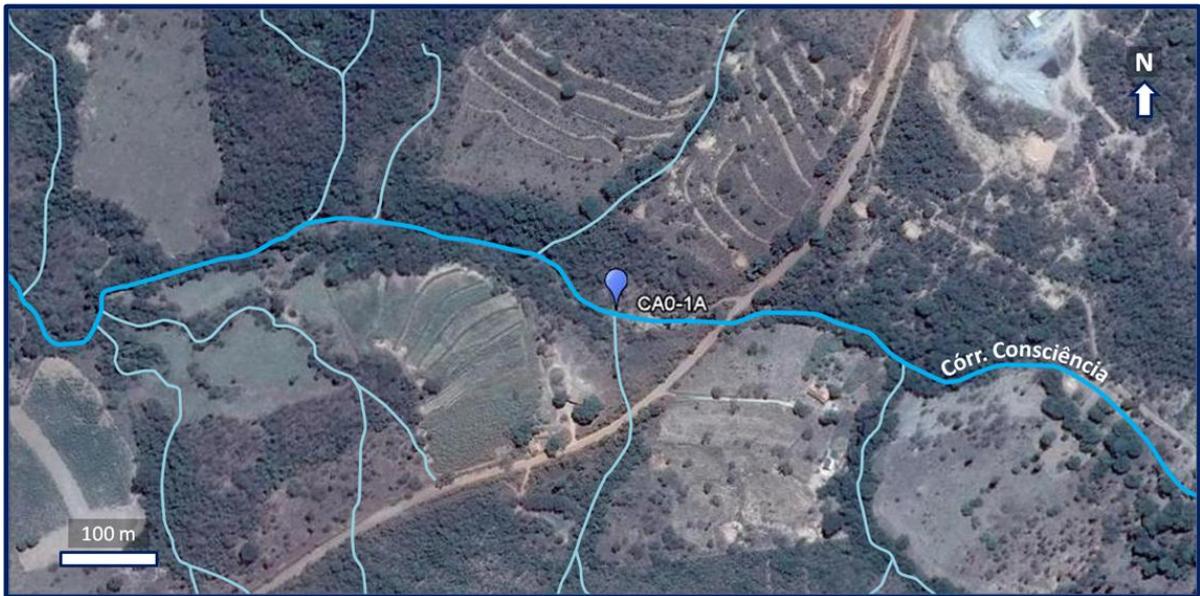


Figura 3.4: Localização de pontos de amostragem de sedimentos na área A0 (amostras CA0-1A).

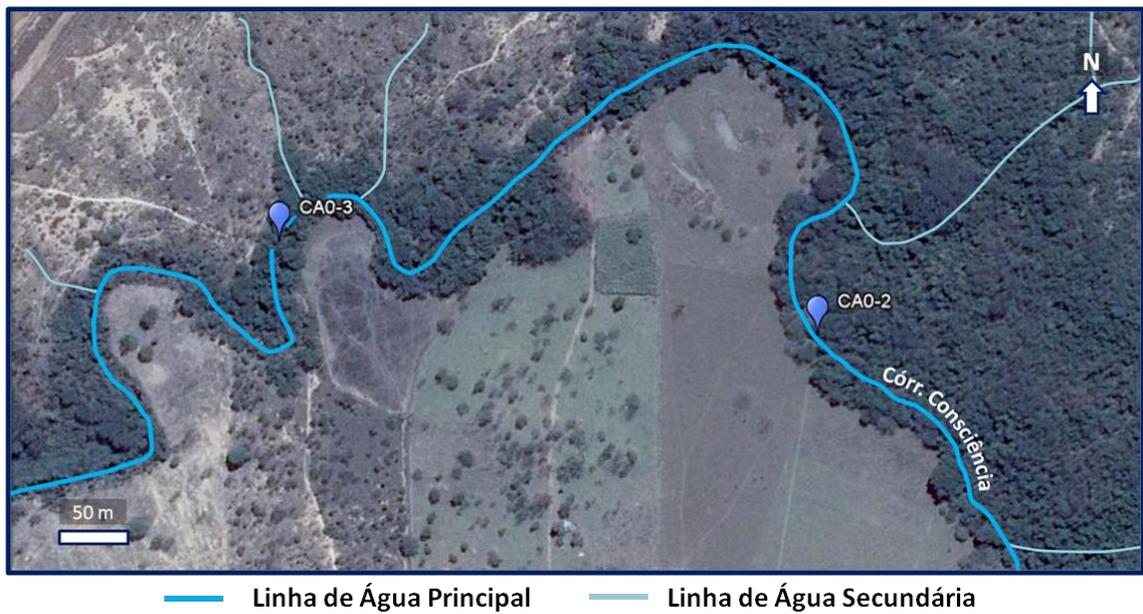


Figura 3.5: Localização de pontos de amostragem de sedimentos na área A0 (amostras CA0-2 e CA0-3).



Figura 3.6: Localização dos pontos de amostragem de sedimentos na área A1.



Figura 3.7: Localização dos pontos de amostragem de sedimentos na área A3.



— Linha de Água Principal

Figura 3.8: Localização dos pontos de amostragem de sedimentos na área A5.



— Linha de Água Principal — Linha de Água Secundária

Figura 3.9: Localização dos pontos de amostragem de sedimentos na área BG.

Por sua vez, as aluviões foram recolhidos em cinco áreas distintas, identificadas na Figura 3.10, sendo as Figuras 3.11 a 3.15 representativas os diferentes pontos de amostragem na área em estudo.

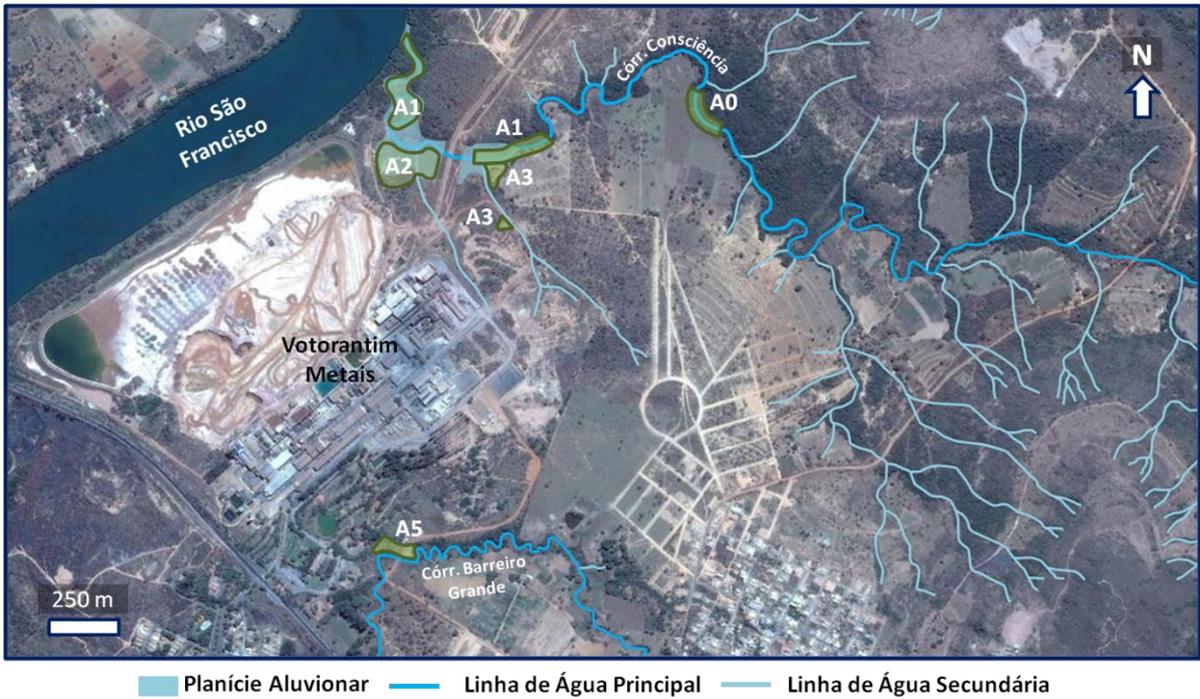


Figura 3.10: Localização das áreas onde foram recolhidas amostras de aluviões.



Figura 3.11: Localização dos pontos de amostragem de aluviões na área A0.



Figura 3.12: Localização dos pontos de amostragem de aluviões na área A1.



Figura 3.13: Localização dos pontos de amostragem de aluviões na área A2.

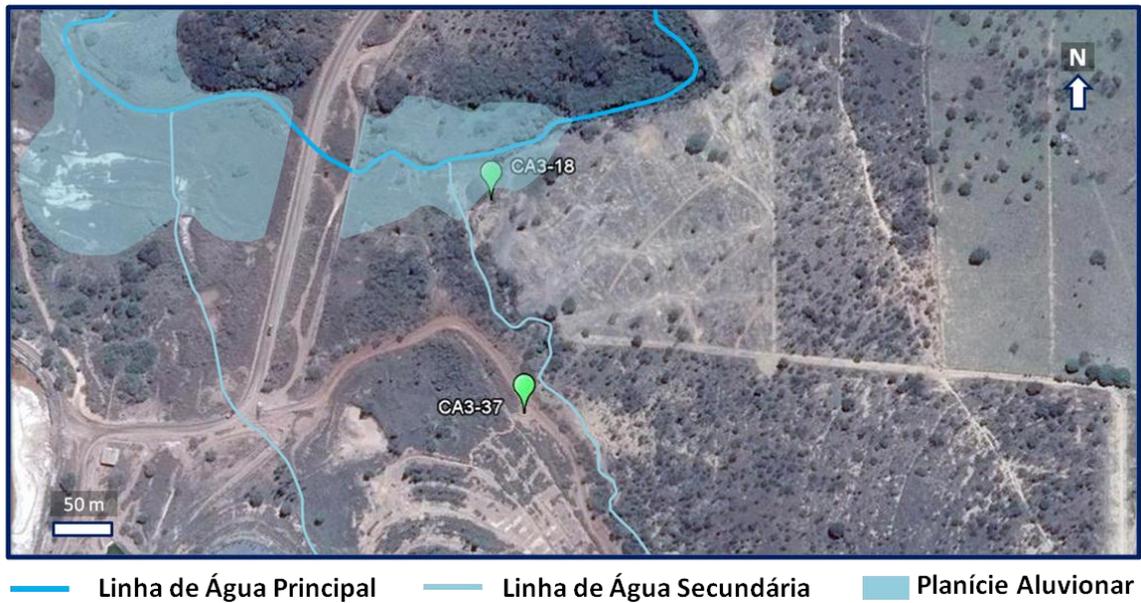


Figura 3.14: Localização dos pontos de amostragem de aluviões na área A3.



Figura 3.15: Localização dos pontos de amostragem de aluviões na área A5.

3.1.1. Sedimentos e Aluviões

A maioria dos sedimentos e aluviões foram colhidos com trado, em três profundidades (0 a 20 cm, 20 a 40 cm e 40 a 60 cm), de forma a conhecer-se até que profundidade se encontram concentrações de elementos metálicos superiores aos níveis considerados críticos e em que forma química ocorrem (Figura 3.16). Nos sedimentos, dado o maior dinamismo químico dos sistemas

aquáticos relativamente às aluviões, a camada superficial de 0 a 20 cm foi seccionada em sub-amostras de 5 cm e, em cada local de amostragem, foram retiradas 3 amostras de forma a obter-se uma amostra compósita o mais representativa possível. Algumas amostras da margem que se encontravam imersas, foram colhidas com apoio de uma draga manual do tipo *Shipeck*, (com vara) (Figura 3.17) e amostras de sedimento depositadas em zonas mais profundas do leito do córrego foram amostradas com uma draga manual do tipo *Shipeck* (suspensa) ou com um *corer* de varas *Kajak* (Figura 3.18).

Na amostragem de Novembro de 2013, foram ainda recolhidas pontualmente amostras a maior profundidade (60 a 80 cm e 80 a 100 cm).



Figura 3.16: Amostragem de aluviões (à esquerda) e sedimentos (à direita) no córrego Consciência.



Figura 3.17: Utilização de uma draga manual do tipo *Shipeck* (com vara) na amostragem de sedimentos.



Figura 3.18: Utilização de um *corer* de varas *Kajak* para a amostragem de coluna de materiais sedimentares.

3.1.2. Águas

Para além da amostragem convencional de águas dos córregos Consciência e Barreiro Grande, directamente à superfície e com auxílio de garrafa de *Van Dorn*, utilizaram-se amostradores passivos especiais (*DGT - Diffusive Gradients in Thin films*). Os DGT são amostradores passivos de resinas de troca, que possibilitam resultados analíticos com maior precisão e mais próximos das condições reais existentes na coluna de água. Estes amostradores, desenvolvidos por investigadores da Universidade de Lancaster, Inglaterra, são considerados actualmente como o processo mais rigoroso na avaliação do grau de contaminação de sistemas aquáticos, possibilitando a acumulação de substâncias dissolvidas de um modo controlado e permitindo uma análise real da qualidade da água durante um certo período (5-7 dias), contrariamente aos métodos convencionais de recolha que permitem apenas o conhecimento da concentração *in situ* dos elementos químicos no momento da amostragem. Foram utilizados DGT *Chelex*, que permitem reter catiões metálicos e com óxidos de ferro (*Fe-oxide*), apropriados para a retenção de aniões como fosfatos ou compostos de arsénio (DGT Research).

A colocação e recolha dos amostradores DGT foi sempre acompanhada por determinação de parâmetros físico-químicos da água, como a temperatura, o pH e o potencial de oxidação/redução (Eh) (Figura 3.19).



Figura 3.19: Colocação dos amostradores passivos (DGT) no córrego Consciência

3.2. Preparação das amostras e análises *in situ*

Em todas as amostras, no dia da recolha, foram medidos o potencial *redox* (Eh), para determinar as condições de oxidação ou redução que ocorrem no meio e, em amostras com humidade, mediu-se igualmente o pH, com recurso a eléctrodos devidamente calibrados. Nas amostras que apresentavam médio a elevado teor de humidade (nomeadamente sedimentos e algumas amostras de aluviões) foram ainda recolhidas as águas intersticiais, através da utilização de amostradores específicos designados por *rhizom samplers* (Figura 3.20). Esta água intersticial corresponde à fase mais solúvel das amostras, sendo uma fracção com elevada inter-relação com as partículas sólidas. A sua composição química é uma medida do grau de solubilidade e biodisponibilidade dos diferentes elementos químicos, permitindo avaliar os fluxos de elementos para a água superficial e subterrânea, e de fácil assimilabilidade pelos seres vivos. Nas aluviões, a água intersticial encontra-se próxima ou dentro da zona de saturação, representando a água que circula subterraneamente. Esta água extraída foi colocada em tubos, onde foram medidos os valores de pH e Eh, tendo sido imediatamente refrigerada.



Figura 3.20: Recolha da água intersticial das amostras através da utilização de *rhizom samplers*.

Os amostradores passivos (DGT), desde a sua aquisição em Inglaterra, foram transportados em sacos térmicos com acumuladores refrigerados, para preservação da qualidade das resinas e do grau de humidade. Após a recolha na coluna de água do córrego, foram devidamente etiquetados, colocados em sacos herméticos e imediatamente refrigerados.

A amostragem de água fez-se em duplicado, uma amostra para o estudo dos metais e outra para a análise dos teores de sulfatos, nitratos e fosfatos. Em todas as amostras foram medidos *in situ*, os valores da temperatura, pH, condutividade eléctrica e potencial *redox*. As réplicas para a análise dos elementos metálicos foram acidificadas com HNO₃ concentrado até pH 2-2.5, de forma a evitar a precipitação dos metais.

3.3. Análises Laboratoriais

Todas as análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (AmbiTerra) da Universidade de Évora. Aqui, as amostras de sedimentos e aluviões recolhidas no campo foram refrigeradas, tendo sido quarteadas sub-amostras que foram secas a 60°C em estufa ventilada (*Beschickung –Loading Modell 100-800 Memmert*) até peso constante. Após a secagem, as amostras foram colocadas em exsiccador até atingirem a temperatura ambiente, sendo posteriormente moídas com moinho de ágata. Foi nestas sub-amostras que se realizaram os ensaios químicos, nomeadamente:

- A digestão parcial;
- A extracção sequencial;
- A análise elementar de CHNS;
- A determinação do fósforo total.

Os ensaios físicos, nomeadamente a porosidade e textura foram realizados nas amostras iniciais, preservadas e refrigeradas. Os ensaios de lixiviação e ensaios-piloto (para simulação de um processo de dragagem invasivo e verificação do seu efeito na ressuspensão) foram também realizados nas amostras originais preservadas.

As águas e as águas intersticiais, preservadas e refrigeradas, foram acidificadas e procedeu-se à análise das concentrações de alguns elementos alcalinos e alcalino-terrosos, em adição a alguns elementos metálicos.

Em algumas amostras de águas (da campanha de Março de 2014 – época pós-chuvas) procedeu-se ainda à sua digestão de forma a serem determinados os principais elementos metálicos associados à fracção particulada. Esta digestão por realizada por adição de cerca de 3 ml de ácido nítrico e 1 ml de ácido clorídrico a 4 ml de amostra, cujo material particulado foi remobilizado por agitação, tendo-se procedido à digestão num digestor de microondas de alta pressão *Anton Paar Multiwave PRO* (Figura 3.21).



Figura 3.21: Digestor microondas de alta pressão do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade de Évora.

3.3.1. Ensaio Químico

3.3.1.1. Digestão Parcial

A digestão parcial das amostras tem como objectivo principal a determinação do grau de contaminação destas, através da solubilização das fracções mais lábeis por adição por mistura de ácidos e sem destruição dos minerais silicatados.

Para tal, digeriram-se 0,5 g de amostra seca utilizando 5 ml de ácido nítrico (HNO_3) e 2 ml de ácido clorídrico (HCl), de acordo com a metodologia da EPA para a digestão parcial de sedimentos através de microondas (U.S.EPA, 2007), tendo-se procedido à digestão num digestor de microondas de alta pressão *Anton Paar Multiwave PRO* (Figura 3.21).

3.3.1.2. Extracção Sequencial

A extracção sequencial fracciona gradualmente os constituintes dos materiais, de forma a permitir quantificar os elementos metálicos ligados a diferentes fases mineralógicas, possibilitando estimar a biodisponibilidade dos metais, determinar a sua mobilidade de acordo com as condições físico-químicas na área, determinando a sua perigosidade na área em estudo (Sahuquillo *et al.*, 2003).

Existem inúmeros métodos de extracção sequencial, no entanto, um dos mais conhecidos e referidos na bibliografia é o de Tessier *et al.* (1979), que identifica as principais formas em que os metais se podem encontrar:

- Em fracções facilmente removíveis, solúveis e adsorvidos em partículas orgânicas ou inorgânicas como catiões de troca;
- Ligados a matéria orgânica;
- Precipitados em óxidos, hidróxidos ou carbonatos;
- No interior da estrutura dos minerais silicatados.

Tessier *et al.* (1979) define assim cinco fracções principais passíveis de serem fraccionadas:

- i. A fracção mais facilmente mobilizável, associada a processos de adsorção / desadsorção (em minerais de argila, óxidos ou hidróxidos de ferro, manganês ou em ácidos húmicos), em que qualquer alteração na química da água pode permitir a sua solubilização. Estes autores sugerem a agitação da amostra com cloreto de magnésio 1M ou acetato de sódio 1M a pH 8.2 para a sua solubilização e quantificação.

- ii. A fracção ligada a carbonatos, e muito susceptível a alterações de pH. A solubilização desta fracção poderá ser realizada pela agitação com acetato de sódio 1M a pH 5.
- iii. A fracção ligada a óxidos de ferro e manganês, que poderá ser solubilizada com $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ + Na-citrato + H-citrato. Os minerais de ferro e manganês podem ser secundários, formando nódulos ou concreções que podem ser ricos em metais pesados. A determinação desta fracção é importante uma vez que alterações do estado de oxidação os torna instáveis.
- iv. A fracção ligada a matéria orgânica, devido à capacidade de complexação e peptização de metais pesados a ácidos húmicos e fúlvicos. A matéria orgânica pode ser degradada em condições oxidantes, o que poderá levar à solubilização destes metais pesados. Tessier *et al.* (1979) sugere a utilização de peróxido de hidrogénio para a degradação destas moléculas.
- v. A fracção residual, após a remoção das quatro fases anteriores deverá corresponder aos minerais primários e secundários que contém metais pesados no interior da sua estrutura cristalina. Esta fracção mineral não deverá ser mobilizada para solução tendo em conta as condições encontradas naturalmente. A solubilização desta fracção poderá ser conseguida pela adição de ácido fluorídrico (HF) ou ácido perclórico (HClO_4).

O processo de extracção sequencial adoptado no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental é o utilizado no Laboratório de Geoquímica da Universidade de Aveiro, que consiste num modelo modificado do modelo clássico de Tessier (Tessier *et al.*, 1979). Este método consiste em cinco etapas:

1) Solubilização das fracções mais solúveis (existentes em solução e como catiões de troca e ligadas a carbonatos):

Pesou-se 1 g de amostra e colocou-se num frasco com tampa, tendo sido adicionado 20 ml de acetato de amónio 1M ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) com pH de aproximadamente 4,5. As amostras foram levadas a agitar num agitador orbital (*Edmund Bühler GmbH SM-30*) durante 640 minutos (10h40) em agitação contínua. Findo este período, as amostras foram centrifugadas (centrífuga *Rotanta 460R, Hettich Zentrifugen*), sendo filtrado o sobrenadante para um frasco de polietileno. Este extracto líquido foi então refrigerado até análise por espectrometria de emissão óptica com fonte indutiva de plasma (ICP-OES) (Figura 3.22), enquanto o resíduo sólido foi seco em estufa ventilada (*Beschickung –Loading Modell 100-800 Memmert*) e pesado.

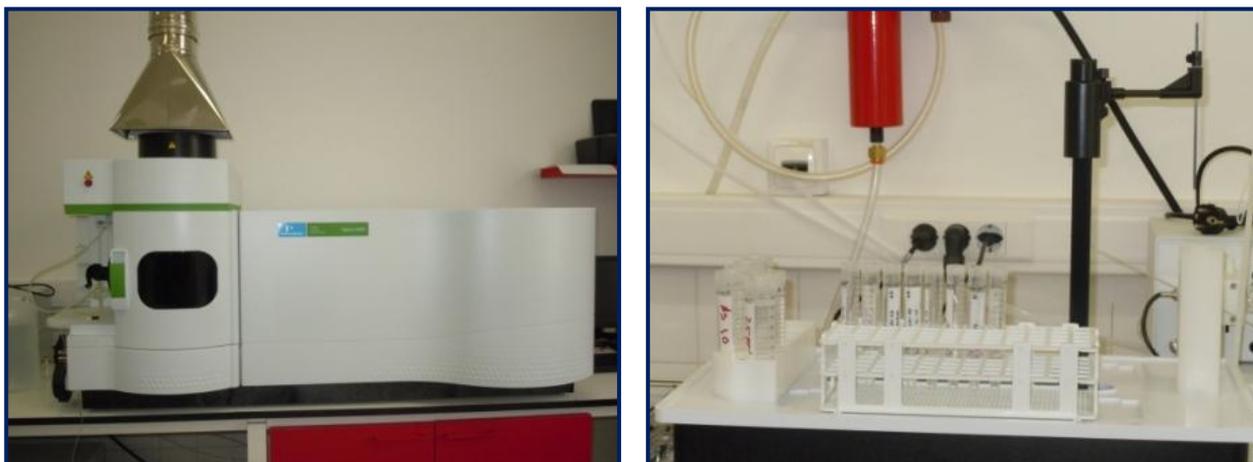


Figura 3.22: Espectrómetro de emissão óptica por fonte indutiva de plasma (ICP-OES) do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade de Évora.

2) Solubilização de metais ligados a óxidos de manganês:

Ao resíduo da extracção anterior adicionaram-se 20 ml de cloridrato de hidroxilamina 0,05 M numa solução de ácido nítrico 0,026 M. As amostras foram levadas a agitação contínua durante 10 horas à temperatura ambiente. À semelhança da etapa anterior, finda a agitação, as amostras foram centrifugadas e filtradas, sendo o sobrenadante refrigerado em frascos de polietileno até análise por espectrometria de emissão óptica com fonte indutiva de plasma (ICP-OES), enquanto o resíduo sólido foi seco em estufa ventilada e pesado.

3) Solubilização dos metais ligados a óxidos de ferro amorfos:

Ao resíduo da extracção anterior adicionaram-se 40 ml de reagente TAMM (mistura de ácido oxálico e oxalato de amónio), tendo-se agitado continuamente durante 10 horas em ambiente escuro. Finda a agitação, as amostras foram centrifugadas e o sobrenadante filtrado para copos de vidro ou teflon, sendo o resíduo seco em estufa ventilada e pesado.

Por a análise dos extractos ricos em oxalatos ser muito complexa, inibindo o sinal de análise através de métodos espectrofotométricos, destroem-se os oxalatos segundo o método desenvolvido por Cardoso Fonseca (Bolle *et al.*, 1988). Assim, à solução resultante da extracção adicionaram-se 20 ml de *aqua regia* (solução ácida na proporção de 3:1 de ácido clorídrico e ácido nítrico). Esta solução foi aquecida em banho de areia, a uma temperatura de 50°C até evaporação completa. Adicionaram 3 ml de peróxido de hidrogénio e aqueceu-se novamente até evaporação total. A este resíduo adicionaram-se 25 ml de água acidificada com ácido nítrico (com pH entre 2,5-3), resultando na solução final a ser lida por espectrometria de emissão óptica com fonte indutiva de plasma (ICP-OES).

4) Solubilização dos metais ligados a matéria orgânica e parcialmente a sulfuretos:

Ao resíduo da extração anterior adicionaram-se 20 ml de peróxido de hidrogénio em pequenas quantidades, para se evitar muita efervescência. As amostras foram colocadas em banho de areia a uma temperatura de 60°C, adicionando-se cerca de 2 ml de peróxido de hidrogénio e deixando evaporar. Este processo foi repetido até não se verificar efervescência. A este resíduo seco foram adicionados 10 ml de acetato de amónio 1M e levaram-se as amostras a agitar num agitador orbital durante 1 hora. Estas amostras foram centrifugadas, filtrou-se o sobrenadante para um frasco de polietileno que foi refrigerado até ser lido por espectrometria de emissão óptica com fonte indutiva de plasma (ICP-OES). O resíduo foi seco em estufa ventilada e pesado.

5) Solubilização dos metais ligados a óxidos e hidróxidos de ferro cristalinos:

O resíduo sólido proveniente da extração anterior foi colocado em recipientes resistentes a altas temperaturas, marcando-se 40 ml em cada um dos recipientes. Adicionaram-se 40 ml de reagente TAMM e colocaram-se os recipientes com as amostras numa câmara com radiação ultravioleta. A câmara existente no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental, construída pela equipa do laboratório, possui seis lâmpadas UV com 300 V cada e dois interruptores, de forma a poderem ligar/desligar-se três lâmpadas de cada vez (Figura 3.23).



Figura 3.23: Câmara de radiação ultra-violeta (UV) presente no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade de Évora.

Durante o ensaio, as amostras ficam sob esta radiação durante 10 horas, sendo agitadas manualmente durante este período e adicionando-se o reagente TAMM perdido por evaporação, perfazendo os 40 ml. Findo este período, as amostras foram centrifugadas e filtradas para copos de vidro ou teflon.

Como acontece com a fracção extraída com reagente TAMM no escuro, também nesta extracção é necessário proceder-se à destruição dos oxalatos, através do método de Cardoso Fonseca, descrito anteriormente.

3.3.1.3. Análise Elementar de CHNS

As percentagens de Carbono (C), azoto (N) e enxofre (S) foram determinadas através de análise elementar (analisador elementar *Elementar CHNS vario Micro Cube*) por combustão em alta temperatura, com conversão da amostra em gases (Figura 3.11). A separação dos gases é realizada pelo sistema TPD (*Temperature Programmed Desorption*) e a detecção por um sensor TCD (*Thermal Conductivity Detector*).

As amostras utilizadas foram previamente quarteadas e moídas em moinho de ágata, de forma a homogeneizá-las para que possam ser representativas, tendo em conta a pequena massa utilizada na análise (cerca de 20 mg). Cada amostra foi pesada em duplicado, sendo a concentração de cada elemento correspondente à média das duas análises.



Figura 3.24: Analisador elementar do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade de Évora.

3.3.1.4. Determinação do Fósforo Total

Para a determinação da concentração do fósforo das amostras, procedeu-se à pesagem de 1 g de amostra para um cadinho de porcelana. A amostra foi queimada numa mufla (*Nabertherm LE 14/11/P300*) à temperatura de 550°C durante duas horas. Esta queima levou à mineralização do fósforo orgânico e, portanto, à sua conversão a fósforo inorgânico, mais facilmente extraível por processos químicos. Procedeu-se então à extracção, através da agitação contínua em agitador orbital durante 18 horas com ácido sulfúrico (H₂SO₄) 1M. Finda a agitação, este extracto foi separado por centrifugação e filtração, sendo estas amostras lidas por espectroscopia de absorção molecular UV/Visível (*Thermo Scientific Evolution 201*) (Figura 3.12), pelo método do ácido ascórbico – molibdato de amónio, adaptado de Murphy & Riley (1962).



Figura 3.25: Espectrómetro de absorção molecular UV/Visível do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade de Évora.

3.3.1.5. Ensaios de Lixiviação

Os ensaios de lixiviação realizados para os sedimentos e aluviões da área em estudo teve como principal objectivo a determinação da fracção metálica que poderia ser extraída por acção da água, sendo o lixiviante uma solução aquosa com pH adaptado ao encontrado na área (cerca de 6,4-6,5, adaptado de Fia *et al.*, 2013). Deste modo, o ensaio de lixiviação realizou-se por agitação contínua das amostras secas e destorroadas em água ultrapura com pH ajustado a cerca de 6,5. A agitação procedeu-se continuamente até 48 horas, tendo sido retiradas sub-amostras após 1 hora, 3 horas, 18 horas, 24 horas e 48 horas de agitação, procedendo-se a uma imediata filtragem. Foram posteriormente lidos quer o pH destas sub-amostras, quer a sua condutividade eléctrica, sendo o teor em metais e elementos alcalino-terrosos lidos em ICP-OES.

3.3.1.6. Ensaio-Piloto para Avaliação do Efeito da Dragagem no Córrego

Os ensaios-piloto realizados têm como principal objectivo a determinação do efeito do remeximento dos sedimentos na coluna de água de forma a compreender as principais limitações associadas à utilização da dragagem como método de remediação da área. Para além do conhecimento do efeito da dragagem na ressuspensão dos sedimentos, pretendeu-se igualmente verificar qual o período de tempo em que o córrego necessitará de ficar isolado do rio São Francisco, no caso de se efectuar a dragagem dos materiais acumulados. Foram escolhidas três amostras, tendo em conta o seu nível de contaminação e a sua localização no córrego Consciência: a amostra CA1-14, situada na margem esquerda do córrego, às profundidades de 20 a 40 cm, de 40 a 60 cm e de 60 a 80 cm, a amostra CA1-48, situada na margem direita do córrego Consciência, às profundidades de 20 a 40 cm e 60 a 80 cm e a amostra superficial CA1-53 Core Sup, que se situa mesmo no leito do córrego. Os ensaios realizados foram:

- *Ensaio de Fundo*

Num frasco com tampa foram colocados 5 g de amostra aos quais foram adicionados 100 ml de água recolhida no córrego. As amostras foram levadas a agitação contínua num agitador orbital durante 24 horas (período de tempo definido através dos ensaios de lixiviação, como sendo o período em que se atinge o equilíbrio no sistema sedimento + água – ver Discussão, ponto 5.2.4 – Ensaio de Lixiviação), após as quais se recolheram duas sub-amostras: uma imediatamente filtrada, onde se procedeu à análise do pH e da condutividade eléctrica, que representa o material dissolvido; e uma que foi posteriormente digerida, representando o material dissolvido e particulado. Ambas as amostras foram posteriormente lidas em ICP-OES. Este ensaio simula o efeito que se verificará na coluna de água perto da interface com o sedimento.

- *Ensaio de Superfície*

Num frasco mais alto com tampa foram colocados 1,5 g de amostra, aos quais foram adicionados 30 ml de água recolhida no córrego. Estas amostras foram levadas a agitação contínua num agitador orbital durante 24 horas, após as quais foram recolhidas mais perto da superfície do recipiente e à semelhança do ensaio anterior, duas sub-amostras: uma imediatamente filtrada, onde foi lido o pH e a condutividade eléctrica, representando o material dissolvido; e uma posteriormente digerida, que representa o material dissolvido e particulado. Este ensaio simula o efeito que se verificará na zona mais superficial da coluna de água.

- *Ensaio de Turbidez*

Num frasco com tampa foram colocados 10 g de amostra, aos quais foram adicionados 200 ml de água ultrapura aferido a pH aproximadamente 6,3 (valor médio de pH da coluna de água do córrego). Após agitação num agitador orbital durante 24 horas (período de equilíbrio do sistema sedimento-água), foram realizadas análises da turbidez num turbidímetro (*Merck Turbiquant 1500T*, no Laboratório da Água da Universidade de Évora) imediatamente após agitação, após 1 hora de repouso, 2 horas, 8 horas, 24 horas, 48 horas, 96 horas e sete dias. Foram ainda retiradas sub-amostras, onde se determinou a composição química a nível de elementos metálicos, quer das fracções dissolvidas (após filtração), quer das fracções particuladas.

3.3.2. Ensaio Físicos

3.3.2.1. Textura

Para a determinação da textura dos sedimentos foi colocada uma porção de cada amostra, intacta, entre 30 e 100 g, a reagir com peróxido de hidrogénio, inicialmente diluído a cerca de 30 Vol., até uma concentração de 130 Vol. Este processo é realizado adicionando progressivamente concentrações mais elevadas de peróxido de hidrogénio à amostra até não se verificar reacção, de modo a destruir toda a matéria orgânica presente nas amostras. Seguidamente, as amostras foram secas em banho de areia para posteriormente serem crivadas num crivo de 2 mm e, posteriormente, com um crivo de 63 µm. Devido à granularidade em geral muito fina das amostras, este processo de separação foi realizado por via húmida, por se verificar uma elevada agregação após o aquecimento.

As fracções retidas nos crivos foram secas e pesadas, correspondendo às fracções balastro (> 2 mm) e areia (entre 2 mm e 63 µm). A fracção inferior a 63 µm foi reservada e procedeu-se à separação por pipetagem, através da utilização de uma Pipeta de Andersen (Figura 3.13). A fracção silto-argilosa foi, numa primeira fase, desfloculada com hexametáfosfato de sódio 0,1M. Procedeu-se então à colheita das fracções silte + argila e argila após agitação segundo a lei de Stokes, sendo estas duas fracções secas a 105°C e pesadas. Com os valores das massas relativas a cada fracção, efectuaram-se os cálculos de modo a determinar as proporções silte (entre 63 e 2 µm) e argila (< 2 µm) e permitir a classificação das amostras por representação num diagrama triangular de Shepard (Pettijohn, 1975).



Figura 3.26: Pipeta de Andersen do Laboratório de Geociências da Universidade de Évora.

3.3.2.2. Densidade (Aparente e das Partículas) e Porosidade

A densidade dos sedimentos é dada pela razão entre a massa da amostra e o volume que este ocupa. Por seu lado, a densidade das partículas refere-se apenas à parte sólida da amostra, excluindo os poros e a percentagem em água. A densidade das partículas resulta então apenas da composição química da amostra e da estrutura dos minerais que a compõem.

A porosidade (P (%)) é dada por uma relação entre a densidade aparente (D_{ap}) e a densidade das partículas (D_{part}), através da relação:

$$P (\%) = 1 - \left(D_{ap} / D_{part} \right) \times 100$$

Para se determinar a densidade aparente das amostras procedeu-se à sua colocação num copo de pequena dimensão e volume conhecido. Este foi seco em estufa ventilada a 105°C , e pesado, sendo a densidade aparente (D_{ap}) dada por:

$$D_{ap} = \frac{m (\text{seco a } 105^{\circ}\text{C})}{V_{\text{copo}}}$$

A densidade das partículas foi obtida pelo aquecimento e fervura de um balão volumétrico com uma massa de amostra conhecida e seca a 105°C em água destilada. Este processo levou à libertação

do ar existente nos poros das amostras, levando à determinação da densidade das partículas a partir da relação:

$$D_{part} = \frac{m \text{ (seco a } 105^{\circ}\text{C)}}{V_{particulas}}$$

4. Resultados



Resultados

Tendo em conta o grande número de amostras recolhidas durante as três campanhas optou-se por apresentar primeiramente os resultados obtidos, sendo apenas no próximo capítulo da discussão que se pretende relacionar os diferentes dados e compreender o comportamento dos elementos metálicos, o que permitirá ponderar numa estratégia de remediação desta área degradada.

4.1. Parâmetros Físico-Químicos (pH, Eh, condutividade eléctrica)

4.1.1. Águas

O pH, o Eh (potencial de oxidação/redução) e a condutividade eléctrica são parâmetros físico-químicos lidos *in-situ* que dão uma primeira ideia da química do ambiente local.

O pH representa a concentração de iões H^+ , indicando condições de acidez, neutralidade ou alcalinidade nas águas, mas também em materiais sólidos, sendo os seus valores associados à dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação de matéria orgânica e fotossíntese. O destaque para o pH refere-se à sua grande influência nos diversos processos físico-químicos e biológicos que ocorrem nos corpos hídricos. Assim, de uma forma geral, o pH determina o equilíbrio dos compostos químicos, uma vez que alterações nos seus valores afectam a mobilidade dos elementos metálicos (Ribeiro, 2010). O potencial de oxidação/redução (Eh) é a medida da tendência de uma espécie química ganhar ou perder electrões, sendo reduzida ou oxidada, respectivamente. Aplicado aos sistemas naturais, nomeadamente águas, sedimentos ou solos permite inferir a disponibilidade de electrões nesses sistemas, permitindo uma rápida caracterização do grau de redução do sistema, assim como compreender a estabilidade dos compostos que regulam a disponibilidade de nutrientes e metais (DeLaune & Reddy, 2005). A condutividade eléctrica é determinada pelas substâncias dissolvidas que se dissociam em aniões e catiões, referindo-se assim à capacidade de conduzir corrente eléctrica. Muitos factores podem influenciar a composição iónica de corpos aquosos, como a geologia da bacia de drenagem e da bacia de acumulação ou o regime pluviométrico. Assim, as diferenças geoquímicas nos tributários de um rio principal podem ser avaliadas com alguma facilidade com recurso a medidas de condutividade eléctrica. Deste modo, águas muito puras são resistentes à corrente eléctrica e apresentam valores baixos de condutividade eléctrica, sendo este um parâmetro importante na identificação de fontes poluidoras (Ribeiro, 2010).

Os valores referentes a todas as análises dos parâmetros físico-químicos nas águas recolhidas nas campanhas de Novembro de 2013 e Março de 2014 encontram-se em Anexo nas Tabelas A.3 e A.4.

As Tabelas 4.1 e 4.2 correspondem assim à análise de alguns parâmetros estatísticos desses valores, permitindo-nos caracterizar o ambiente, de pH aproximadamente neutro, oxidante e com condutividades eléctricas relativamente baixas (na época das chuvas) e altas (na época seca). Este é, portanto, um ambiente claramente oxigenado, em que o pH das águas não tende a mudar muito sazonalmente e cujos teores em material dissolvido dependem directamente do influxo de água pluviométrica e da sua capacidade de diluição.

Tabela 4.1: Valores máximos, mínimos, de média e mediana para o pH, Eh e condutividade eléctrica (C.E.) das águas recolhidas na campanha de Novembro de 2013.

Campanha de Novembro de 2013			
Amostra	pH	Eh	C.E. (mS.cm ⁻¹)
Mínimo	5,00	86	0,73
Máximo	8,15	322	20,50
Média	6,57	214	7,24
Mediana	6,76	220	8,52

Tabela 4.2: Valores máximos, mínimos, de média e mediana para o pH, Eh e condutividade eléctrica (C.E.) das águas recolhidas na campanha de Março de 2014.

Campanha de Março de 2014			
Amostra	pH	Eh	C.E. (mS.cm ⁻¹)
Mínimo	6,17	44	0,08
Máximo	7,24	175	0,51
Média	6,63	121	0,22
Mediana	6,56	135	0,24

4.1.2. Águas Intersticiais

Foram ainda medidos os valores de pH das águas intersticiais dos sedimentos que possuam elevado teor em humidade. Todos os valores correspondentes encontram-se em Anexo na Tabela A.5. No entanto, os valores correspondentes à análise de alguns parâmetros estatísticos destes valores encontram-se representados nas Tabelas 4.3 e 4.4.

Nas campanhas de Setembro e Novembro não se realizaram medições de condutividade eléctrica nas amostras de água intersticial, no entanto, é possível comparar os valores de pH entre os dois períodos sazonais, nas áreas A1 e A3. Não se verificam diferenças significativas nestes valores, mas é possível observar um ligeiro aumento no pH na área A3 na campanha de Março.

Os valores de condutividade eléctrica nas amostras da campanha de Março não são muito elevados, observando-se apenas valores elevados na amostra CA1-14. Estes valores poderão relacionar-se com elevados teores de elementos metálicos sob a forma dissolvida, neste local.

Tabela 4.3: Valores máximos, mínimos, de média e mediana para o pH das águas intersticiais dos sedimentos recolhidos nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013.

Set/Nov 2013	pH		pH	
	Área A1 N = 63		Área BG N = 5	
	Mínimo	3,64	Mínimo	7,02
	Máximo	7,74	Máximo	7,29
	Média	6,34	Média	7,14
	Mediana	6,49	Mediana	7,13
	Área A3 N = 8			
	Mínimo	6,28		
	Máximo	6,57		
	Média	6,43		
	Mediana	6,43		

Tabela 4.4: Valores máximos, mínimos, de média e mediana para o pH e condutividade eléctrica (C.E.) das águas intersticiais dos sedimentos recolhidos na campanha de março de 2014.

Mar 2014	pH		C.E. (mS.cm ⁻¹)		pH		C.E. (mS.cm ⁻¹)	
	Área A1 N = 57		Área A3 N = 6					
	Mínimo	3,74	0,16	Mínimo	6,55	0,26		
	Máximo	7,21	6,78	Máximo	7,74	1,28		
	Média	6,29	1,11	Média	7,04	0,69		
	Mediana	6,63	0,42	Mediana	6,97	0,75		

Foram ainda recolhidas águas intersticiais de algumas aluviões. Os valores totais apresentam-se em Anexo na Tabela A.6, enquanto os seus correspondentes valores mínimos, máximos, de média e mediana, para cada uma das áreas se encontram nas Tabelas 4.5 e 4.6.

Como já tinha sido referido para os sedimentos, também nas aluviões se observa um ligeiro aumento nos valores de pH nas amostras da campanha de Março, visível na área A1, o que poderá relacionar-se com o aumento do caudal do córrego e uma conseqüente maior solubilização dos sulfatos lixiviados a partir da área industrial. Os valores de condutividade eléctrica são também valores relativamente baixos, verificando-se na área A2 um valor muito elevado que deverá corresponder, à semelhança do que acontece com os sedimentos, a maiores teores de material dissolvido, especialmente em elementos metálicos e sulfatos.

Tabela 4.5: Valores máximos, mínimos, de média e mediana para o pH das águas intersticiais de aluviões recolhidas nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013.

Set/Nov 2013		pH		pH			
Área A1		N = 8		Área A2		N = 9	
Mínimo		5,02		Mínimo		5,64	
Máximo		7,09		Máximo		6,07	
Média		5,94		Média		5,90	
Mediana		5,83		Mediana		5,99	

Tabela 4.6: Valores máximos, mínimos, de média e mediana para o pH e condutividade eléctrica (C.E.) das águas intersticiais de aluviões recolhidas na campanha de Março de 2014.

Mar 2014		pH		C.E. (mS.cm ⁻¹)		pH		C.E. (mS.cm ⁻¹)	
Área A1		N = 7		Área A2		N = 1			
Mínimo		5,88		0,58	Mínimo		4,98		2,75
Máximo		7,48		0,84	Máximo		4,98		2,75
Média		6,88		0,68	Média		4,98		2,75
Mediana		6,94		0,66	Mediana		4,98		2,75

4.1.3. Sedimentos

Foram ainda medidos os valores de pH e Eh nos sedimentos recolhidos nas campanhas representativas do período pós-seca e pós-chuvas. Os valores correspondentes a todas estas medições encontram-se em Anexo na Tabela A.7. Na Tabela 4.7 encontram-se os valores correspondentes à análise de alguns parâmetros estatísticos nas campanhas do período pós-seca, enquanto para a campanha do período pós-chuva os valores são representados na Tabela 4.8.

Nas campanhas de Setembro e Novembro é possível ver que estes sedimentos são essencialmente de pH neutro, ou muito próximos a pH neutro, verificando-se valores mínimos de pH ácido em todas as áreas (de pH 5,1 (nas áreas A0 e A1) e 5,9 (nas áreas A3, A5 e BG)) e um valor máximo de pH alcalino, de pH 7,9 na área BG. Na campanha de Março, os valores de pH mantêm-se em média, diminuindo o valor mínimo na área A1 para um valor de 3,1 e aumentando o máximo para um valor de 8,7. Na área A3 não se verificam alterações significativas nos valores de pH.

Os valores de Eh indicam-nos um ambiente em média oxidante, quer nas campanhas de Setembro e Novembro, quer na campanha de Março, à excepção apenas da área BG, que apresenta um ambiente redutor, possivelmente resultado de contaminação por resíduos domésticos provenientes da cidade de Três Marias (Oliveira, 2007). Verifica-se ainda que na campanha de Março ocorre uma diminuição nos valores de Eh, o que corresponde a condições mais redutoras do meio, quer na área A1, quer na área A3.

Tabela 4.7: Valores mínimos, máximos, de média e mediana de pH e Eh referentes às amostras de sedimentos recolhidas nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013.

Set/Nov 2013	pH	Eh (mV)		pH	Eh (mV)
Área A0 N = 8			Área A3 N = 11		
Mínimo	5,13	71	Mínimo	5,87	3
Máximo	6,32	309	Máximo	6,76	359
Média	5,83	156	Média	6,29	239
Mediana	6,04	126	Mediana	6,24	269
Área A1 N = 71			Área A5 N = 3		
Mínimo	5,14	-142	Mínimo	5,93	243
Máximo	7,24	554	Máximo	6,12	306
Média	6,03	101	Média	6,00	268
Mediana	5,98	57	Mediana	5,96	256
			Área BG N = 6		
			Mínimo	5,92	-64
			Máximo	7,92	26
			Média	6,93	-16
			Mediana	7,00	-15

Tabela 4.8: Valores mínimos, máximos, de média e mediana de pH e Eh referentes às amostras de sedimentos recolhidas na campanha de Março de 2014.

Mar 2014	pH	Eh (mV)		pH	Eh (mV)
Área A1 N = 62			Área A3 N = 6		
Mínimo	3,08	-170	Mínimo	5,87	-98
Máximo	8,67	329	Máximo	6,82	228
Média	6,20	6	Média	6,41	17
Mediana	6,37	-45	Mediana	6,45	-9

4.1.4. Aluviões

Também nas aluviões se mediram os valores de pH e Eh, apresentando-se os valores registados em Anexo na Tabela A.8. Os valores correspondentes à análise de alguns parâmetros estatísticos encontram-se representados na Tabela 4.9 para as campanhas de Setembro e Novembro e na Tabela 4.10 para a campanha de Março.

Tabela 4.9: Valores mínimos, máximos, de média e mediana de pH e Eh referentes às amostras de aluviões recolhidas nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013.

Set/Nov 2013	pH	Eh (mV)		pH	Eh (mV)
Área A0		N = 3	Área A2		N = 19
Mínimo	4,99	160	Mínimo	5,48	132
Máximo	5,53	198	Máximo	6,60	320
Média	5,23	183	Média	6,14	231
Mediana	5,17	191	Mediana	6,12	226
Área A1		N = 31	Área A3		N = 9
Mínimo	4,84	4	Mínimo	4,88	162
Máximo	7,48	402	Máximo	7,45	326
Média	5,74	271	Média	6,35	253
Mediana	5,69	299	Mediana	6,45	271
			Área A5		N = 6
			Mínimo	5,62	-26
			Máximo	7,64	218
			Média	6,67	113
			Mediana	6,70	126

Tabela 4.10: Valores mínimos, máximos, de média e mediana de pH e Eh referentes às amostras de aluviões recolhidas na campanha de Março de 2014.

Mar 2014	pH	Eh (mV)		pH	Eh (mV)
Área A1		N = 8	Área A2		N = 5
Mínimo	6,04	-130	Mínimo	5,62	102
Máximo	6,94	163	Máximo	6,56	255
Média	6,60	-14	Média	6,09	200
Mediana	6,62	-40	Mediana	6,20	226
			Área A3		N = 1
			Mínimo	6,32	146
			Máximo	6,32	146
			Média	6,32	146
			Mediana	6,32	146

Nas campanhas referentes ao período pós-seca identificam-se valores de pH com médias e medianas que variam entre os 5,2 e 5,7 nas áreas A0 e A1 e entre os 6,1 e 6,7 nas áreas A2, A3 e A5. Os valores mínimos correspondem à área A1 e A3, com pH de 4,9. Os valores máximos cerca de 7,5-7,6 correspondem a ambientes já levemente alcalinos, e ocorrem nas áreas A1, A3 e A5. Comparando estes valores com os obtidos na campanha de chuva, identifica-se um ambiente mais ácido na época seca, com valores medianos entre 6,2 e 6,6 possivelmente resultado do efeito das chuvas que poderão promover uma maior lavagem dos sulfatos, compostos responsáveis pela maior alcalinidade deste meio. Nas campanhas de Setembro e Novembro, os valores de Eh indicam ambientes tipicamente oxidantes, verificando-se apenas um valor correspondente a ambiente redutor, na área A5. Comparando estes valores com os obtidos na campanha de Março, não se observam diferenças muito significativas à excepção da área A1, onde se identificam valores de Eh característicos de ambientes redutores.

4.2. Química da Fracção Dissolvida

4.2.1. Águas

De modo a determinar-se a composição química da fracção dissolvida procedeu-se a uma simples filtração das águas já acidificadas no campo, tendo procedido à sua análise em ICP-OES. Os resultados finais das análises para todas as amostras encontra-se em Anexo, na Tabela A.9. Os resultados da análise de alguns parâmetros estatísticos encontram-se expressos na Tabela 4.11 para as águas da campanha de Novembro e na Tabela 4.12 para as águas da campanha de Março.

Comparando os resultados obtidos observa-se que, na maioria dos elementos, ocorre uma diminuição da sua concentração na campanha de Março, o que se poderá dever a um efeito de diluição por aumento da afluência de água. Por seu lado, como excepções encontram-se o cobre, no qual se verifica um aumento da sua concentração média e máxima nas amostras da campanha de Março, e o potássio, que por possuir um elevado valor máximo, afecta a média e torna-a superior à média das amostras da campanha de Novembro. No entanto, no caso do potássio, esta excepção poderá dever-se apenas a um valor pontual superior e não com a dinâmica do elemento.

Tabela 4.11: Valores mínimos, máximos, de média e mediana dos teores em alguns elementos químicos na fracção dissolvida das águas recolhidas na campanha de Novembro de 2013.

Novembro 2014	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
Al (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,40	0,21	0,17
As (mg.l ⁻¹)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Ca (mg.l ⁻¹)	5,87	191,21	32,47	14,93
Cd (mg.l ⁻¹)	< 0,001	4,25	0,60	0,07
Co (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,46	0,10	0,02
Cr (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cu (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,012	0,01	0,01
Fe (mg.l ⁻¹)	< 0,001	1,26	0,39	0,26
K (mg.l ⁻¹)	1,37	13,52	5,00	4,51
Mg (mg.l ⁻¹)	1,58	394,61	36,62	11,93
Mn (mg.l ⁻¹)	< 0,001	31,27	4,31	0,94
Na (mg.l ⁻¹)	2,85	41,28	7,32	5,01
Ni (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,18	0,10	0,09
Pb (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,02	0,02	0,02
Zn (mg.l ⁻¹)	< 0,001	321,23	41,74	2,31

Tabela 4.12: Valores mínimos, máximos, de média e mediana dos teores em alguns elementos químicos na fracção dissolvida das águas recolhidas na campanha de Março de 2014.

Março 2014	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
Al (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,09	0,05	0,08
As (mg.l ⁻¹)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Ca (mg.l ⁻¹)	0,72	20,71	8,08	8,24
Cd (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,03	0,01	0,01
Co (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,01	0,01	< 0,001
Cr (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cu (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,10	0,03	0,01
Fe (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,20	0,05	0,01
K (mg.l ⁻¹)	1,65	40,50	5,59	3,64
Mg (mg.l ⁻¹)	0,35	31,23	8,88	8,06
Mn (mg.l ⁻¹)	< 0,001	2,04	0,58	0,30
Na (mg.l ⁻¹)	2,07	5,91	4,06	3,96
Ni (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,003	< 0,001	< 0,001
Pb (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,002	< 0,001	< 0,001
Zn (mg.l ⁻¹)	0,04	22,47	4,31	1,88

4.2.2. Águas Intersticiais

À semelhança do que foi realizado nas águas, também nas águas intersticiais se procedeu à análise da fracção dissolvida. Os valores totais correspondentes à análise em todos os sedimentos encontram-se em Anexo, nas Tabelas A.10 e A.11. Representam-se assim seguidamente os resultados de alguns parâmetros estatística destes dados, para as campanhas de Setembro e Novembro, nas Tabelas 4.13 e 4.14 e na Tabela 4.15 para a campanha de Março.

Tabela 4.13: Valores mínimos, máximos, de média e mediana dos teores de alguns elementos químicos na fracção dissolvida das águas intersticiais dos sedimentos recolhidas nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013, nas áreas A0 e A1.

Set/Nov 2013	Área A0 N = 6				Área A1 N = 63			
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
Al (mg.l ⁻¹)	0,12	0,28	0,16	0,15	< 0,001	1,50	0,17	0,07
As (mg.l ⁻¹)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	0,02	0,01
Ca (mg.l ⁻¹)	<0,001	11,09	3,97	2,20	0,80	528,53	75,68	12,02
Cd (mg.l ⁻¹)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	< 0,001	2,96	0,60	0,28
Co (mg.l ⁻¹)	-	-	-	-	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cr (mg.l ⁻¹)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	< 0,001	1,32	0,17	0,03
Cu (mg.l ⁻¹)	0,01	0,02	0,01	0,01	< 0,001	3,32	0,28	0,01
Fe (mg.l ⁻¹)	0,21	9,68	2,67	1,07	< 0,001	295,66	17,74	1,75
K (mg.l ⁻¹)	0,61	2,85	1,53	1,48	0,18	27,49	6,39	3,54
Mg (mg.l ⁻¹)	0,63	4,71	1,80	1,47	0,57	1589,03	149,53	12,88
Mn (mg.l ⁻¹)	0,18	0,64	0,43	0,48	0,02	140,35	15,59	1,22
Na (mg.l ⁻¹)	3,20	7,20	4,85	4,62	1,34	145,48	19,40	7,63
Ni (mg.l ⁻¹)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	< 0,001	0,63	0,15	0,07
Pb (mg.l ⁻¹)	<0,001	0,01	0,00	0,00	< 0,001	1,28	0,18	0,09
Zn (mg.l ⁻¹)	0,25	1,82	1,01	1,02	0,08	733,82	87,51	1,70

Comparando os valores obtidos nas várias áreas com a área A0, verifica-se um enriquecimento nas restantes áreas em crómio, manganês e em elementos alcalinos e alcalino-terrosos (potássio, cálcio e magnésio), e nas áreas A1 e A3 em cádmio, cobre, níquel, chumbo e zinco. O arsénio aparece apenas nas águas intersticiais dos sedimentos da área A1.

Ao comparar os valores do material dissolvido das águas intersticiais dos sedimentos das campanhas de Setembro e Novembro com a campanha de Março, é possível identificar que os elementos como o alumínio, o cobalto e o potássio tendem a aumentar na campanha de Março, enquanto a maioria dos metais (cádmio, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) possuem teores médios mais elevados nas campanhas correspondentes ao período pós-seca, Setembro e Novembro.

Tabela 4.14: Valores mínimos, máximos, de média e mediana dos teores de alguns elementos químicos na fracção dissolvida das águas intersticiais dos sedimentos recolhidas nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013, nas áreas A3 e BG.

Set/Nov 2013	Área A3 N = 8				Área BG N = 5			
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
Al (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,0046	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,04	0,02	0,01
As (mg.l ⁻¹)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Ca (mg.l ⁻¹)	4,60	161,42	67,52	58,66	25,22	85,26	53,48	51,73
Cd (mg.l ⁻¹)	0,01	0,87	0,37	0,35	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Co (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,04	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cr (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,14	0,07	0,08	< 0,001	0,02	0,01	0,01
Cu (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,06	0,03	0,01	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Fe (mg.l ⁻¹)	< 0,001	5,05	3,54	3,54	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
K (mg.l ⁻¹)	3,18	9,03	5,54	5,49	1,44	7,36	3,35	2,31
Mg (mg.l ⁻¹)	13,86	51,00	28,45	27,55	5,43	17,60	9,44	7,36
Mn (mg.l ⁻¹)	4,52	25,06	16,66	17,27	2,28	4,92	3,48	3,37
Na (mg.l ⁻¹)	0,11	23,38	16,20	17,35	3,25	29,26	11,23	6,21
Ni (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,03	0,02	0,02	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Pb (mg.l ⁻¹)	< 0,001	104,35	104,35	104,35	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Zn (mg.l ⁻¹)	6,79	48,47	25,69	26,76	0,04	1,05	0,54	0,54

Tabela 4.15: Valores mínimos, máximos, de média e mediana dos teores de alguns elementos químicos na fracção dissolvida das águas intersticiais dos sedimentos recolhidas na campanha de Março de 2014.

Mar 2014	Área A1 N = 57				Área A3 N = 6			
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
Al (mg.l ⁻¹)	< 0,001	1,94	0,23	0,10	< 0,001	0,18	0,16	0,18
As (mg.l ⁻¹)	< 0,01	1,3099	0,4485	0,4336	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Ca (mg.l ⁻¹)	1,82	490,09	74,53	17,59	6,44	158,75	80,67	92,10
Cd (mg.l ⁻¹)	< 0,001	2,99	0,34	0,02	< 0,001	0,03	0,02	0,02
Co (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,93	0,05	0,01	0,00	0,03	0,02	0,02
Cr (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cu (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,40	0,05	0,01	< 0,001	0,01	0,01	0,01
Fe (mg.l ⁻¹)	< 0,001	14,13	2,21	0,75	0,03	1,74	0,44	0,19
K (mg.l ⁻¹)	0,96	384,39	13,17	5,96	3,01	27,51	13,16	9,21
Mg (mg.l ⁻¹)	1,73	1021,28	114,98	13,26	2,69	171,91	52,17	38,45
Mn (mg.l ⁻¹)	0,00	61,80	10,40	7,41	0,38	8,13	3,62	2,37
Na (mg.l ⁻¹)	5,21	570,35	37,00	9,74	3,60	718,11	174,13	16,37
Ni (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,29	0,14	0,16	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Pb (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,66	0,14	0,03	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Zn (mg.l ⁻¹)	0,02	892,21	78,68	0,79	0,17	1,86	0,76	0,58

Os maiores teores em elementos alcalinos e alcalino-terrosos, assim como em arsênio nas águas intersticiais nas campanhas pós-chuva poderão dever-se à dissolução das camadas ricas em sulfatos que se formam durante a época seca nas imediações do córrego Consciência (Figura 4.1) e que fornecem ao córrego um acarreo destes elementos.



Figura 4.1: Acumulações sulfatadas junto ao córrego Consciência (Época Seca 2010).

Foram ainda lidas as frações dissolvidas das águas intersticiais das aluviões. Os resultados totais, referentes a todas as amostras de aluviões encontram-se em Anexo, nas Tabelas A.12 e A.13. A análise de alguns parâmetros estatísticos apresenta-se nas Tabelas 4.16 e 4.17 para as amostras referentes às campanhas pós-seca e na Tabela 4.18 para as amostras referentes à campanha pós-chuva.

Comparando as diferentes áreas, nas amostras das campanhas pós-seca, é a área A2 a que apresenta os maiores valores médios na maioria dos elementos metálicos, nomeadamente em alumínio, arsênio, crómio, cobre, manganês, níquel, chumbo e zinco, mas também nos elementos alcalinos e alcalino-terrosos (sódio, potássio, cálcio e magnésio). A área A5 é a área com menor concentração em metais, verificando-se apenas o valor médio mais elevado para o ferro. A área A1 possui, à semelhança da área A2 teores preocupantes de metais contaminantes nas águas intersticiais, apresentando o maior teor médio em cádmio.

Podem ser ainda relacionados os teores pós-seca e pós-chuva nas áreas mais preocupantes: a área A1 e A2. Deste modo, é possível identificar os elementos que apresentam maior concentração na época seca, nomeadamente o alumínio, o cálcio, o cádmio, o cobalto, o crómio, o cobre, o manganês, o níquel, o chumbo e o zinco. Identifica-se ainda um comportamento misto: o potássio, o magnésio e o sódio possuem uma maior concentração nas águas intersticiais nas campanhas de Setembro e Novembro na área A2, enquanto na área A1 há uma tendência para um aumento nas amostras da campanha de Março. Este comportamento pode ser explicado, como já foi referido para os sedimentos, pela dissolução das acumulações mais ricas em sulfatos, que poderão levar um acarreo destes elementos para a área A1, a jusante da área A2.

Tabela 4.16: Valores mínimos, máximos, de média e mediana dos teores de alguns elementos químicos na fracção dissolvida das águas intersticiais de aluviões recolhidas nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013, nas áreas A1 e A2.

Set/Nov 2013	Área A1 N = 8				Área A2 N = 9			
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
Al (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,52	0,14	0,04	0,01	3,50	0,75	0,19
As (mg.l ⁻¹)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,05	0,05	0,05
Ca (mg.l ⁻¹)	13,82	378,63	112,72	71,27	277,00	553,44	394,92	414,21
Cd (mg.l ⁻¹)	< 0,001	3,24	1,20	0,47	< 0,001	2,44	0,81	0,73
Co (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cr (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,28	0,13	0,11	< 0,001	1,38	0,36	0,05
Cu (mg.l ⁻¹)	0,01	0,06	0,02	0,01	0,01	0,53	0,13	0,03
Fe (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,73	0,29	0,11	< 0,001	29,30	7,01	0,73
K (mg.l ⁻¹)	3,34	18,90	9,17	8,90	12,73	60,61	22,64	19,12
Mg (mg.l ⁻¹)	5,50	220,87	54,71	27,18	409,77	1753,11	885,74	645,70
Mn (mg.l ⁻¹)	0,08	52,00	11,92	4,67	28,27	176,56	78,84	54,93
Na (mg.l ⁻¹)	5,23	24,96	10,47	7,63	60,63	217,90	108,28	94,09
Ni (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,40	0,12	0,04	0,15	0,72	0,39	0,38
Pb (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,21	0,08	0,06	0,05	0,69	0,30	0,18
Zn (mg.l ⁻¹)	0,95	584,26	154,23	70,86	57,26	743,42	327,91	280,12

Tabela 4.17: Valores mínimos, máximos, de média e mediana dos teores de alguns elementos químicos na fracção dissolvida das águas intersticiais de aluviões recolhidas nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013, nas áreas A3 e A5.

Set/Nov 2013	Área A3 N = 1				Área A5 N = 3			
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
Al (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,13	0,19	0,17	0,18
As (mg.l ⁻¹)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Ca (mg.l ⁻¹)	505,03	505,03	505,03	505,03	58,61	67,39	64,31	66,93
Cd (mg.l ⁻¹)	6,31	6,31	6,31	6,31	< 0,001	0,04	0,04	0,04
Co (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cr (mg.l ⁻¹)	0,05	0,05	0,05	0,05	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cu (mg.l ⁻¹)	0,05	0,05	0,05	0,05	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Fe (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	14,46	74,03	46,05	49,65
K (mg.l ⁻¹)	23,75	23,75	23,75	23,75	0,71	2,28	1,46	1,38
Mg (mg.l ⁻¹)	223,85	223,85	223,85	223,85	52,22	58,28	55,71	56,63
Mn (mg.l ⁻¹)	45,07	45,07	45,07	45,07	3,00	5,32	3,87	3,29
Na (mg.l ⁻¹)	60,58	60,58	60,58	60,58	7,85	8,84	8,20	7,90
Ni (mg.l ⁻¹)	0,18	0,18	0,18	0,18	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Pb (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,002	0,05	0,03	0,04
Zn (mg.l ⁻¹)	224,00	224,00	224,00	224,00	1,12	5,87	2,80	1,41

Tabela 4.18: Valores mínimos, máximos, de média e mediana dos teores de alguns elementos químicos na fracção dissolvida das águas intersticiais de aluviões recolhidas na campanha de Março de 2014.

Mar 2014	Área A1 N = 7				Área A2 N = 1			
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
Al (mg.l⁻¹)	< 0,001	0,11	0,06	0,004	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
As (mg.l⁻¹)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Ca (mg.l⁻¹)	26,37	41,10	33,20	31,01	201,67	201,67	201,67	201,67
Cd (mg.l⁻¹)	< 0,001	0,04	0,03	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02
Co (mg.l⁻¹)	< 0,001	0,02	0,01	0,01	0,27	0,27	0,27	0,27
Cr (mg.l⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cu (mg.l⁻¹)	< 0,001	0,02	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03
Fe (mg.l⁻¹)	< 0,001	4,61	1,02	0,51	68,60	68,60	68,60	68,60
K (mg.l⁻¹)	4,68	22,69	12,67	11,30	8,34	8,34	8,34	8,34
Mg (mg.l⁻¹)	42,03	116,86	84,41	78,10	279,84	279,84	279,84	279,84
Mn (mg.l⁻¹)	0,48	3,42	1,50	1,16	16,47	16,47	16,47	16,47
Na (mg.l⁻¹)	13,37	571,34	262,74	225,71	71,43	71,43	71,43	71,43
Ni (mg.l⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,14	0,14	0,14	0,14
Pb (mg.l⁻¹)	< 0,001	0,06	0,06	0,06	0,01	0,01	0,01	0,01
Zn (mg.l⁻¹)	0,02	4,82	0,84	0,17	94,61	94,61	94,61	94,61

4.3. Fracção Particulada na Coluna de Água

A fracção particulada foi determinada apenas nas amostras de águas recolhidas na campanha de Março. Estas amostras não foram filtradas, e procedeu-se à ressuspensão do material particulado por agitação e colheita de uma sub-amostra, onde se procedeu à sua digestão parcial por adição por mistura de ácido nítrico e ácido clorídrico na proporção de 3:1.

Utilizando esta metodologia, a fracção lida por ICP-OES corresponderá à fracção “dissolvida + particulada”. Deste modo, e utilizando as concentrações já apresentadas para as mesmas amostras, é possível determinar a fracção particulada, através de uma simples subtração do material dissolvido, tendo-se ignorado os teores abaixo dos limites de detecção.

Os resultados finais resultantes da análise da fracção particulada encontram-se em Anexo, na Tabela A.14. Apresentam-se assim na Tabela 4.19 os valores correspondentes à análise de alguns parâmetros estatísticos destes valores.

Numa comparação directa com os valores da fracção dissolvida, presentes na Tabela 4.12, é possível referir que a maioria dos elementos representados se encontra na fase particulada, nomeadamente o arsénio, o cobalto, o crómio, o cobre, o ferro, o níquel e o chumbo. Por outro lado, o cádmio, o manganês e o zinco encontram-se preferencialmente na fase dissolvida. Estas elevadas concentrações na fase dissolvida poderão relacionar-se com o grau de contaminação das amostras, nos casos do cádmio e do zinco, que ocorre preferencialmente sob formas químicas mais solúveis e com a maior solubilidade do manganês em determinados períodos do ano, facto que já se verificou nas águas intersticiais dos sedimentos.

Tabela 4.19: Teores de metais e metalóides nos material particulado das águas recolhidas na campanha de Março.

Mar 2014	Material Particulado (Águas) N = 15			
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
As (mg.l⁻¹)	0,021	0,0583	0,0456	0,0575
Cd (mg.l⁻¹)	0,007	0,0777	0,038	0,0305
Co (mg.l⁻¹)	0,0365	0,1719	0,0746	0,0659
Cr (mg.l⁻¹)	0,0095	0,0694	0,035	0,033
Cu (mg.l⁻¹)	1,0502	6,0987	2,6863	2,1669
Fe (mg.l⁻¹)	0,8327	4,0008	1,768	1,461
Mn (mg.l⁻¹)	0,0214	0,285	0,1033	0,0831
Ni (mg.l⁻¹)	0,0114	0,0261	0,0168	0,013
Pb (mg.l⁻¹)	0,0165	0,1393	0,0583	0,0426
Zn (mg.l⁻¹)	0,2746	1,5542	0,7638	0,5548

4.4. Digestão Parcial

4.4.1. Sedimentos

Os resultados completos da digestão parcial de todas as amostras encontram-se em Anexo, na Tabela A.15. Seguem-se os valores mínimos, máximos, de média e mediana resultantes da análise de dados, nas Tabelas 4.20 a 4.22 para as amostras de sedimentos referentes às campanhas pós-seca, e na Tabela 4.23 para as amostras referentes à campanha pós-chuva.

Deste modo, e comparando os valores das campanhas de Setembro e Novembro da área A0 com as restantes áreas, podemos observar teores médios superiores em todas as áreas em cádmio, manganês, níquel, chumbo e zinco, e inferiores em crómio e ferro em relação à média das amostras referentes à área tomada como *background*. Identificam-se ainda teores médios superiores em

cobalto, nas áreas A3 e A5 e em arsênio nas áreas A1 e A3. É ainda de destacar que os valores observados nas áreas A5 e BG são na maioria dos elementos inferiores aos registados nas restantes áreas, sendo os teores em cobre na área A5 são extremamente elevados.

Tabela 4.20: Teores mínimos, máximos, de média e mediana de metais (cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metalóides (arsênio) resultantes da digestão parcial dos sedimentos nas campanhas de Setembro e Novembro nas áreas A0 e A1.

Set/Nov 2013	Área A0 N = 8				Área A1 N = 71			
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
As (mg.kg⁻¹)	< 0,25	7,40	3,19	3,19	< 0,25	87,30	5,93	< 0,25
Cd (mg.kg⁻¹)	< 0,025	2,00	0,47	0,47	< 0,025	207,22	11,68	5,23
Co (mg.kg⁻¹)	4,48	10,93	7,96	8,34	2,17	28,55	6,54	5,22
Cr (mg.kg⁻¹)	26,74	152,76	85,42	94,31	5,69	61,09	38,21	39,32
Cu (mg.kg⁻¹)	26,47	178,16	78,57	60,21	31,64	347,71	110,10	85,74
Fe (mg.kg⁻¹)	22739,07	70848,34	50566,99	52263,66	13621,04	107971,50	45051,58	43624,83
Mn (mg.kg⁻¹)	50,37	355,12	147,86	132,12	56,46	3026,81	453,36	319,47
Ni (mg.kg⁻¹)	4,88	9,43	7,30	7,18	5,90	22,72	13,52	13,24
Pb (mg.kg⁻¹)	5,08	14,19	10,97	11,75	1,67	985,13	144,46	20,73
Zn (mg.kg⁻¹)	35,77	116,27	67,45	63,22	55,90	29521,91	4419,66	627,47

Tabela 4.21: Teores mínimos, máximos, de média e mediana de metais (cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metalóides (arsênio) resultantes da digestão parcial dos sedimentos nas campanhas de Setembro e Novembro nas áreas A3 e A5

Set/Nov 2013	Área A3 N = 11				Área A5 N = 3			
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
As (mg.kg⁻¹)	< 0,25	31,80	4,66	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25
Cd (mg.kg⁻¹)	8,42	44,79	23,06	23,72	30,59	42,01	36,78	37,74
Co (mg.kg⁻¹)	2,87	14,31	6,73	6,57	6,21	7,51	6,70	6,40
Cr (mg.kg⁻¹)	25,43	56,52	36,49	32,13	36,70	45,20	40,74	40,32
Cu (mg.kg⁻¹)	45,45	367,83	159,99	165,10	261,69	387,22	317,28	302,94
Fe (mg.kg⁻¹)	23218,90	73311,35	39890,71	32825,93	37204,99	52048,25	46565,11	50442,09
Mn (mg.kg⁻¹)	151,27	1475,67	528,53	431,52	142,64	202,45	171,15	168,37
Ni (mg.kg⁻¹)	6,92	17,43	10,74	9,85	12,98	16,54	14,98	15,41
Pb (mg.kg⁻¹)	34,26	518,02	152,42	107,75	51,04	62,90	58,87	62,66
Zn (mg.kg⁻¹)	990,41	18065,55	4789,04	2865,96	1986,41	2517,70	2212,55	2133,55

Tabela 4.22: Teores mínimos, máximos, de média e mediana de metais (cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metalóides (arsénio) resultantes da digestão parcial dos sedimentos nas campanhas de Setembro e Novembro na área BG.

Set/Nov 2013	Área BG			
	N = 6			
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
As (mg.kg ⁻¹)	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25
Cd (mg.kg ⁻¹)	< 0,025	2,74	1,34	1,45
Co (mg.kg ⁻¹)	2,48	11,10	6,02	4,27
Cr (mg.kg ⁻¹)	30,24	145,08	61,57	37,57
Cu (mg.kg ⁻¹)	60,91	170,38	94,27	83,00
Fe (mg.kg ⁻¹)	26695,43	97754,60	45581,86	34044,23
Mn (mg.kg ⁻¹)	86,25	378,95	192,98	154,25
Ni (mg.kg ⁻¹)	9,69	13,06	11,06	10,87
Pb (mg.kg ⁻¹)	8,29	20,94	14,25	13,94
Zn (mg.kg ⁻¹)	145,96	1044,02	575,18	569,38

Tabela 4.23: Teores mínimos, máximos, de média e mediana de metais (cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metalóides (arsénio) resultantes da digestão parcial dos sedimentos na campanha de Março nas áreas A1 e A3.

Mar 2014	Área A1				Área A3			
	N = 61				N = 6			
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
As (mg.kg ⁻¹)	< 0,25	134,40	26,08	26,08	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25
Cd (mg.kg ⁻¹)	< 0,025	52,33	9,34	9,34	4,04	14,61	8,40	7,75
Co (mg.kg ⁻¹)	2,73	23,58	9,94	8,28	3,70	5,84	4,83	4,84
Cr (mg.kg ⁻¹)	15,88	75,79	32,30	30,94	23,41	31,84	27,96	29,32
Cu (mg.kg ⁻¹)	35,98	672,30	255,73	231,97	42,53	90,10	64,37	66,40
Fe (mg.kg ⁻¹)	14943,85	181738,31	61389,83	40571,33	13947,34	27814,28	20392,97	21076,87
Mn (mg.kg ⁻¹)	65,85	2307,55	638,06	568,96	138,12	336,73	233,52	239,56
Ni (mg.kg ⁻¹)	6,48	30,12	15,91	15,05	6,15	9,56	8,23	8,48
Pb (mg.kg ⁻¹)	1,53	6103,96	1375,08	542,05	11,86	66,61	39,24	41,89
Zn (mg.kg ⁻¹)	47,81	43490,80	13063,45	10468,94	363,52	1861,80	1161,98	1280,12

A grande diferença registada nos teores dissolvidos dos elementos metálicos nas águas e nas águas intersticiais dos sedimentos entre as amostras das campanhas pós-seca e pós-chuvas não se verificam, em grande escala, na fase sólida dos sedimentos. Observam-se teores médios mais elevados nas campanhas pós-chuva em cádmio e crómio, no entanto, os teores médios de arsénio, cobalto, manganês, níquel, chumbo e zinco são superiores na área A1 nos sedimentos recolhidos na

campanha de Março e na área A3 nos sedimentos recolhidos nas campanhas de Setembro e Novembro. Esta maior homogeneidade sazonal nos teores dos metais podem ser explicados pelo facto de, durante este ano, não se terem registado os valores normais de pluviosidade, tendo a precipitação ocorrido de uma forma muito intensa num período de tempo muito curto, durante o mês de Dezembro. Após este mês verificaram-se temperaturas elevadas e um período de seca muito intenso (INMET), o que pode ter interferido na regularidade dos valores obtidos.

4.4.2. Aluviões

Os resultados totais referentes à digestão parcial das aluviões encontram-se em Anexo, na Tabela A.16. Seguidamente apresentam-se os valores mínimos, máximos, médios e medianos de cada um dos elementos analisados para cada uma das áreas, estando as campanhas de Setembro e Novembro representadas nas Tabelas 4.24 a 4.26, enquanto a campanha de Março se encontra representada pelas Tabelas 4.27 e 4.28.

Tabela 4.24: Teores mínimos, máximos, de média e mediana de metais (cádmio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metalóides (arsénio) resultantes da digestão parcial das aluviões nas campanhas de Setembro e Novembro nas áreas A0 e A1.

Set/Nov 2013	Área A0 N = 3				Área A1 N = 31			
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
As (mg.kg⁻¹)	< 0,25	1,51	0,59	< 0,25	< 0,25	18,07	2,94	< 0,25
Cd (mg.kg⁻¹)	< 0,025	0,06	0,03	< 0,025	< 0,025	149,93	16,76	13,15
Co (mg.kg⁻¹)	3,28	4,33	3,87	4,00	2,92	12,51	5,87	5,50
Cr (mg.kg⁻¹)	17,07	21,23	18,72	17,85	18,04	70,44	33,33	29,16
Cu (mg.kg⁻¹)	13,05	14,84	14,04	14,25	14,74	325,58	104,27	79,17
Fe (mg.kg⁻¹)	20640,29	29402,36	25067,29	25159,24	24884,79	110243,36	43095,01	39466,77
Mn (mg.kg⁻¹)	135,62	145,50	142,03	144,96	115,60	775,76	298,00	238,63
Ni (mg.kg⁻¹)	4,83	5,77	5,43	5,69	5,98	21,62	11,01	10,19
Pb (mg.kg⁻¹)	4,76	5,01	4,86	4,82	2,63	793,04	128,72	87,26
Zn (mg.kg⁻¹)	32,44	44,19	37,09	34,65	159,06	25069,06	3265,20	2278,39

Tabela 4.25: Teores mínimos, máximos, de média e mediana de metais (cádmio, cobalto, crômio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metalóides (arsênio) resultantes da digestão parcial das aluviões nas campanhas de Setembro e Novembro nas áreas A2 e A3.

Set/Nov 2013	Área A2 N = 18				Área A3 N = 10			
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
As (mg.kg⁻¹)	< 0,25	1480,74	195,12	32,72	< 0,25	31,27	11,39	15,15
Cd (mg.kg⁻¹)	3,12	159,69	35,62	23,04	12,68	40,73	26,95	27,86
Co (mg.kg⁻¹)	2,69	25,22	8,26	6,13	3,72	32,16	12,47	9,07
Cr (mg.kg⁻¹)	12,73	60,48	30,37	26,78	23,21	74,51	43,11	40,10
Cu (mg.kg⁻¹)	14,90	3246,94	696,64	311,30	122,67	337,94	190,46	146,70
Fe (mg.kg⁻¹)	35265,99	231499,91	112301,91	80931,06	40128,03	81619,97	56327,54	52279,04
Mn (mg.kg⁻¹)	94,47	4944,89	828,28	194,01	409,87	2239,84	1038,38	824,44
Ni (mg.kg⁻¹)	7,89	30,41	17,07	17,16	8,82	17,76	13,17	13,11
Pb (mg.kg⁻¹)	4,80	3997,06	1514,88	1299,38	46,94	556,17	296,25	318,80
Zn (mg.kg⁻¹)	557,33	65720,57	31120,28	26081,75	1080,62	13228,57	8500,24	11647,10

Tabela 4.26: Teores mínimos, máximos, de média e mediana de metais (cádmio, cobalto, crômio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metalóides (arsênio) resultantes da digestão parcial das aluviões nas campanhas de Setembro e Novembro na área A5.

Set/Nov 2013	Área A5 N = 6			
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
As (mg.kg⁻¹)	< 0,25	14,27	2,82	< 0,25
Cd (mg.kg⁻¹)	0,71	52,46	13,38	2,99
Co (mg.kg⁻¹)	2,93	6,02	4,41	4,29
Cr (mg.kg⁻¹)	18,25	24,00	21,05	20,87
Cu (mg.kg⁻¹)	15,18	154,76	55,95	21,34
Fe (mg.kg⁻¹)	29298,42	45738,98	36305,31	34704,82
Mn (mg.kg⁻¹)	71,26	199,27	145,47	149,70
Ni (mg.kg⁻¹)	6,01	11,52	8,49	8,25
Pb (mg.kg⁻¹)	8,45	166,26	41,50	10,63
Zn (mg.kg⁻¹)	160,84	21136,27	5762,32	344,35

Tabela 4.27: Teores mínimos, máximos, de média e mediana de metais (cádmio, cobalto, crômio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metalóides (arsênio) resultantes da digestão parcial das aluviões na campanha de Março nas áreas A1 e A2.

Mar 2014	Área A1 N = 8				Área A2 N = 4			
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
As (mg.kg⁻¹)	< 0,25	24,08	3,12	< 0,25	< 0,25	24,19	8,22	4,28
Cd (mg.kg⁻¹)	6,75	24,61	14,00	6,75	2,83	39,11	29,43	35,81
Co (mg.kg⁻¹)	2,25	10,72	5,67	5,00	2,97	19,74	9,69	8,08
Cr (mg.kg⁻¹)	19,61	43,71	32,39	31,84	22,62	62,87	43,16	42,80
Cu (mg.kg⁻¹)	117,32	527,02	193,92	139,15	60,86	275,04	212,39	241,27
Fe (mg.kg⁻¹)	26314,43	163074,72	50866,36	32426,59	34840,65	124755,70	63280,35	55863,30
Mn (mg.kg⁻¹)	92,48	948,99	311,15	217,53	73,78	1278,89	705,45	831,24
Ni (mg.kg⁻¹)	7,51	15,25	11,50	10,75	11,96	73,78	24,80	12,75
Pb (mg.kg⁻¹)	71,20	965,39	241,79	126,58	19,51	845,77	590,73	678,33
Zn (mg.kg⁻¹)	2188,32	38067,18	7621,17	3311,43	62,63	36257,51	15280,56	12547,68

Tabela 4.28: Teores mínimos, máximos, de média e mediana de metais (cádmio, cobalto, crômio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco) e metalóides (arsênio) resultantes da digestão parcial das aluviões na campanha de Março na área A3.

Mar-14	Área A3 N = 1			
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
As (mg.kg⁻¹)	58,47	58,47	58,47	58,47
Cd (mg.kg⁻¹)	21,64	21,64	21,64	21,64
Co (mg.kg⁻¹)	9,16	9,16	9,16	9,16
Cr (mg.kg⁻¹)	34,39	34,39	34,39	34,39
Cu (mg.kg⁻¹)	533,01	533,01	533,01	533,01
Fe (mg.kg⁻¹)	39855,20	39855,20	39855,20	39855,20
Mn (mg.kg⁻¹)	913,76	913,76	913,76	913,76
Ni (mg.kg⁻¹)	16,00	16,00	16,00	16,00
Pb (mg.kg⁻¹)	1068,08	1068,08	1068,08	1068,08
Zn (mg.kg⁻¹)	15393,78	15393,78	15393,78	15393,78

Comparando os valores médios apresentados nas várias áreas para os diferentes elementos analisados, verificam-se teores elevados em todos os elementos, teores especialmente elevados nas áreas A1 e A2, especialmente em zinco, mas também em arsênio, cádmio, cobre e chumbo na área A2.

Tendo como base estes valores e os teores apresentados na campanha de Março, identificam-se teores mais elevados nas campanhas referentes à estação pós-seca nas áreas A2 e A3, enquanto os teores na maioria dos elementos são mais elevados nas aluviões recolhidas na campanha pós-chuvas na área A1. Estes valores poderão dever-se, como já foi referido para o caso dos sedimentos, a um período de chuvas muito intenso, que levou à lixiviação dos principais elementos metálicos, associados a fases de maior mobilidade, das áreas a montante (A2 e A3) para a área A1. O súbito período de seca que se seguiu levou à deposição destes elementos, associados a fases particuladas ou dissolvidas, nas aluviões próximos ao córrego, levando ao aumento dos teores de metais nestas amostras.

4.5. Extracção Sequencial

4.5.1. Sedimentos

A extracção sequencial possibilita a identificação das fases minerais e/ou orgânicas em se encontram os principais elementos metálicos, permitindo assim distinguir os mais facilmente solubilizáveis e, portanto, ambientalmente mais perigosos. Deste modo, em Anexo nas Tabelas A.17 a A.25 apresentam-se os resultados correspondentes aos elementos analisados para cada uma das fracções extraídas, para as amostras de sedimentos em que se realizou a extracção sequencial. Na Tabela 4.29 encontram-se os valores correspondentes às percentagens mínimas, máximas, médias e medianas extraídas, para cada um dos elementos analisados.

Assim, e de acordo com a Tabela 4.29, o cádmio, o cobalto e o zinco são os elementos mais perigosos, estando associados à fracção mais solúvel e aos óxidos de manganês (fracções #1 e #2) fases estas que, para baixos valores de pH, apresentam elevada solubilidade. O manganês e o chumbo possuem também fracções facilmente solubilizáveis estando, respectivamente, aproximadamente 50% e 40% destes elementos, ligados às duas fracções mais lábeis, possuindo também uma fracção mais estável, ligada a óxidos de ferro cristalinos. O crómio está quase na sua totalidade associado aos óxidos de ferro cristalinos, sendo, por isso, um elemento estável. Associados a óxidos de ferro amorfos (#3) e cristalinos (#5), preferencialmente a óxidos cristalinos, de estrutura mais estável, encontram-se o cobre, o ferro e o níquel, o que lhes dará, independentemente das suas elevadas concentrações (no caso de ferro e do cobre), uma maior estabilidade no meio. Os sulfuretos metálicos não têm uma presença significativa, o que aponta para o facto de, nos sedimentos, existentes nas margens do córrego ou imersos, não deverem existir condições suficientemente redutoras para reduzir o enxofre dos sulfatos e permitir a formação de sulfuretos.

Tabela 4.29: Valores mínimos, máximos, de média e mediana da percentagem extraída para cada elemento metálico (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn) nas diferentes fases da extracção sequencial, para os sedimentos.

#1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a matéria orgânica e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos.

	#1 (%)	#2 (%)	#3 (%)	#4 (%)	#5 (%)
Cd N = 31					
Mínimo	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Máximo	81,42	60,07	52,81	42,54	95,02
Média	46,66	16,42	5,37	6,97	25,04
Mediana	54,11	13,03	2,03	5,24	9,33
Co N = 31					
Mínimo	< 1	7,19	< 1	< 1	< 1
Máximo	72,10	88,74	53,98	9,46	69,46
Média	28,36	34,17	16,80	2,45	18,63
Mediana	24,45	25,90	13,30	1,54	8,04
Cr N = 31					
Mínimo	< 1	< 1	1,07	< 1	< 1
Máximo	2,63	5,29	68,62	58,39	97,95
Média	< 1	< 1	11,52	9,48	77,78
Mediana	< 1	< 1	6,08	5,40	86,44
Cu N = 31					
Mínimo	1,85	< 1	< 1	< 1	25,15
Máximo	27,70	30,29	45,17	19,49	96,25
Média	8,38	16,67	19,53	5,31	50,12
Mediana	6,35	18,79	17,73	3,94	44,33
Fe N = 31					
Mínimo	< 1	< 1	2,33	< 1	27,08
Máximo	8,44	21,50	42,85	4,59	95,49
Média	3,25	4,61	12,46	1,57	78,12
Mediana	2,03	2,38	8,20	1,22	83,96
Mn N = 31					
Mínimo	8,36	4,35	< 1	< 1	< 1
Máximo	75,26	82,12	28,88	3,37	65,66
Média	31,75	26,43	7,97	1,36	32,62
Mediana	25,10	18,32	6,47	1,26	28,82
Ni N = 31					
Mínimo	< 1	< 1	2,42	< 1	33,15
Máximo	33,49	26,42	54,68	10,61	89,58
Média	8,12	8,17	17,07	6,58	60,19
Mediana	5,50	5,47	12,70	7,62	58,63

Pb					N = 31
Mínimo	3,04	4,87	1,36	< 1	13,16
Máximo	59,59	41,95	29,33	3,44	83,58
Média	24,54	17,10	13,00	< 1	44,91
Mediana	20,11	16,03	12,95	< 1	44,15
Zn					N = 31
Mínimo	8,57	13,22	< 1	< 1	< 1
Máximo	70,86	86,16	27,96	17,21	37,99
Média	42,12	33,49	8,69	4,93	10,87
Mediana	43,13	29,21	9,22	3,49	8,13

4.5.2. Aluviões

À semelhança do que acontece com os sedimentos, também nas aluviões se procedeu à extracção sequencial de algumas amostras. A listagem destas amostras e os teores extraídos para cada um dos elementos analisados em cada uma das fases de extracção encontram-se em Anexo nas Tabelas A.26 a A.34. Seguidamente, na Tabela 4.30, apresentam-se os valores mínimos, máximos, de média e mediana extraídos para cada um dos elementos analisados.

De acordo com a Tabela 4.30, é possível distinguir o cádmio, o cobalto, o chumbo e o zinco como os elementos mais perigosos, estando associados, entre 60 a 90% dos elementos, às fases mais solúveis, nomeadamente à fracção solúvel e ligada a catiões de troca (#1) e à fracção ligada a óxidos de manganês (#2). O cobre e o níquel ocorrem, à semelhança dos elementos anteriores, associados a fases minerais mais lábeis no entanto, entre 40%-60% destes elementos encontra-se em formas mais estáveis, ligadas a óxidos de ferro cristalinos. O manganês ocorre nas aluviões preferencialmente sob a forma de óxido, contudo existe fracção significativa (aproximadamente 25%) ligada à fase solúvel ou como catião de troca e ligada à fracção mais estável. O crómio e o ferro não apresentam uma grande perigosidade, estando associados principalmente a óxidos de ferro cristalinos.

Tabela 4.30: Valores mínimos, máximos, de média e mediana da percentagem extraída para cada elemento metálico (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn) nas diferentes fases da extracção sequencial.

#1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a matéria orgânica e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos.

	#1 (%)	#2 (%)	#3 (%)	#4 (%)	#5 (%)
Cd					N = 20
Mínimo	< 1	7,46	< 1	< 1	< 1
Máximo	88,88	88,60	50,63	19,75	53,86
Média	37,34	45,60	7,06	2,58	8,00
Mediana	35,24	44,03	3,02	< 1	< 1

Co						N = 20
Mínimo	< 1	11,80	< 1	< 1	< 1	
Máximo	79,79	89,23	51,82	19,75	83,17	
Média	23,65	54,23	8,28	4,57	9,89	
Mediana	10,22	51,45	6,46	< 1	< 1	
Cr						N = 20
Mínimo	< 1	< 1	< 1	1,33	< 1	
Máximo	4,47	1,56	22,89	77,11	95,13	
Média	1,01	< 1	5,24	9,52	84,30	
Mediana	< 1	< 1	4,44	6,89	88,32	
Cu						N = 20
Mínimo	2,27	< 1	< 1	< 1	7,94	
Máximo	87,19	31,19	42,92	36,59	86,06	
Média	19,94	17,14	15,36	6,14	41,42	
Mediana	12,21	19,44	14,88	2,88	42,29	
Fe						N = 20
Mínimo	< 1	< 1	2,31	< 1	65,66	
Máximo	19,68	7,19	31,79	4,01	96,60	
Média	2,67	2,20	9,77	< 1	84,44	
Mediana	< 1	2,02	8,12	< 1	84,72	
Mn						N = 20
Mínimo	2,04	7,34	< 1	< 1	5,36	
Máximo	78,31	85,01	29,58	6,88	77,22	
Média	24,26	41,35	8,01	1,25	25,16	
Mediana	14,72	41,38	6,86	< 1	25,21	
Ni						N = 20
Mínimo	< 1	< 1	< 1	1,15	21,88	
Máximo	64,01	37,40	21,28	13,02	91,38	
Média	17,86	12,00	8,45	4,80	57,01	
Mediana	10,57	8,84	8,75	4,38	62,34	
Pb						N = 20
Mínimo	10,29	< 1	< 1	< 1	< 1	
Máximo	85,47	81,64	32,24	9,06	78,10	
Média	51,01	19,99	7,35	3,04	19,32	
Mediana	61,62	14,58	4,29	2,40	9,61	
Zn						N = 20
Mínimo	22,55	4,60	< 1	< 1	1,47	
Máximo	91,50	54,61	42,85	16,01	24,21	
Média	51,49	32,98	6,35	2,87	6,31	
Mediana	48,50	35,26	4,64	1,83	4,79	

Comparando as principais fases minerais em que ocorrem cada um dos elementos metálicos no meio, verificam-se algumas diferenças entre os sedimentos e as aluviões, consequência do efeito de solubilização e das maiores condições de redução provocadas pela água:

i. Nos sedimentos, o cádmio ocorre preferencialmente na fração mais solúvel, ocorrendo em maior proporção associado a óxidos de manganês nas aluviões;

ii. A fração mais solúvel do cobalto, tem idêntica proporção nos dois tipos de materiais, sendo porém mais elevada nas aluviões a percentagem do elemento que ocorre associada a óxidos de manganês;

iii. O crómio apresenta maior estabilidade nos materiais aluvionares, atendendo à maior percentagem do elemento associada a óxidos de ferro cristalinos. Embora com teores significativamente mais baixos relativamente às formas cristalinas, os óxidos de ferro amorfos contêm maior proporção de crómio nos sedimentos;

iv. Embora a maior parte do cobre se associe a óxidos de ferro cristalinos em ambos os materiais, a sua estabilidade química deverá ser superior nos sedimentos, dado o aumento da percentagem deste elemento nas duas frações mais lábeis nas aluviões;

v. O ferro é um elemento muito estável em sedimentos e aluviões, ocorrendo-se maioritariamente sob a forma de óxidos cristalinos. Verifica-se, contudo, um ligeiro aumento das formas amorfas de óxidos de ferro nos sedimentos;

vi. O manganês apresenta elevada solubilidade nos dois tipos de materiais. Nos sedimentos, devido provavelmente às condições mais redutoras, o manganês ocorre em maior proporção sob a forma mais solúvel (#1) relativamente à sua presença nos depósitos aluvionares, onde é mais significativa a sua presença sob a forma de óxido;

vii. O níquel, embora maioritariamente estável, é mais solúvel nas aluviões. Nos sedimentos, regista-se um aumento da forma deste elemento associada a óxidos de ferro cristalinos, sendo este aumento também verificado na sua associação a óxidos de ferro amorfos;

viii. O chumbo é o elemento que maiores diferenças apresenta relativamente à sua solubilidade, em sedimentos e aluviões. Nos sedimentos, em média 45% deste elemento surge associado a óxidos de ferro cristalinos, enquanto nas aluviões cerca de 50% do chumbo ocorre na fração mais solúvel, aumentando significativamente a sua perigosidade ambiental nas superfícies aluvionares. Esta maior solubilidade do chumbo nas aluviões, poder-se-á dever à sua ocorrência como sulfato (PbSO_4), composto muito solúvel e que tem nas superfícies aluvionares, condições químicas propícias para a sua formação (valores de pH 5-6, potencial *redox* baixo mas com valores positivos e elevada concentração de sulfatos provenientes da oxidação química dos sulfuretos metálicos para a extracção do zinco, processada na unidade fabril da Votorantim Metais S.A.);

ix. O zinco ocorre essencialmente sob as duas formas mais lábeis, em sedimentos e aluviões. Provavelmente pela passagem das formas mais solúveis para a coluna de água nos sedimentos, a

fracção ligada à fase solúvel e de troca (#1) é, em média, cerca de 10% inferior à quantificada nas aluviões.

4.6. Análise Elementar de CHNS

A determinação da concentração dos nutrientes nos sedimentos e aluviões é muito importante, especialmente para o carbono e azoto, uma vez que a determinação destes teores permite a detecção da influência de contaminações de origem antrópica, muitas vezes associadas a descargas de efluentes domésticos. No caso particular do enxofre, na área em estudo, a sua determinação é também muito importante, por parte dos minérios utilizados para o funcionamento da unidade de Três Marias da Votorantim Metais S.A. serem de natureza sulfureta.

4.6.1. Sedimentos

Por análise elementar foram determinadas as percentagens de carbono, hidrogénio, azoto e enxofre em algumas amostras das campanhas de Setembro e Novembro, encontrando-se os valores completos em Anexo, na Tabela A.35. A Tabela 4.31 apresenta os valores correspondentes à análise de alguns parâmetros estatísticos dos teores totais, separados por área.

Tabela 4.31: Valores mínimos, máximos, de média e mediana obtidos por análise elementar dos sedimentos recolhidos nas campanhas de Setembro e Novembro.

	C [%]	H [%]	N [%]	S [%]		C [%]	H [%]	N [%]	S [%]
Área A0 N = 8					Área A3 N = 11				
Mínimo	0,29	0,14	0,00	0,01	Mínimo	0,36	0,33	0,01	0,01
Máximo	0,94	0,55	0,03	0,03	Máximo	2,32	0,69	7,39	0,11
Média	0,52	0,35	0,01	0,02	Média	0,96	0,53	2,11	0,05
Mediana	0,40	0,36	0,01	0,02	Mediana	0,72	0,52	0,94	0,03
Área A1 N = 58					Área A5 N = 3				
Mínimo	0,22	0,28	0,01	0,01	Mínimo	0,91	0,87	0,06	0,03
Máximo	4,10	0,92	4,43	0,42	Máximo	1,04	0,89	0,07	0,04
Média	0,95	0,59	0,14	0,09	Média	0,99	0,88	0,06	0,03
Mediana	0,64	0,60	0,05	0,06	Mediana	1,01	0,88	0,06	0,03
					Área BG N = 6				
					Mínimo	0,60	0,34	0,01	0,03
					Máximo	1,21	0,61	0,07	0,07
					Média	0,95	0,47	0,05	0,04
					Mediana	1,06	0,45	0,07	0,03

Observam-se teores relativamente baixos em todos os elementos, uma vez que quando se comparam os valores médios para cada uma destas áreas com os valores na área A0, é visível que, em todos estes elementos, os teores médios na área A0 são inferiores aos obtidos nas restantes áreas. Destacam-se os valores de carbono na área A1 e A3, que demonstram um teor máximo de 4,1% e 2,3%, respectivamente, assim como os teores de azoto nas mesmas áreas, que atingem valores de 4,4% na área A1 e 7,3% na área A3. Estes valores elevados de carbono e azoto deverão estar relacionados com acumulações pontuais de material orgânico, podendo os teores elevados de azoto relacionar-se com locais pontuais de descarga de efluentes e/ou tentativas de revegetação dos solos a montante destas áreas (França, 2011).

4.6.2. Aluviões

Por sua vez, as percentagens de carbono, hidrogénio, azoto e enxofre para todas as amostras de aluvião encontram-se em Anexo, na Tabela A.36. Seguidamente, na Tabela 4.32, representam-se os valores mínimos, máximos, de média e mediana referentes a cada uma das áreas em análise.

Tabela 4.32: Valores mínimos, máximos, de média e mediana obtidos por análise elementar de aluviões recolhidos nas campanhas de Setembro e Novembro.

	C [%]	H [%]	N [%]	S [%]		C [%]	H [%]	N [%]	S [%]
Área A0 N = 3					Área A2 N = 19				
Mínimo	0,80	0,35	0,05	0,01	Mínimo	0,23	0,49	0,00	0,01
Máximo	1,16	0,37	0,06	0,01	Máximo	1,95	5,75	2,51	3,46
Média	0,93	0,36	0,05	0,01	Média	0,98	1,02	0,23	0,47
Mediana	0,83	0,35	0,05	0,01	Mediana	1,00	0,74	0,09	0,27
Área A1 N = 31					Área A3 N = 9				
Mínimo	0,45	0,33	0,02	0,00	Mínimo	0,35	0,40	0,01	0,04
Máximo	3,39	0,97	11,23	0,06	Máximo	0,68	0,78	0,10	0,13
Média	1,42	0,61	0,46	0,03	Média	0,56	0,57	0,04	0,08
Mediana	1,21	0,58	0,10	0,03	Mediana	0,60	0,52	0,04	0,07
					Área A5 N = 6				
					Mínimo	0,90	0,39	0,06	0,02
					Máximo	1,47	0,74	0,16	0,10
					Média	1,15	0,55	0,10	0,05
					Mediana	1,12	0,57	0,09	0,06

Também nas aluviões, os teores obtidos por análise elementar são relativamente baixos, uma vez que quando se comparam as restantes áreas com a área A0, se identificam teores médios mais elevados que na área A0 para todas as áreas, em enxofre. Para o carbono, verificam-se percentagens médias mais elevadas para todas as áreas, excluindo a área A3. O azoto apresenta teores menores nas áreas A1 e A3. É ainda de destacar o valor máximo obtido na área A1 (amostra CA1-23 40-60), de cerca de 11,2% de azoto, que poderá corresponder a uma contaminação pontual de efluentes domésticos.

4.7. Fósforo Total

À semelhança dos elementos determinados por análise elementar, também a determinação do fósforo permite a identificação de outras fontes de contaminação, essencialmente de origem antrópica, que poderão estar relacionadas com a prática da agricultura e a utilização de fertilizantes em excesso a montante da área em estudo.

4.7.1. Sedimentos

Os valores de fósforo total para todas as amostras apresentam-se em Anexo, na Tabela A.37. Apresenta-se seguidamente os valores mínimos, máximos, de média e mediana para cada uma das áreas, sendo os valores referentes às campanhas de Setembro e Novembro se encontrados na Tabela 4.33 e os da campanha de Março na Tabela 4.34.

O teor médio de fósforo nos sedimentos não varia significativamente entre as diferentes áreas, apresentando valores que rondam os 90-110 mg.kg⁻¹ de fósforo. Não se verificam ainda diferenças significativas entre as campanhas pós-seca e pós-chuva. É apenas importante destacar a variabilidade dos valores dentro de cada área que poderão, em parte, dever-se à existência de diferentes tipos de vegetação quer na zona imersa, quer no revestimento dos sedimentos da margem. Na área A1 obtiveram-se valores que variam entre 8 e 173 mg.kg⁻¹ de fósforo, tendo-se verificado teores na mesma ordem de grandeza nas áreas A0 e A3. A área BG é onde se encontram os maiores teores de fósforo, atingindo um máximo de 192 mg.kg⁻¹, o que poderá dever-se a episódios de descarga de efluentes domésticos procedentes da cidade de Três Marias, dado que este curso de água recebe directamente os efluentes desta povoação.

Tabela 4.33: Valores mínimos, máximos, de média e mediana de fósforo total nos sedimentos recolhidos nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013.

Set/Nov 2013	P (mg.kg ⁻¹)		P (mg.kg ⁻¹)		
Área A0	N = 8		Área A3	N = 11	
Mínimo	19,60		Mínimo	18,56	
Máximo	177,18		Máximo	129,72	
Média	90,01		Média	84,20	
Mediana	69,21		Mediana	98,74	
Área A1	N = 71		Área A5	N = 3	
Mínimo	8,37		Mínimo	96,03	
Máximo	173,05		Máximo	102,35	
Média	93,34		Média	99,53	
Mediana	96,25		Mediana	100,22	
			Área BG	N = 6	
			Mínimo	49,50	
			Máximo	192,93	
			Média	116,85	
			Mediana	114,55	

Tabela 4.34: Valores mínimos, máximos, de média e mediana de fósforo total nos sedimentos recolhidos na campanha de Março de 2014.

Mar 2014	P (mg.kg ⁻¹)		P (mg.kg ⁻¹)		
Área A1	N = 62		Área A3	N = 6	
Mínimo	5,59		Mínimo	40,43	
Máximo	331,50		Máximo	130,05	
Média	98,66		Média	83,51	
Mediana	95,41		Mediana	78,75	

4.7.2. Aluviões

Os valores finais resultantes da análise do fósforo total nas aluviões encontram-se em Anexo, na Tabela A.38. Os valores mínimos, máximos, de média e mediana referentes a cada área nas campanhas de Setembro e Novembro encontram-se representados na Tabela 4.35, enquanto a Tabela 4.36 representa os valores nas aluviões na campanha de Março.

Tabela 4.35: Valores mínimos, máximos, de média e mediana de fósforo total em aluviões recolhidas nas campanhas de Setembro e Novembro de 2013.

P (mg.kg ⁻¹)		P (mg.kg ⁻¹)	
Área A0	N = 3	Área A2	N = 18
Mínimo	78,41	Mínimo	43,70
Máximo	89,14	Máximo	251,14
Média	84,16	Média	133,30
Mediana	84,92	Mediana	126,38
Área A1	N = 31	Área A3	N = 8
Mínimo	26,44	Mínimo	29,30
Máximo	156,37	Máximo	126,65
Média	100,50	Média	83,36
Mediana	104,38	Mediana	76,90
		Área A5	N = 6
		Mínimo	62,56
		Máximo	235,01
		Média	133,07
		Mediana	115,20

Tabela 4.36: Valores mínimos, máximos, de média e mediana de fósforo total em aluviões recolhidas nas campanhas de Março de 2014.

P (mg.kg ⁻¹)		P (mg.kg ⁻¹)	
Área A1	N = 8	Área A2	N = 5
Mínimo	35,04	Mínimo	41,84
Máximo	103,06	Máximo	158,93
Média	74,02	Média	110,63
Mediana	90,76	Mediana	117,43
		Área A3	N = 1
		Mínimo	45,97
		Máximo	45,97
		Média	45,97
		Mediana	45,97

Comparando os valores da área A0 com as restantes áreas, para o período de pós-seca, verifica-se que os teores médios aumentam de cerca de 80 mg.kg⁻¹ de fósforo para 100-130 mg.kg⁻¹ de fósforo nas áreas A1, A2 e A5. Observa-se ainda um decréscimo nos valores médios de fósforo na campanha após-chuva que poderá dever-se a uma lixiviação das suas formas mais solúveis durante os episódios de precipitação.

Tendo em os valores máximos registados, que ocorrem essencialmente nas áreas A2 e A5, e a variação que apresentam em relação aos valores *background*, poderá relacionar-se com episódios de contaminação e/ou ao revestimento por vegetação mais rica em radicais fosfatados.

4.8. Ensaio de Lixiviação

4.8.1. Sedimentos

Os ensaios de lixiviação foram realizados em vinte e seis amostras de sedimentos, pertencentes às áreas A0, A1 e BG. Conforme já referido, cada amostra foi agitada continuamente com água ultrapura com pH ajustado a cerca de 6,5 (pH médio das chuvas locais), tendo sido retiradas sub-amostras após 1 hora, 3 horas, 18 horas, 24 horas e 48 horas de agitação. Os resultados totais encontram-se representados em Anexo, nas Tabelas A.39 a A.43. Para efeitos de comparação irei mencionar apenas os resultados relativos a uma hora e vinte e quatro horas após agitação, que se encontram representados, segundo as áreas a que correspondem, respectivamente, nas Tabelas 4.37 e 4.38.

Após uma hora de agitação, são identificados já alguns contaminantes importantes nos sedimentos, nomeadamente o cádmio, o zinco e o manganês, os quais foram identificados anteriormente através da digestão parcial e da extracção sequencial, como elementos que ocorrem nos sedimentos, maioritariamente sob a forma solúvel. Estes teores são relativamente baixos nas áreas A0 e BG, o que está de acordo com a origem dos sedimentos nestas duas áreas, essencialmente litogénica. No entanto, verifica-se na área A1 um teor máximo de cerca de 46 mg.l⁻¹ de zinco. Verifica-se ainda que elementos metálicos como o crómio, o cobre, o níquel e o chumbo não são encontrados nas águas em concentrações significativas após uma hora de agitação.

Comparando com os valores relativos a vinte e quatro horas de agitação, verifica-se um aumento na concentração da maioria dos elementos, o que seria expectável, à excepção dos elementos alcalinos e alcalino-terrosos (potássio, cálcio e magnésio) nos sedimentos da área BG.

Tabela 4.37: Valores mínimos, máximos, de média e mediana de alguns elementos metálicos (Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn), metalóides (As), alcalinos e alcalino-terrosos (K, Ca e Mg) da lixiviação após uma hora de agitação das amostras das áreas A0, A1 e BG

lh	Área A0 N = 4				Área A1 N = 18			
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
Al (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,21	0,10	0,09	< 0,001	0,08	0,01	< 0,001
As (mg.l ⁻¹)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Ca (mg.l ⁻¹)	0,07	0,39	0,27	0,30	1,64	43,39	10,67	5,79
Cd (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,13	0,03	0,02
Co (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,03	0,00	< 0,001
Cr (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cu (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Fe (mg.l ⁻¹)	0,01	0,19	0,09	0,08	< 0,001	0,08	0,02	0,02
K (mg.l ⁻¹)	1,20	2,99	1,78	1,46	1,21	11,35	3,00	2,19
Mg (mg.l ⁻¹)	0,01	0,12	0,08	0,09	0,72	42,05	10,56	5,75
Mn (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,01	0,01	0,00	0,13	2,74	0,93	0,71
Ni (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,11	0,01	< 0,001
Pb (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,00	0,00	< 0,001	< 0,001	0,00	< 0,001	< 0,001
Zn (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,03	0,01	0,01	0,28	46,59	10,22	6,50

	Área BG N = 4			
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
Al (mg.l ⁻¹)	0,01	0,31	0,23	0,29
As (mg.l ⁻¹)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Ca (mg.l ⁻¹)	0,61	5,39	2,53	2,05
Cd (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,01	0,00	0,00
Co (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cr (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cu (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Fe (mg.l ⁻¹)	0,02	0,22	0,15	0,18
K (mg.l ⁻¹)	2,06	15,02	7,95	7,36
Mg (mg.l ⁻¹)	0,11	32,74	15,88	15,33
Mn (mg.l ⁻¹)	0,03	0,04	0,03	0,03
Ni (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Pb (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Zn (mg.l ⁻¹)	0,04	0,10	0,07	0,07

Tabela 4.38: Valores mínimos, máximos, de média e mediana de alguns elementos metálicos (Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn), metalóides (As), alcalinos e alcalino-terrosos (K, Ca e Mg) da lixiviação após vinte e quatro horas de agitação das amostras das áreas A0, A1 e BG

24h	Área A0 N = 4				Área A1 N = 18				
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	
Al (mg.l⁻¹)	0,03	0,19	0,12	0,13	< 0,001	0,88	0,10	0,00	
As (mg.l⁻¹)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	
Ca (mg.l⁻¹)	0,28	7,17	2,13	0,55	2,42	64,13	15,48	5,81	
Cd (mg.l⁻¹)	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,17	0,05	0,03	
Co (mg.l⁻¹)	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,06	0,01	0,01	
Cr (mg.l⁻¹)	0,00	0,01	0,00	0,00	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	
Cu (mg.l⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,06	0,01	< 0,001	
Fe (mg.l⁻¹)	0,07	0,96	0,32	0,13	0,01	0,48	0,08	0,02	
K (mg.l⁻¹)	1,80	26,50	8,72	3,30	1,96	12,17	4,11	3,43	
Mg (mg.l⁻¹)	0,06	39,99	10,10	0,17	0,92	57,72	11,59	3,24	
Mn (mg.l⁻¹)	0,00	0,02	0,01	0,02	0,34	3,82	1,31	0,89	
Ni (mg.l⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,03	0,01	0,00	
Pb (mg.l⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,01	0,00	0,01	
Zn (mg.l⁻¹)	0,04	0,08	0,06	0,07	0,46	59,79	12,95	8,55	
		Área BG N = 4							
		Mínimo	Máximo	Média	Mediana				
Al (mg.l⁻¹)		0,22	4,42	1,29	0,26				
As (mg.l⁻¹)		< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01				
Ca (mg.l⁻¹)		0,74	1,66	1,22	1,23				
Cd (mg.l⁻¹)		0,00	0,00	0,00	0,00				
Co (mg.l⁻¹)		0,01	0,01	0,01	0,01				
Cr (mg.l⁻¹)		< 0,001	0,00	< 0,001	< 0,001				
Cu (mg.l⁻¹)		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001				
Fe (mg.l⁻¹)		0,13	1,88	0,59	0,17				
K (mg.l⁻¹)		0,92	2,13	1,54	1,56				
Mg (mg.l⁻¹)		0,09	0,37	0,21	0,20				
Mn (mg.l⁻¹)		0,03	0,08	0,05	0,04				
Ni (mg.l⁻¹)		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001				
Pb (mg.l⁻¹)		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001				
Zn (mg.l⁻¹)		0,07	0,19	0,11	0,09				

4.8.2. Aluviões

À semelhança dos sedimentos, também nas aluviões se procedeu a ensaios de lixiviação, tendo para tal sido escolhidas trinta e duas amostras. Os resultados relativos a estes ensaios encontram-se em Anexo, nas Tabelas A.44 a A.48. Seguidamente apresentam-se os valores relativos à análise de alguns parâmetros estatísticos das amostras, para cada área, correspondendo as Tabelas 4.39 e 4.40 aos resultados após uma hora de agitação, e as Tabelas 4.41 e 4.42 aos resultados após vinte e quatro horas de agitação.

Tabela 4.39: Valores mínimos, máximos, de média e mediana de alguns elementos metálicos (Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn), metalóides (As), alcalinos e alcalino-terrosos (K, Ca e Mg) da lixiviação após uma hora de agitação das amostras das áreas A0 e A1.

1h	Área A0 N = 3				Área A1 N = 4			
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
Al (mg.l ⁻¹)	0,06	0,18	0,11	0,08	0,03	0,28	0,12	0,08
As (mg.l ⁻¹)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01
Ca (mg.l ⁻¹)	0,27	4,52	1,70	0,31	0,80	4,26	2,50	2,47
Cd (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,00	0,00	< 0,001	< 0,001	0,01	0,00	0,00
Co (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cr (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cu (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,01	0,00	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Fe (mg.l ⁻¹)	0,04	0,15	0,08	0,07	0,02	0,20	0,09	0,06
K (mg.l ⁻¹)	1,31	19,11	7,26	1,35	1,32	6,36	3,47	3,09
Mg (mg.l ⁻¹)	0,07	29,35	9,84	23,23	0,28	0,77	0,53	0,53
Mn (mg.l ⁻¹)	0,01	0,04	0,02	0,01	0,03	0,22	0,09	0,06
Ni (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,01	0,00	< 0,001
Pb (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Zn (mg.l ⁻¹)	0,02	0,05	0,03	0,02	0,55	1,31	0,96	1,00

Tabela 4.40: Valores mínimos, máximos, de média e mediana de alguns elementos metálicos (Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn), metalóides (As), alcalinos e alcalino-terrosos (K, Ca e Mg) da lixiviação após uma hora de agitação das amostras das áreas A2, A3 e A5.

1h	Área A2 N = 18				Área A3 N = 5			
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
Al (mg.l⁻¹)	< 0,001	0,03	0,00	< 0,001	< 0,001	0,01	0,00	< 0,001
As (mg.l⁻¹)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Ca (mg.l⁻¹)	9,09	337,35	51,75	17,37	3,46	17,24	9,46	8,31
Cd (mg.l⁻¹)	0,01	0,96	0,14	0,07	0,02	0,08	0,04	0,03
Co (mg.l⁻¹)	< 0,001	< 0,001	0,02	< 0,001	< 0,001	0,00	< 0,001	< 0,001
Cr (mg.l⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cu (mg.l⁻¹)	< 0,001	0,00	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Fe (mg.l⁻¹)	< 0,001	0,04	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
K (mg.l⁻¹)	1,78	7,49	2,81	2,49	2,00	2,66	2,29	2,24
Mg (mg.l⁻¹)	9,19	152,69	27,16	19,37	1,30	5,52	2,46	1,87
Mn (mg.l⁻¹)	0,09	5,68	1,98	1,04	0,11	0,83	0,36	0,34
Ni (mg.l⁻¹)	< 0,001	0,06	0,01	0,01	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Pb (mg.l⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Zn (mg.l⁻¹)	3,27	81,36	20,57	11,02	0,86	2,60	1,33	1,14
	Área A5 N = 2							
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana				
Al (mg.l⁻¹)	< 0,001	0,02	0,01	0,01				
As (mg.l⁻¹)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01				
Ca (mg.l⁻¹)	5,50	7,79	6,65	6,65				
Cd (mg.l⁻¹)	0,00	0,17	0,08	0,08				
Co (mg.l⁻¹)	0,00	0,03	0,01	0,01				
Cr (mg.l⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001				
Cu (mg.l⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001				
Fe (mg.l⁻¹)	0,01	0,11	0,06	0,06				
K (mg.l⁻¹)	1,84	2,33	2,08	2,08				
Mg (mg.l⁻¹)	2,72	4,49	3,61	3,61				
Mn (mg.l⁻¹)	0,28	0,90	0,59	0,59				
Ni (mg.l⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001				
Pb (mg.l⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001				
Zn (mg.l⁻¹)	1,15	11,33	6,24	6,24				

Após uma hora de agitação é possível identificar a área A2 como a área mais contaminada, identificando-se teores elevados em cádmio, cobalto, manganês, níquel e zinco, apresentando um teor máximo de 81 mg.l⁻¹ de zinco. Nas planícies aluvionares estes elementos têm origem principalmente contaminante, facto demonstrado através dos ensaios de extracção sequencial, pela sua associação às fracções mais lábeis. Também a área A1 contém elevados teores em arsénio e níquel. O cobre, o chumbo e o crómio não apresentam teores muito significativos, relacionando-se assim com fracções mais estáveis destas amostras.

Tabela 4.41: Valores mínimos, máximos, de média e mediana de alguns elementos metálicos (Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn), metalóides (As), alcalinos e alcalino-terrosos (K, Ca e Mg) da lixiviação após vinte e quatro horas de agitação das amostras das áreas A0 e A1.

24h	Área A0 N = 3				Área A1 N = 4			
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
Al (mg.l⁻¹)	0,004	0,28	0,10	0,03	0,05	1,37	0,93	1,16
As (mg.l⁻¹)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01
Ca (mg.l⁻¹)	0,29	5,59	2,12	0,49	1,19	4,16	2,98	3,28
Cd (mg.l⁻¹)	0,003	0,01	0,01	0,003	0,01	0,02	0,01	0,01
Co (mg.l⁻¹)	0,005	0,01	0,01	0,01	0,004	0,01	0,01	0,005
Cr (mg.l⁻¹)	0,001	0,005	0,003	0,002	< 0,001	0,002	0,001	< 0,001
Cu (mg.l⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Fe (mg.l⁻¹)	0,01	0,21	0,08	0,03	0,04	0,73	0,53	0,67
K (mg.l⁻¹)	1,13	19,13	7,19	1,31	1,83	5,45	3,37	3,10
Mg (mg.l⁻¹)	0,10	48,64	16,29	28,71	0,37	0,80	0,65	0,72
Mn (mg.l⁻¹)	0,02	0,04	0,02	0,02	0,08	0,36	0,19	0,16
Ni (mg.l⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,002	< 0,001	< 0,001
Pb (mg.l⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,003	0,002	0,001
Zn (mg.l⁻¹)	0,02	0,06	0,04	0,04	0,79	1,58	1,17	1,16

Após vinte e quatro horas de agitação, verifica-se, à semelhança do que também ocorreu nos sedimentos, um aumento nos teores em solução, especialmente associados ao zinco, ao cádmio, ao cobalto, ao níquel e ao chumbo. A área A2 mantém-se como área com teores muito elevados, especialmente em zinco, onde se verifica um máximo de 114 mg.l⁻¹.

Tabela 4.42: Valores mínimos, máximos, de média e mediana de alguns elementos metálicos (Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn), metalóides (As), alcalinos e alcalino-terrosos (K, Ca e Mg) da lixiviação após vinte e quatro horas de agitação das amostras das áreas A2, A3 e A5.

24 h	Área A2 N = 18				Área A3 N = 5			
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
Al (mg.l⁻¹)	< 0,001	0,05	0,01	< 0,001	< 0,001	0,01	0,002	< 0,001
As (mg.l⁻¹)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Ca (mg.l⁻¹)	11,25	641,80	98,36	23,77	4,23	28,49	15,80	16,17
Cd (mg.l⁻¹)	0,02	1,28	0,21	0,10	0,04	0,11	0,07	0,06
Co (mg.l⁻¹)	0,004	0,001	0,03	0,001	0,01	0,01	0,01	0,01
Cr (mg.l⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cu (mg.l⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Fe (mg.l⁻¹)	0,00	0,08	0,02	0,02	0,004	0,02	0,01	0,01
K (mg.l⁻¹)	1,99	5,73	3,52	3,23	2,13	4,53	3,01	2,46
Mg (mg.l⁻¹)	13,69	227,05	36,23	24,01	1,37	8,11	3,56	2,47
Mn (mg.l⁻¹)	0,18	7,13	2,51	1,32	0,16	1,88	0,78	0,70
Ni (mg.l⁻¹)	< 0,001	0,09	0,02	0,01	< 0,001	0,005	0,001	< 0,001
Pb (mg.l⁻¹)	< 0,001	0,04	0,01	0,00	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Zn (mg.l⁻¹)	5,25	114,02	27,91	15,78	1,36	3,22	1,92	1,45
	Área A5 N = 2							
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana				
Al (mg.l⁻¹)	< 0,001	0,01	0,003	0,003				
As (mg.l⁻¹)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01				
Ca (mg.l⁻¹)	6,75	8,92	7,83	7,83				
Cd (mg.l⁻¹)	0,01	0,23	0,12	0,12				
Co (mg.l⁻¹)	0,01	0,04	0,03	0,03				
Cr (mg.l⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001				
Cu (mg.l⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001				
Fe (mg.l⁻¹)	0,01	0,08	0,05	0,05				
K (mg.l⁻¹)	1,49	1,73	1,61	1,61				
Mg (mg.l⁻¹)	3,47	5,09	4,28	4,28				
Mn (mg.l⁻¹)	0,40	1,09	0,75	0,75				
Ni (mg.l⁻¹)	< 0,001	0,01	0,003	0,003				
Pb (mg.l⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001				
Zn (mg.l⁻¹)	1,68	14,71	8,19	8,19				

4.9. Ensaio-Piloto para Avaliação do Efeito da Dragagem no Córrego

4.9.1. Ensaio de Fundo e Superfície

4.9.1.1. Material Dissolvido

Os valores referentes aos teores totais obtidos na fracção dissolvida nos ensaios-piloto de fundo e superfície encontram-se em Anexo, nas Tabelas A.49 e A.50. Seguidamente representam-se na Tabela 4.43 os valores correspondentes à análise de alguns parâmetros estatísticos na fracção dissolvida dos ensaios-piloto de fundo e superfície.

Correspondendo estes valores aos teores dissolvidos retirados imediatamente após agitação dos materiais sedimentares com água, será de esperar que estes sejam superiores aos valores encontrados naturalmente, e aos encontrados seguidamente no ensaio de turbidez. Deste modo, é ainda de esperar, que à superfície os teores sejam menores que no fundo. De facto, este comportamento é identificado na maioria dos elementos, exceptuando as concentrações médias de cádmio, cobalto, cobre e ferro. Este comportamento poderá dever-se à passagem destes elementos para a fracção particulada, através de mecanismos de adsorção, fixação e/ou co-precipitação, ou pela criação de complexos, fomentada pela maior concentração de material sólido.

Tabela 4.43: Valores mínimos, máximos, de média e mediana relativos à fracção dissolvida nas amostras em que se realizou o ensaio piloto. A vermelho encontram-se marcados os valores que excedem o Limite Máximo Admitido para Águas Superficiais de Classe 2 (CONAMA, 2012).

Diss.	Ensaio Piloto <i>Superfície</i> N = 6				Ensaio Piloto <i>Fundo</i> N = 6			
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
Al (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,03	0,01	0,01	< 0,001	0,62	0,11	< 0,001
As (mg.l ⁻¹)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Ca (mg.l ⁻¹)	6,83	24,92	17,17	19,72	4,23	28,83	17,79	20,46
Cd (mg.l ⁻¹)	0,03	0,22	0,08	0,05	0,03	0,15	0,07	0,07
Co (mg.l ⁻¹)	0,03	0,08	0,05	0,04	0,04	0,07	0,05	0,04
Cr (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,00	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,01	0,002	< 0,001
Cu (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,16	0,06	0,04	0,03	0,07	0,04	0,04
Fe (mg.l ⁻¹)	0,02	0,04	0,03	0,03	< 0,001	0,15	0,03	< 0,001
K (mg.l ⁻¹)	3,40	16,96	10,17	10,13	3,89	24,48	14,20	14,02
Mg (mg.l ⁻¹)	1,87	36,27	19,86	21,65	1,39	46,35	24,40	26,10
Mn (mg.l ⁻¹)	0,15	12,24	3,18	1,64	0,38	11,23	3,27	1,89
Ni (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,00	< 0,001	< 0,001
Pb (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,08	0,03	0,03	0,00	0,24	0,07	0,04
Zn (mg.l ⁻¹)	1,30	30,80	21,22	28,04	1,07	35,03	23,41	29,80

4.9.1.2. Material Particulado

À semelhança do que foi realizado para a fracção dissolvida, também a fracção particulada, nas amostras em que foram realizados os ensaios-piloto de superfície e fundo se encontra tabelada em Anexo, nas Tabelas A.51 e A.52. Por sua vez, na Tabela 4.44 apresentam-se os valores referentes à análise de alguns parâmetros estatísticos para cada um dos elementos químicos analisados.

Conforme seria de esperar, a concentração de partículas no fundo é superior à encontrada à superfície, comportamento este que se identifica em todos os elementos analisados. Relativamente aos elementos que na fracção dissolvida apresentavam concentração superior à superfície, a análise química das amostras do fundo do material particulado corroboram a ideia que, de facto, será a interferência das elevada concentração de partículas que fará diminuir a concentração destes elementos na fracção dissolvida.

Tabela 4.44: Valores mínimos, máximos, de média e mediana relativos à fracção particulada nas amostras em que se realizou o ensaio piloto.

Part.	Ensaio Piloto <i>Superfície</i> N = 6				Ensaio Piloto <i>Fundo</i> N = 6			
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
As (mg.l⁻¹)	0,18	0,18	0,18	0,18	0,09	3,77	1,25	0,58
Cd (mg.l⁻¹)	0,01	0,11	0,06	0,05	0,04	0,45	0,24	0,25
Co (mg.l⁻¹)	0,09	0,19	0,13	0,13	0,13	0,74	0,36	0,33
Cr (mg.l⁻¹)	0,01	0,10	0,06	0,07	0,14	1,14	0,62	0,61
Cu (mg.l⁻¹)	1,01	2,62	2,19	2,39	4,09	11,02	6,46	5,76
Fe (mg.l⁻¹)	1,49	77,33	29,65	23,04	85,49	3349,52	980,57	683,16
Mn (mg.l⁻¹)	0,03	0,39	0,21	0,20	0,23	25,58	9,02	6,79
Ni (mg.l⁻¹)	-	-	-	-	0,08	1,04	0,42	0,36
Pb (mg.l⁻¹)	0,07	6,85	2,52	0,63	0,77	138,68	26,58	5,35
Zn (mg.l⁻¹)	3,38	9,86	6,19	5,32	11,09	567,52	143,69	60,19

4.9.2. Ensaio de Turbidez

A turbidez é um dos parâmetros mais representativos das características físicas da água, cujas alterações são bastante perceptíveis. Este parâmetro representa o grau de interferência para a passagem de luz, o que lhe confere uma aparência turva, e é definido pela presença de sólidos em suspensão, sejam de origem natural ou antrópica, cuja importância é maior em áreas tropicais tendo em conta o transporte de partículas pelas águas pluviais. A turbidez não está directamente relacionada a padrões de qualidade, no entanto, águas com elevada turbidez são esteticamente

desagradáveis, assim como que os sólidos em suspensão podem servir de abrigo para microrganismos patogénicos, e associados a compostos tóxicos (Ribeiro, 2010).

A sazonalidade é um factor marcante nos valores de turbidez, pois maiores valores de turbidez associam-se a períodos de maior pluviosidade, sendo estes valores ainda maiores em áreas onde ocorram solos expostos, como em áreas mineiras ou áreas destinadas à agropecuária (Ribeiro, 2010).

4.9.2.1. Material Dissolvido

Os valores correspondentes aos teores finais em todas as amostras para a fracção dissolvida no ensaio de turbidez encontram-se em Anexo, nas Tabelas A.53 a A.60 Os valores correspondentes à análise de alguns parâmetros estatísticos encontram-se na Tabela 4.45, para as amostras recolhidas após remeximento e após uma hora, na Tabela 4.46, para as amostras duas e oito horas após remeximento, na Tabela 4.47, para amostras vinte e quatro e quarenta e oito após remeximento e na Tabela 4.48 nas amostras recolhidas noventa e seis horas e sete dias após remeximento.

Tabela 4.45: Valores mínimos, máximos, de média e mediana relativos à fracção dissolvida no ensaio piloto após remeximento e após uma hora.

A vermelho encontram-se marcados os valores que excedem o Limite Máximo Admitido para Águas Superficiais de Classe 2 (CONAMA, 2012). C.E.: condutividade eléctrica.

Diss.	Ensaio Turbidez Após Remeximento N = 6				Ensaio Turbidez 1h N = 6			
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
Al (mg.l ⁻¹)	0,02	1,02	0,22	0,08	0,03	0,35	0,16	0,14
As (mg.l ⁻¹)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Ca (mg.l ⁻¹)	3,93	14,53	8,97	9,70	3,60	10,91	6,88	7,20
Cd (mg.l ⁻¹)	0,04	0,19	0,08	0,06	0,03	0,16	0,07	0,04
Co (mg.l ⁻¹)	0,02	0,07	0,04	0,04	0,03	0,07	0,04	0,03
Cr (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,01	0,005	0,003	< 0,001	0,01	0,003	0,002
Cu (mg.l ⁻¹)	0,17	0,73	0,38	0,29	0,11	0,15	0,13	0,13
Fe (mg.l ⁻¹)	0,07	0,60	0,18	0,11	0,05	0,22	0,13	0,11
K (mg.l ⁻¹)	2,67	6,81	4,29	3,73	2,01	2,76	2,37	2,34
Mg (mg.l ⁻¹)	0,99	23,05	10,37	9,57	1,05	16,62	8,24	7,56
Mn (mg.l ⁻¹)	0,20	10,65	2,48	0,61	0,14	8,96	2,06	0,47
Ni (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,04	0,02	0,02	< 0,001	0,01	0,004	0,002
Pb (mg.l ⁻¹)	0,03	0,29	0,12	0,09	< 0,001	0,44	0,09	0,02
Zn (mg.l ⁻¹)	1,18	27,89	16,82	18,07	1,27	23,27	13,13	13,98
pH Final	5,59	5,93	5,80	5,83	4,80	5,85	5,47	5,59
C.E. (mS/cm)	84	533	252	233	81	271	189	200
Turbidez (NTU)	2700	10460	7490	8625	157	8656	4309	4301

Tabela 4.46: Valores mínimos, máximos, de média e mediana relativos à fracção dissolvida duas e oito horas após remeximento.

A vermelho encontram-se marcados os valores que excedem o Limite Máximo Admitido para Águas Superficiais de Classe 2 (CONAMA, 2012). C.E.: condutividade eléctrica.

Diss.	Ensaio Turbidez 2h N = 6				Ensaio Turbidez 8h N = 6			
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
Al (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,28	0,11	0,03	< 0,001	0,58	0,18	0,02
As (mg.l ⁻¹)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Ca (mg.l ⁻¹)	3,28	10,23	7,03	7,73	3,11	10,07	6,93	7,93
Cd (mg.l ⁻¹)	0,02	0,15	0,06	0,04	0,03	0,15	0,06	0,04
Co (mg.l ⁻¹)	0,02	0,07	0,04	0,03	0,03	0,07	0,04	0,04
Cr (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,00	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,00	0,00	< 0,001
Cu (mg.l ⁻¹)	0,08	0,12	0,10	0,10	0,05	0,09	0,07	0,07
Fe (mg.l ⁻¹)	0,03	0,23	0,10	0,06	0,03	0,34	0,13	0,04
K (mg.l ⁻¹)	1,56	2,37	1,99	1,99	1,50	2,13	1,79	1,76
Mg (mg.l ⁻¹)	1,01	16,54	7,96	7,45	0,97	15,92	8,01	7,26
Mn (mg.l ⁻¹)	0,13	11,13	2,45	0,43	0,12	10,44	2,29	0,41
Ni (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,00	< 0,001	< 0,001
Pb (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,14	0,06	0,05	< 0,001	0,14	0,06	0,05
Zn (mg.l ⁻¹)	0,83	27,70	13,99	13,88	0,95	25,20	13,35	13,91
pH Final	4,95	5,83	5,29	5,10	5,00	6,05	5,35	5,10
C.E. (mS/cm)	84	263	202	237	87	269	200	227
Turbidez (NTU)	80,9	8064	3787,8	3689,5	22,5	5568	2504	1995

Tabela 4.47: Valores mínimos, máximos, de média e mediana relativos à fracção dissolvida vinte e quatro e quarenta e oito horas após remeximento.

A vermelho encontram-se marcados os valores que excedem o Limite Máximo Admitido para Águas Superficiais de Classe 2 (CONAMA, 2012). C.E.: condutividade eléctrica.

Diss	Ensaio Turbidez 24h				Ensaio Turbidez 48h			
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
Al (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,68	0,20	0,01	0,01	0,92	0,32	0,05
As (mg.l ⁻¹)	< 0,01	0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,04	0,01	< 0,01
Ca (mg.l ⁻¹)	3,04	9,88	6,80	7,65	3,08	9,34	6,70	7,88
Cd (mg.l ⁻¹)	0,02	0,15	0,06	0,04	0,02	0,15	0,06	0,04
Co (mg.l ⁻¹)	0,02	0,07	0,04	0,03	0,03	0,06	0,04	0,04
Cr (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,005	0,002	< 0,001	< 0,001	0,003	< 0,001	< 0,001
Cu (mg.l ⁻¹)	0,05	0,10	0,07	0,07	0,04	0,07	0,06	0,06
Fe (mg.l ⁻¹)	0,04	0,37	0,13	0,05	0,05	0,63	0,22	0,06
K (mg.l ⁻¹)	1,49	3,09	2,22	2,16	1,16	2,79	2,02	1,99
Mg (mg.l ⁻¹)	0,99	16,87	8,21	7,02	0,97	15,73	7,76	7,20
Mn (mg.l ⁻¹)	0,14	8,86	2,01	0,43	0,14	10,04	2,20	0,44
Ni (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Pb (mg.l ⁻¹)	0,02	0,11	0,05	0,04	< 0,001	0,22	0,05	0,03
Zn (mg.l ⁻¹)	0,76	21,47	12,47	13,21	0,81	24,32	12,99	13,46
pH Final	4,89	5,91	5,22	5,05	4,52	5,97	5,07	5,01
C.E. (mS/cm)	96	280	206	242	94	275	205	239
Turbidez (NTU)	5,5	3232	1212,6	849,5	1,73	1150	405,1	285,2

Tabela 4.48: Valores mínimos, máximos, de média e mediana relativos à fracção dissolvida noventa e seis horas e sete dias após remeximento.

A vermelho encontram-se marcados os valores que excedem o Limite Máximo Admitido para Águas Superficiais de Classe 2 (CONAMA, 2012). C.E.: condutividade eléctrica.

Diss	Ensaio Turbidez 96h N = 6				Ensaio Turbidez 168h (7 dias) N = 6			
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
Al (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,67	0,21	0,03	< 0,001	0,85	0,27	0,04
As (mg.l ⁻¹)	< 0,01	0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Ca (mg.l ⁻¹)	3,59	9,07	6,85	7,87	4,01	10,29	7,83	8,24
Cd (mg.l ⁻¹)	0,02	0,14	0,06	0,04	0,03	0,15	0,06	0,04
Co (mg.l ⁻¹)	0,03	0,07	0,05	0,04	0,03	0,07	0,05	0,05
Cr (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,01	0,002	< 0,001	< 0,001	0,01	0,002	< 0,001
Cu (mg.l ⁻¹)	0,04	0,06	0,05	0,05	0,04	0,07	0,05	0,06
Fe (mg.l ⁻¹)	0,02	0,49	0,15	0,03	0,01	0,64	0,18	0,02
K (mg.l ⁻¹)	1,53	3,51	2,33	2,14	1,76	2,46	2,10	2,17
Mg (mg.l ⁻¹)	1,09	14,60	7,66	7,41	1,23	17,42	8,56	8,23
Mn (mg.l ⁻¹)	0,14	10,59	2,41	0,61	0,15	10,83	2,61	0,86
Ni (mg.l ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Pb (mg.l ⁻¹)	< 0,001	0,08	0,03	0,01	0,01	0,17	0,05	0,02
Zn (mg.l ⁻¹)	1,09	25,49	13,07	13,16	1,58	26,60	14,33	14,23
pH Final	4,82	6,20	5,14	4,90	4,82	6,46	5,21	4,92
C.E. (mS/cm)	118	279	211	234	113	269	214	246
Turbidez (NTU)	1,89	275	87,95	48,01	0,93	82,6	27,55	17,48

Comparando os valores em todos os elementos, verifica-se um decréscimo na fracção dissolvida uma hora após o remeximento, o que se poderá dever à passagem de elementos sob a forma iónica para a fracção particulada por adsorção, fixação e/ou co-precipitação e posterior precipitação das partículas. Em alguns elementos, verifica-se uma estabilização da sua concentração ao longo do tempo, nomeadamente o cálcio e o magnésio, que se mantêm com teores de 6-7 mg.l⁻¹ e 8 mg.l⁻¹ uma hora após remeximento, respectivamente. O mesmo comportamento demonstra o cádmio e o cobalto, verificando-se teores de 0,06 mg.l⁻¹ e 0,04 mg.l⁻¹ ao longo do ensaio, respectivamente, o chumbo, que ao fim de duas horas após o remeximento apresenta teores de cerca de 0,05 mg.l⁻¹ e o zinco, que uma hora após o remeximento apresenta teores entre 13 e 14 mg.l⁻¹. Por sua vez, o níquel, após quarenta e oito horas de repouso, deixa de ser encontrado em solução.

4.9.2.2. Material Particulado

Por digestão ácida das águas obtidas no ensaio de turbidez determinaram-se as concentrações em metais do material particulado. Os valores completos para todas as amostras do ensaio de turbidez, para cada um dos períodos de amostragem encontram-se em Anexo, nas Tabelas A.61 a A.68. Seguidamente apresentam-se os resultados correspondentes à análise de alguns parâmetros estatísticos destas amostras, na Tabela 4.49 (para as amostragens após remeximento, e após uma hora), na Tabela 4.50 (para as amostras duas e oito horas após remeximento), Tabela 4.51 (para sub-amostras retiradas vinte e quatro e quarenta e oito horas após remeximento) e na Tabela 4.52 (noventa e seis e uma semana após remeximento).

Tabela 4.49: Valores mínimos, máximos, de média e mediana relativos à fracção particulada no ensaio piloto após remeximento e após uma hora. C.E.: condutividade eléctrica.

Part.	Ensaio Turbidez Após Remeximento N = 6				Ensaio Turbidez 1h N = 6			
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
As (mg.l ⁻¹)	0,23	1,01	0,67	0,78	0,26	0,53	0,40	0,40
Cd (mg.l ⁻¹)	0,03	0,19	0,12	0,11	0,02	0,15	0,09	0,13
Co (mg.l ⁻¹)	0,11	0,30	0,20	0,22	0,10	0,15	0,12	0,12
Cr (mg.l ⁻¹)	0,17	0,58	0,34	0,33	0,02	0,39	0,15	0,04
Cu (mg.l ⁻¹)	1,75	4,88	3,50	3,64	1,60	3,85	2,37	2,17
Fe (mg.l ⁻¹)	82,36	728,82	340,69	334,45	4,14	308,74	141,40	132,59
Mn (mg.l ⁻¹)	0,37	2,66	1,61	1,67	0,35	1,59	1,09	1,21
Ni (mg.l ⁻¹)	0,08	0,16	0,08	0,08	0,05	0,05	0,05	0,05
Pb (mg.l ⁻¹)	0,24	40,13	8,52	2,72	1,16	14,39	6,40	3,65
Zn (mg.l ⁻¹)	3,32	122,08	43,05	34,52	0,47	48,51	20,00	15,92
pH Final	5,59	5,93	5,80	5,83	4,80	5,85	5,47	5,59
C,.E. (mS/cm)	84	533	252	233	81	271	189	200
Turbidez (NTU)	2700	10460	7490	8625	1570	8656	4308,7	4301

Tabela 4.50: Valores mínimos, máximos, de média e mediana relativos à fracção particulada duas e oito horas após remeximento. C.E.: condutividade eléctrica.

Part.	Ensaio Turbidez 2h N = 6				Ensaio Turbidez 8h N = 6			
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
As (mg.l ⁻¹)	0,09	0,42	0,26	0,26	0,23	0,47	0,35	0,35
Cd (mg.l ⁻¹)	0,04	0,14	0,09	0,08	0,02	0,11	0,06	0,05
Co (mg.l ⁻¹)	0,09	0,18	0,14	0,15	0,11	0,18	0,14	0,15
Cr (mg.l ⁻¹)	0,01	0,37	0,14	0,05	0,01	0,30	0,12	0,03
Cu (mg.l ⁻¹)	1,29	3,74	1,89	1,49	1,24	2,94	1,79	1,61
Fe (mg.l ⁻¹)	2,21	299,90	101,78	38,78	1,39	198,08	93,34	88,77
Mn (mg.l ⁻¹)	0,02	1,45	0,91	1,25	0,03	1,10	0,71	0,99
Ni (mg.l ⁻¹)	0,07	0,13	0,07	0,07	0,04	0,04	0,04	0,04
Pb (mg.l ⁻¹)	0,51	7,84	3,87	3,27	0,27	15,60	6,08	2,37
Zn (mg.l ⁻¹)	6,86	30,51	16,92	13,38	13,32	32,42	22,82	22,71
pH Final	4,95	5,83	5,29	5,10	5,00	6,05	5,35	5,10
C.E. (mS/cm)	84	263	202	237	87	269	200	227
Turbidez (NTU)	80,9	8064	3787,8	3689,5	22,5	5568	2504	1995

Tabela 4.51: Valores mínimos, máximos, de média e mediana relativos à fracção particulada vinte e quatro e quarenta e oito horas após remeximento. C.E.: condutividade eléctrica.

Part.	Ensaio Turbidez 24h N = 6				Ensaio Turbidez 48h N = 6			
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
As (mg.l ⁻¹)	0,16	0,20	0,18	0,18	0,05	0,09	0,07	0,07
Cd (mg.l ⁻¹)	0,04	0,08	0,06	0,05	0,01	0,06	0,03	0,02
Co (mg.l ⁻¹)	0,15	0,22	0,17	0,16	0,08	0,18	0,12	0,13
Cr (mg.l ⁻¹)	0,00	0,19	0,08	0,08	0,02	0,07	0,03	0,02
Cu (mg.l ⁻¹)	1,00	1,92	1,34	1,27	0,88	1,27	1,14	1,17
Fe (mg.l ⁻¹)	1,07	117,07	38,50	15,09	0,83	59,53	17,65	5,63
Mn (mg.l ⁻¹)	0,01	0,76	0,30	0,08	0,40	0,43	0,42	0,42
Ni (mg.l ⁻¹)	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb (mg.l ⁻¹)	0,15	3,39	1,50	0,97	1,14	1,14	1,14	1,14
Zn (mg.l ⁻¹)	1,34	11,01	6,11	4,28	1,40	5,74	3,57	3,57
pH Final	4,89	5,91	5,22	5,05	4,52	5,97	5,07	5,01
C.E. (mS/cm)	96	280	206	242	94	275	205	239
Turbidez (NTU)	5,46	3232	1212,6	849,5	1,73	1150	405,1	285,2

Tabela 4.52: Valores mínimos, máximos, de média e mediana relativos à fracção particulada vinte e noventa e seis e sete dias após remeximento. C.E.: condutividade eléctrica.

Part.	Ensaio Turbidez 96h N = 6				Ensaio Turbidez 168h (7 dias) N = 6			
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
As (mg.l⁻¹)	-	-	-	-	-	-	-	-
Cd (mg.l⁻¹)	0,01	0,04	0,02	0,02	0,01	0,04	0,03	0,03
Co (mg.l⁻¹)	0,06	0,18	0,14	0,16	0,04	0,17	0,10	0,10
Cr (mg.l⁻¹)	0,01	0,01	0,01	0,01	-	-	-	-
Cu (mg.l⁻¹)	0,92	1,06	0,99	1,00	0,80	1,00	0,89	0,89
Fe (mg.l⁻¹)	0,85	19,51	5,89	2,46	0,73	7,40	2,80	1,74
Mn (mg.l⁻¹)	0,001	0,31	0,12	0,03	0,16	0,16	0,16	0,16
Ni (mg.l⁻¹)	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb (mg.l⁻¹)	0,78	0,78	0,78	0,78	0,06	0,07	0,07	0,07
Zn (mg.l⁻¹)	0,06	2,94	1,63	1,90	0,73	1,84	1,29	1,29
pH Final	4,82	6,20	5,14	4,90	4,82	6,46	5,21	4,92
C.E. (mS/cm)	118	279	211	234	113	269	214	246
Turbidez (NTU)	1,89	275	87,95	48,01	0,93	82,6	27,6	17,5

De uma forma geral, verifica-se uma tendência de decréscimo na fracção particulada, que se deverá à decantação do material sólido e, portanto, à diminuição das partículas em suspensão. Dada a elevada concentração de elementos em solução, a floculação do material sólido é facilitada, o que poderá explicar a acentuada diminuição do material suspenso ao longo do tempo. No entanto, esta diminuição não é linear, verificando-se picos de aumento dos elementos metálicos, o que pode ser explicado pela própria natureza do ensaio e que, ao retirar estas sub-amostras se possa ter causado alguma ressuspensão do material, aumentando assim os teores em metais.

4.10. Textura

Foram realizadas análises texturais, de forma a poder classificar granulometricamente os materiais, por determinação das percentagens das fracções arenosa, siltosa e argilosa das amostras. Os resultados e classificação de acordo com o diagrama de Shepard encontram-se tabelados em Anexo, nas Tabelas A.69 e A.70. Apresentam-se seguidamente os valores para alguns parâmetros estatísticos, divididos por área, para os sedimentos, na Tabela 4.53, e as aluviões, na Tabela 4.54.

Tabela 4.53: Valores mínimos, máximos, de média e mediana da percentagem de areia, silte e areia dos sedimentos da área em estudo.

	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)		Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
Área A0 N = 8				Área A3 N = 17			
Mínimo	60,6	3,9	0,6	Mínimo	13,6	14,7	6,4
Máximo	93,6	38,9	13,8	Máximo	77,4	51,6	35,6
Média	82,3	12,4	5,3	Média	51,7	31,1	17,2
Mediana	87,0	7,5	4,7	Mediana	54,3	31,4	15,8
Área A1 N = 131				Área A5 N = 3			
Mínimo	1,6	5,9	2,5	Mínimo	20,3	29,4	42,9
Máximo	90,0	78,9	81,4	Máximo	27,7	31,4	48,3
Média	37,2	36,7	26,2	Média	23,6	30,4	46,0
Mediana	36,1	38,0	26,3	Mediana	22,8	30,6	46,7
				Área BG N = 6			
				Mínimo	48,7	5,3	2,7
				Máximo	92,0	31,3	21,5
				Média	65,3	23,4	11,2
				Mediana	57,7	30,0	11,5

As amostras de sedimentos apresentam teores médios de areia relativamente elevados, que rondam os 50 e 60% nas áreas A3 e BG e atingindo valores médios de cerca de 80% na área A0. Deste modo, nestas áreas as amostras recolhidas são essencialmente arenosas ou silto-arenosas. Por sua vez, a área A5 apresenta teores médios de areia menores, com percentagens de cerca de 20%, sendo a percentagem em argila a mais importante, atingindo teores médios de cerca de 45%. Assim, na área A5 observam-se amostras essencialmente argilosas e/ou silto-argilosas. Por sua vez, na área A1 identificam-se valores mínimos, máximos, médios e medianos muito semelhantes para as três fracções granulométricas consideradas. Estes valores poderão dever-se ao um maior número de amostras recolhido na área em estudo e às suas diferentes características texturais, resultado da dinâmica fluvial do córrego Consciência.

Nas aluviões, verificam-se percentagens médias de areia de cerca de 60% na área A0, de 40% nas áreas A1 e A3 e de 20-30% nas áreas A2 e A5. Deste modo, identifica-se um predomínio das fracções arenosa e siltosa nas áreas A0, A1 e A3, enquanto as amostras das áreas A2 e A5 são essencialmente silto-arenosas.

Tabela 4.54: Valores mínimos, máximos, de média e mediana da percentagem de areia, silte e areia das aluviões da área em estudo.

	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)		Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
Área A0			N = 3	Área A2			N = 21
Mínimo	60,3	13,0	14,2	Mínimo	1,7	2,4	0,4
Máximo	67,6	25,5	19,3	Máximo	81,5	75,4	62,4
Média	62,9	20,5	16,7	Média	29,1	44,6	26,4
Mediana	60,7	22,9	16,4	Mediana	21,9	48,2	21,9
Área A1			N = 39	Área A3			N = 10
Mínimo	3,6	2,0	4,5	Mínimo	25,6	12,5	12,7
Máximo	87,8	68,2	72,4	Máximo	68,0	42,3	43,0
Média	42,1	32,9	25,0	Média	44,8	29,4	25,8
Mediana	43,6	30,7	21,7	Mediana	43,5	29,1	22,9
				Área A5			N = 6
				Mínimo	8,6	18,0	1,9
				Máximo	73,1	74,6	33,6
				Média	35,7	48,0	16,3
				Mediana	27,3	49,5	14,9

4.11. Densidade (Aparente e das Partículas) e Porosidade

Foram ainda realizados ensaios de forma a determinar a porosidade, a densidade aparente e densidade das partículas que compõem os sedimentos e as aluviões da área em estudo. Apresentam-se em Anexo os valores totais, correspondentes a todas as amostras em que se realizaram estes ensaios, destes parâmetros físicos, na Tabela A.71 para os sedimentos, e na Tabela A.72 para as aluviões. Os valores mínimos, máximos, médios e medianos encontram-se representados na Tabela 4.55 para os sedimentos, e na Tabela 4.56 para as aluviões.

De uma forma geral, as áreas A0 e BG são as que apresentam maiores valores de densidade aparente e, conseqüentemente menores valores de porosidade, que rondam em média os 30%. Por outro lado, as restantes áreas apresentam menores valores de densidade aparente e, portanto, apresentam maiores porosidades, na ordem dos 40%, atingindo um máximo de 65% de porosidade na área A1. Estes teores de porosidade deverão relacionar-se com o grau de compactação e com a textura das amostras. Complementarmente a estes valores, deveriam ser realizados ensaios de permeabilidade, de modo a compreender a capacidade dos materiais sedimentares se deixarem atravessar pelos metais em solução e se estes materiais conseguirão reter estes elementos, impedindo a contaminação dos aquíferos nas imediações da área em estudo.

Tabela 4.55: Valores mínimos, máximos, de média e mediana da densidade aparente, densidade das partículas e porosidade dos sedimentos.

	Densidade Aparente (g.cm ⁻³)	Densidade Partículas (g.cm ⁻³)	Porosidade (%)		Densidade Aparente (g.cm ⁻³)	Densidade Partículas (g.cm ⁻³)	Porosidade (%)
Área A0 N = 8				Área A3 N = 17			
Mínimo	1,67	2,63	18,80	Mínimo	1,35	2,46	30,67
Máximo	2,19	2,84	36,60	Máximo	1,96	3,09	50,97
Média	1,94	2,71	28,29	Média	1,65	2,69	38,67
Mediana	1,93	2,71	28,26	Mediana	1,65	2,66	38,22
Área A1 N = 101				Área A5 N = 3			
Mínimo	1,06	2,20	24,28	Mínimo	1,61	2,72	40,74
Máximo	2,21	3,42	65,72	Máximo	1,65	2,85	42,13
Média	1,61	2,71	40,41	Média	1,63	2,80	41,66
Mediana	1,58	2,69	40,85	Mediana	1,63	2,82	42,12
				Área BG N = 6			
				Mínimo	1,65	2,57	15,62
				Máximo	2,24	2,74	38,27
				Média	1,84	2,65	30,73
				Mediana	1,72	2,66	33,87

Tabela 4.56: Valores mínimos, máximos, de média e mediana da densidade aparente, densidade das partículas e porosidade das aluviões.

	Densidade Aparente (g.cm ⁻³)	Densidade Partículas (g.cm ⁻³)	Porosidade (%)		Densidade Aparente (g.cm ⁻³)	Densidade Partículas (g.cm ⁻³)	Porosidade (%)
Área A0 N = 3				Área A2 N = 21			
Mínimo	1,77	2,58	30,02	Mínimo	1,27	2,60	33,05
Máximo	1,86	2,69	32,00	Máximo	2,16	3,53	57,03
Média	1,82	2,64	31,09	Média	1,56	2,91	46,12
Mediana	1,83	2,66	31,25	Mediana	1,60	2,83	45,74
Área A1 N = 38				Área A3 N = 9			
Mínimo	1,21	2,39	29,67	Mínimo	1,35	2,65	28,37
Máximo	1,88	2,82	54,27	Máximo	1,94	2,94	50,63
Média	1,58	2,65	40,51	Média	1,72	2,75	37,26
Mediana	1,56	2,66	42,00	Mediana	1,74	2,73	36,21
				Área A5 N = 6			
				Mínimo	1,31	2,65	34,72
				Máximo	1,73	2,87	54,54
				Média	1,58	2,74	42,21
				Mediana	1,62	2,72	40,69

Nas aluviões, as áreas A0 e A3 possuem as maiores densidades aparentes e, portanto, os menores valores de porosidade, com valores médios na ordem dos 30%. Por outro lado, as áreas A1, A2 e A5 caracterizam-se por teores médios de densidade aparente na ordem dos $1,5 \text{ g.cm}^{-3}$, o que corresponde a porosidades na ordem dos 40-45%. À semelhança do que acontece nos sedimentos, também nas aluviões estas diferenças nos valores se poderão dever ao grau de compactação e à textura das amostras, uma vez que amostras mais argilosas corresponderão a amostras com maiores porosidades.

5. Discussão



Discussão

Para tornar mais simples a representação e a comparação dos dados obtidos, optou-se por dividir a discussão em três partes: uma primeira, que se reportará às amostras de água e águas intersticiais, uma segunda mais longa, correspondente aos dados para os sedimentos e as aluviões e uma final, relacionada com os dados dos ensaios-piloto realizados em laboratório.

5.1. Águas e Águas Intersticiais

5.1.1. Águas

Tendo-se apenas procedido à análise da fracção dissolvida na campanha de Novembro, procedeu-se à comparação destes valores com os obtidos na campanha de Março, de forma a compreender-se de uma forma mais completa as variações sazonais na coluna de água.

Deste modo, para a amostra CA1-14 (Figura 5.1), à semelhança do que acontece na amostra CA1-35 (Figura 5.2), verifica-se uma diminuição na concentração dos elementos químicos analisados no período pós-chuva, o que poderá dever-se, como já foi referido, a um efeito de diluição por acção das águas pluviais.

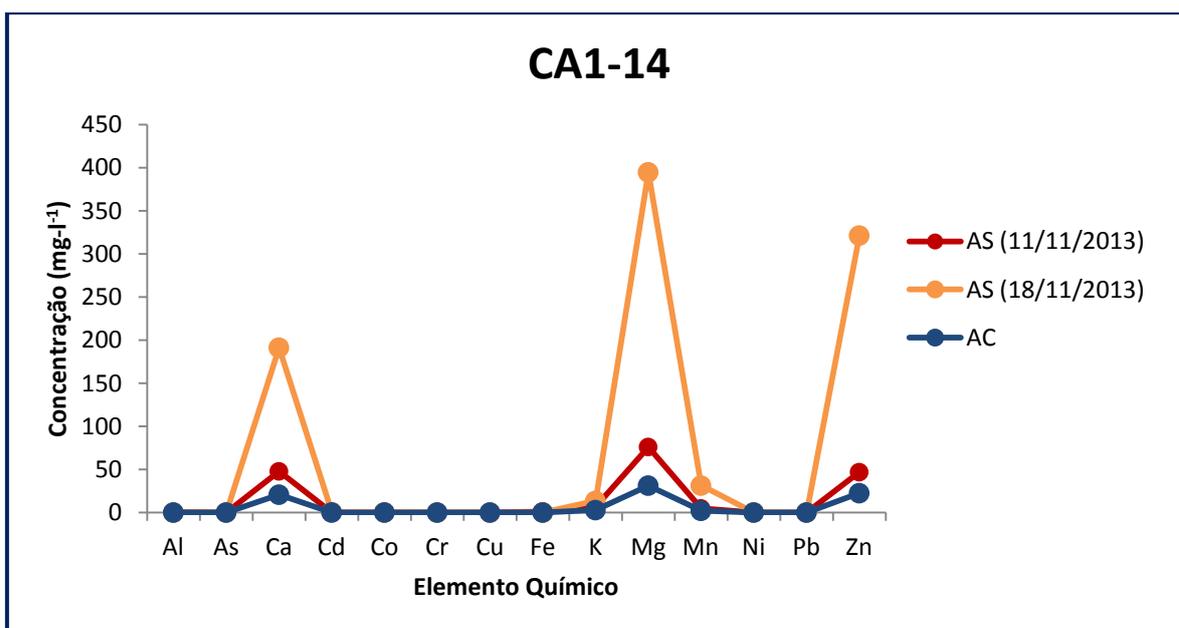


Figura 5.1: Concentração dos principais elementos químicos na época pós-seca (AS) e pós-chuva (AC) na coluna de água em CA1-14.

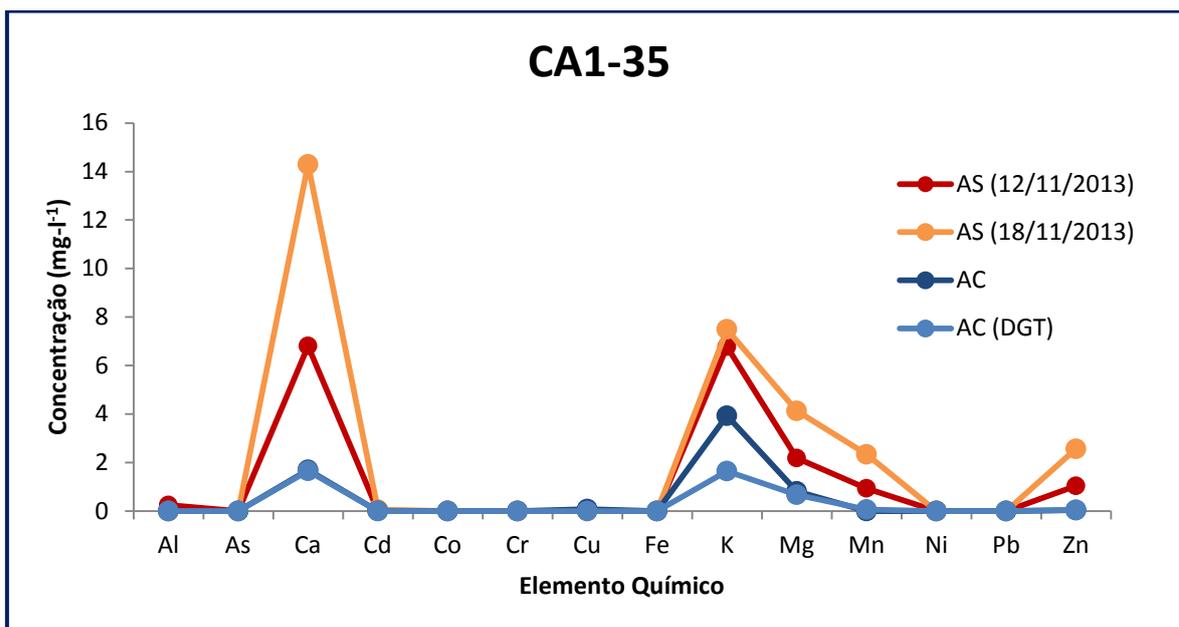


Figura 5.2: Concentração dos principais elementos químicos na época pós-seca (AS) e pós-chuva (AC) na coluna de água em CA1-35.

Verifica-se ainda que os teores encontrados em CA1-35 são significativamente mais baixos que em CA1-14. Este facto dever-se-á à localização destes pontos de amostragem e ao acarreio de material da área A3 (após a confluência do córrego Consciência com a linha de água proveniente da área A3, o córrego Grota Seca, onde se localizam os antigos depósitos de resíduos) e da área A2.

Como já foi referido anteriormente, na campanha de Março de 2014 foi determinada, para além da fracção dissolvida, a fracção particulada, dado ser este último um período onde ocorre maior concentração de partículas em suspensão por corresponder a um período após os principais eventos de precipitação. A Figura 5.3 mostra em que fracções se encontram preferencialmente os principais elementos metálicos identificados. Deste modo, e de acordo com a Figura seguinte, verifica-se que o cobalto, o crómio, o cobre e o ferro se encontram maioritariamente na fracção particulada, não representando portanto, problemas ambientais. Por outro lado, verifica-se que para algumas amostras as fracções dissolvidas em cádmio, manganês e zinco são muito elevadas. Estes elementos representam os maiores problemas a nível ambiental e são consequências directas da inadequada eliminação de resíduos da unidade industrial de Três Marias.

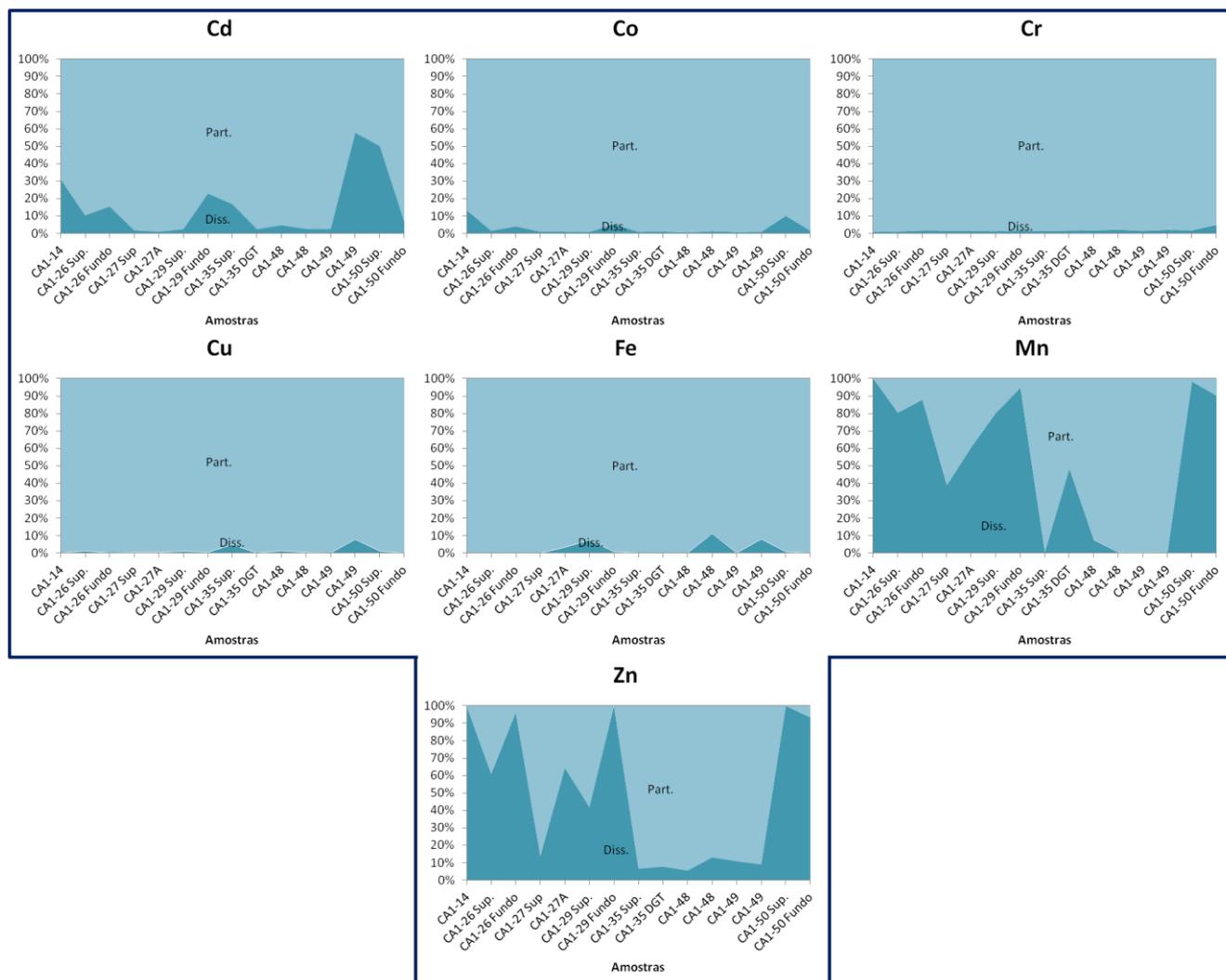


Figura 5.3: Fracções dissolvida e particulada para as águas recolhidas na campanha de Março de 2014.

5.1.2. Águas Intersticiais

À semelhança do que foi realizado para as águas, também para as águas intersticiais se procedeu à comparação dos seus teores em metais pesados após a estação seca e a estação das chuvas. Deste modo, utilizaram-se as amostras CA1-14, CA1-22 (Figura 5.4), CA1-29, CA1-35 (Figura 5.5) e CA3-38 (Figura 5.6), por serem amostras representativas de todo o sistema.

Observando de uma forma geral as Figuras, não se evidenciam padrões comuns, no entanto verifica-se que de uma forma geral, os valores tendem a diminuir na estação das chuvas, o que se poderá relacionar com um efeito de diluição pelas águas pluviais. No entanto, identifica-se para a amostra CA1-35 que para a profundidade 20 a 40 cm um decréscimo da concentração de elementos contaminantes, verificando-se este comportamento quer na estação seca, quer após as chuvas. Esta

variação poderá dever-se uma variação nos valores de porosidade (onde se verifica um pequeno aumento – ver Tabela A.71) e permeabilidade nestas camadas, o que levarão a uma diluição nos teores em metais, visto não se identificarem variações significativas nas concentrações na digestão parcial.

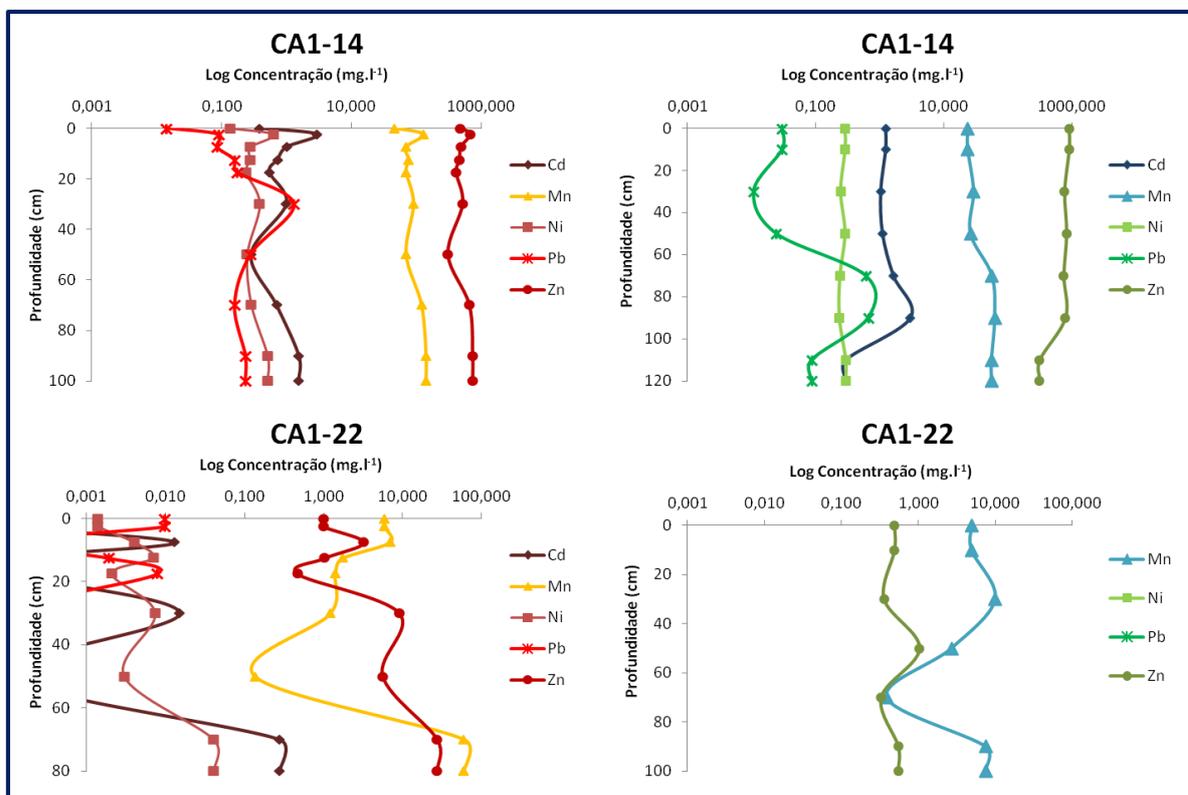


Figura 5.4: Concentrações nos principais elementos metálicos para as águas intersticiais das amostras CA1-14 e CA1-22.

À esquerda encontram-se as amostras correspondentes à época seca, enquanto à direita se encontram as amostras correspondentes à época das chuvas.

Estes valores podem ainda ser comparados com os Valores de Prevenção para as águas subterrâneas (COPAM, 2011), atingindo valores muitas vezes superiores aos legalmente admitidos. Para o zinco, cujo limite normativo é de $1,05 \text{ mg.l}^{-1}$, identificam-se teores de 892 mg.l^{-1} (na época após chuvas, na amostra CA1-14), que representa um valor quase 900 vezes superior ao legalmente admitido. Este valor não se encontra isolado, identificando-se ainda concentrações de cádmio próximos de 3 mg.l^{-1} , para um teor máximo legislado de $0,005 \text{ mg.l}^{-1}$, o que corresponde a teores cerca de 600 vezes superiores aos legalmente admitidos.

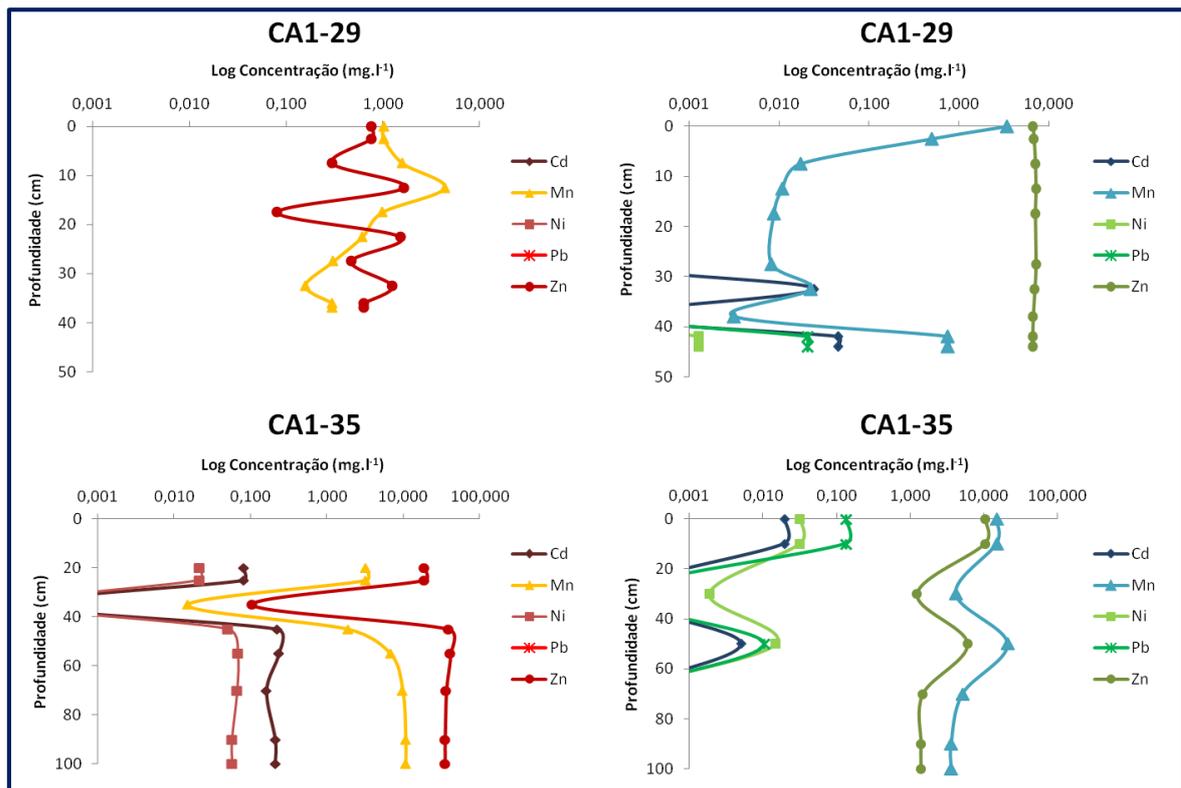


Figura 5.5: Concentrações nos principais elementos metálicos para as águas intersticiais das amostras CA1-29 e CA1-35.

À esquerda encontram-se as amostras correspondentes à época seca, enquanto à direita se encontram as amostras correspondentes à época das chuvas.

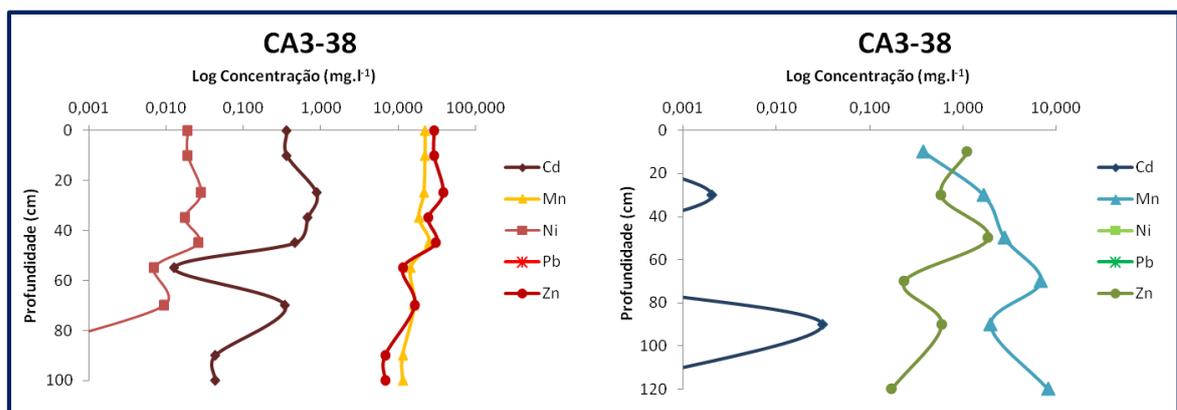


Figura 5.6: Concentrações nos principais elementos metálicos para as águas intersticiais da amostra CA3-38.

À esquerda encontram-se as amostras correspondentes à época seca, enquanto à direita se encontram as amostras correspondentes à época das chuvas.

Uma das maiores problemáticas associadas a estes teores de metais pesados nas águas intersticiais está associada à própria natureza desta fracção. Correspondendo as águas intersticiais à fracção aquosa que se encontra nos poros dos sedimentos, também será nesta fracção que se dão as principais trocas elementares entre os sedimentos e as aluviões e a coluna de água. Deste modo, e tendo em conta os elevados teores de elementos contaminantes que se identificam nas águas intersticiais, deverão ser os elementos que correspondem à fracção mais solúvel, de maior mobilidade e que é lixiviada facilmente para a rede hidrográfica pelas águas pluviais. Esta fracção corresponde a uma parte da fracção mais lábil extraída nos processos de extracção sequencial realizada na fracção sólida dos sedimentos e aluviões. Assim, as águas intersticiais permitem identificar, numa primeira aproximação, quer os elementos contaminantes, quer a sua concentração, sob a forma mais nociva ao meio.

5.2. Sedimentos e Aluviões

5.2.1. Digestão Parcial e Determinação do Grau de Contaminação

Para se proceder à determinação do grau de contaminação dos sedimentos da área em estudo foram primeiramente identificados os principais elementos químicos contaminantes, cuja concentração foi determinada em extractos obtidos por digestão parcial (com uma solução bi-ácida constituída por HCl e HNO₃). Estes teores foram comparados com os níveis de referência para material a ser dragado em água doce no Estado de Minas Gerais (CONAMA, 2012), que por sua vez é adaptado dos valores de referência Canadianos para a protecção da vida aquática (Environmental Canada). O material é assim classificado com base em dois níveis de perigosidade (CONAMA, 2012):

- O nível 1 corresponde ao limiar abaixo do qual não se esperam efeitos nefastos para a vida aquática (o que equivale ao Valor de Qualidade de Referência – VQR) ;
- O nível 2 corresponde, por sua vez, ao limiar acima do qual se esperam efeitos nefastos ao biota (referido posteriormente como Valor Crítico – VC).

Deste modo, e com base nos níveis de referência no Estado de Minas Gerais, procedeu-se à classificação de todas as amostras, para todos os elementos analisados, podendo esta ser consultada em Anexo, na Tabela A.15 para os sedimentos e na Tabela A.16 para as aluviões. Estes níveis de perigosidade foram ainda projectados sobre a área em estudo, o que se encontra representado em Anexo nas Figuras A.4 a A.9.

Para efeitos de melhor se compreender os níveis de contaminação em cada uma das áreas e para os sedimentos e aluviões procedeu-se à comparação destes valores com os níveis legislados. Deste modo, representam-se para cada amostra os seus teores de 0 a 20 cm, de 20 a 40 cm, de 40 a 60 cm, de 60 a 80 cm, de 80 a 100 cm, de 100 a 120 cm e acima de 120 cm de profundidade. Para que os dados pudessem ser simplificados, procedeu-se à escolha do maior teor nas amostras, portanto, em pontos como o CA1-14, que apresenta amostras de 5 em 5 cm, foram apenas escolhidos os teores mais elevados em cada um dos elementos metálicos, para cada intervalo de profundidade.

Assim, nas Figuras 5.7 a 5.11 representam-se os dados referentes aos sedimentos, enquanto as aluviões se encontram nas Figuras 5.14 a 5.18.

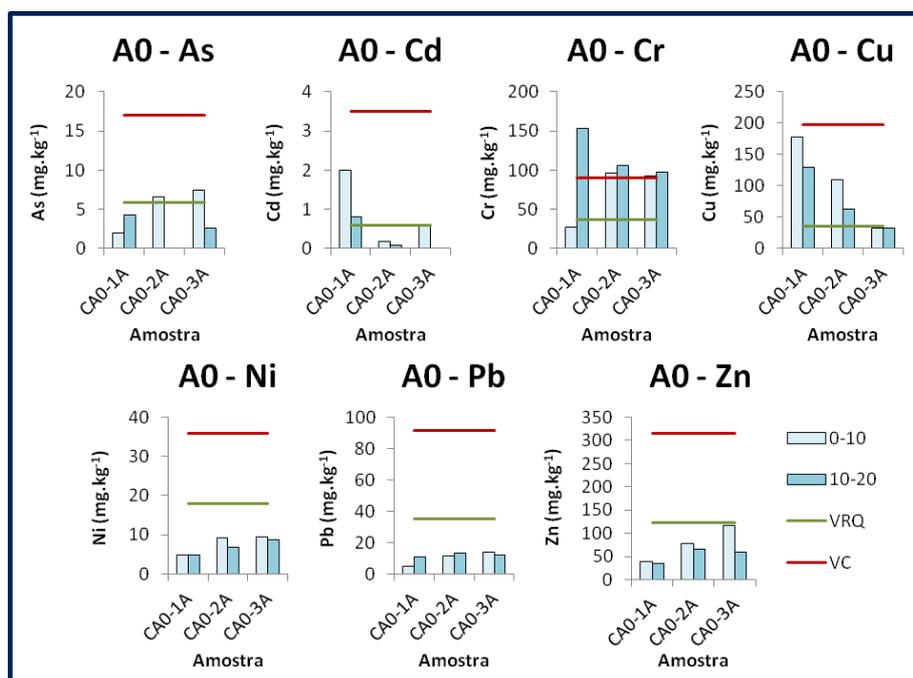


Figura 5.7: Comparação dos valores obtidos por digestão parcial para os sedimentos da área A0 com os níveis legais locais (CONAMA, 2012).

Na área A0 não se verificam, como seria de esperar, muitos incumprimentos nos teores legais. Esta corresponde à área fora da influência da unidade da Votorantim Metais S.A. e, por isso, é caracterizada por baixos teores em elementos metálicos. Verificam-se, no entanto, teores acima do Valor Crítico (VC) para o crómio, e acima do Valor de Qualidade de Referência para o arsénio, o cádmio e o cobre, o que poderão corresponder a contaminações de origem natural, ou geradas pelo transporte eólico de partículas provenientes do transporte dos resíduos para o Depósito Murici, ou para a Barragem da Lavagem.

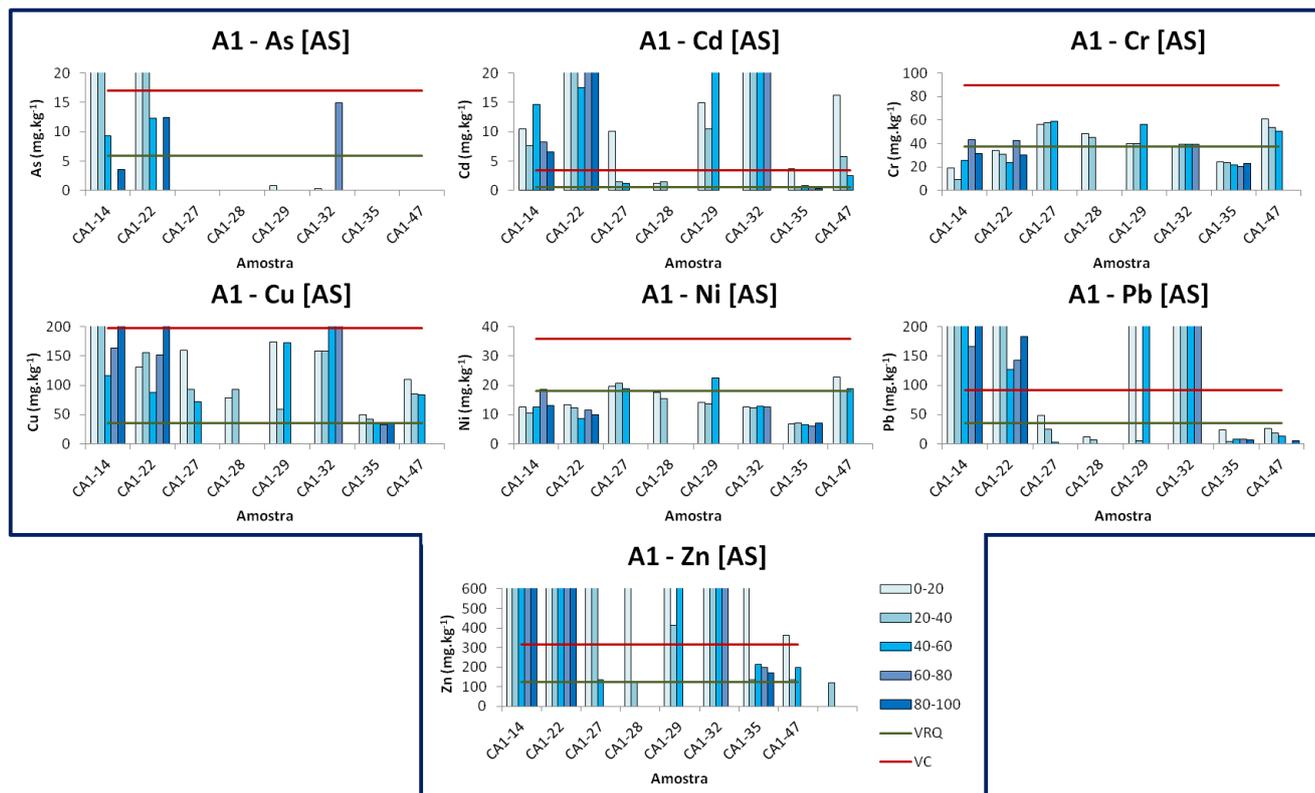


Figura 5.8: Comparação dos valores obtidos por digestão parcial para os sedimentos da área A1, na época pós-seca (AS), com os níveis legais locais (CONAMA, 2012).

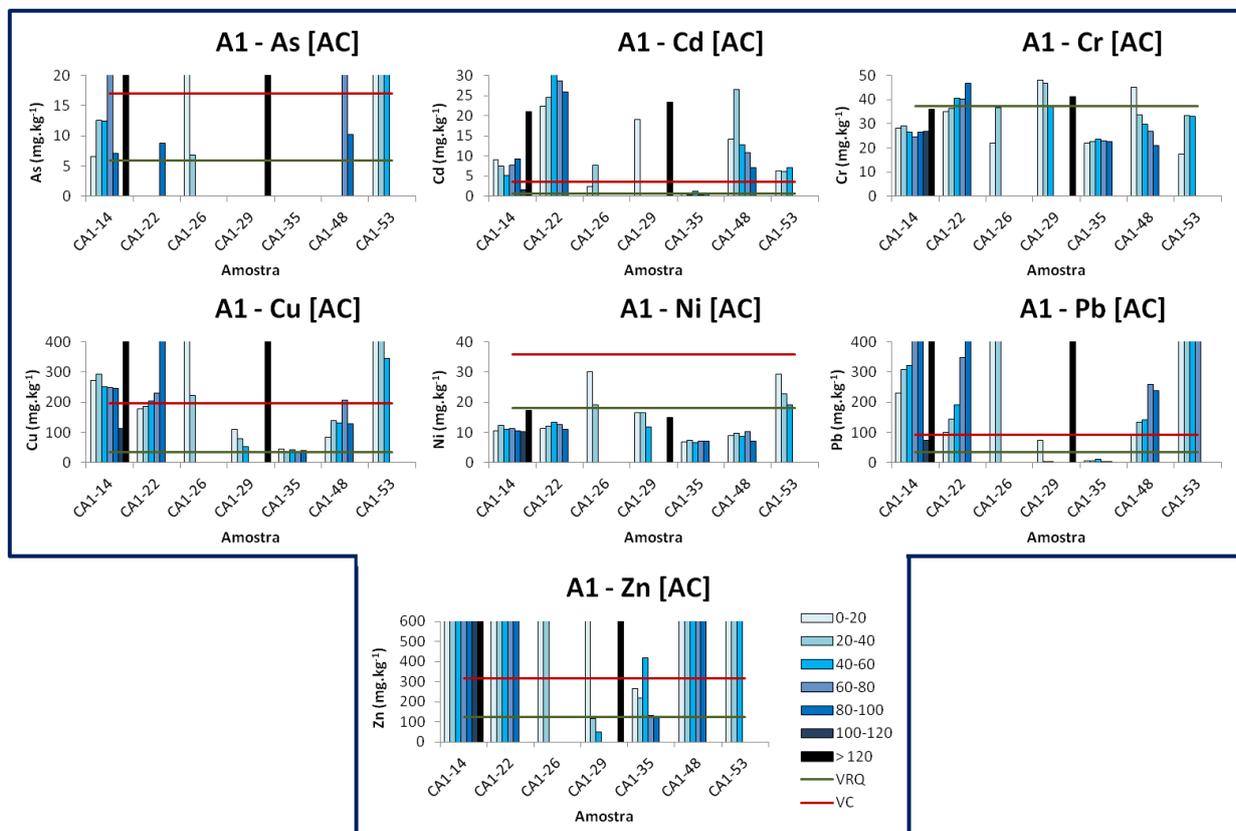


Figura 5.9: Comparação dos valores obtidos por digestão parcial para os sedimentos da área A1, na época pós-chuva (AC), com os níveis legais locais (CONAMA, 2012).

Na área A1 verificam-se valores muito elevados (acima do Valor Crítico) para o arsénio, o cádmio, o cobre, o chumbo e o zinco, quer para as campanhas após o período de seca (AS), quer para a campanha após o período de chuva (AC). É ainda visível, na campanha de Março (AC), quando foram realizadas as amostragens a maior profundidade, que estes níveis apresentam ainda elevadas concentrações dos principais contaminantes da área. Por sua vez, o crómio e o níquel não apresentam valores muito significativos, encontrando-se na maioria das amostras abaixo do Valor de Referência de Qualidade.

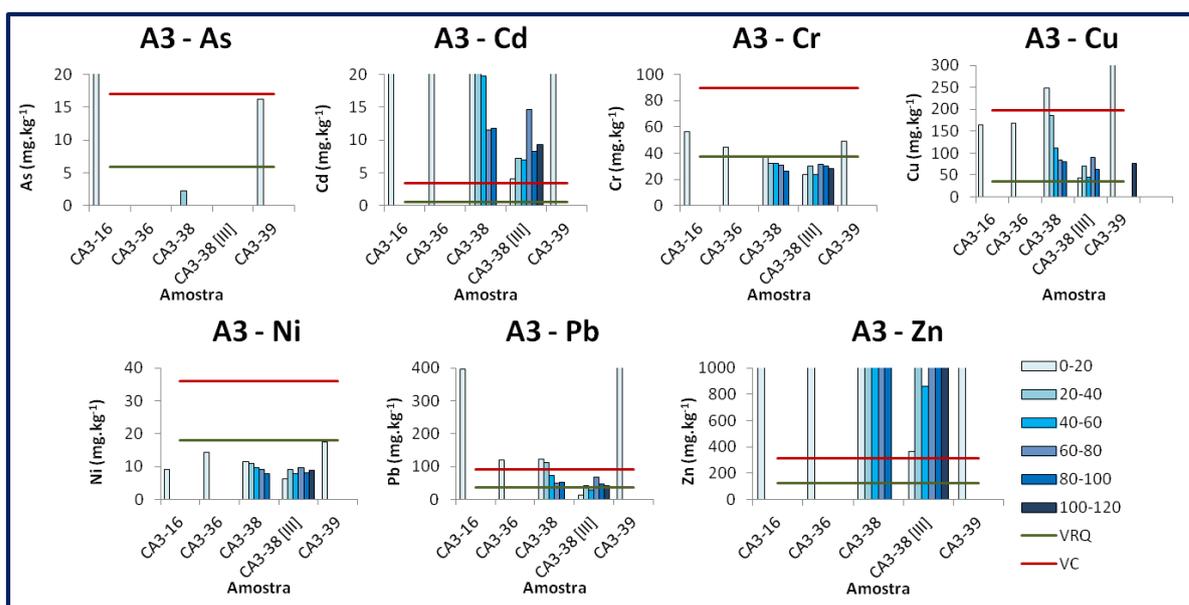


Figura 5.10: Comparação dos valores obtidos por digestão parcial para os sedimentos da área A3 com os níveis legais locais (CONAMA, 2012).

Na área A3 identificam-se valores muito elevados, especialmente em cádmio e zinco. O cobre e o chumbo apresentam concentrações acima do Valor Crítico, no entanto, apenas em algumas amostras, demonstrando o carácter mais pontual da contaminação nesta área. O crómio e o níquel apresentam valores baixos, podendo pontualmente exceder o Valor de Referência de Qualidade.

Nas áreas A5 e BG o que se verifica são contaminações de carácter mais pontual. Deste modo, a área A5 encontram-se teores muito elevados (acima do Valor Crítico) para o cádmio, o cobre e o zinco, enquanto o arsénio, o crómio, o níquel e o chumbo apresentam valores mais baixos (na sua maioria abaixo do Valor de Referência de Qualidade). Na área BG é possível determinar o efeito da Votorantim Metais S.A.. Deste modo, verifica-se que em áreas que não sofrem acarreios directos da

área da unidade (amostra BG-46), as concentrações em elementos metálicos encontram-se, em regra abaixo do Valor de Referência de Qualidade, ultrapassando-o apenas para o cobre e para o zinco. Os teores em crómio nesta amostra são bastante elevados (superiores ao Valor Crítico), sendo ainda mais elevados que os valores nas restantes amostras, o que corresponderá a contaminações de origem natural ou de origem antrópica mas tendo como principal fonte a cidade de Três Marias que se encontra a montante. Pela sua localização relativamente à unidade da Votorantim, esta elevada concentração em crómio não será devida ao funcionamento da unidade.

Em áreas onde já se verifica o acarreo de material da envolvente da Votorantim Metais S.A. (amostra BG-45), identificam-se concentrações mais elevadas de cádmio e zinco, ultrapassando apenas o Valor Crítico para o zinco. Estes valores podem ser explicados pela lixiviação por águas pluviais de antigos depósitos de resíduos a Norte destes pontos, que fazem parte da bacia de drenagem deste córrego e que leva à contaminação dos seus sedimentos.

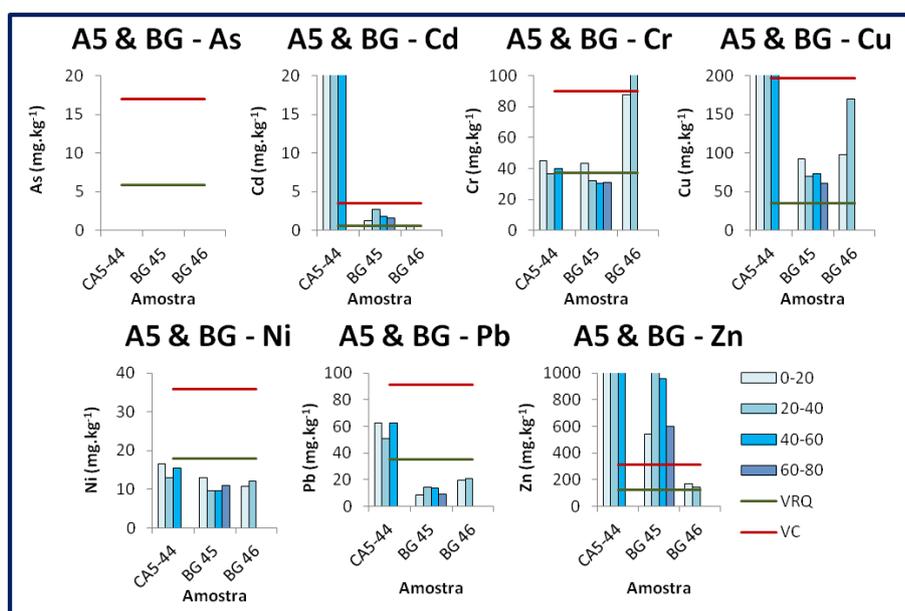


Figura 5.11: Comparação dos valores obtidos por digestão parcial para os sedimentos das áreas A5 e BG com os níveis legais locais (CONAMA, 2012).

Por seu lado, as Figuras 5.12 e 5.13 permitem a comparação directa entre as amostras de sedimento recolhidas nas campanhas após seca (AS) e após chuva (AC). Deste modo, e de uma forma geral, não se verificam diferenças significativas entre os dois períodos sazonais, mas é possível especialmente à superfície verificar uma ligeira diminuição nas concentrações destes elementos metálicos após a época das chuvas, o que pode ser comprovado por comparação das amostras CA1-14, CA1-29 ou CA1-32. Esta pequena variação poderá dever-se a uma ligeira lixiviação por aumento do caudal do córrego, no entanto não são esperadas grandes diferenças devido ao Verão anormalmente seco sentido na área em estudo (INMET).

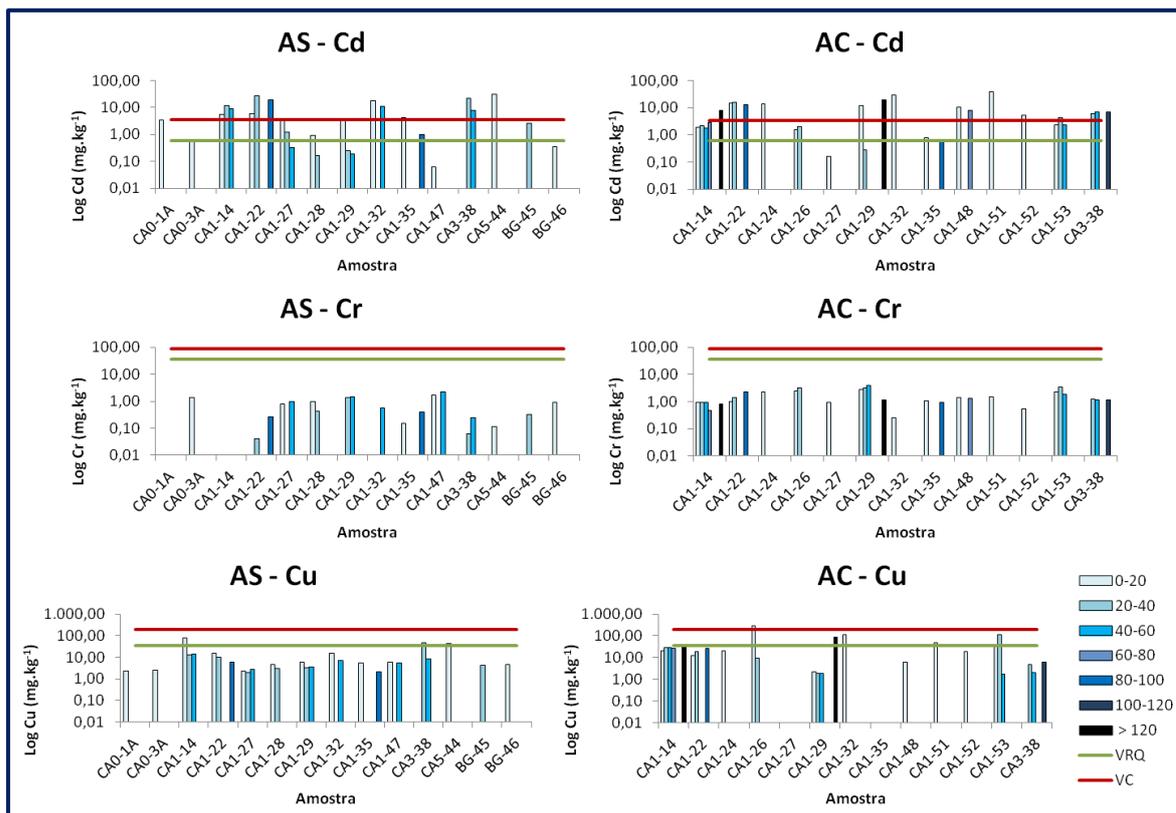


Figura 5.12: Teor em cádmio, crómio e cobre nos sedimentos recolhidos nas campanhas após seca (AS) e após chuva (AC).

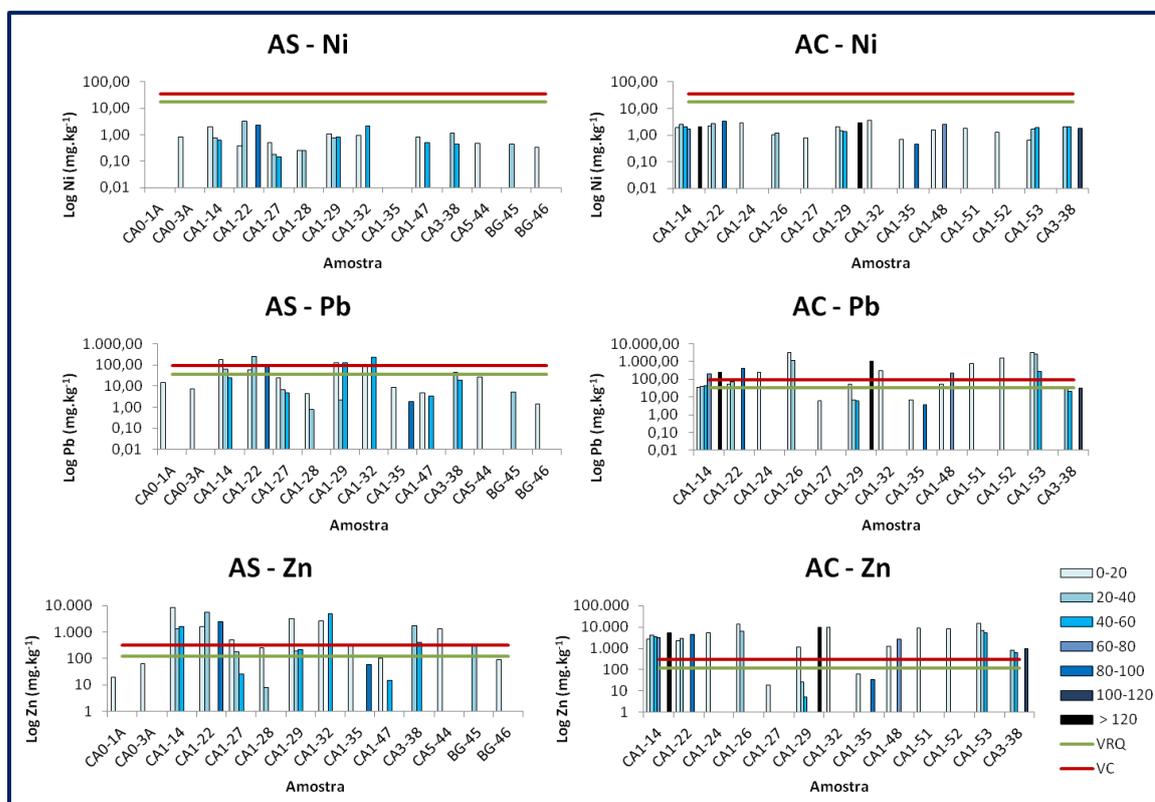


Figura 5.13: Teor em níquel, chumbo e zinco nos sedimentos recolhidos nas campanhas após seca (AS) e após chuva (AC).

Nas aluviões, a área A0 apresenta valores muito baixos (abaixo do Valor de Referência de Qualidade) em todos os elementos analisados.

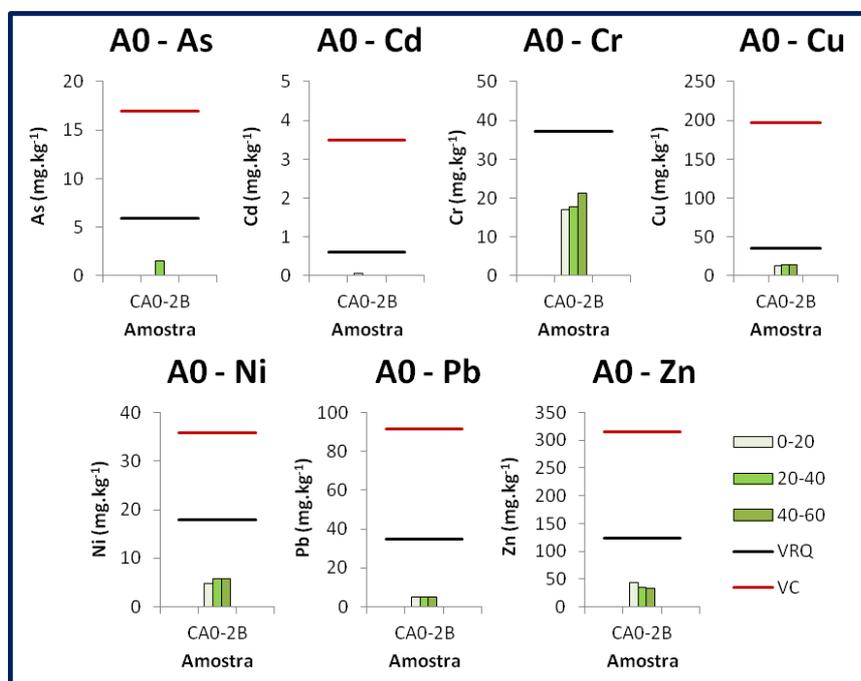


Figura 5.14: Comparação dos valores obtidos por digestão parcial para as aluviões da área A0 com os níveis legais locais (CONAMA, 2012).

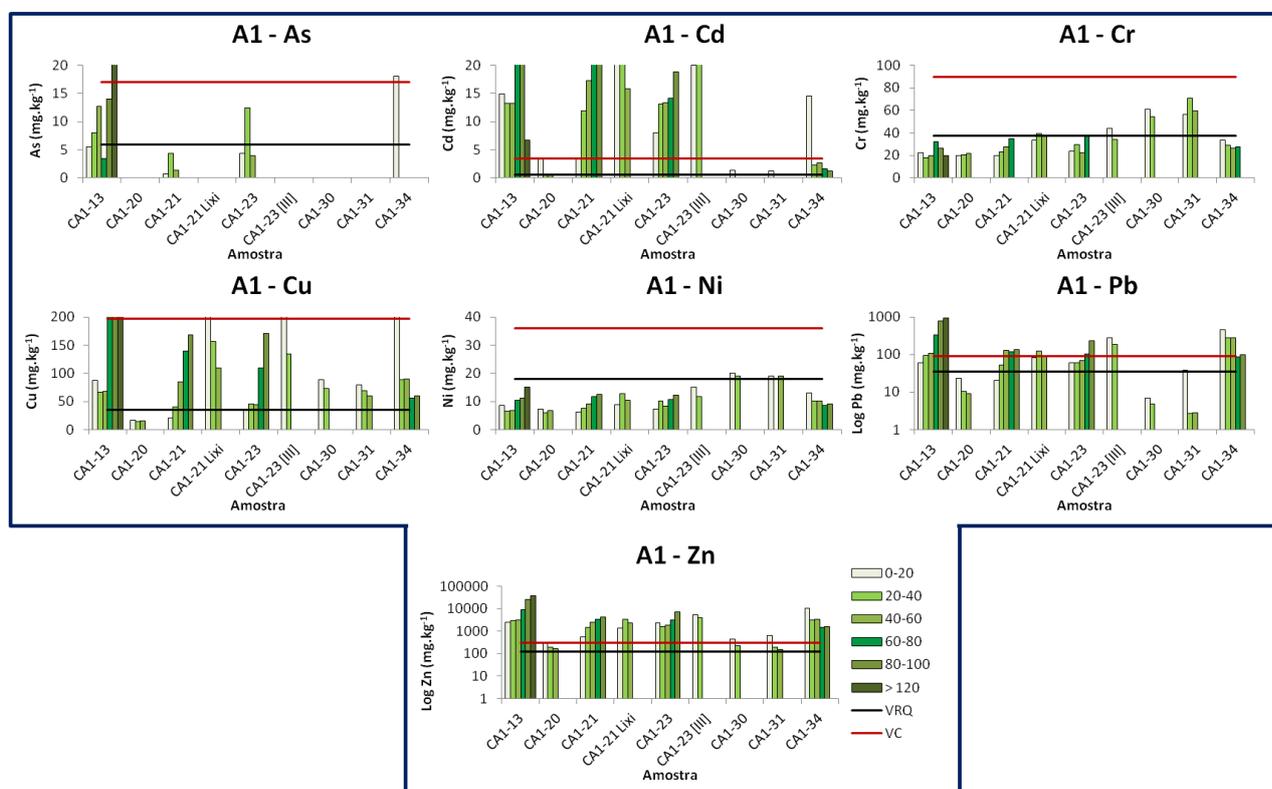


Figura 5.15: Comparação dos valores obtidos por digestão parcial para as aluviões da área A1 com os níveis legais locais (CONAMA, 2012).

A área A1 apresenta elevados valores de cádmio, cobre, chumbo e zinco, verificando-se para estes elementos teores muito acima dos Valores Críticos. O crómio e o níquel possuem, à semelhança dos sedimentos, teores muito baixos, que se encontram essencialmente abaixo do Valor de Referência de Qualidade. Por sua vez, a contaminação em arsénio nesta área é de carácter pontual, identificando-se concentrações muito elevadas na amostra CA1-13 (especialmente em profundidade), CA1-23 e CA1-34.

Contrariamente ao que se verifica nos sedimentos, em que não se observa um aumento ou decréscimo preferencial das concentrações dos metais em profundidade, nas aluviões, de uma forma geral, os teores aumentam em direcção às camadas mais profundas. Este aumento é particularmente evidentes nas áreas A1, A2 e A3, que são as áreas em que se observa maior acumulação de materiais sedimentares e que apresenta maior humidade, sendo assim facilitado o transporte dos elementos metálicos ao longo da coluna sedimentar através da água intersticial.

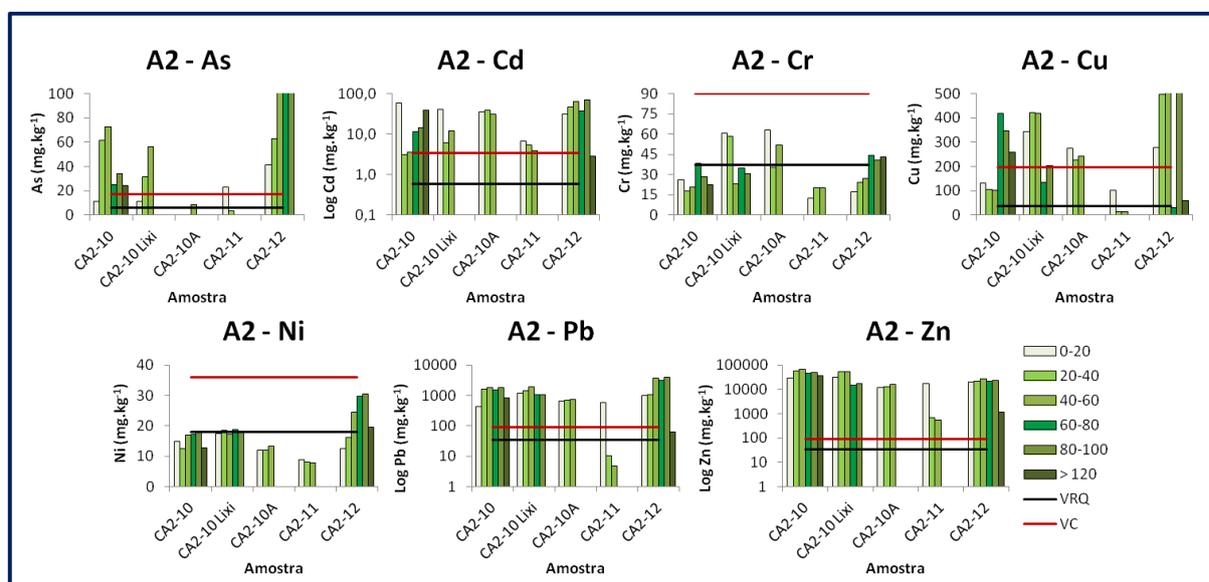


Figura 5.16: Comparação dos valores obtidos por digestão parcial para as aluviões da área A2 com os níveis legais locais (CONAMA, 2012).

A área A2 pode ser caracterizada por concentrações acima do Valor Crítico em arsénio, cádmio, cobre, chumbo e zinco, verificando-se teores muitas vezes superiores ao nível de referência (especialmente para o cádmio e o zinco). O crómio e o níquel apresentam teores relativamente baixos, conforme se tem verificado para as restantes áreas, apresentando nesta área alguns teores superiores ao Valor de Referência de Qualidade.

Na área A3 identificam-se como principais contaminantes o arsênio, o cádmio, o chumbo e o zinco, registrando valores, para todas as amostras sempre superiores ao Valor Crítico. Também na área A3 o crômio e o níquel apresentam teores baixos, verificando-se apenas para o crômio valores superiores ao Valor de Referência de Qualidade. No entanto, verifica-se na área A3 a grande diferença entre estas duas amostras. Na amostra CA3-37 encontram-se os menores teores de contaminantes, porém, esta amostra apresenta os valores mais elevados em crômio e níquel. Por outro lado, o inverso ocorre com a amostra CA3-18. Estas diferenças poderão ser explicadas com a sua localização geográfica, uma vez que a amostra CA3-18 ocorre mais próxima da confluência entre a linha de água proveniente da área A3, podendo estar a amostra CA3-37 mais resguardada da acumulação de sedimentos durante as enxurradas características do regime pluviométrico da área.

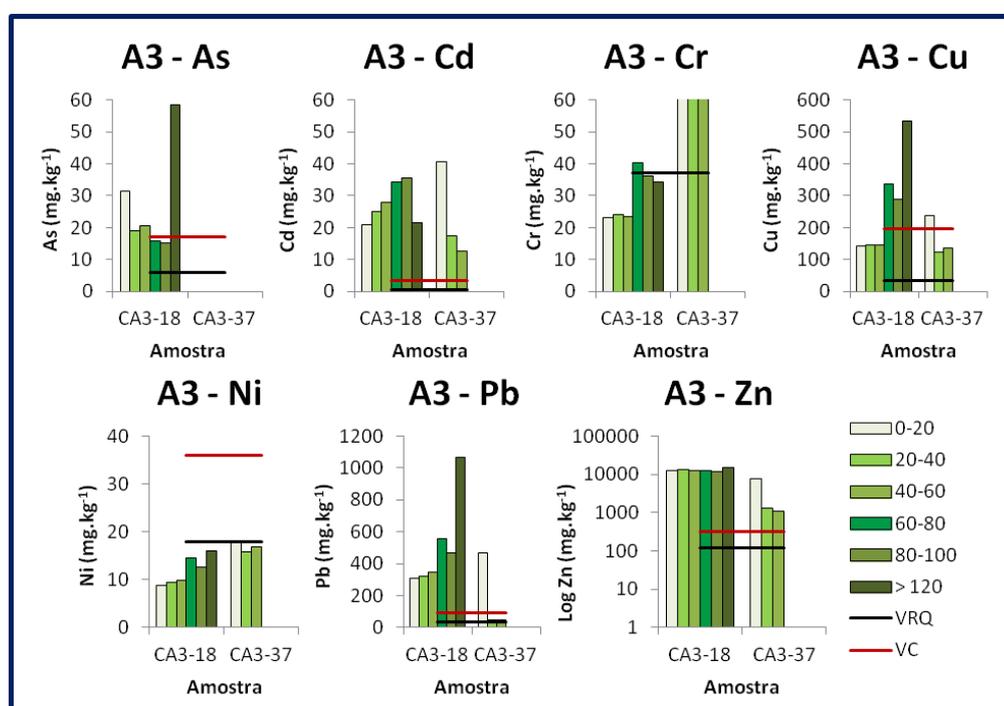


Figura 5.17: Comparação dos valores obtidos por digestão parcial para as aluviões da área A3 com os níveis legais locais (CONAMA, 2012).

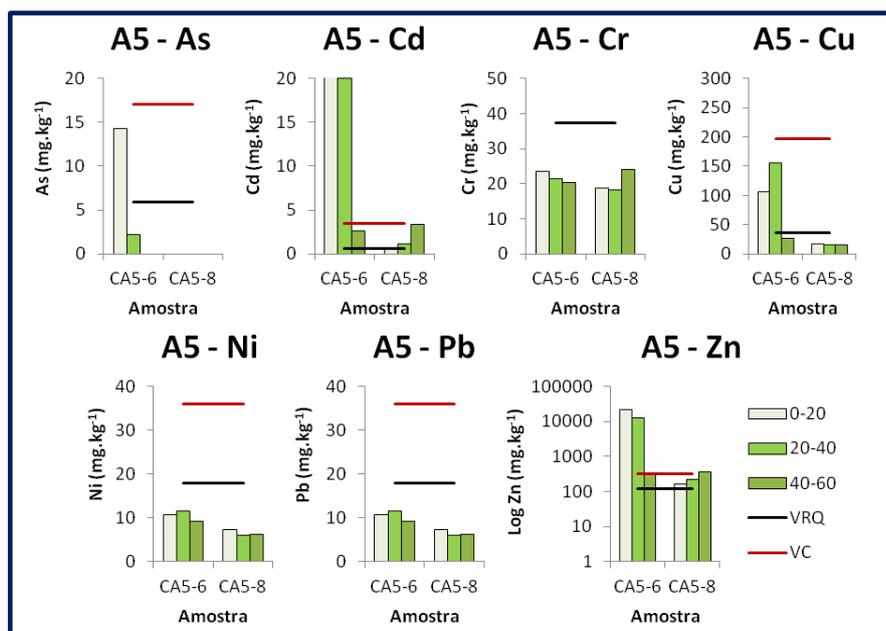


Figura 5.18: Comparação dos valores obtidos por digestão parcial para as aluviões da área A5 com os níveis legais locais (CONAMA, 2012).

A área A5, bem distinta das restantes por apresentar menor acumulação de materiais e por ser uma zona com maior inclinação, apresenta como principais contaminantes o cádmio, o cobre e o zinco. Apresentando teores abaixo do Valor de Referência de Qualidade encontram-se o crómio, o níquel e o chumbo, verificando-se para o arsénio um valor superficial acima deste nível. Verifica-se na amostra CA5-6 concentrações bastante mais elevadas à superfície, enquanto o inverso se verifica para a amostra CA5-8. Estas diferenças no comportamento dos elementos metálicos poderão dever-se à sua localização geográfica, uma vez que estas aluviões constituem acumulações sedimentares que sofrem a influência da área A5, e por isso, as suas concentrações em elementos metálicos são consequência directa da lixiviação dos solos (e antigos aterros) localizados na envolvente da unidade, ligeiramente a Norte do córrego Barreiro Grande.

À semelhança do que foi realizado nos sedimentos, também nas aluviões se procedeu a uma comparação entre os valores após seca (AS) e após chuva (AC). Deste modo, e de acordo com as Figuras 5.19 e 5.20 não se verificam variações muito significativas nas concentrações. Como se tinha referido para os sedimentos, o Verão na área foi muito seco, não permitindo diferenciar com muita exactidão os efeitos da pluviosidade nas amostras. Por outro lado, um menor número de amostras na época das chuvas, especialmente em locais já amostrados na época seca, não permite uma comparação directa entre muitas amostras.

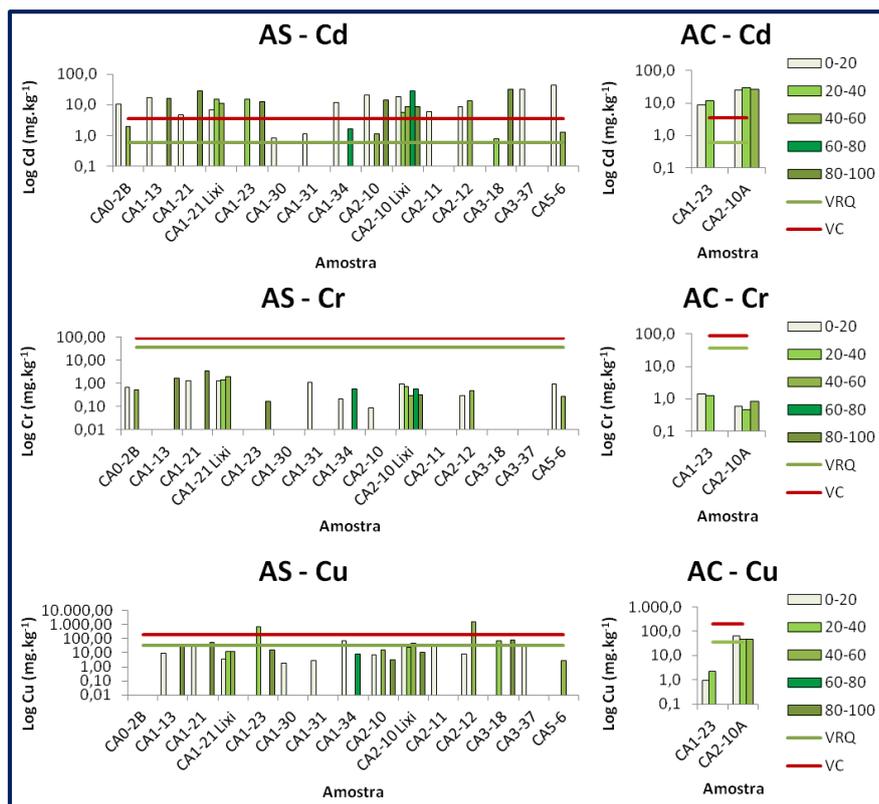


Figura 5.19 Teor em cádmio, crômio e cobre nas aluviões recolhidas nas campanhas após seca (AS) e após chuva (AC).

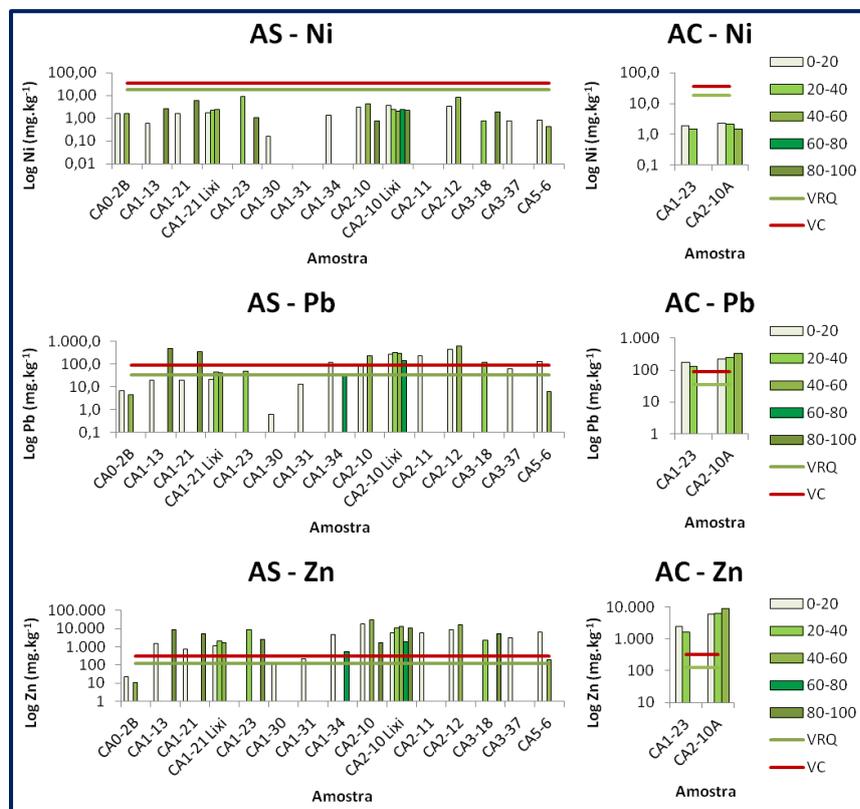


Figura 5.20 Teor em níquel, chumbo e zinco nas aluviões recolhidas nas campanhas após seca (AS) e após chuva (AC).

Tendo em conta as diferentes profundidades a que foi realizada a amostragem, é possível compreender como estes valores variam em profundidade. Assim, e utilizando apenas o zinco, é possível representar estes pontos sobre o mapa do local e comparar com a geomorfologia da área. Deste modo, nas Figuras 5.21 e 5.22 são representados os pontos referentes aos sedimentos na área A0, nas Figuras 5.23 e 5.24, os sedimentos da área A1, relativamente à época seca e época das chuvas, respectivamente, na Figura 5.25 os sedimentos da área A3, na Figura 5.26 os sedimentos da área A5 e da área BG na Figura 5.27.

De uma forma geral, os sedimentos no leito dos córregos Consciência e Barreiro Grande apresentam teores mais elevados à superfície, verificando-se uma tendência de decréscimo em profundidade. Este padrão é notório em todas as áreas e na maioria dos sedimentos, no entanto apenas durante a época seca. Após a época das chuvas verifica-se uma inversão deste padrão, identificando-se teores muito superiores em profundidade, o que é facilmente identificável na amostra CA1-22 (Figuras 5.23 e 5.24). Este comportamento poderá dever-se ao aumento do caudal do córrego Consciência e a um aumento do grau de humedecimento e da capacidade de infiltração nas colunas sedimentares, particularmente as que se encontram nas margens e emersas na maior parte do ano, com conseqüente arraste dos metais em fases mais solúveis, em direcção às zonas mais profundas. Nas estações situadas na margem do Consciência oposta à unidade fabril, durante a época mais chuvosa, poder-se-á dar a circulação de água subterrânea rica em metais, através da base do leito do córrego, acumulando-se os metais nas zonas mais profundas dos sedimentos depositados.

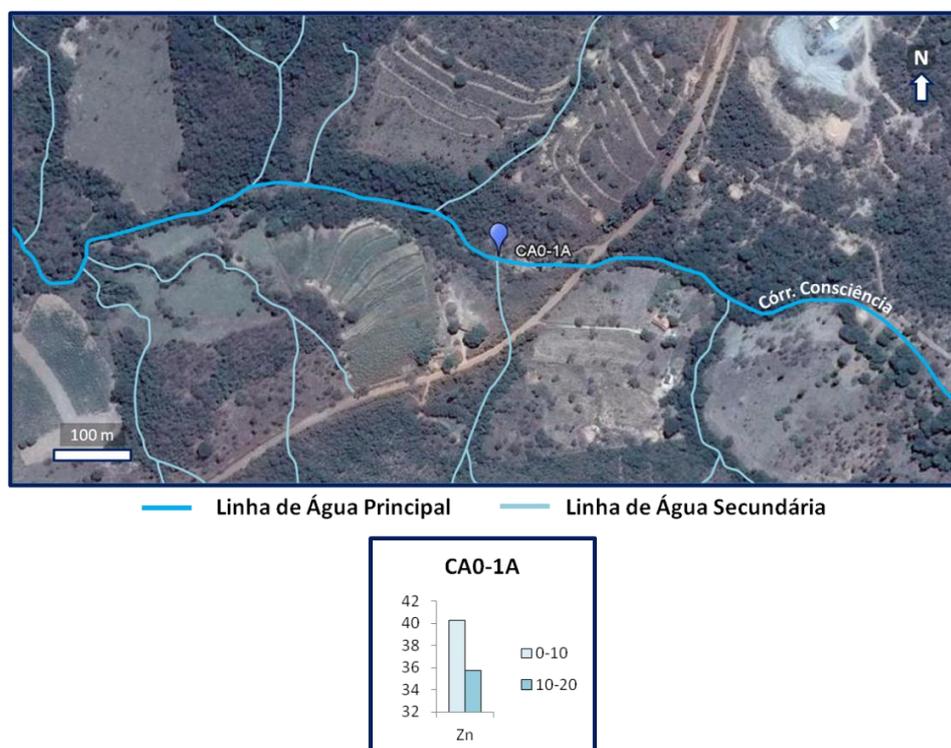


Figura 5.21: Variação em profundidade dos valores de zinco nos sedimentos da área A0 (amostra CA0-1A). Situação em época pós-seca.

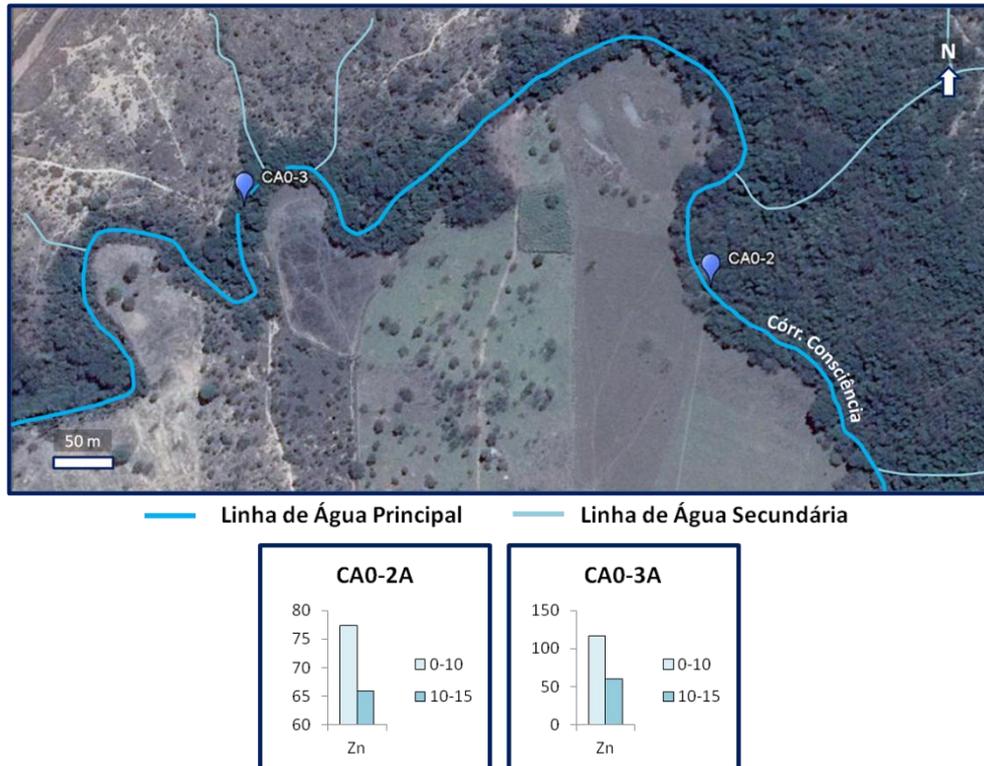


Figura 5.22: Variação em profundidade dos valores de zinco nos sedimentos da área A0 (amostras CA0-2A e CA0-3A). Situação em época pós-seca.

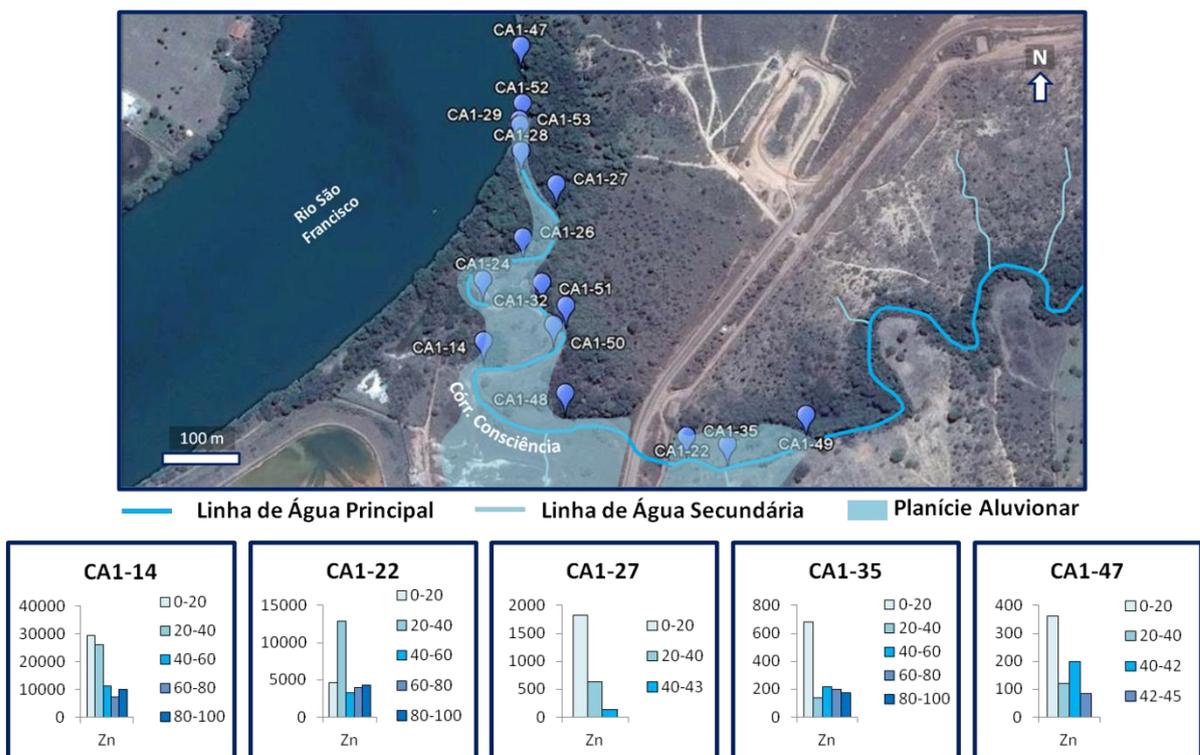


Figura 5.23: Variação em profundidade dos valores de zinco nos sedimentos da área A1 (época seca).

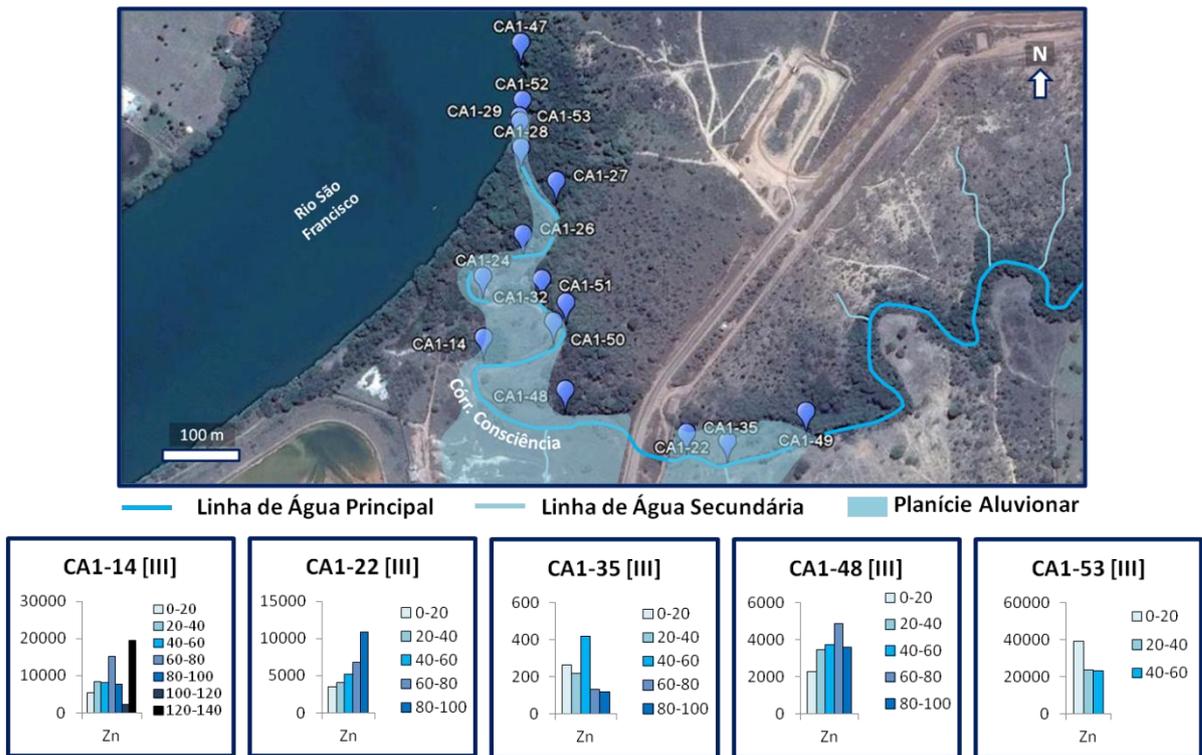


Figura 5.24: Variação em profundidade dos valores de zinco nos sedimentos da área A1 (época das chuvas).

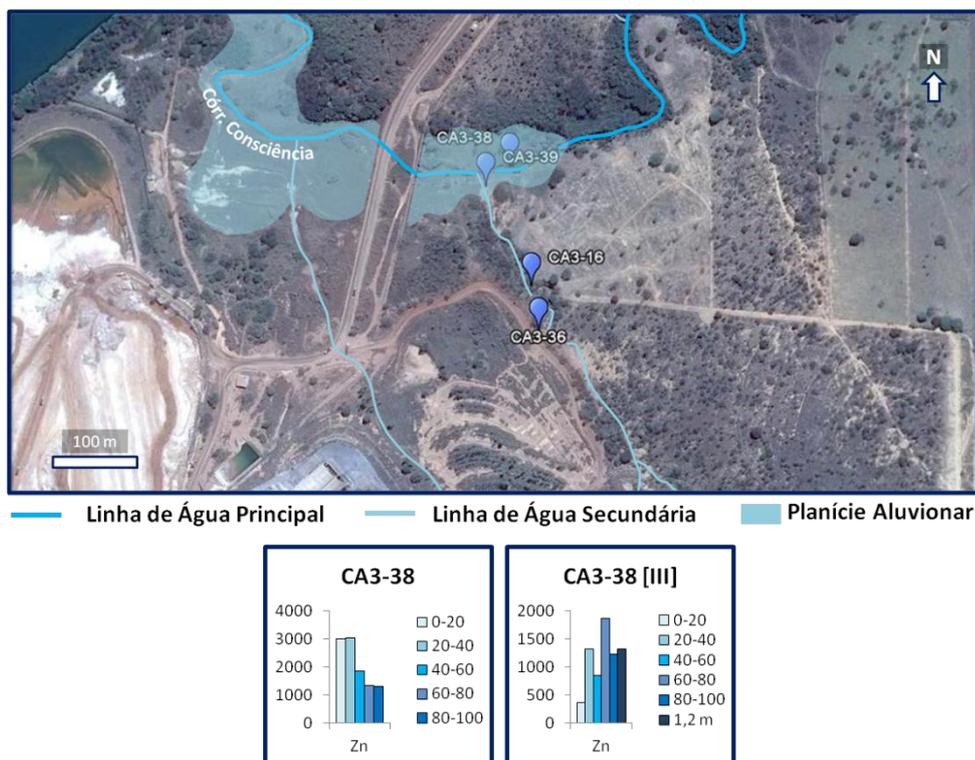


Figura 5.25: Variação em profundidade dos valores de zinco nos sedimentos da área A3. O gráfico à esquerda representa a situação pós-seca, enquanto à direita se apresenta a situação pós-chuva.

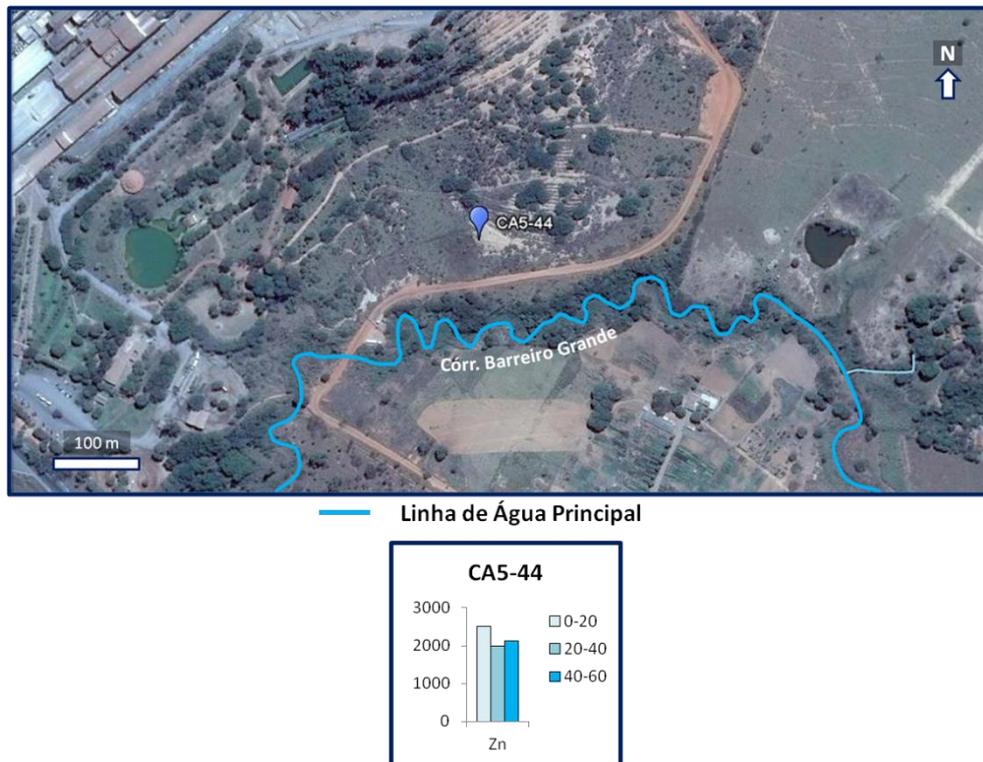


Figura 5.26: Variação em profundidade dos valores de zinco nos sedimentos da área A5. Situação em época pós-seca.

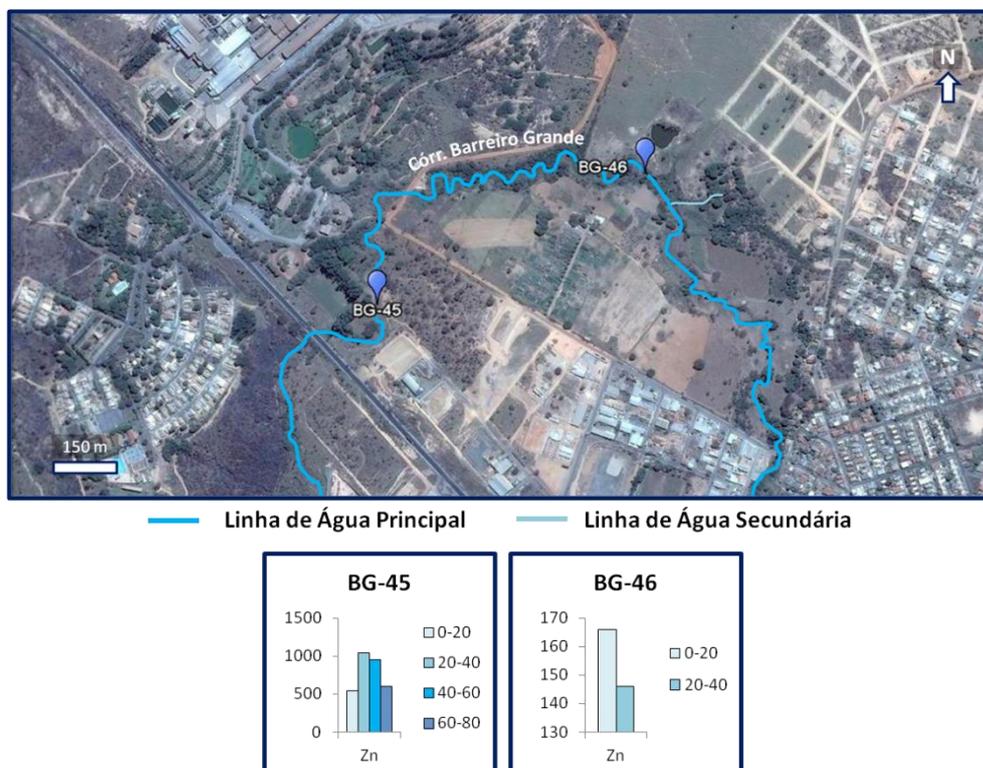


Figura 5.27: Variação em profundidade dos valores de zinco nos sedimentos da área BG. Situação em época pós-seca.

Também nas aluviões se procedeu à comparação das concentrações de zinco em profundidade, tendo comparado com a geomorfologia do terreno. Assim, a Figura 5.28 corresponde às aluviões da área A0, a Figura 5.29 às da área A1, as aluviões da área A2 encontram-se representados na Figura 5.30, da área A3 na Figura 5.31 e as aluviões da área A5 encontram-se na Figura 5.32.

Nas aluviões, contrariamente aos sedimentos, os comportamentos identificados deverão relacionar-se com a morfologia do terreno, pois estes materiais sedimentares encontram-se maioritariamente fora do leito ordinário do córrego. Deste modo, é possível identificar dois tipos de comportamento:

- 1) Maiores concentrações à superfície, que tendem a diminuir em profundidade (como é possível identificar nas amostras CA0-2B, CA1-20, CA2-11 ou CA5-6);
- 2) Teores superficiais menores, que aumentam em profundidade (como as amostras CA1-13, CA2-10A ou CA5-8).

No caso concreto destas amostras, comportamentos como o referido em 1) poderão dever-se a inclinações no terreno, que favorecem a escorrência das águas pluviais em detrimento da sua infiltração. Deste modo, a contaminação fica mais à superfície e não será tão expressiva em profundidade. Para o caso das aluviões próximas do córrego (como as da área A1), poderão relacionar-se com a morfologia do próprio córrego, que nos seus meandros formará margens de acumulação e de erosão. Em margens de erosão o fluxo de água é maior e, portanto, não haverá infiltração nem acumulação de sedimentos contaminados. Deste modo, como se verifica nas amostras CA1-20 e CA1-34, as concentrações de zinco são superiores à superfície e decrescem em profundidade.

Os comportamentos como os descritos em 2) podem ser explicados por as aluviões se encontrarem em margens de acumulação (como as amostras CA1-13, CA1-21 ou CA1-23) ou se se encontrarem em pequenas depressões no terreno, que levam a uma maior infiltração de águas pluviais nesses locais e lixiviação das porções mais superficiais, como a amostra CA5-8.

De registar, porém, um aumento da concentração em profundidade, em particular na estação das chuvas, por aumento da infiltração; na época da seca, por evaporação da água existente entre os poros dos materiais das aluviões, dá-se uma ascensão dos elementos metálicos que se concentram, preferencialmente à superfície ou perto dela (como é o caso da amostra CA2-10A, recolhida na época pós-chuva em comparação com as restantes, recolhidas na época pós-seca – Figura 5.30)

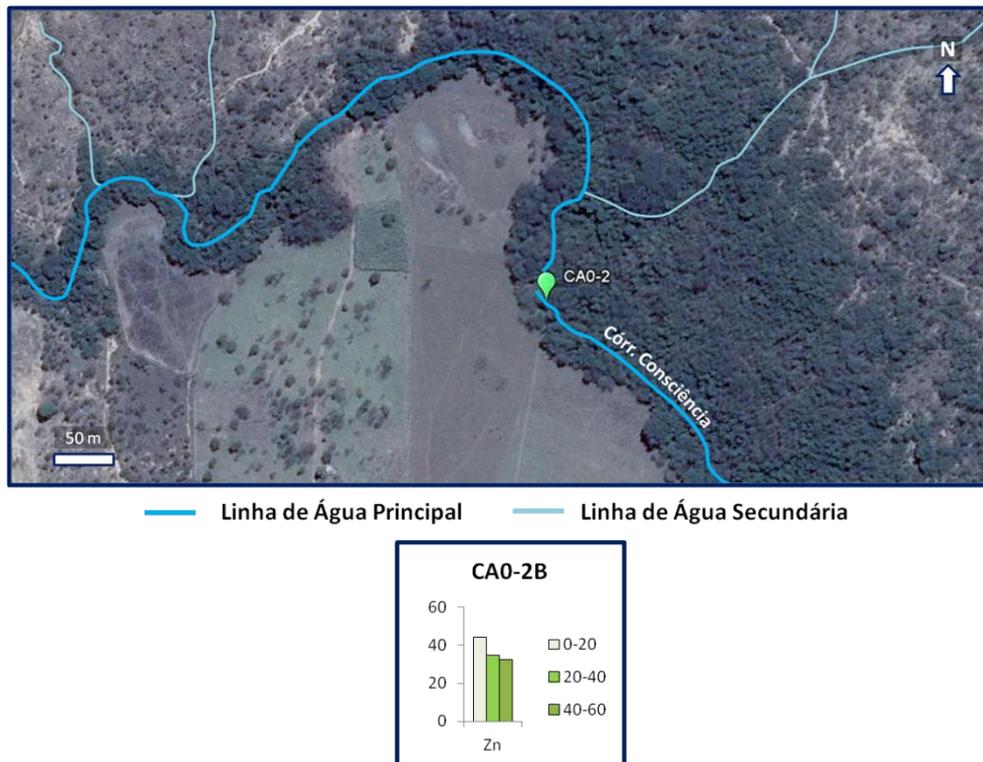


Figura 5.28: Variação em profundidade dos valores de zinco nas aluviões da área A0. Situação em época pós-seca.

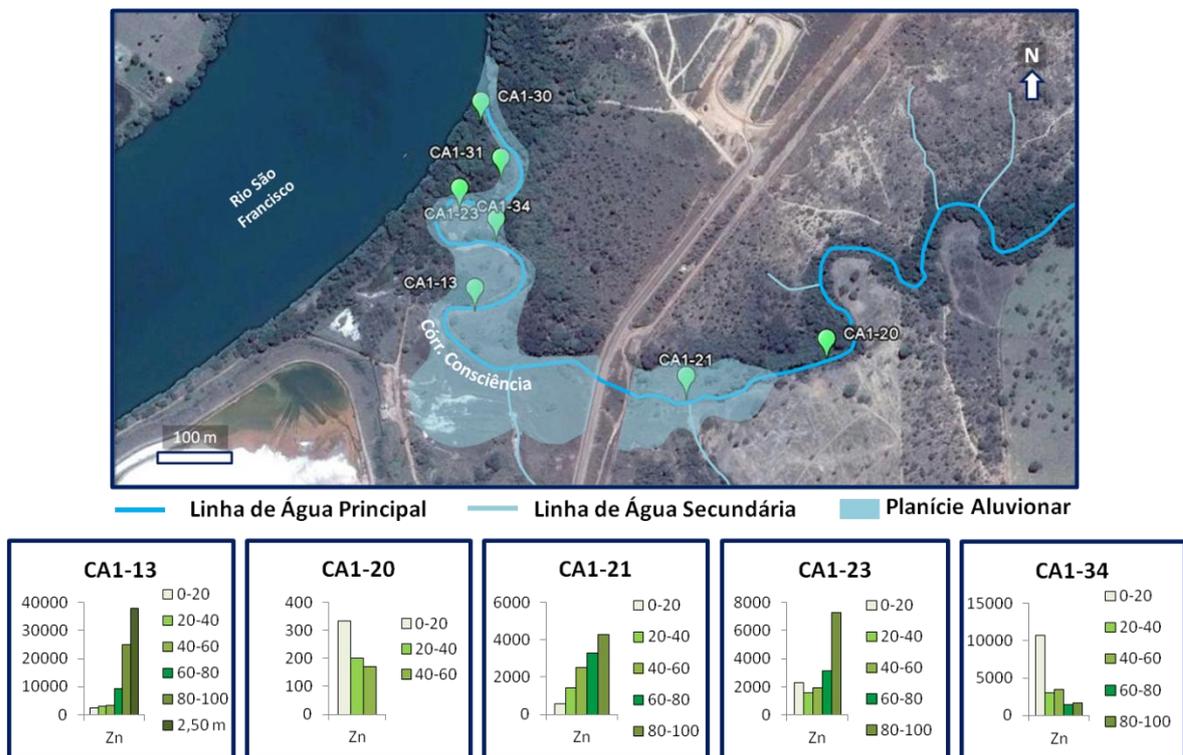


Figura 5.29: Variação em profundidade dos valores de zinco nas aluviões da área A1. Situação em época pós-seca.

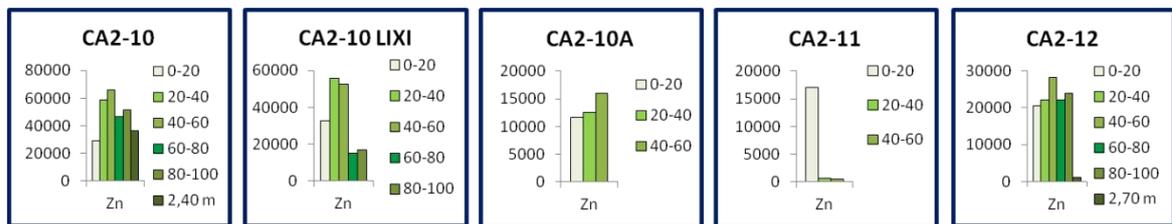


Figura 5.30: Variação em profundidade dos valores de zinco nas aluviões da área A2. Situação em época pós-seca, à exceção da amostra CA2-10A, recolhida em situação pós-chuva.

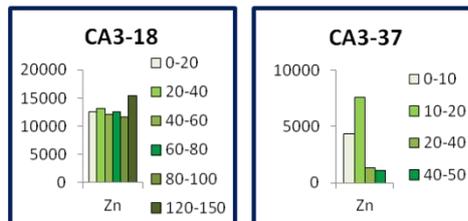


Figura 5.31: Variação em profundidade dos valores de zinco nas aluviões da área A3. Amostra CA3-18 em situação pós-chuva; amostra CA3-37 em situação pós-seca.

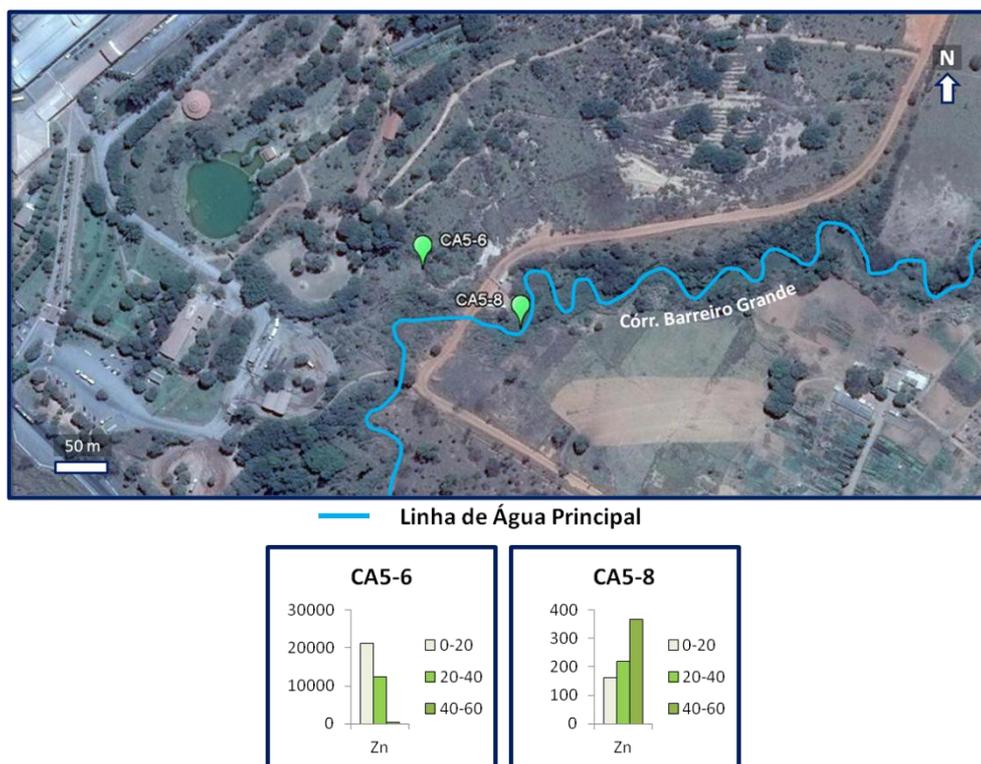


Figura 5.32: Variação em profundidade dos valores de zinco nas aluviões da área A5. Situação em época pós-seca.

No entanto, na maioria das aluviões da área A2 e A3 verifica-se que as amostras apresentam concentrações muito semelhantes até aos 100 cm de profundidade, ou no caso da amostra CA3-18, até aos 150 cm de profundidade. Estes valores poderão corresponder a áreas de baixa ou nula inclinação, que podem levar à acumulação das águas pluviais que, para além de se infiltrarem, podem ainda ser levadas em episódios de enxurrada. Estes locais encontram-se ainda em áreas que, durante a época das chuvas tenderão a inundar, e onde se verifica estagnação das águas superficiais. Deste modo, e por estes episódios ocorrerem ciclicamente todos os anos, verificar-se-á uma acumulação e infiltração dos teores presentes nas águas e nos materiais carreados a montante, o que poderá também explicar o comportamento identificado.

Para ser mais simples a determinação do grau de contaminação local, tendo como base estes valores obtidos na digestão parcial, procedeu-se ao cálculo do Factor de Enriquecimento.

Kabata-Pendias (2001) refere o Factor de Enriquecimento como uma razão padronizada com os valores de Clarke para rochas parentais. No entanto, por o objectivo da utilização deste factor ser a comparação com a área A0 e não com rochas parentais, utilizou-se a definição proposta por Lee *et*

al.(1997) (Nude *et al.*, 2011; Pinho, 2013). Este autor calcula o factor de enriquecimento utilizando o ferro para padronizar as amostras, segundo a expressão:

$$FE = \frac{(Me/Fe)_{amostra}}{(Me/Fe)_{padrão}}$$

Em que $(Me/Fe)_{amostra}$ corresponde à razão entre o teor de um determinado elemento metálico e o de ferro na amostra e $(Me/Fe)_{padrão}$ corresponde à razão entre o metal e o ferro no padrão.

Para efeitos de cálculo, foram utilizados os valores médios, para cada elemento, de todas as amostras da área A0, quer para os sedimentos, quer para as aluviões, de forma a minimizar possíveis erros relacionados com enriquecimentos pontuais em determinadas amostras. Os resultados foram agrupados em cinco categorias, representadas na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Categorias de classificação do Factor de Enriquecimento.
Adaptado de Nude *et al.* (2011) e Pinho (2013)

Categorias de classificação do Factor de Enriquecimento	
< 2	Depleção ou Enriquecimento Mínimo
2-5	Enriquecimento Moderado
5-20	Enriquecimento Significativo
20-40	Enriquecimento Muito Elevado
> 40	Enriquecimento Extremamente Elevado

Os resultados apresentam-se na sua totalidade em Anexo, na Tabela A.73 para os sedimentos e para as aluviões na Tabela A.74. Nas Figuras 5.33 a 5.35 apresentam-se os resultados obtidos para o factor de enriquecimento dos sedimentos.

As Figuras 5.33 e 5.34 permitem facilmente identificar os principais elementos que se encontram mais enriquecidos na área em estudo. Deste modo, são o cádmio e o zinco os principais elementos contaminantes nos sedimentos, verificando-se ainda enriquecimentos muito elevados a extremamente elevados para o chumbo. O arsénio possui enriquecimentos significativos, especialmente nas áreas A1 e A3, enquanto o cobre e o manganês se encontram moderadamente a significativamente enriquecidos nos sedimentos. O cobalto e o níquel encontram-se minimamente a moderadamente enriquecidos enquanto para o crómio se verificam enriquecimentos mínimos.

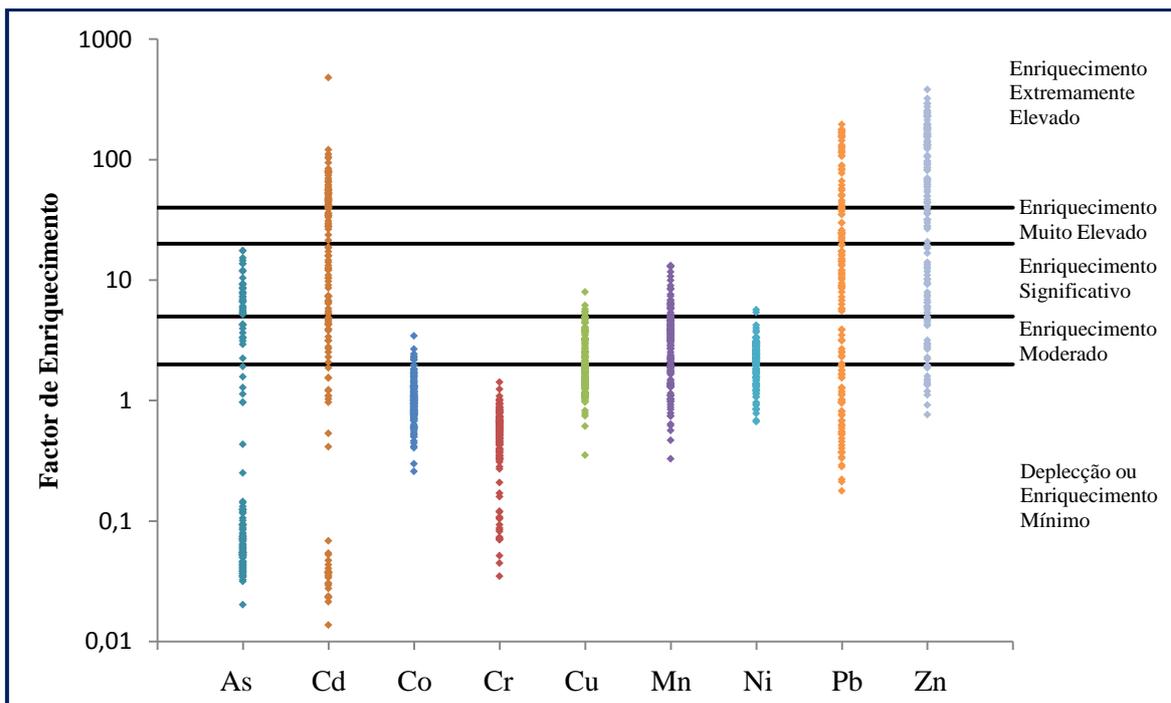


Figura 5.33: Factor de Enriquecimento para os sedimentos da área em estudo.

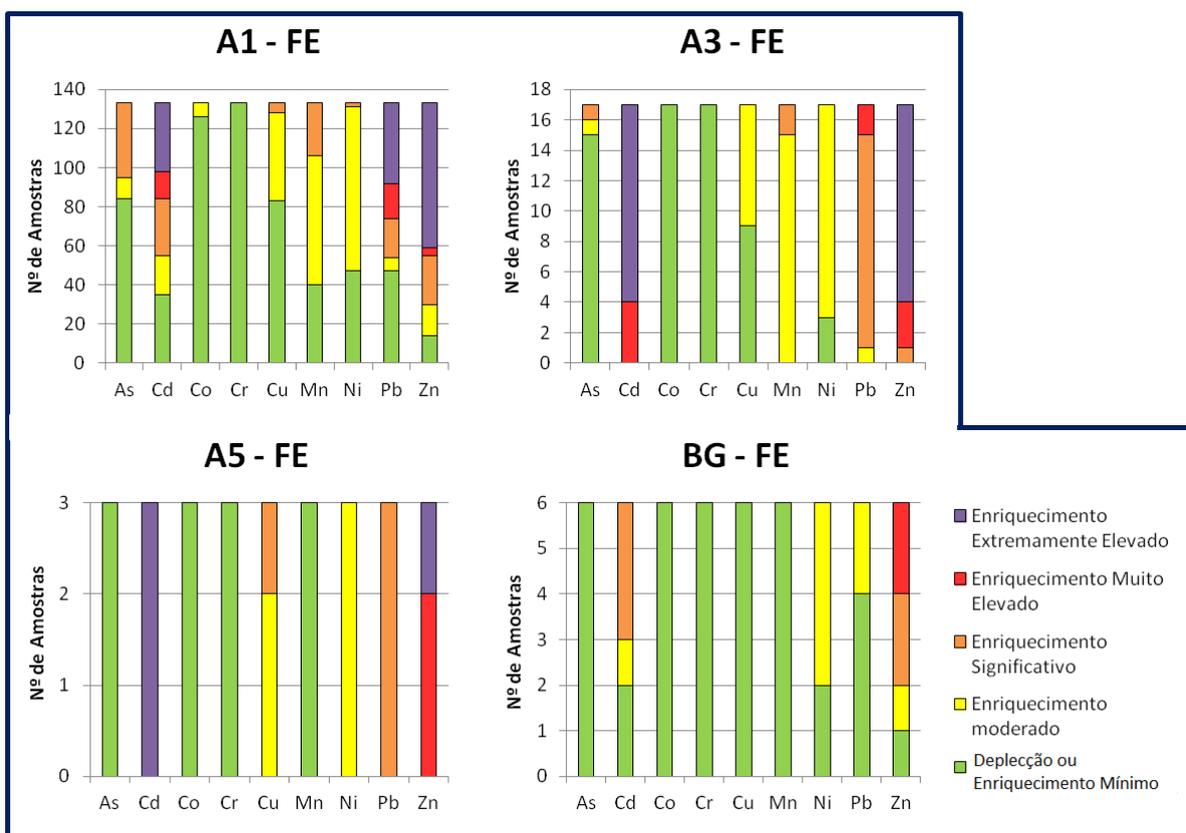


Figura 5.34: Categorias do Factor de Enriquecimento nos sedimentos da área em estudo.

A Figura 5.35 fornece uma visão mais global. Para cada área foram somadas as ocorrências para cada uma das categorias, independentemente dos elementos. Assim, a área BG é aquela em que se verificam menores enriquecimentos, verificando-se apenas enriquecimentos muito elevados para o zinco (Figura 5.34). Nas restantes áreas encontram-se já enriquecimentos muito elevados, ocupando a fracção enriquecida, uma grande porção no número de ocorrências total.

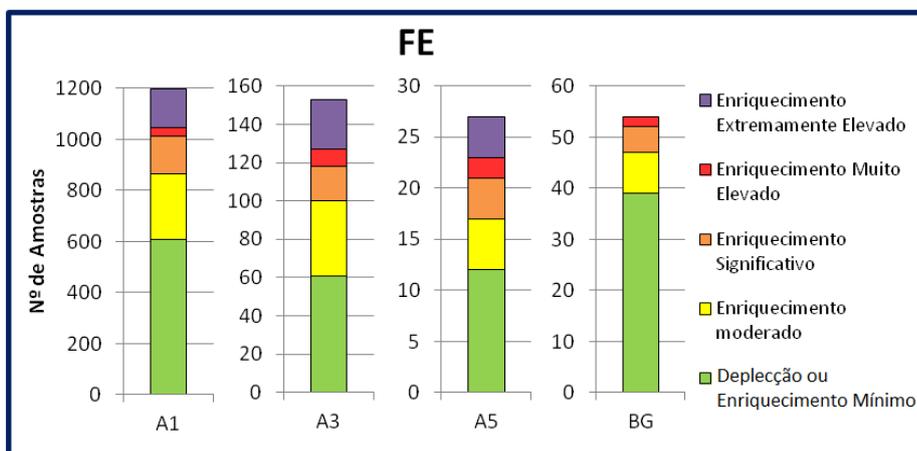


Figura 5.35: Somatório do número de ocorrências nos sedimentos em cada categoria do Factor de Enriquecimento.

Também para as aluviões foram calculados os valores do factor de enriquecimento. Apresentam-se assim nas Figuras 5.36 a 5.38 os resultados obtidos nas aluviões.

As Figuras 5.36 a 5.38 permitem identificar os elementos que se encontram mais enriquecidos na área em estudo, nomeadamente o cádmio, o chumbo e o zinco, apresentando inúmeras ocorrências de enriquecimentos extremamente elevados. Para o arsénio, o cobre e o manganês identificam-se enriquecimentos moderados a significativos, enquanto o cobalto, o crómio e o níquel apresentam enriquecimentos mínimos a moderados.

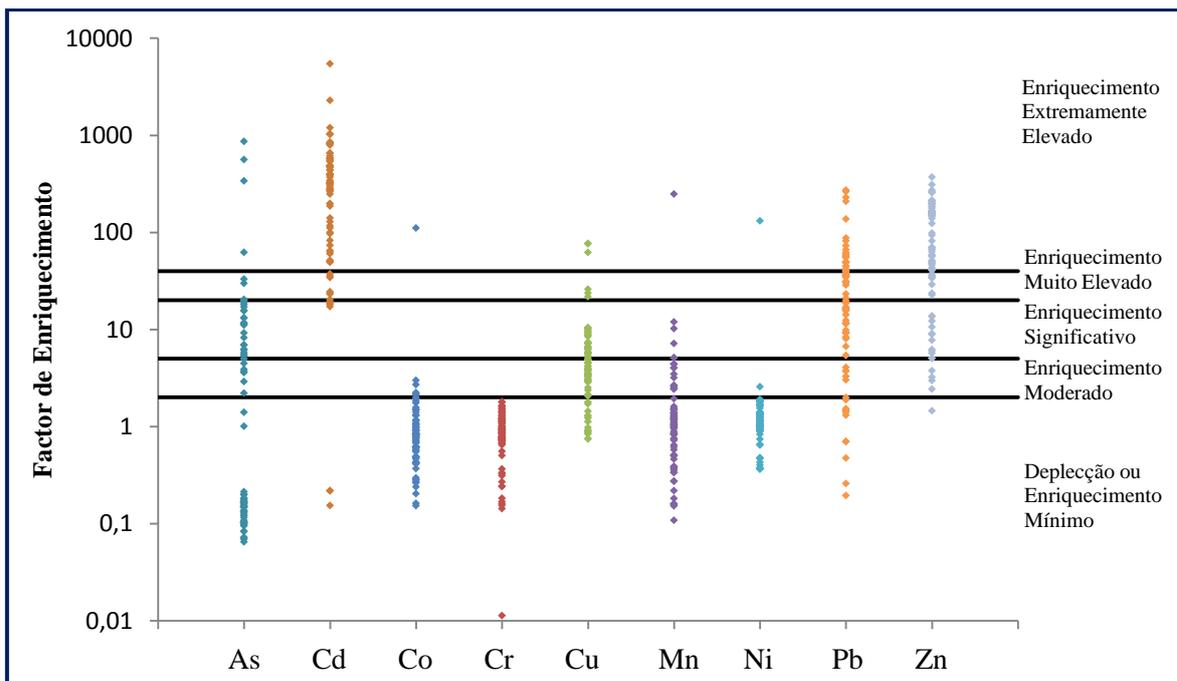


Figura 5.36: Factor de Enriquecimento para as aluviões da área em estudo.

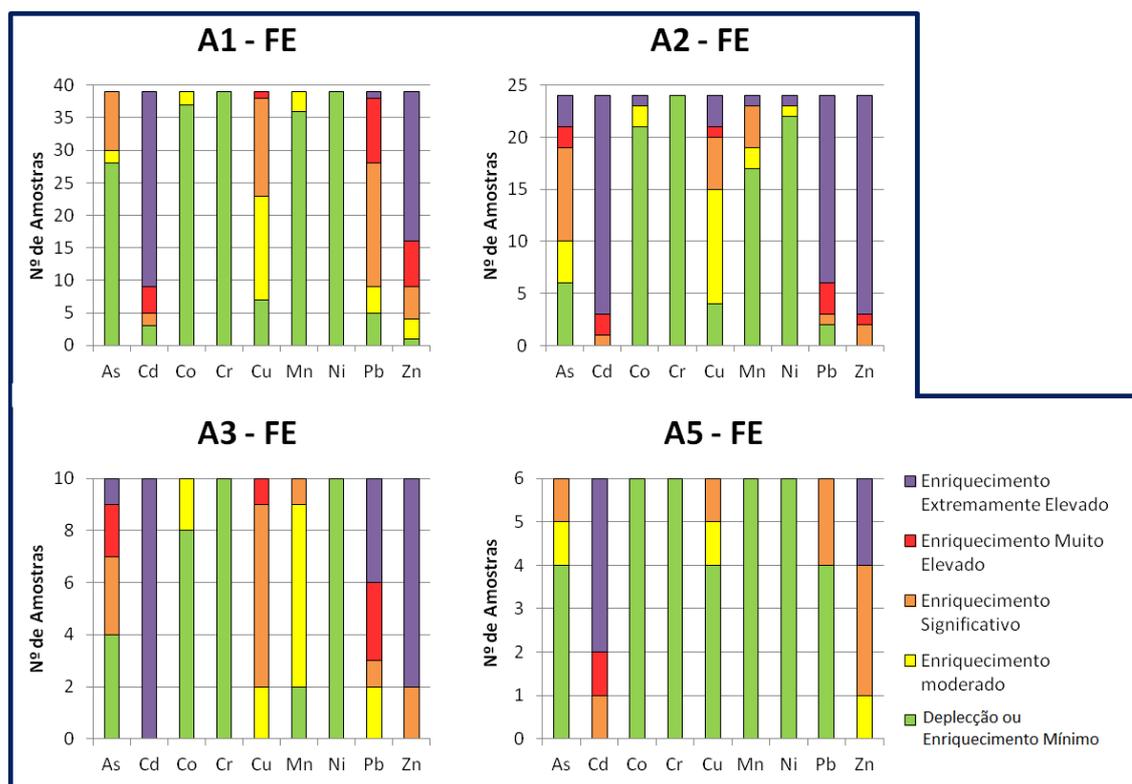


Figura 5.37: Categorias do Factor de Enriquecimento nas aluviões na área em estudo.

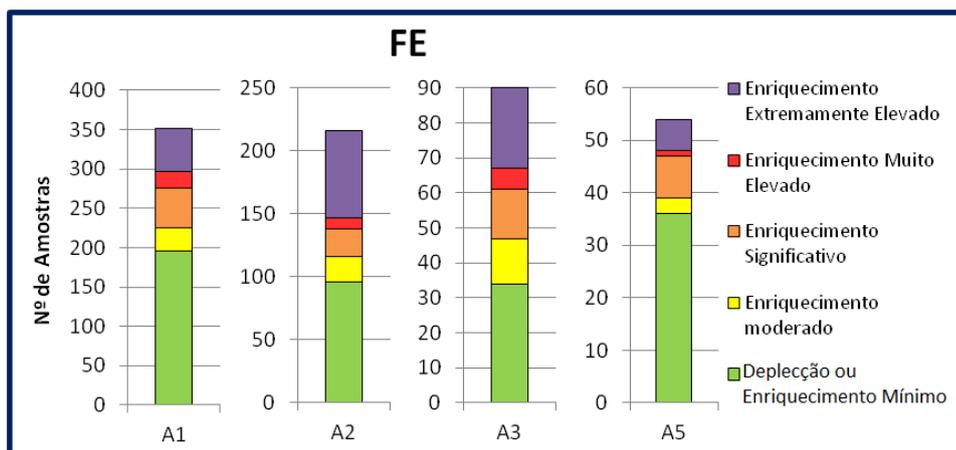


Figura 5.38: Somatório do número de ocorrências nas aluviões em cada categoria do Factor de Enriquecimento.

Em suma, verifica-se que o Factor de Enriquecimento é um índice simples e que permite identificar, para cada amostra e cada elemento o seu enriquecimento em comparação com um nível de referência, que poderão ser as rochas parentais (Kabata-Pendias, 2001), os valores médios para a crosta continental (Pinho, 2013), ou material sedimentar que sofre a influência de uma fonte de contaminação pontual, como é o caso da área em estudo. Assim, e associado a esta última utilização, o Factor de Enriquecimento fornece uma ideia da contaminação local.

De forma a poderem ser comparados os valores obtidos pelo factor de enriquecimento, foi ainda calculado o Índice de Geoacumulação (*Index of Geochemical Load – IGL*). O Índice de Geoacumulação permite calcular, com base numa referência local (um *background*), o enriquecimento que se verifica num dado elemento, numa dada amostra, segundo a expressão (Kabata-Pendias, 2001; Trindade, 2010; Nude *et al.*, 2011; Trindade *et al.*, 2012):

$$IGL = \log_2 \left(\frac{VM}{VP \times 1,5} \right)$$

Em que VM representa o valor medido num dado elemento e VP o valor de referência desse elemento.

Assim, procedeu-se ao cálculo deste índice para todas as amostras, tendo-se utilizado como referência a média das amostras A0, para cada elemento, de forma a minimizar possíveis enriquecimentos locais, quer para os sedimentos, quer para as aluviões. Os resultados finais encontram-se em Anexo, na Tabela A.75 para os sedimentos e na Tabela A.76 para as aluviões, identificando-se na Tabela 5.2 as categorias para caracterizar as amostras.

Tabela 5.2: Categorias de classificação do Índice de Geoacumulação.
Adaptado de Trindade (2010), Nude *et al.* (2011) e Trindade *et al.* (2012).

Categorias de Classificação do Índice de Geoacumulação	
< 0	Não Contaminado
0-1	Não Contaminado a Moderadamente Contaminado
1-2	Moderadamente Contaminado
2-3	Moderadamente a Altamente Contaminado
3-4	Altamente Contaminado
4-5	Altamente a Extremamente Contaminado
> 5	Extremamente Contaminado

Os resultados referentes aos sedimentos encontram-se expressos nas Figuras 5.39 a 5.41. A análise destas figuras permite identificar, primeiro que tudo, os principais contaminantes da área, já referidos na análise do Factor de Enriquecimento. Deste modo, verifica-se que os sedimentos da área se encontram extremamente contaminados em cádmio, chumbo e zinco, verificando-se valores moderadamente a altamente contaminados em arsénio, cobre, ferro e manganês. Com valores de Índice de Geoacumulação correspondentes a valores não contaminados a moderadamente contaminados destacam-se o cobalto, o crómio e o níquel. Identifica-se ainda a área BG como a que possui menor teor em contaminação, com valores de Índice de Geoacumulação correspondentes a uma área não contaminada ou não contaminada a moderadamente contaminada.

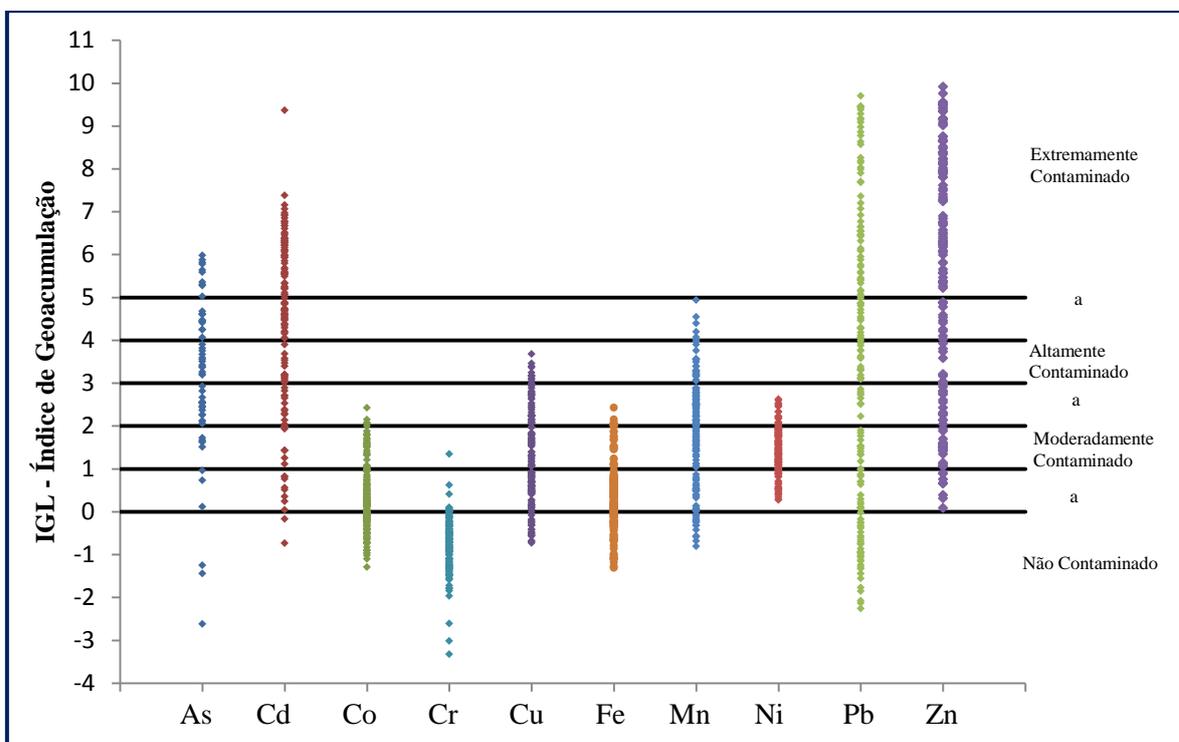


Figura 5.39: Índice de Geoacumulação para os sedimentos da área em estudo.

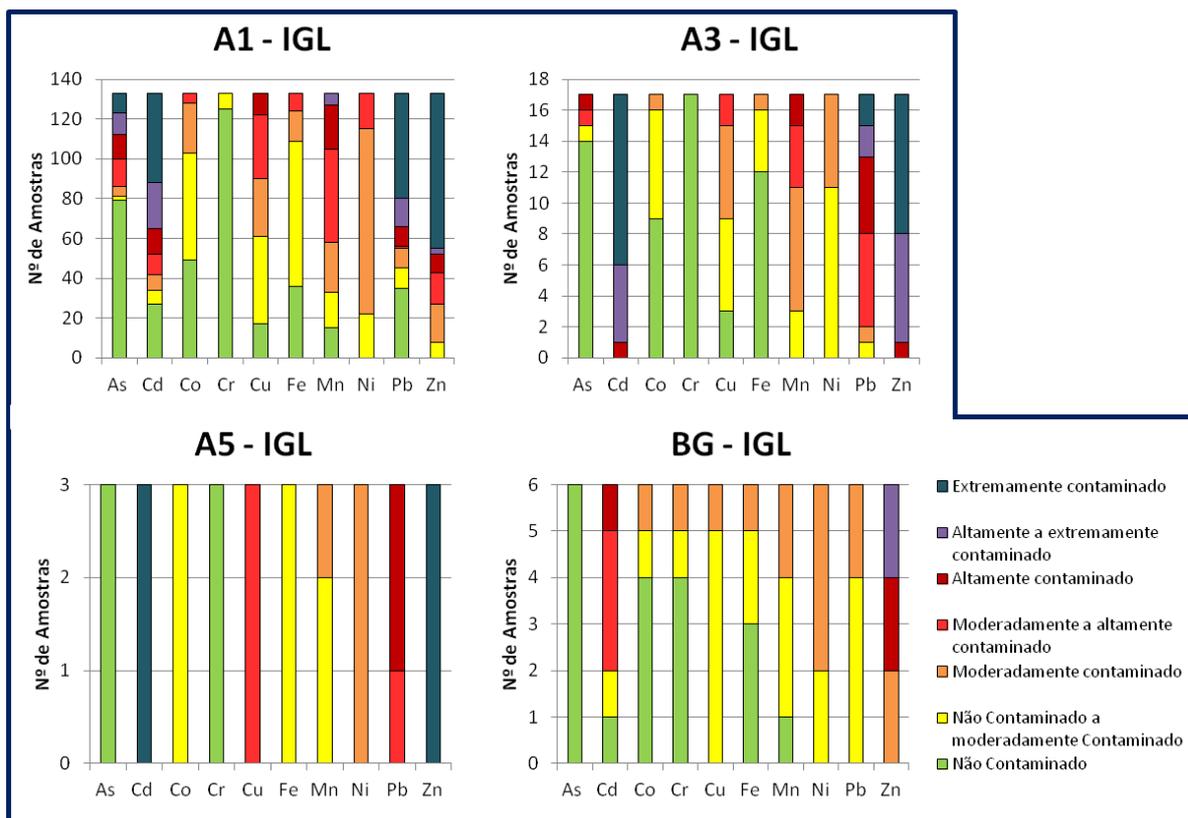


Figura 5.40: Categorias do Índice de Geoacumulação nos sedimentos na área em estudo.

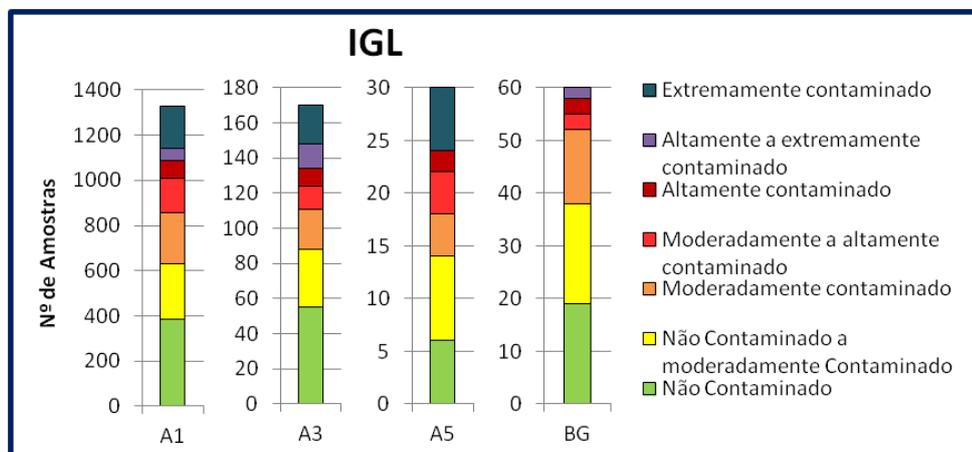


Figura 5.41: Somatório do número de ocorrências nos sedimentos em cada categoria do Índice de Geoacumulação.

Também para as aluviões se procedeu ao cálculo do Índice de Geoacumulação. Os resultados encontram-se expressos nas Figuras 5.42 a 5.45. À semelhança dos sedimentos, também nas aluviões facilmente é possível identificar os principais contaminantes através da análise do Índice de Geoacumulação. Deste modo, identificam-se como mais perigosos o cádmio, chumbo e zinco, encontrando-se extremamente contaminados nas aluviões da área. Por sua vez, o arsénio apresenta uma contaminação de carácter pontual, apresentando alguns pontos onde o seu valor de Índice de Geoacumulação é caracterizado como extremamente contaminado. Para o cobre, assim como para o

manganês verificam-se valores correspondentes a contaminações moderadas a altas. Para o cobalto, o crómio, o ferro e o níquel as contaminações são moderadas.

A área A5, por comparação com as restantes, encontra-se muito menos contaminada, apresentando apenas contaminações extremas para o cádmio e altas a extremas para o zinco. As restantes áreas apresentam valores de Índice de Geoacumulação muito superiores e, portanto, verificam-se para as áreas A2 e A3 contaminações elevadas e extremas para o cádmio e o zinco, mas também para o chumbo, o arsénio e localmente para o cobre. Estes valores demonstram o elevado grau de perigosidade nestas áreas.

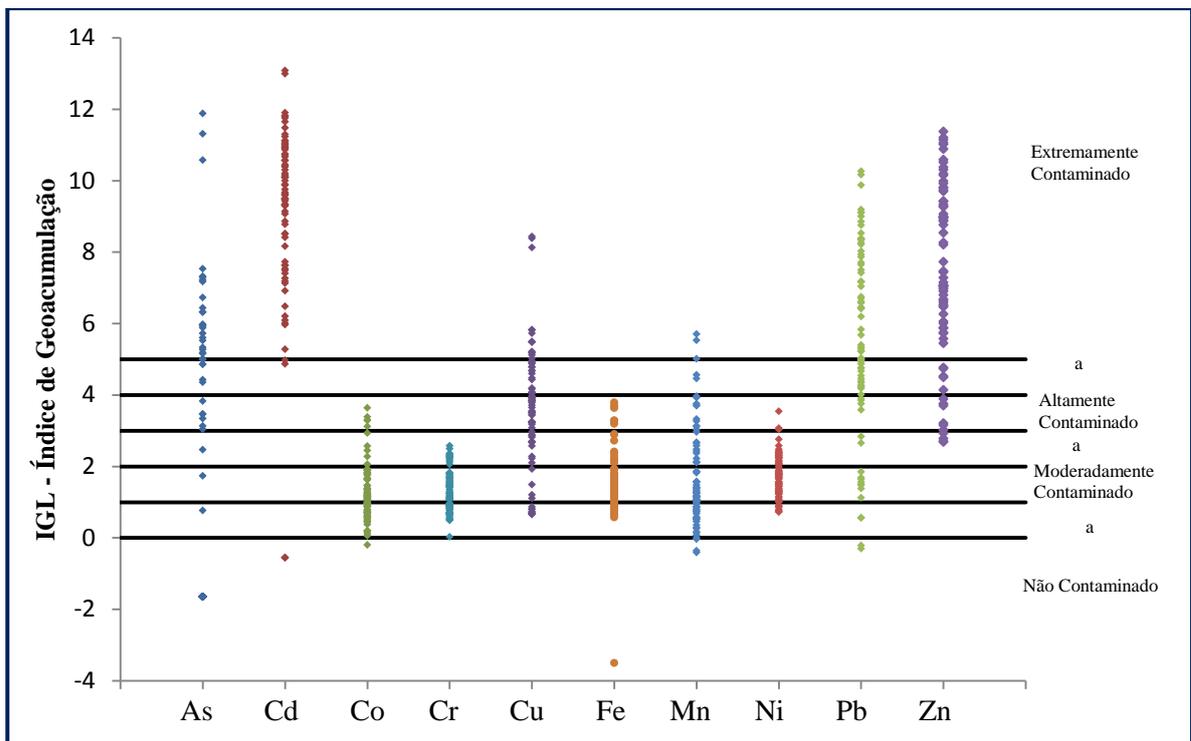


Figura 5.42: Índice de Geoacumulação para as aluviões da área em estudo.

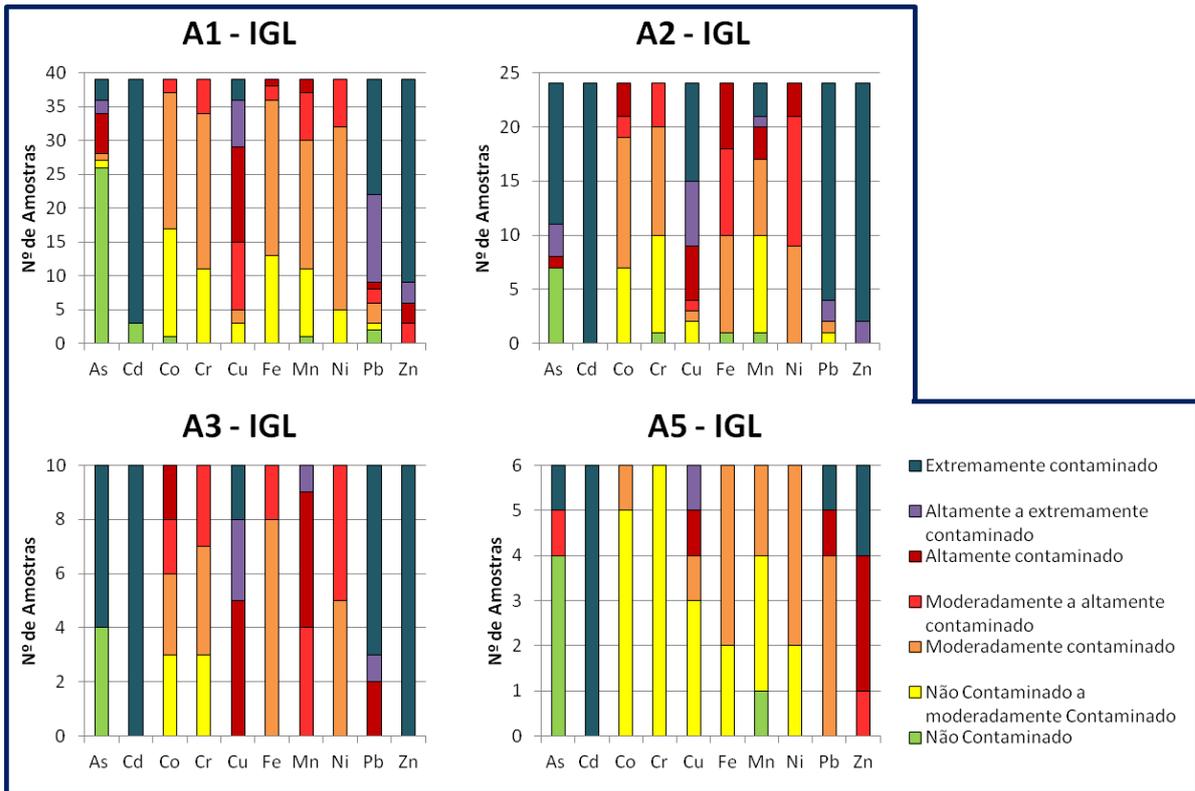


Figura 5.43: Categorias do Índice de Geoacumulação para as aluviões na área em estudo.

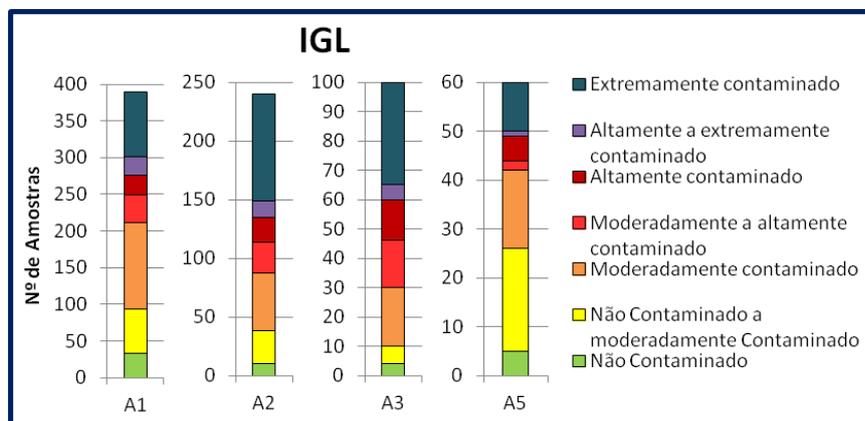


Figura 5.44: Somatório do número de ocorrências nas aluviões em cada categoria do Índice de Geoacumulação.

Kwon & Lee (1998) referem ainda o Factor de Contaminação como forma de determinar a contaminação de sedimentos. Este factor é utilizado no cálculo do Índice de Poluição (conforme Nude *et al.*, 2011), no entanto, por si só permite uma aproximação simples e rápida aproximação ao nível de contaminação de uma dada área. O Factor de Contaminação (FC) é dado pela expressão:

$$FC = \frac{VM}{VRef}$$

Em que VM corresponde à média dos valores medidos num determinado elemento (superior a cinco amostras, de modo a eliminar picos pontuais de contaminação) e VRef corresponde ao valor de referência.

O Factor de Contaminação foi calculado para cada área, quer para os sedimentos, quer para as aluviões, tendo-se utilizado a média de cada elemento da área A0 como valor de referência. As categorias correspondentes aos valores calculados para o Factor de Contaminação encontram-se expressos na Tabela 5.3, enquanto os valores calculados para os sedimentos se encontram na Tabela 5.4 e para as aluviões na Tabela 5.5.

Tabela 5.3: Categorias de classificação do factor de contaminação.
Adaptado de Nude *et al.* (2011).

Categorias de Classificação do Factor de Contaminação	
< 1	Nível baixo de contaminação
1-3	Nível moderado de contaminação
3-6	Nível considerável de contaminação
> 6	Nível elevado de contaminação

Tabela 5.4: Factor de Contaminação para os sedimentos.

	Factor de Contaminação		
	Área A1	Área A3	Área BG
As	4,81	0,96	0,04
Cd	22,51	38,04	2,84
Co	1,02	0,76	0,76
Cr	0,42	0,39	0,72
Cu	2,27	1,61	1,20
Fe	1,04	0,65	0,90
Mn	3,65	2,87	1,31
Ni	2,00	1,35	1,51
Pb	65,36	10,25	1,30
Zn	125,26	52,02	8,53

Tabela 5.5: Factor de Contaminação para as aluviões.

	Factor de Contaminação			
	Área A1	Área A2	Área A3	Área A5
As	5,07	251,36	27,40	4,81
Cd	588,02	1259,55	959,23	485,91
Co	1,51	2,40	3,14	1,14
Cr	1,77	1,70	2,26	1,12
Cu	8,73	40,42	16,00	3,98
Fe	1,78	3,89	2,18	1,45
Mn	2,12	6,02	7,22	1,02
Ni	2,05	3,22	2,48	1,56
Pb	31,23	259,79	76,77	8,53
Zn	112,12	751,52	247,74	155,35

Nos sedimentos (Tabela 5.4), identificam-se como principais elementos preocupantes o cádmio, o chumbo e o zinco, já referidos nas análises anteriores, especialmente nas áreas A1 e A3. A área BG apresenta maioritariamente baixos níveis de contaminação, sendo apenas elevado para o zinco e considerável para o cádmio.

Nas aluviões (Tabela 5.5) não se verificam baixos níveis de contaminação, identificando-se elevados níveis para o cádmio, o chumbo e o zinco em todas as áreas. O arsénio e o manganês apresentam elevados níveis de contaminação nas áreas A2 e A3, enquanto o cobre, para além destas áreas, apresenta ainda níveis elevados na área A1. Os cobalto, crómio, ferro e níquel apresentam níveis moderados, que podem passar em algumas áreas, a consideráveis.

Embora os parâmetros de qualidade obtidos a partir da aplicação destes três índices sejam muito semelhantes, por comparação com o Factor de Enriquecimento, o Índice de Geoacumulação é um índice mais rigoroso, uma vez que as amostras apresentam teores de contaminação ligeiramente superiores àqueles referidos na análise com o Índice de Geoacumulação. Por outro lado, os valores dependem directamente dos níveis obtidos nos valores de referência. Assim, pelo facto de existir apenas um local de amostragem para as aluviões (em que os valores em elementos metálicos são muito baixos), a contaminação verificada no Índice de Geoacumulação é superior à encontrada no Factor de Enriquecimento, cujos valores são padronizados com a concentração em ferro. Também no Factor de Enriquecimento, por se padronizar com o ferro não é possível determinar o enriquecimento neste elemento e, em amostras em que se verificam baixos teores em ferro (como a amostra CA2-10 Sulfatos) também se verificarão elevados enriquecimentos relativos.

O Factor de Contaminação é mais simples mas também depende directamente dos valores de referência, o que explica os seus elevados valores nas aluviões em elementos que não são contaminantes, como é o caso do crómio e do níquel.

Em suma, a utilização de qualquer um destes índices deverá ser realizada com cautela. Nenhum destes é desprovido de desvantagens, razão pela qual deverão ser utilizados em conjunto para uma melhor caracterização da área em estudo.

5.2.2. Parâmetros Físico-Químicos

Os parâmetros físico-químicos são usados como principais indicadores de áreas contaminadas. Áreas contaminadas com nutrientes orgânicos, nomeadamente fósforo ou azoto, o que acontece frequentemente em ambientes lênticos e lóticos, caracterizam-se por valores do potencial de oxidação/redução (Eh) reduzidos, devido a elevadas taxas de crescimento de microorganismos e consumo do oxigénio disponível na água (Moschini-Carlos *et al.*, 2011). Em zonas contaminadas por metais pesados, nomeadamente áreas mineiras ricas em sulfuretos, ocorrem valores de pH muito baixos, devido à oxidação de sulfuretos (Salomons, 1995).

Deste modo, e por parte do minério utilizado na unidade industrial de Três Marias ser de origem sulfuretada, procedeu-se a uma comparação do nível de contaminação (materializado pelo Índice de Geoacumulação calculado no ponto anterior) com o pH das amostras. Para que este efeito fosse mais óbvio, foram escolhidos os elementos com maior contaminação nas áreas, nomeadamente o cádmio e o zinco. Assim, na Figura 5.45, encontram-se as comparações entre os valores de pH e o Índice de Geoacumulação para os sedimentos e na Figura 5.46 para as aluviões.

Identifica-se, de um modo geral, uma ligeira relação entre o nível de contaminação e o pH, a qual é mais óbvia nas áreas BG nos sedimentos e A5 nas aluviões. Verifica-se assim, que quanto maior é o pH, menor é o nível de contaminação, e vice-versa. Este facto poderá relacionar-se com a presença de sulfuretos e ao seu ciclo de oxidação-redução, especialmente nas aluviões. A oxidação de sulfuretos leva à libertação de iões H^+ que provocam uma diminuição do pH localmente, paralelamente a uma libertação dos metais existentes na sua estrutura e à formação de sulfatos que precipitam juntamente com os elementos metálicos livres. Nos sedimentos esta relação não é tão clara, o que se poderá relacionar com a presença de água e a sua capacidade de diluição e dissimulação deste efeito.

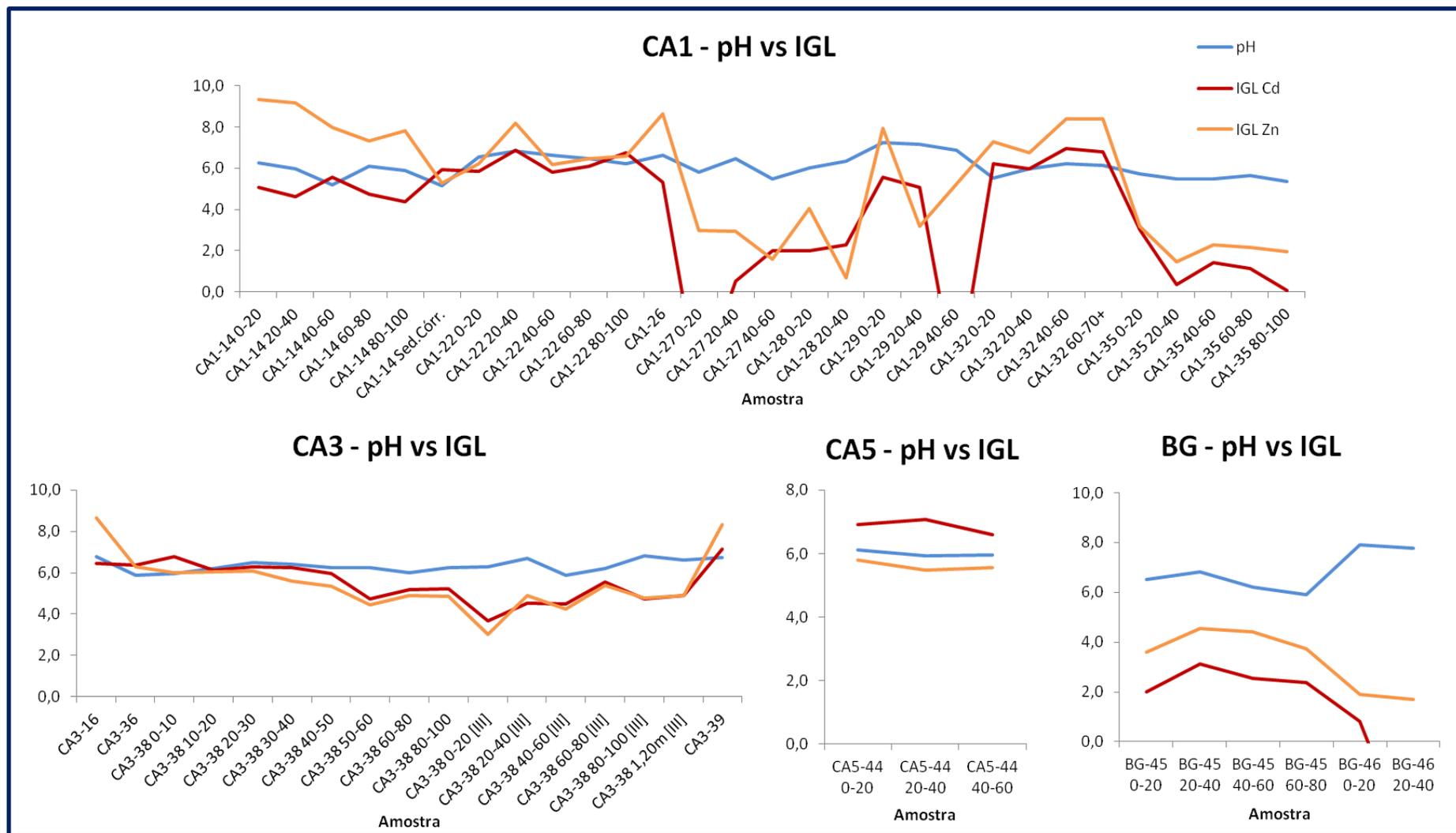


Figura 5.45: Comparação dos valores de pH e de IGL para os sedimentos da área em estudo.

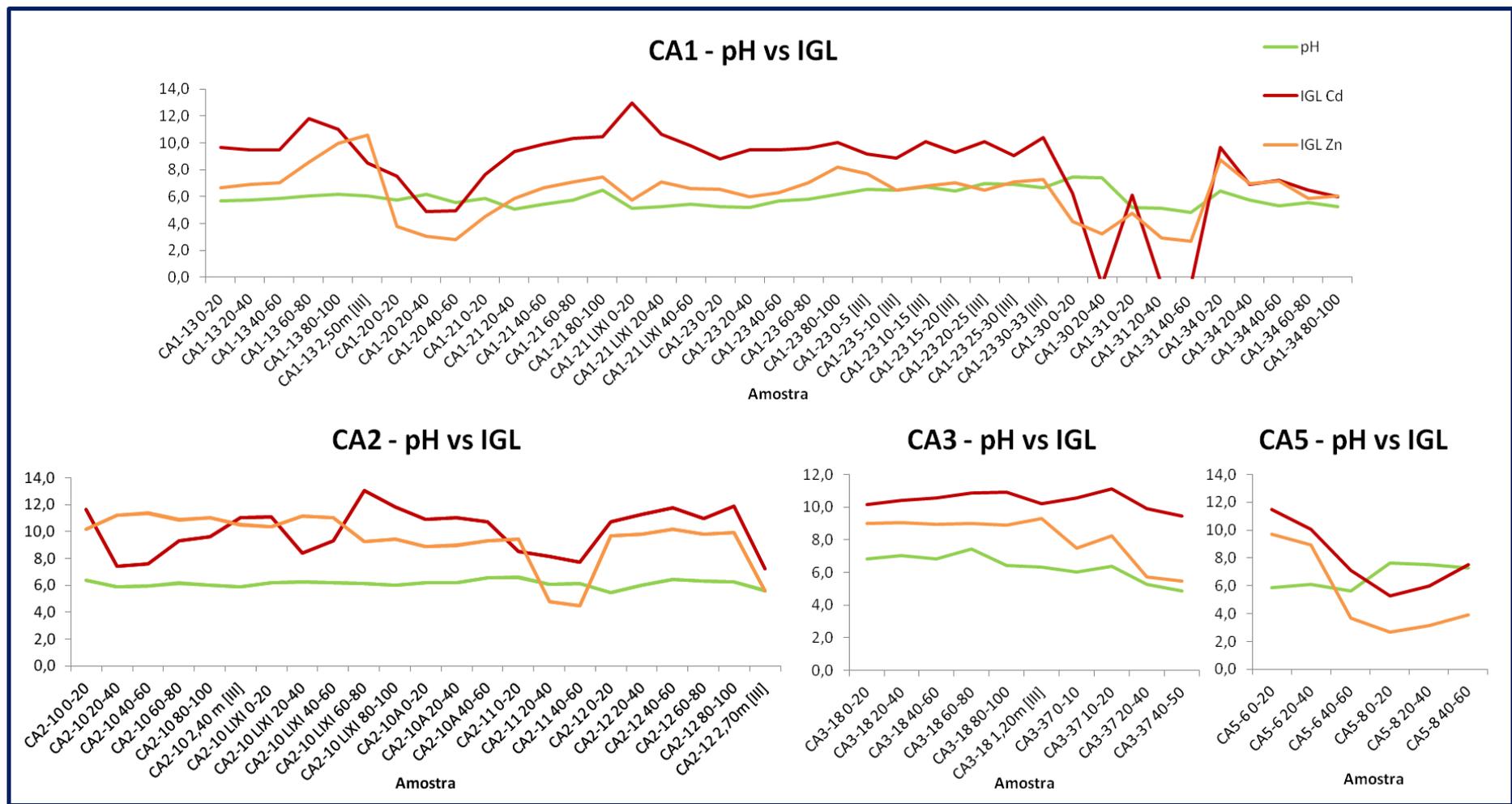


Figura 5.46: Comparação dos valores de pH e IGL das aluviões da área em estudo.

5.2.3. Extracção Sequencial

Tendo como fundo os principais contaminantes identificados na digestão parcial das amostras, a realização de extracções sequenciais permite identificar as fracções em que estes elementos preferencialmente se encontram e, por isso, qual a sua perigosidade ambiental. As Figuras 5.47 a 5.49 representam as fracções extraídas em cada uma das fases da extracção sequencial para os sedimentos.

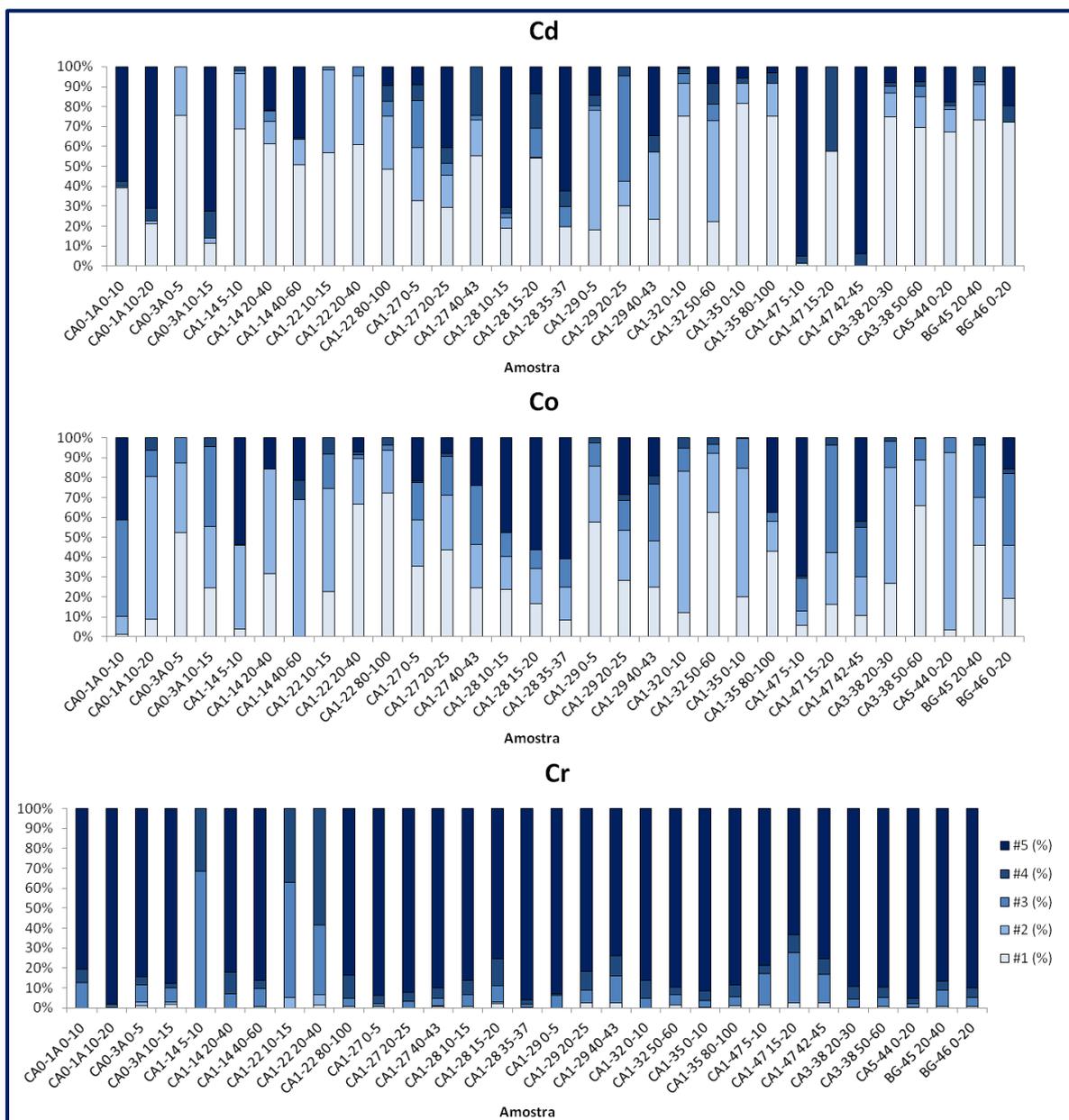


Figura 5.47: Fracções extraídas para os sedimentos em cada uma das fases da extracção sequencial para o cádmio, cobalto e crómio.

#1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a material orgânico e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos.

Verifica-se assim que o cádmio se encontra essencialmente nas fracções mais solúveis, verificando-se para algumas amostras (essencialmente as amostras da área A0 e a amostra CA1-47) que se encontra preferencialmente associado aos óxidos de ferro cristalinos, estando portanto, numa fracção mais estável. O cobalto encontra-se essencialmente associado aos óxidos de manganês, verificando-se ainda amostras pontuais em que se encontra associado a óxidos de ferro cristalinos. O crómio, por sua vez, encontra-se numa fracção mais estáveis, essencialmente associado a óxidos de ferro cristalinos (Figura 5.47).

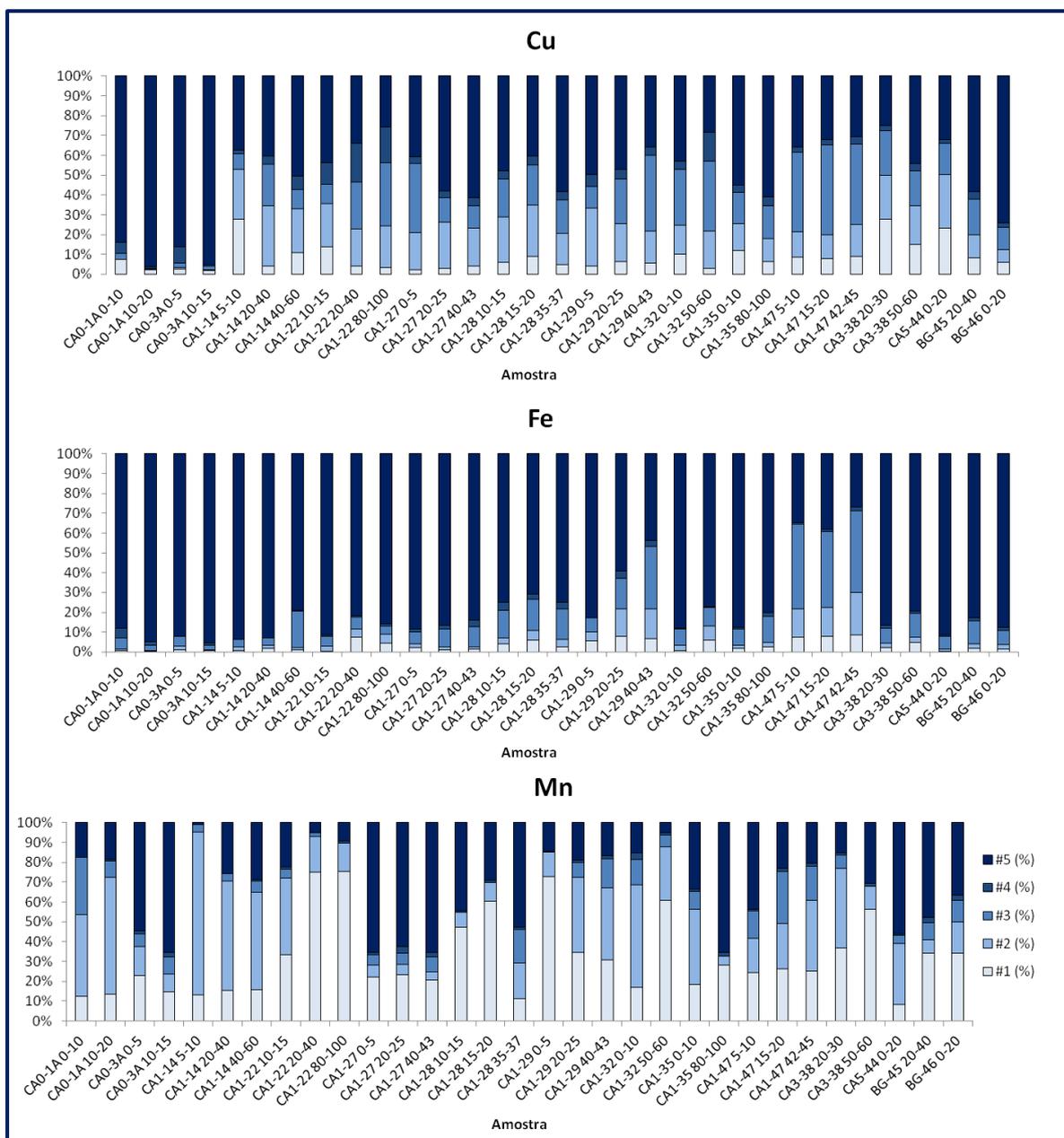


Figura 5.48: Fracções extraídas para os sedimentos em cada uma das fases da extração sequencial para o cobre, ferro e manganês.
#1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; **#2:** fracção ligada a óxidos de manganês; **#3:** fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; **#4:** fracção ligada a material orgânico e parcialmente a sulfuretos; **#5:** fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos.

O cobre encontra-se associado quer a óxidos de ferro amorfos, quer a óxidos de ferro cristalinos na maioria das amostras, verificando-se que em amostras com menor grau de contaminação (área A0 e BG) se encontra essencialmente em fracções mais estáveis, associado a óxidos de ferro cristalinos. O ferro encontra-se maioritariamente associado a óxidos cristalinos, identificando-se a amostra CA1-47 em que se verifica uma porção importante de ferro associado a óxidos amorfos. Por sua vez o manganês encontra-se associado quer à fracção mais solúvel, quer a óxidos de manganês, encontrando-se em fracções pouco estáveis e facilmente remobilizáveis (Figura 5.48).

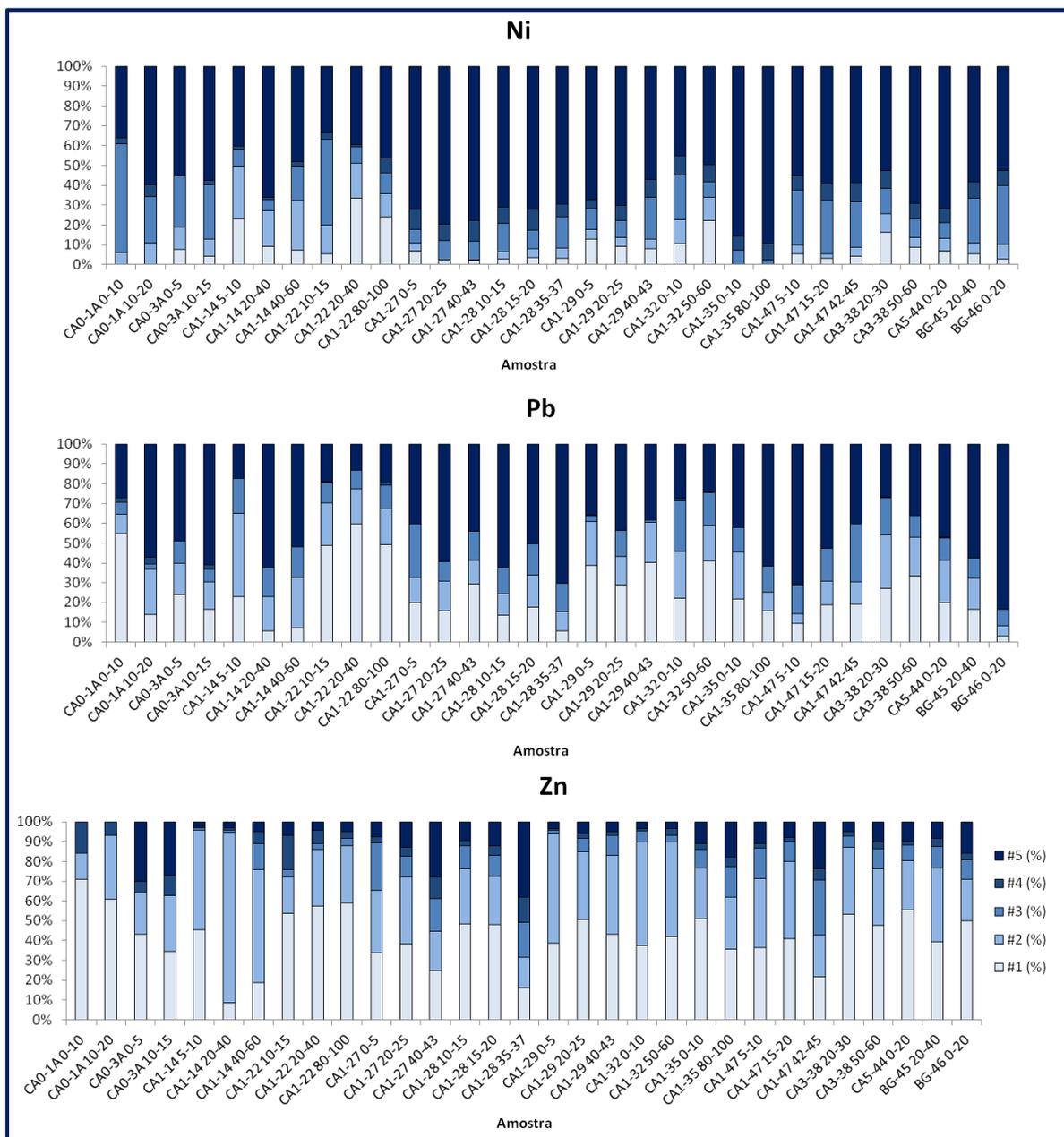


Figura 5.49: Fracções extraídas para os sedimentos em cada uma das fases da extracção sequencial para o níquel, chumbo e zinco.

#1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a material orgânico e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos.

O níquel encontra-se essencialmente associado a óxidos de ferro cristalinos, podendo ainda encontrar-se na sua fase amorfa. Pode ainda em algumas amostras identificar-se em fases mais solúveis, como na amostra CA1-22 (20 a 40 cm). O chumbo identifica-se quer em fases mais solúveis (como nas amostras CA0-1A ou CA1-22) quer em fases mais estáveis, associado a óxidos de ferro cristalinos (nas amostras CA1-28 ou na área BG). Este comportamento poderá dever-se a contaminações locais deste elemento. Por sua vez, o zinco encontra-se na sua grande maioria associado a fracções mais solúveis, extraídas quer na primeira, quer na segunda fase da extracção sequencial (Figura 5.49).

Em suma, nos sedimentos, são o cádmio e o zinco os contaminantes que apresentam maior grau de perigosidade, o que se deve à sua fácil solubilização, associada às suas elevadas concentrações. O cobalto, manganês e chumbo também se encontram em fases facilmente solubilizáveis, no entanto, a contaminação nestes elementos é de carácter mais pontual. O crómio, cobre, ferro e níquel encontram-se em fases mais estáveis não consistindo, por isso, problemas ambientais nos sedimentos da área.

Também nas aluviões foram realizadas extracções sequenciais. Nas Figuras 5.50 a 5.52 encontram-se os resultados obtidos para as amostras em que foram realizados este ensaio.

Nas aluviões, o cádmio encontra-se essencialmente associado às fracções mais solúveis. Verifica-se para as amostras CA1-30 e CA1-31 que o cádmio se encontra em fracções mais estáveis, tendo uma presença significativa associada a sulfuretos em algumas amostras da áreas A2. O cobalto identifica-se maioritariamente associado aos óxidos de manganês, podendo ainda encontrar-se nas fracções mais solúveis. Verifica-se, para as amostras CA1-30, CA1-31 e CA3-18 (20 a 40 cm), que este elemento se encontra associado a fracções mais estáveis. Por sua vez, o crómio encontra-se na sua grande maioria associado a óxidos de ferro cristalinos, verificando-se apenas para a amostra CA1-23 (20 a 40 cm) uma associação a sulfuretos (Figura 5.50).

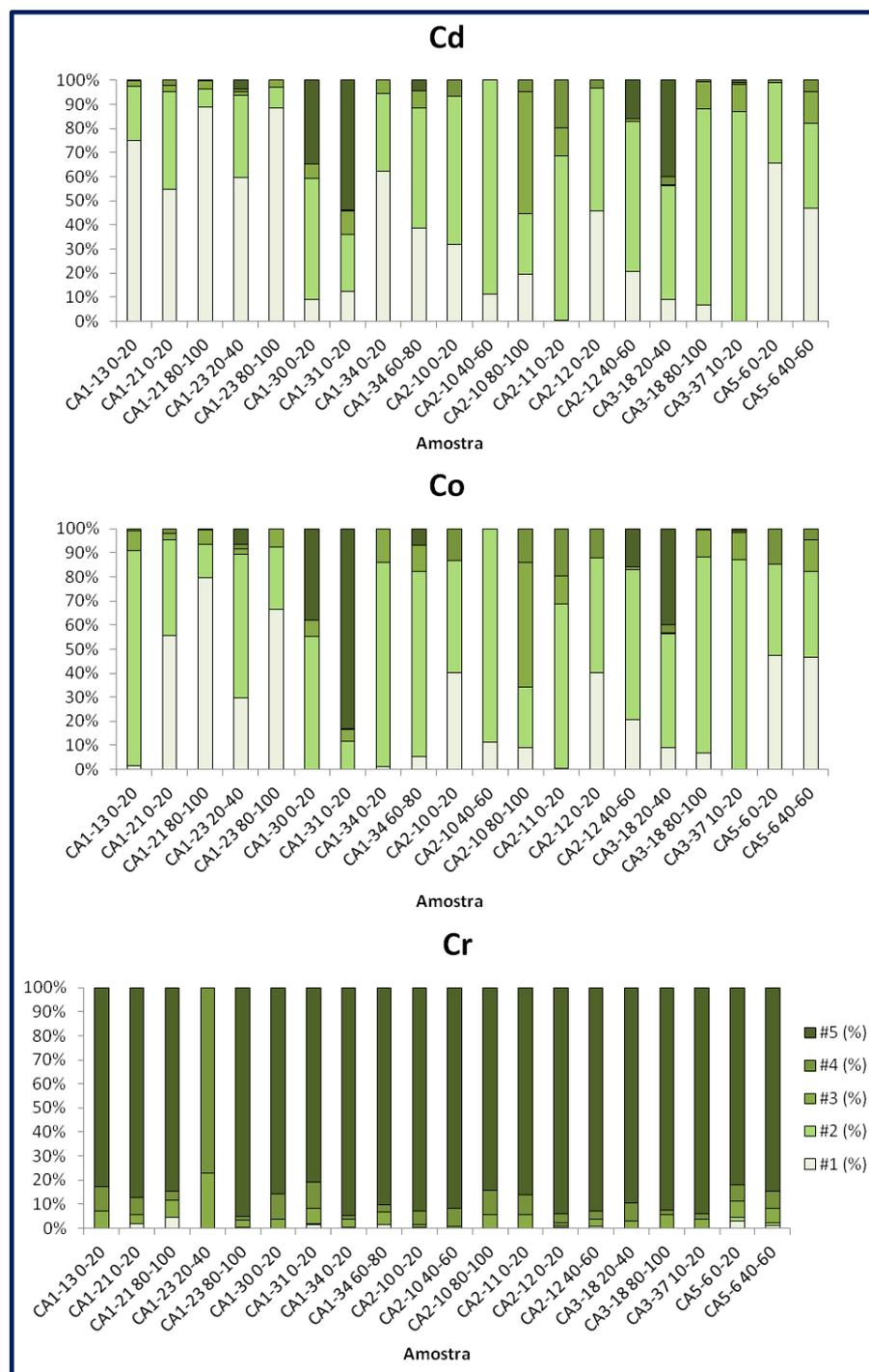


Figura 5.50: Fracções extraídas para as aluviões em cada uma das fases da extracção sequencial para o cádmio, cobalto e cromo.

#1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a material orgânico e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos.

O cobre encontra-se associado maioritariamente a óxidos de ferro, quer na sua forma cristalina, quer na sua forma amorfa. No entanto, verifica-se em algumas amostras, percentagens extraídas muito elevadas nas fracções mais solúveis (para a primeira e segunda extracções), que se deverão associar a contaminações locais neste elemento. O ferro encontra-se na sua grande maioria na forma

de óxidos cristalinos, podendo ainda encontrar-se, numa menor proporção, na sua forma amorfa. O manganês encontra-se nas fracções mais solúveis, maioritariamente associado a óxidos de manganês, podendo ainda aparecer em fases mais solúveis. Em alguns casos, como a amostra CA2-10 (0 a 20 cm) pode aparecer ainda associado a óxidos de ferro cristalinos (Figura 5.51).

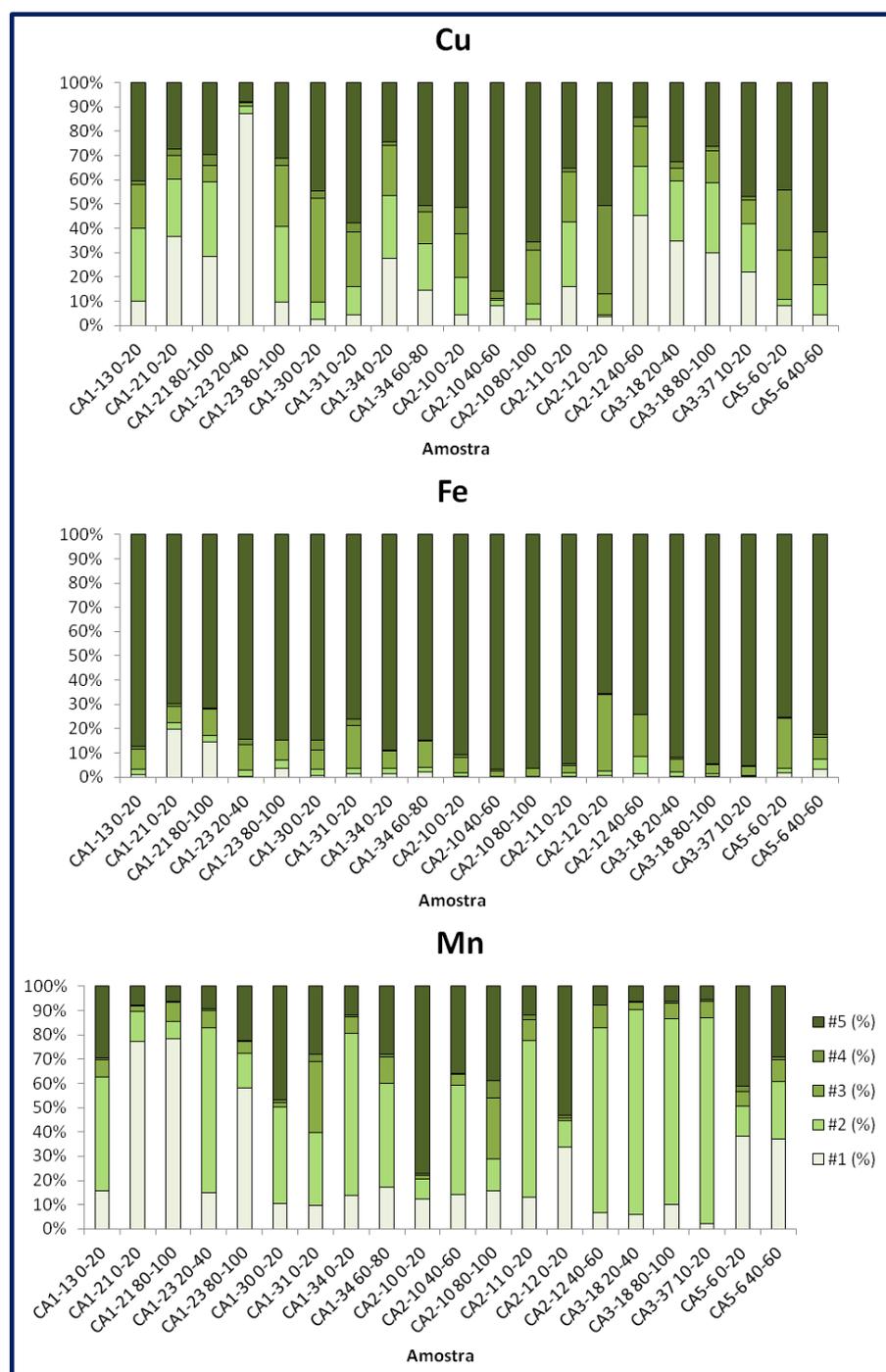


Figura 5.51: Fracções extraídas para as aluviões em cada uma das fases da extracção sequencial para o cobre, ferro e manganês.

#1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a material orgânico e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos.

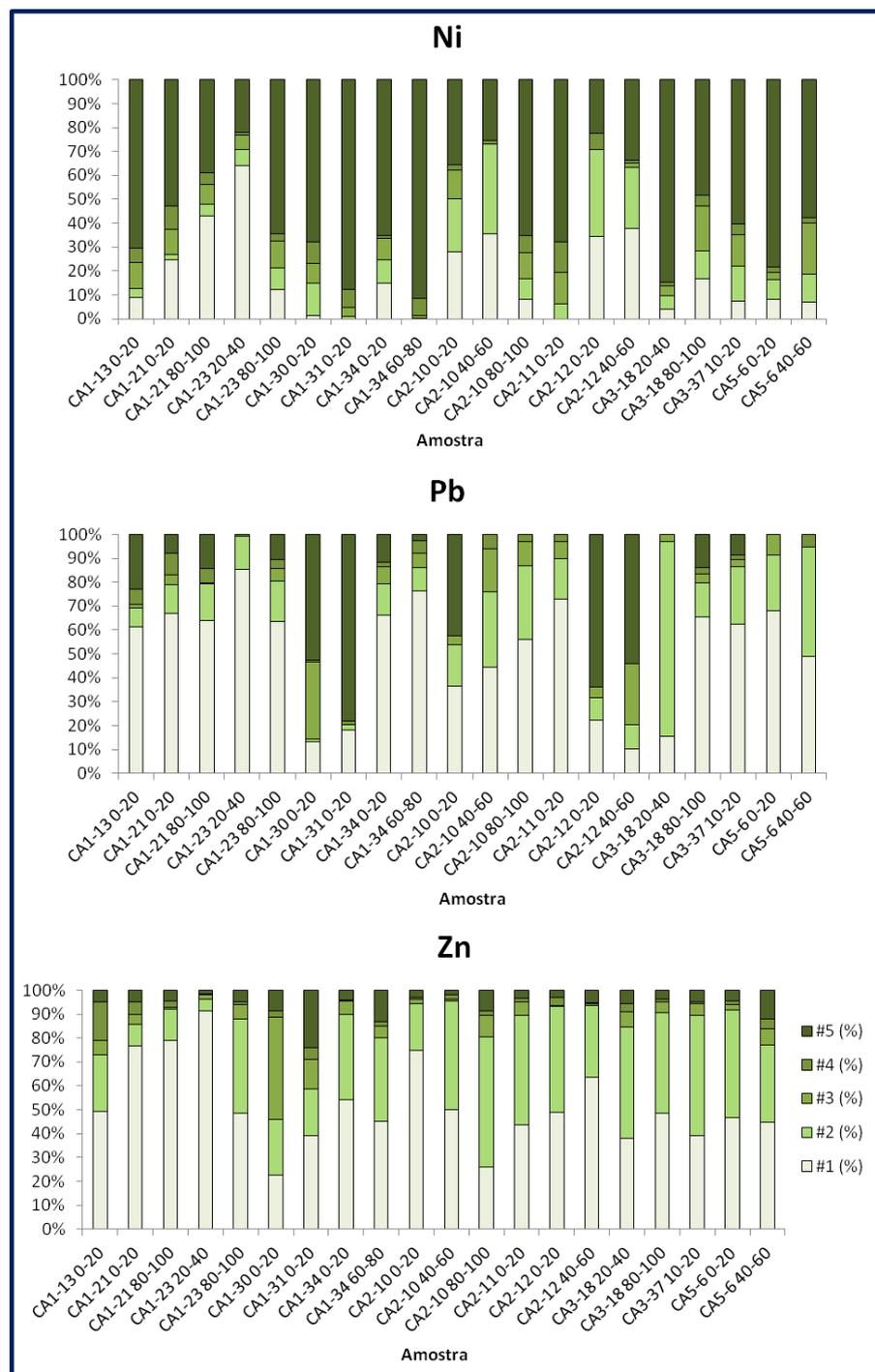


Figura 5.52: Fracções extraídas para as aluviões em cada uma das fases da extracção sequencial para o níquel, chumbo e zinco.

#1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a material orgânico e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos.

Verifica-se para o níquel que este elemento se encontra essencialmente associado a óxidos de ferro cristalinos, podendo ainda, localmente, identificar-se associado a fracções mais solúveis (extraível quer na primeira, quer na segunda fases da extracção sequencial). Estas diferenças poderão dever-se a contaminações locais deste elemento, ou a pequenas variações nos parâmetros físico-

químicos, que levam à dissolução de fases mais estáveis. Por sua vez, o chumbo encontra-se na sua grande maioria associado a fases menos estáveis (extraído nas duas primeiras fases do ensaio). Verifica-se ainda que em algumas amostras se encontra em fases mais estáveis, quer associado a óxidos de ferro cristalinos, quer a matéria orgânica. Por fim, o zinco encontra-se em fases muito solúveis, sendo quase na sua totalidade extraído nas duas primeiras fases da extracção sequencial. Pequenas percentagens podem, localmente, estar associadas a óxidos de ferro amorfos. (Figura 5.52)

Em suma, para as aluviões, identificam-se como contaminantes mais preocupantes, o cádmio, o chumbo e o zinco, encontrando-se essencialmente nas fases menos estáveis e mais facilmente remobilizáveis. Associados a óxidos de manganês, encontram-se o cobalto e o manganês, enquanto a contaminações locais se encontram o cobre e o níquel. O crómio e o ferro não apresentam quaisquer problemas ambientais para as aluviões da área, encontrando-se essencialmente em fases estáveis.

Da análise conjunta dos dados obtidos por digestão parcial e por extracção sequencial das amostras, observa-se que os elementos que existem em concentrações muito acima dos valores legislados e que pelos seus elevados teores e segundo o Índice de Geoacumulação, as amostras pertencem à classe de extremamente contaminadas, são os que se concentram preferencialmente sob formas mais solúveis, o que aumenta consideravelmente a sua perigosidade ambiental. Pelo contrário, elementos como o crómio ou o níquel que têm teores moderados ou baixos, ocorrem na sua maior proporção sob formas químicas estáveis, associados a óxidos de ferro cristalinos ou sob formas residuais (na estrutura de minerais silicatados ou como óxidos resistentes).

5.2.4. Ensaio de Lixiviação

Tendo sido caracterizado o nível de contaminação através da digestão parcial e tendo sido realizados os ensaios de extracção sequencial de forma a compreender as fases mais facilmente mobilizáveis de cada um dos elementos, procedeu-se à realização de ensaios de lixiviação de forma a compreender quais as fracções extraíveis por acção da água. Sendo o regime pluviométrico regional caracterizado por momentos de chuvas intensas, que podem levar à formação de enxurradas e lixiviação intensa das zonas emersas, procedeu-se à determinação da fracção extraível por agitação com água multrapura com pH ajustado de acordo com as características químicas das chuvas da região (adaptado de Fia *et al.* (2013)).

Este ensaio terá uma maior aplicação nas amostras de aluviões, no entanto procedeu-se ainda à realização para alguns sedimentos, cujos resultados não corresponderão a episódios de enxurrada, mas sim do que será extraído em caso de aumento do caudal do córrego.

Apresentam-se assim, para os principais contaminantes, o cádmio e o zinco, as concentrações obtidas nos extractos lixiviados ao longo de vários períodos de agitação até às 48 horas de duração do ensaio, representando as Figuras 5.53 e 5.54 os sedimentos, e as Figuras 5.55 e 5.56 as aluviões. Nos gráficos, para cada elemento, traçou-se o Valor de Investigação legislado para as águas subterrâneas (COPAM, 2011). Como Valor de Investigação (VI) define-se a concentração a partir da qual existem riscos potenciais à saúde humana (CONAMA, 2012).

Verifica-se assim, por análise das Figuras 5.53 a 5.56 que, quer para os sedimentos, quer para as aluviões, dois comportamentos distintos:

- 1) Para as áreas A0 e BG, e localmente em algumas amostras, quer de sedimentos (como a CA1-32 50-60) quer de aluviões (como a amostra CA3-18 40-60) verifica-se um aumento nas concentrações de cádmio e zinco nas primeiras horas de agitação (atingindo um máximo às 18 ou às 3 horas), verificando-se um decréscimo na hora seguinte e valores similares até ao final do ensaio;
- 2) Nas restantes áreas, verificam-se aumentos com o aumento da duração do período de agitação, sendo estes aumentos muitas vezes pouco significativos.

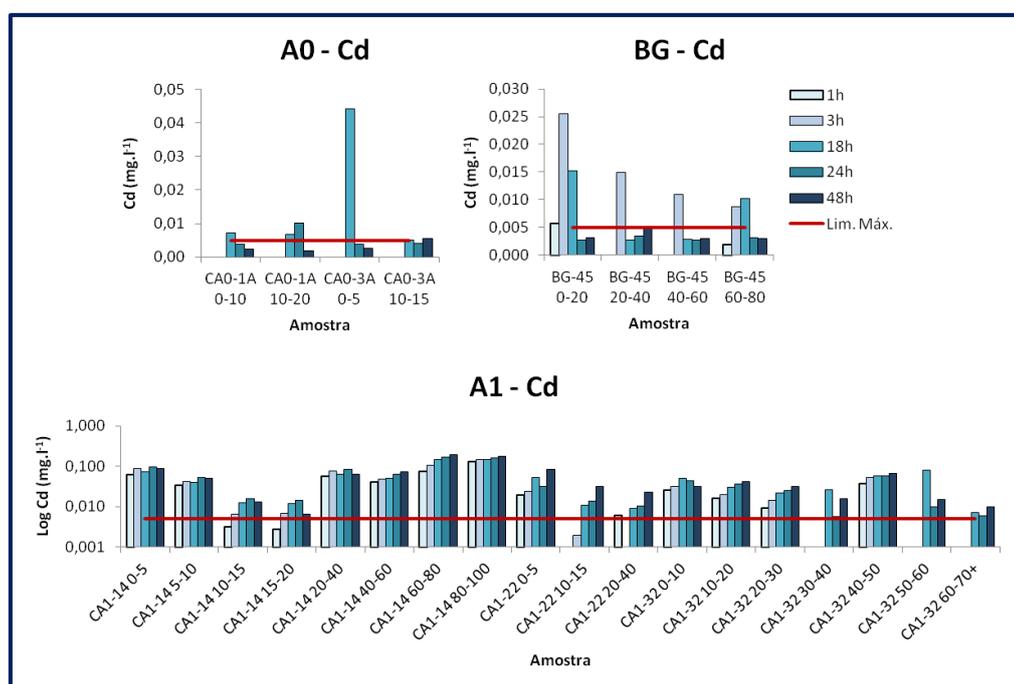


Figura 5.53: Variação da concentração de cádmio nas águas de lixiviação dos sedimentos ao fim de 1 hora, 3 horas, 18 horas, 24 horas e 48 horas de agitação. O traço a vermelho representa o Valor de Investigação legislado para as águas subterrâneas (COPAM, 2011).

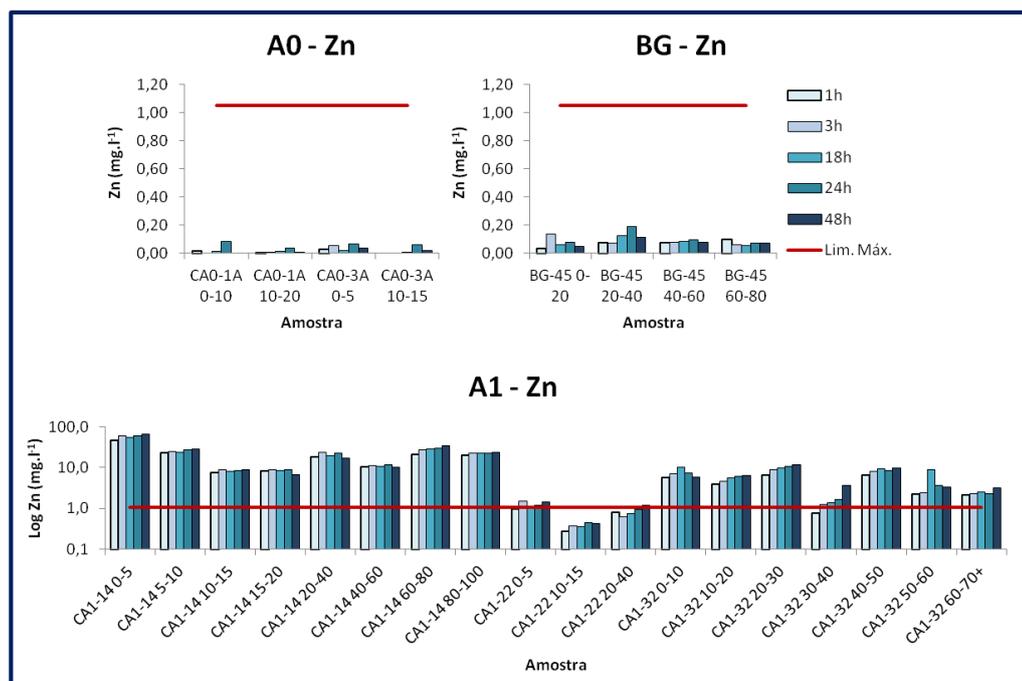


Figura 5.54: Variação da concentração de zinco nas águas de lixiviação dos sedimentos ao fim de 1 hora, 3 horas, 18 horas, 24 horas e 48 horas de agitação. O traço a vermelho representa o Valor de Investigação legislado para as águas subterrâneas (COPAM, 2011).

Comportamentos como os observados em 1) correspondem a amostras em que estes elementos não se encontram em fracções muito solúveis, atingindo apenas, na maioria das amostras, às 18 horas o máximo lixiviável. A partir das 24 horas de agitação não se verificam variações significativas nos teores lixiviáveis, verificando-se o equilíbrio do sistema. No entanto, na maioria das amostras, o que acontece é um ligeiro aumento nas fracções lixiviáveis ao longo do tempo, o que poderá corresponder à gradual dissolução da fase mineral a que estes elementos se encontram associados ou à libertação dos elementos adsorvidos ou fixados nestas fases. Deste modo, verifica-se que, quer para os sedimentos, quer para as aluviões, nas áreas contaminadas os principais contaminantes que, como já se verificou, se encontram em fases muito solúveis em água, são facilmente mobilizáveis apenas com uma hora de agitação.

Estes teores foram ainda comparados com os limites legislados para as águas subterrâneas (COPAM, 2011), verificando-se claras violações do limite máximo. Verifica-se apenas para as áreas A0 e BG que os valores lixiviados para o zinco se encontram abaixo dos limites legais.

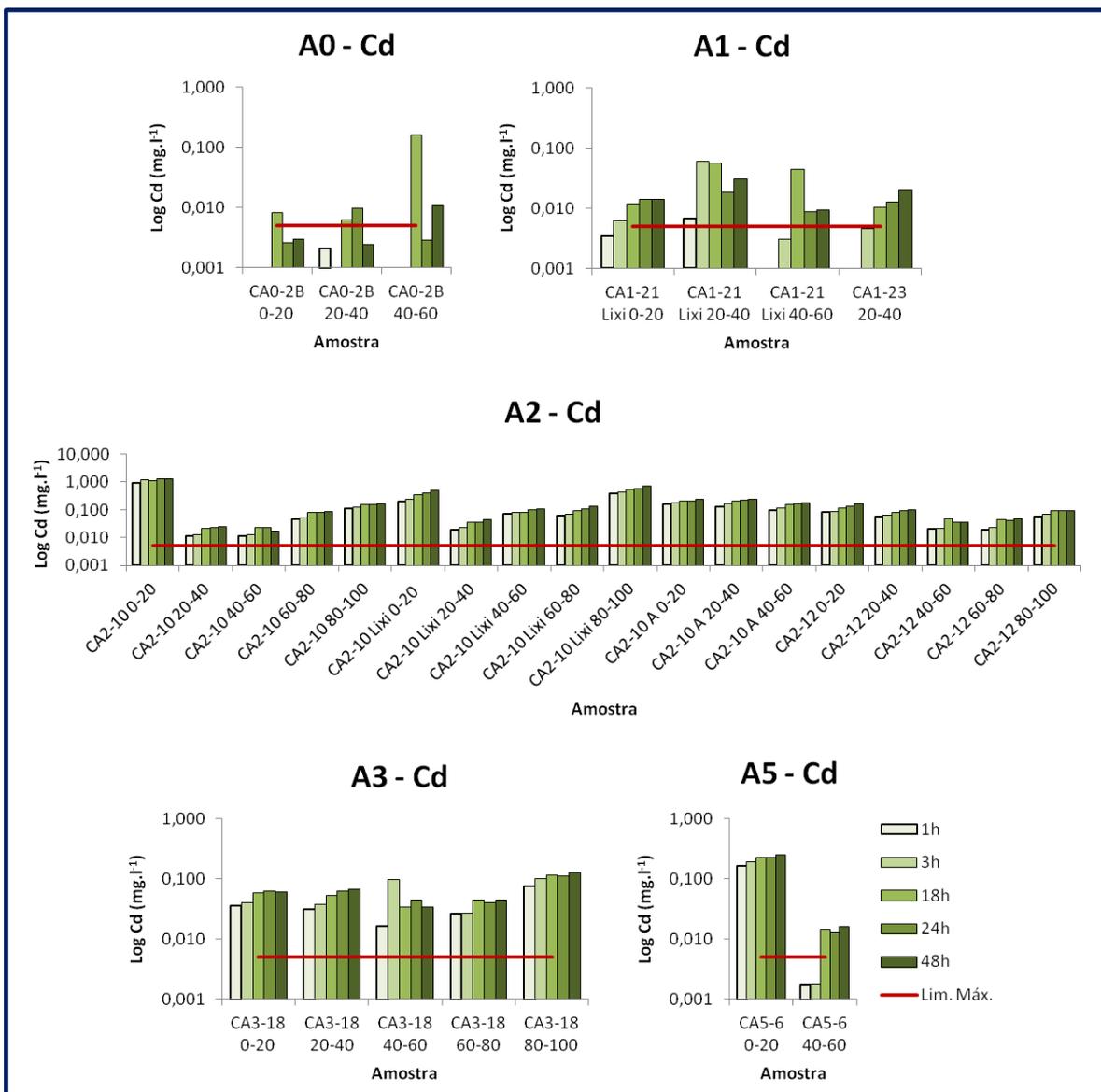


Figura 5.55: Variação da concentração de cádmio nas águas de lixiviação das aluviões ao fim de 1 hora, 3 horas, 18 horas, 24 horas e 48 horas de agitação. O traço a vermelho representa o Valor de Investigação legislado para as águas subterrâneas (COPAM, 2011).

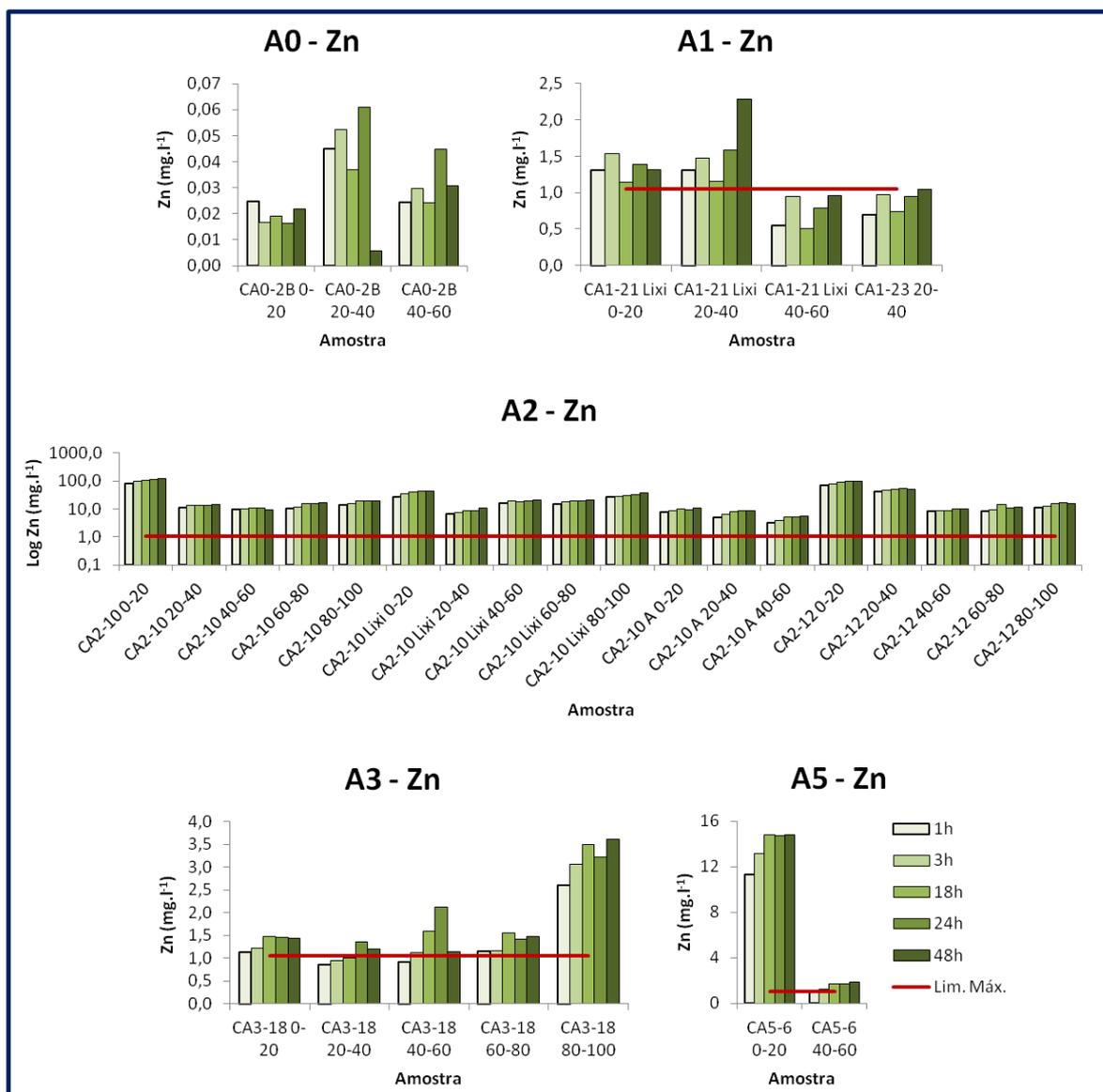


Figura 5.56: Variação da concentração de zinco nas águas de lixiviação das aluviões ao fim de 1 hora, 3 horas, 18 horas, 24 horas e 48 horas de agitação. O traço a vermelho representa o Valor de Investigação legislado para as águas subterrâneas (COPAM, 2011).

De forma a mais facilmente se poder entender qual o comportamento da fracção solúvel separada nos processos de extracção sequencial sob o efeito de precipitação, enxurradas ou mesmo aumento do caudal do córrego, compararam-se esses teores com os valores obtidos nos ensaios de lixiviação, de forma a determinar, entre a fracção solúvel, qual a facilmente removível por água. Para tal, nas Figuras 5.57 e 5.58 apresentam-se esses dados, para os sedimentos e para as aluviões, respectivamente.

Para efeitos de comparação, foram utilizados os valores correspondentes à primeira fase da extracção sequencial (correspondente à extracção por acetato de amónio) e os valores correspondentes a 18 horas de agitação para os ensaios de lixiviação, por ser o valor máximo lixiviado em algumas amostras, e nas amostras em que não o é, não possuir uma diferença muito significativa.

Deste modo, e de uma forma geral, a agitação com acetato de amónio possui uma capacidade de lixiviação maior que a agitação por água, o que se poderá dever ao seu pH mais ácido, que permite a instabilização e solubilização de um maior número de fases minerais, como são exemplo os carbonatos, que não são extraídos pela agitação em água. Verifica-se então que, quer para os sedimentos, quer para as aluviões, os elementos mais estáveis por agitação com água e que, portanto, não serão facilmente removidos por acção da precipitação, são o crómio, o cobre, o níquel e o chumbo; nestes elementos são lixiviadas pequenas (e muitas vezes até nenhuma) fracções por agitação com água, o que mostra a estabilidade em água, das fases minerais onde estes elementos se associam. Para o ferro são extraídas fracções muito baixas, muito abaixo dos níveis extraídos por acetato de amónio. Para o cádmio, o cobalto, o manganês e o zinco verificam-se elevadas fracções extraídas com água, especialmente nas aluviões. Este facto poderá dever-se à fraca ligação que estes elementos mantêm às partículas constituintes destes materiais sedimentares, dada a maior parte ser derivada de contaminação industrial. Grande proporção destes elementos deverá encontrar-se quer sob a forma solúvel na água intersticial quer sob a forma de catiões de troca, formas químicas que são facilmente removidos por acção da água. Para além disso, estes materiais estão permanentemente humedecidos, o que facilita a instabilidade destes elementos.

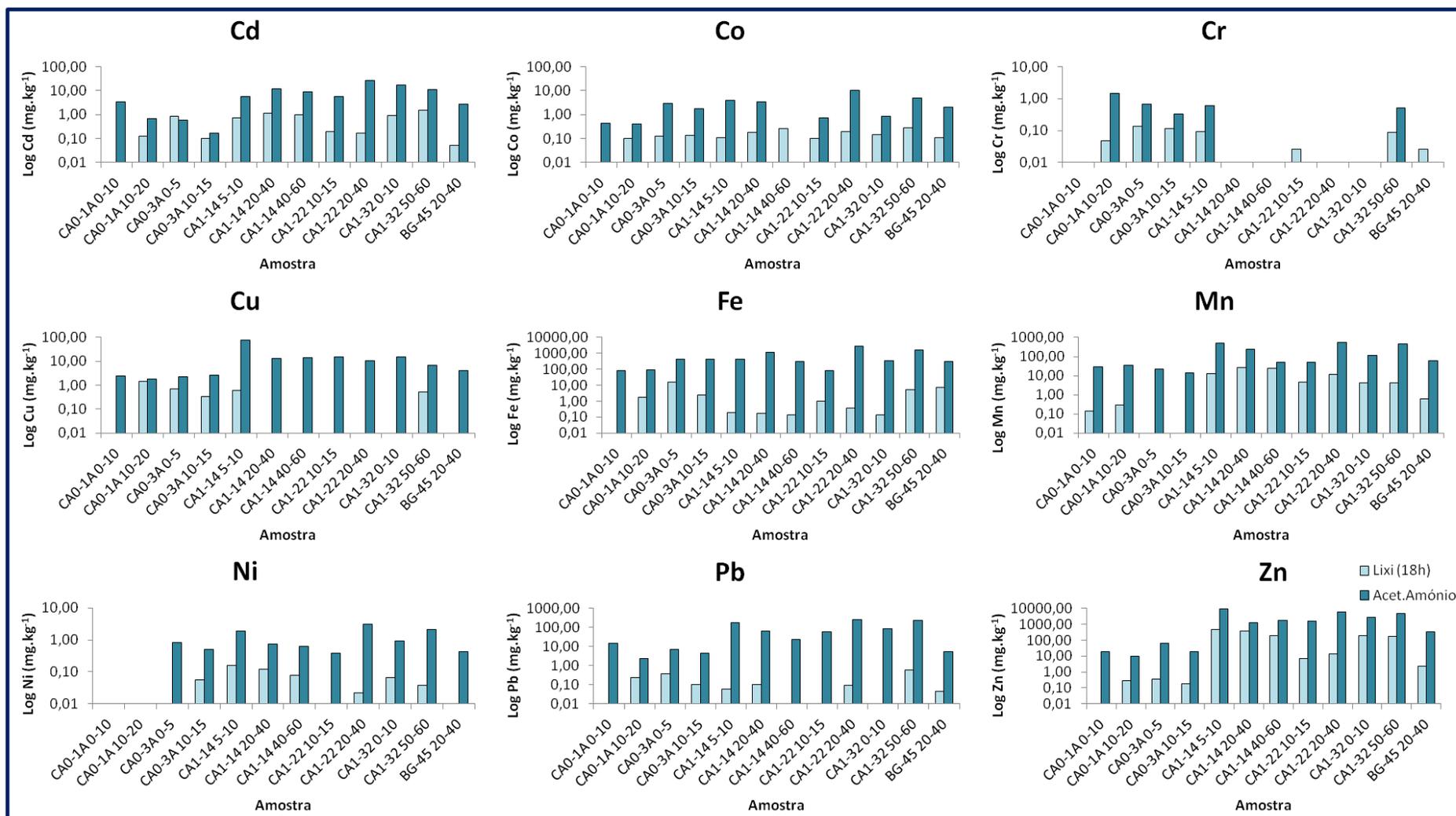


Figura 5.57: Comparação dos valores da lixiviação dos sedimentos por agitação das amostras durante 18 horas, com os teores extraídos na primeira fase da extração sequencial.

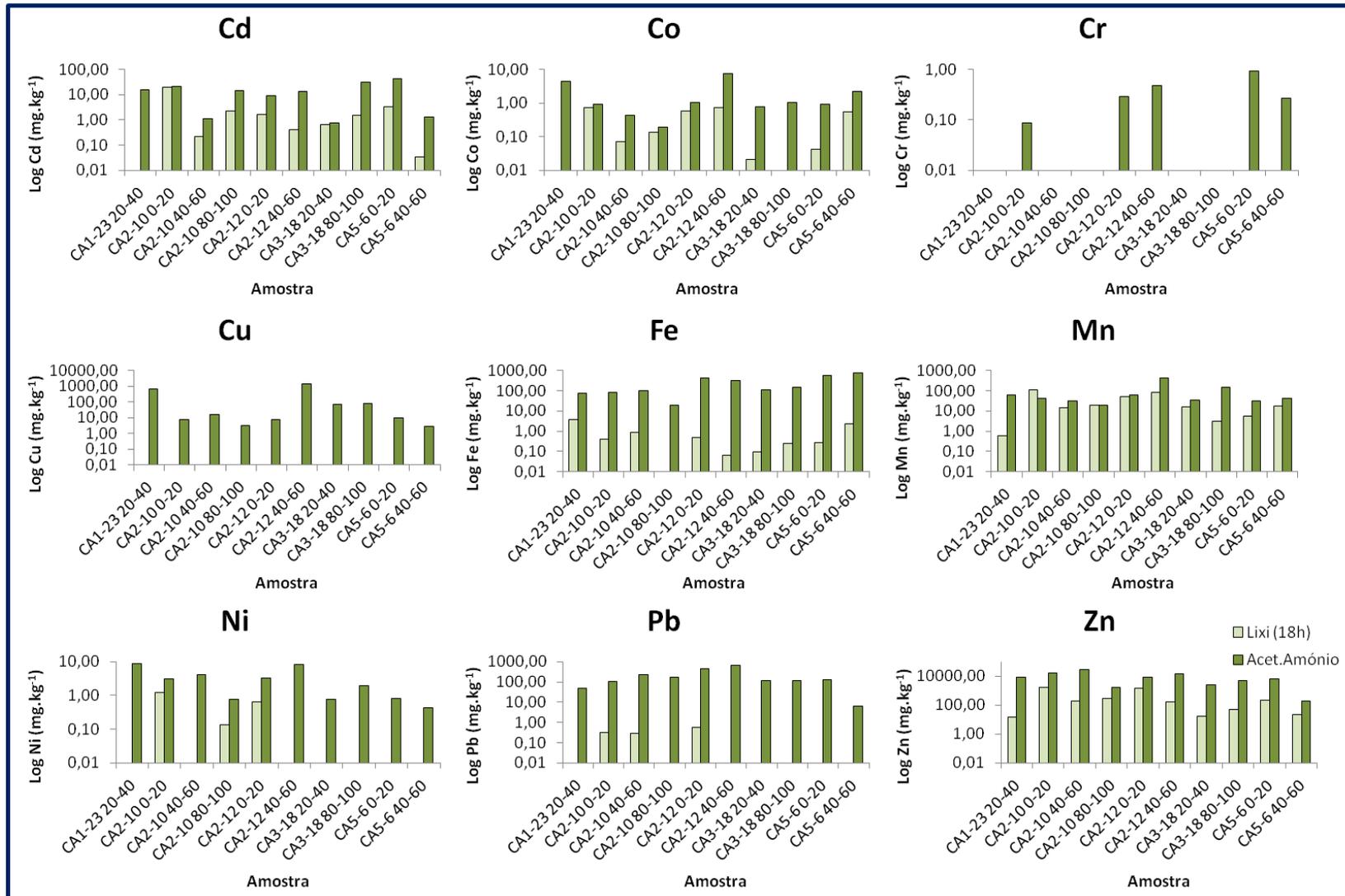


Figura 5.58: Comparação dos valores da lixiviação das aluviões por agitação das amostras durante 18 horas, com os teores extraídos na primeira fase da extração sequencial.

5.2.5. Análise Elementar de CHNS

As percentagens obtidas por análise elementar foram representadas em profundidade, de forma a serem compreendidas as suas variações. No entanto, há que ter em conta que os valores apresentados representam os teores totais nestes elementos.

5.2.5.1. Carbono

Deste modo, para o carbono (representado nas Figuras 5.59 e 5.60, para os sedimentos e aluviões, respectivamente), notam-se valores superiores nas camadas superficiais, quer para os sedimentos, quer para as aluviões, identificando-se em profundidade uma tendência de diminuição da percentagem destes elementos em muitas amostras, como é comum na maioria dos materiais sedimentares e solos, onde a maioria da actividade biológica se processa à superfície. No entanto, verifica-se em alguns pontos, acumulações muito elevadas a maiores profundidades (como na amostra CA1-22 nos sedimentos, ou nas amostras CA1-21 ou CA2-10 Lixi), o que poderá corresponder a casos pontuais de acumulação de material orgânico, que ficou aprisionado no sedimento ou na aluvião, tendo posteriormente havido deposição de materiais inorgânicos que poderão ter origem distinta.

Independentemente de os valores determinados corresponderem ao carbono total (orgânico e inorgânico), os valores obtidos foram comparados aos tidos como referência local (CONAMA, 2012). Em material a ser dragado, o Valor Alerta, ou seja, o valor acima do qual existem possibilidades de riscos ambientais na área de disposição destes materiais, para o carbono orgânico total é de 10%. De acordo com as Figuras 5.59 e 5.60 é notório que o limite alerta não é alcançado, verificando-se um máximo na área A1 inferior a 5% de carbono total. Portanto, não se verifica perigo de contaminação da área de disposição por excesso de carbono.

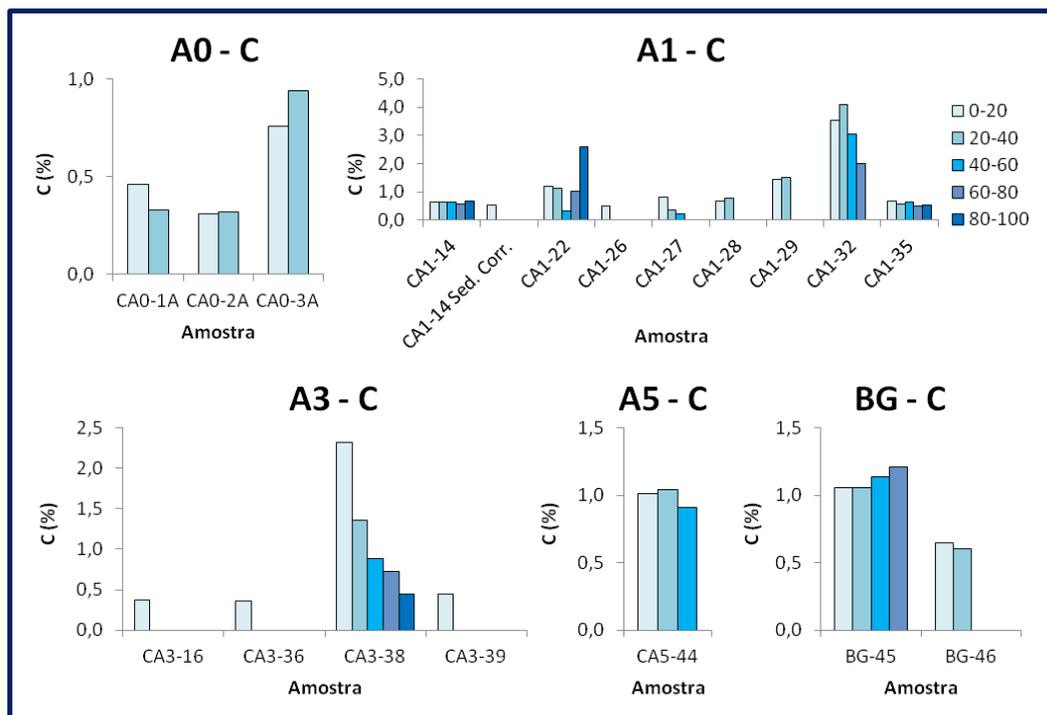


Figura 5.59: Percentagem de carbono total obtida nos sedimentos por análise elemental.

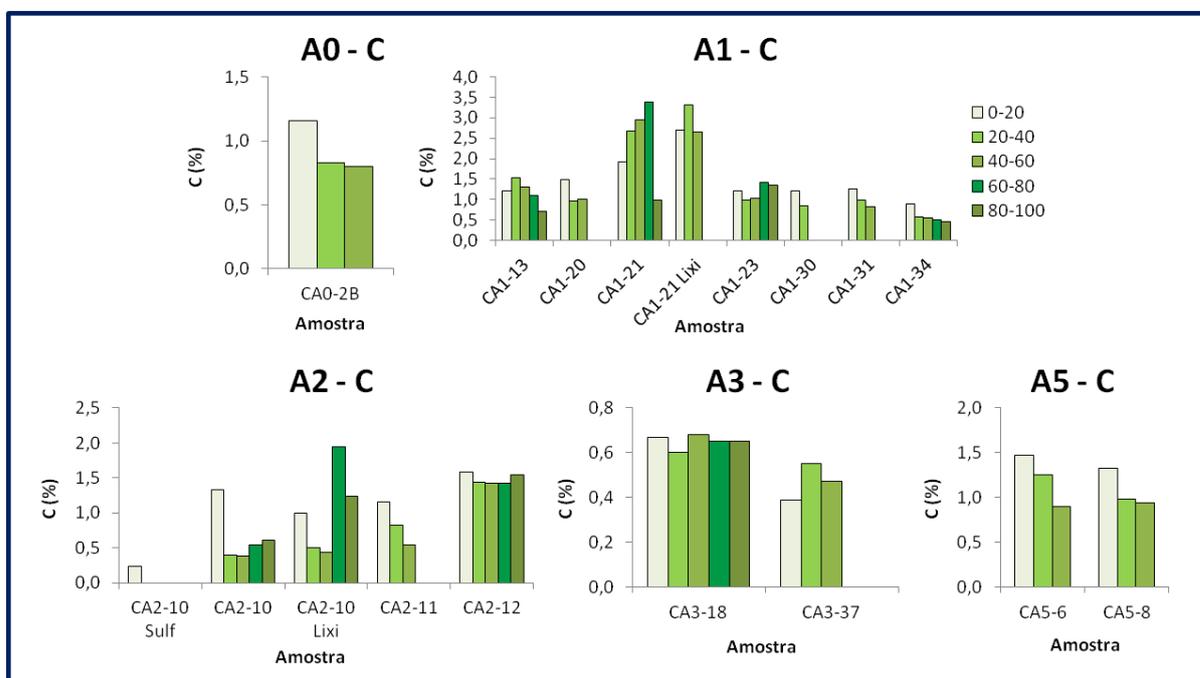


Figura 5.60: Percentagem de carbono total obtida nas aluviões por análise elemental.

5.2.5.2. Azoto

A análise do azoto nos sedimentos e nas aluviões é muito importante pois a sua mobilização, dissolução e passagem para as águas (superficiais ou subterrâneas) pode ter impactos na sua qualidade. Uma elevada concentração de azoto pode ser associada a contaminações por efluentes domésticos ou industriais, essencialmente associados à indústria agropecuária (Resende, 2002). Um enriquecimento excessivo deste nutriente pode levar à eutrofização das águas (Resende, 2002), especialmente se se formarem pegos durante a época seca no córrego, como acontece na área em estudo.

As Figuras 5.61 e 5.62 representam as concentrações em azoto e a sua variação em profundidade para os sedimentos e as aluviões, respectivamente. Não se identificam padrões no azoto em profundidade, quer para os sedimentos, quer para as aluviões, no entanto identificam-se valores, em regra, muito inferiores nos sedimentos quando em comparação com as aluviões.

À semelhança do que foi realizado para o carbono, também para o azoto existem valores normativos no CONAMA (2012). Para este caso, podem ser aplicados os valores legislados para material a ser dragado, cujo Valor Alerta para o azoto Kjeldahl total corresponde a 4800 Mg/kg. De acordo com Pereira *et al.* (2006) teores de azoto total obtidos pelos métodos de Kjeldahl e de combustão possuem boas correlações, podendo por isso ser utilizados na determinação do azoto total. Assim, e tendo em conta as percentagens obtidas e representadas nas Figuras 5.61 e 5.62, não se esperam contaminações por azoto, quer na área em estudo, quer na área de disposição dos resíduos, em caso de dragagem.

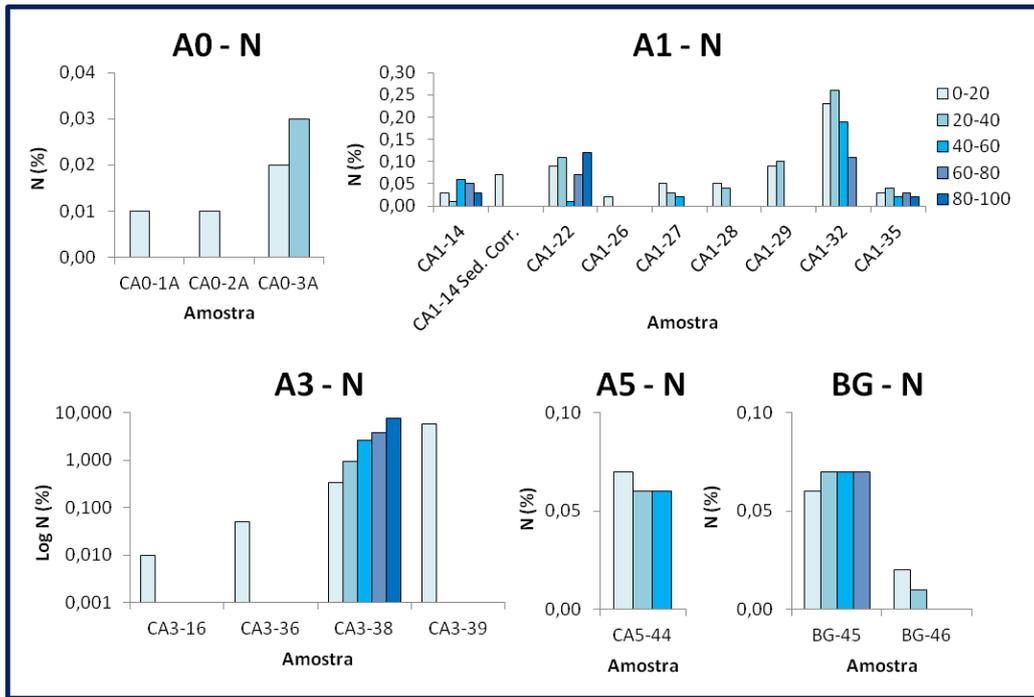


Figura 5.61: Percentagem de azoto total nos sedimentos, obtida por análise elemental.

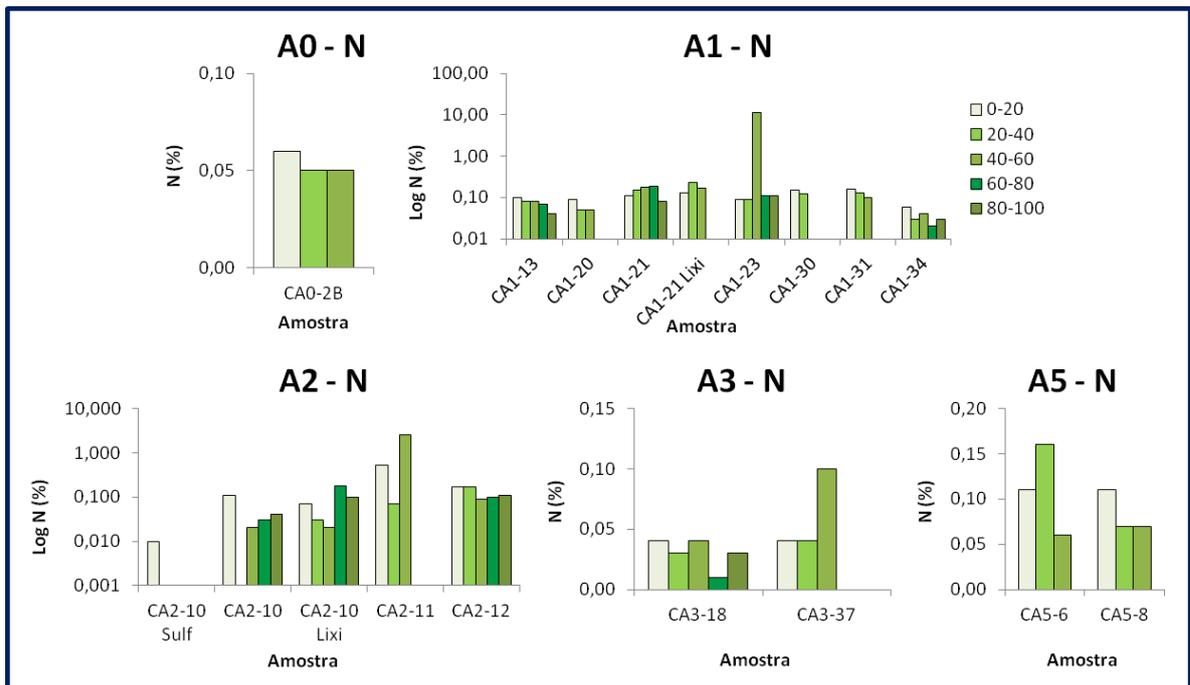


Figura 5.62: Percentagem de azoto total nas aluviões, obtida por análise elemental.

5.2.5.3. Enxofre

A análise do enxofre nas amostras da área em estudo é muito importante, tendo em conta a natureza da contaminação identificada na zona e, como já foi referido anteriormente, por parte do minério utilizado na unidade industrial de Três Marias ser de origem sulfuretada. Estes dados permitem assim, numa primeira abordagem, ser correlacionados com áreas mais contaminadas (especialmente nos dados referentes à época seca), e com a capacidade de degradação dos sulfuretos.

Deste modo, nas Figuras 5.63 e 5.64 apresentam-se os valores obtidos por análise elementar, assim como a sua variação em profundidade, para os sedimentos e para as aluviões, respectivamente.

À semelhança do que acontece para o azoto, também para o enxofre não se encontram padrões que expliquem a sua variação em profundidade. No entanto, verificam-se valores muito superiores na área A2 para as aluviões, o que se pode dever à formação de minerais sulfatados secundários, especialmente em camadas mais superficiais. Este elemento poderá ter origem em depósitos de resíduos a montante desta área, por oxidação de sulfuretos.

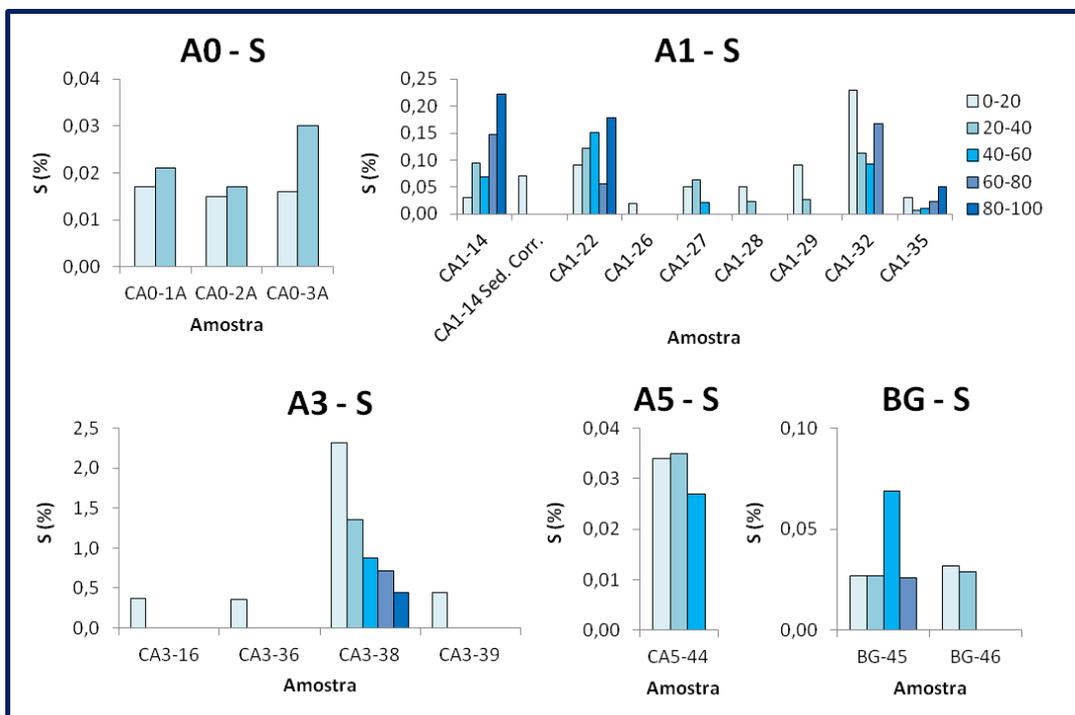


Figura 5.63: Percentagem de enxofre nos sedimentos, obtida por análise elementar.

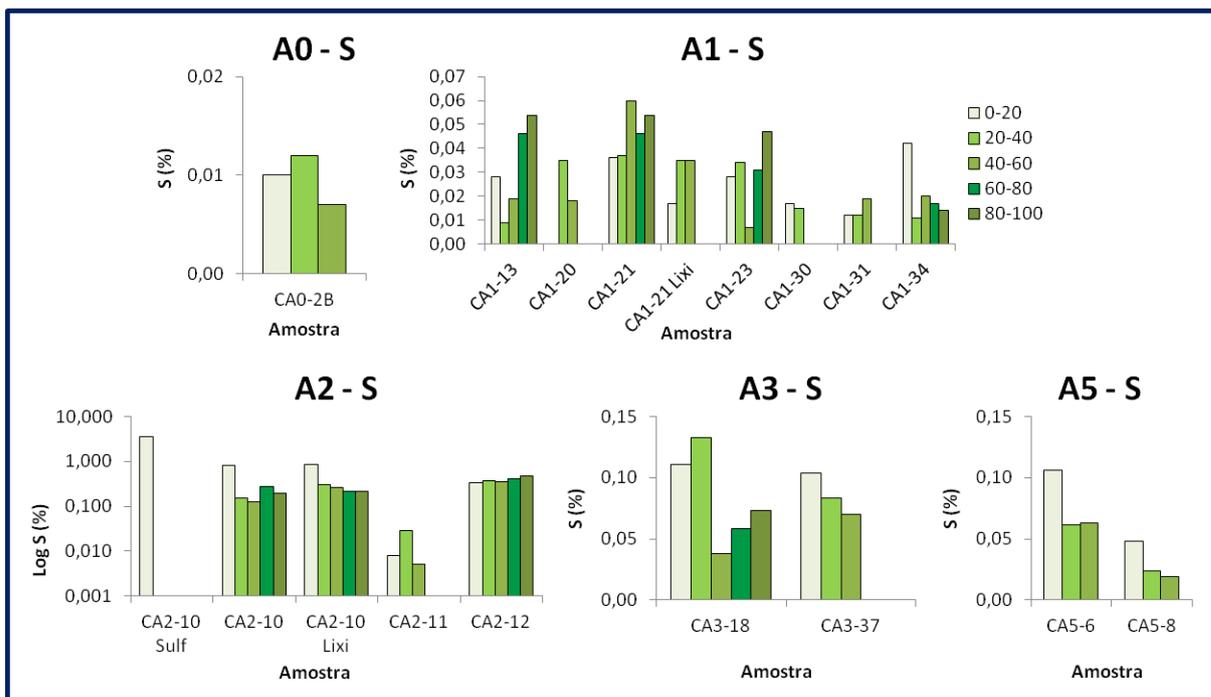


Figura 5.64: Percentagem de enxofre nas aluviões obtida por análise elementar.

5.2.6 Fósforo Total

Como o azoto, também o fósforo é um importante nutriente. No entanto, em ambientes tropicais, devido a uma forte retenção pelas partículas dos materiais sedimentares, nomeadamente óxidos de ferro, a contaminação de águas superficiais ou subterrâneas por fósforo não possui uma grande magnitude (Resende, 2002). No entanto, e por um enriquecimento em fósforo fomentar o desequilíbrio dos ecossistemas aquáticos por eutrofização (Resende, 2002), especialmente em águas menos oxigenadas, como é o caso da área em estudo durante a época seca, quando se formam pegos.

Assim, e para ser caracterizada a área em estudo acerca da concentração em fósforo, procedeu-se à sua comparação com os seus valores em profundidade, de modo a compreender-se o seu comportamento. As Figuras 5.65 e 5.66 representam os teores em fósforo determinados para os sedimentos e para as aluviões, respectivamente.

De acordo com as Figuras 5.65 e 5.66 não se identificam padrões significativos, no entanto verifica-se que para os sedimentos, as áreas A3 e A5 possuem as menores concentrações de fósforo, enquanto nas aluviões, são as áreas A0 e A3 as menos enriquecidas neste elemento. Estes valores poderão relacionar-se com a mineralogia local, uma vez que maiores quantidades

de óxidos de ferro tendem a uma maior retenção do fósforo, especialmente sob formas inorgânicas (Resende, 2002; OMAFRA, 2006; Roy *et al.*, 2006; Wardlab).

Comparando os teores obtidos com o valor alerta para o fósforo total em material dragado (CONAMA, 2012), vemos que as concentrações nas amostras se encontram muito abaixo do valor alerta de 2000 mg/kg. Deste modo, não se esperam contaminações nos sedimentos nem nas aluviões devido a um excesso de fósforo, ou enriquecimentos no depósito, caso estes materiais sejam, de facto, dragados. Estes baixos teores de fósforo estão de acordo com a origem destes materiais, resultantes da lixiviação e acumulação de resíduos da actividade de uma unidade industrial que processa minérios de zinco, não proporcionando a actividade biológica.

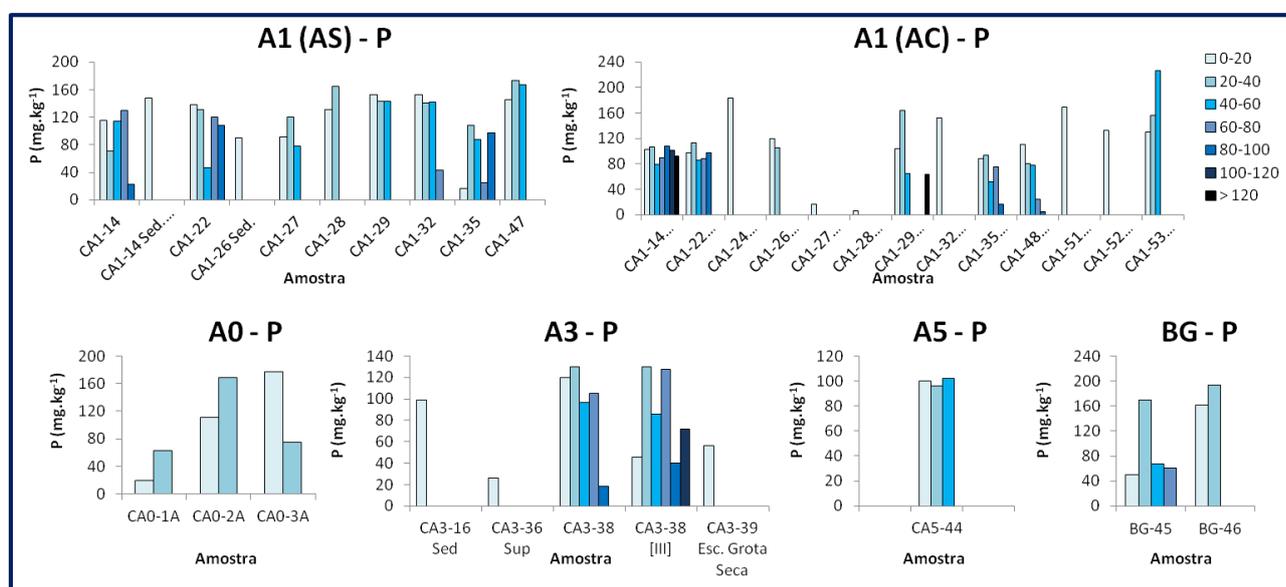


Figura 5.65: Concentração de fósforo total nos sedimentos da área em estudo.
 AS – campanha após época seca; AC – campanha após época das chuvas.

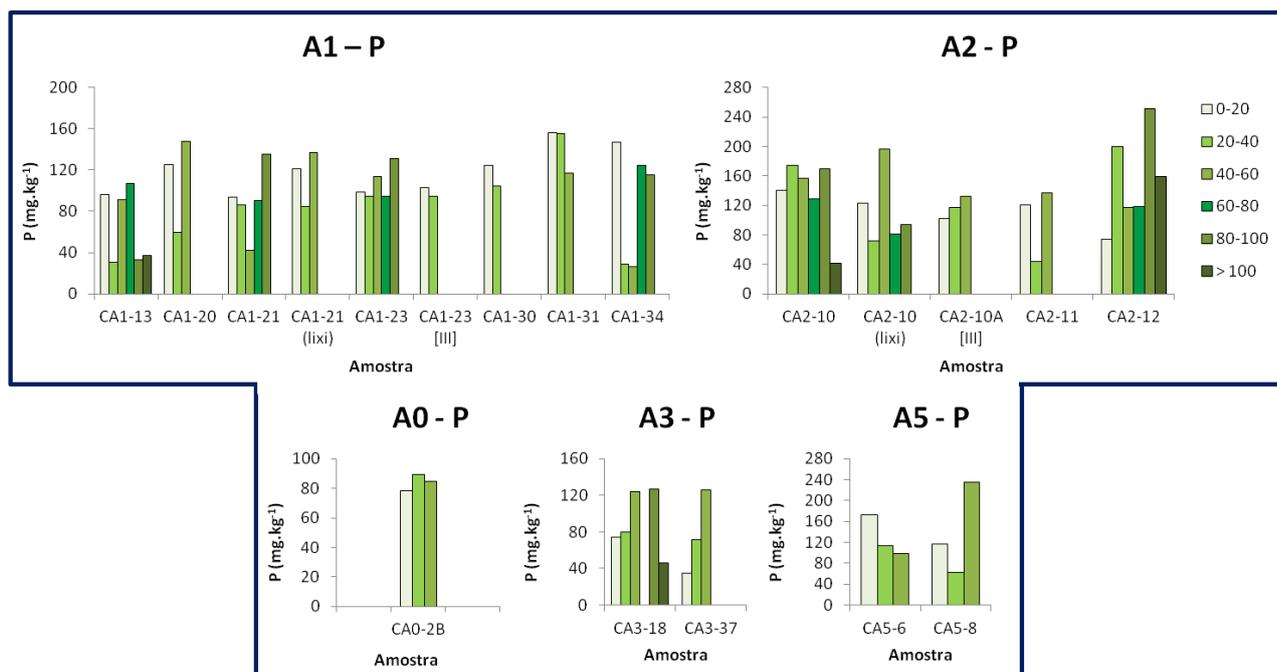


Figura 5.66: Concentração de fósforo total nas aluviões da área em estudo.

Os baixos valores da concentração de elementos que ocorrem maioritariamente sob a forma orgânica, como é o caso do azoto e fósforo e os baixos teores de carbono, poderão explicar a baixa proporção dos elementos metálicos que foram extraídos na quarta fase do método de extracção sequencial e que traduzem as fracções associados a matéria orgânica e a sulfuretos (#4). Para a maior parte dos elementos, os valores médios desta fracção são inferiores a 5% e atendendo à mineralogia dos materiais processados, a maior parte dos metais deverá estar associada a sulfuretos e não a material orgânico.

5.2.7 Textura

A textura consiste num dos primeiros passos na caracterização de materiais a serem dragados, conjuntamente com a determinação do volume de material a ser dragado e o seu peso específico (OSPAR Commission, 2009; CONAMA, 2012). A análise textural permite uma primeira indicação da coesão do material, do seu potencial de ressuspensão e velocidade de sedimentação, o que permite inferir o potencial de acumulação dos contaminantes (OSPAR Commission, 2009).

Deste modo, e de forma a classificar as amostras da área em estudo, procedeu-se à sua projeção no diagrama triangular de Shepard (Pettijohn, 1975), estando os sedimentos representados na Figura 5.67 e as aluviões na Figura 5.68.

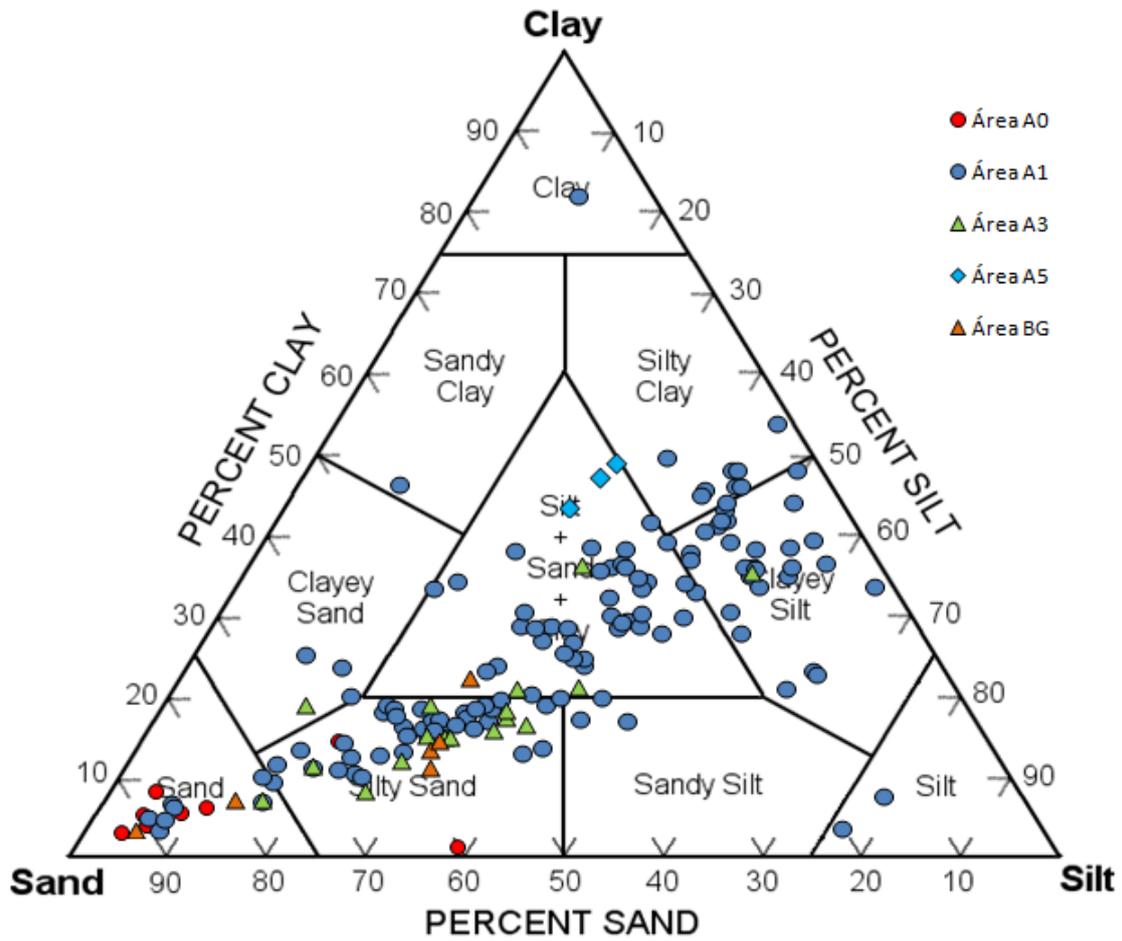


Figura 5.67: Classificação segundo o diagrama de Shepard para os sedimentos da área em estudo.

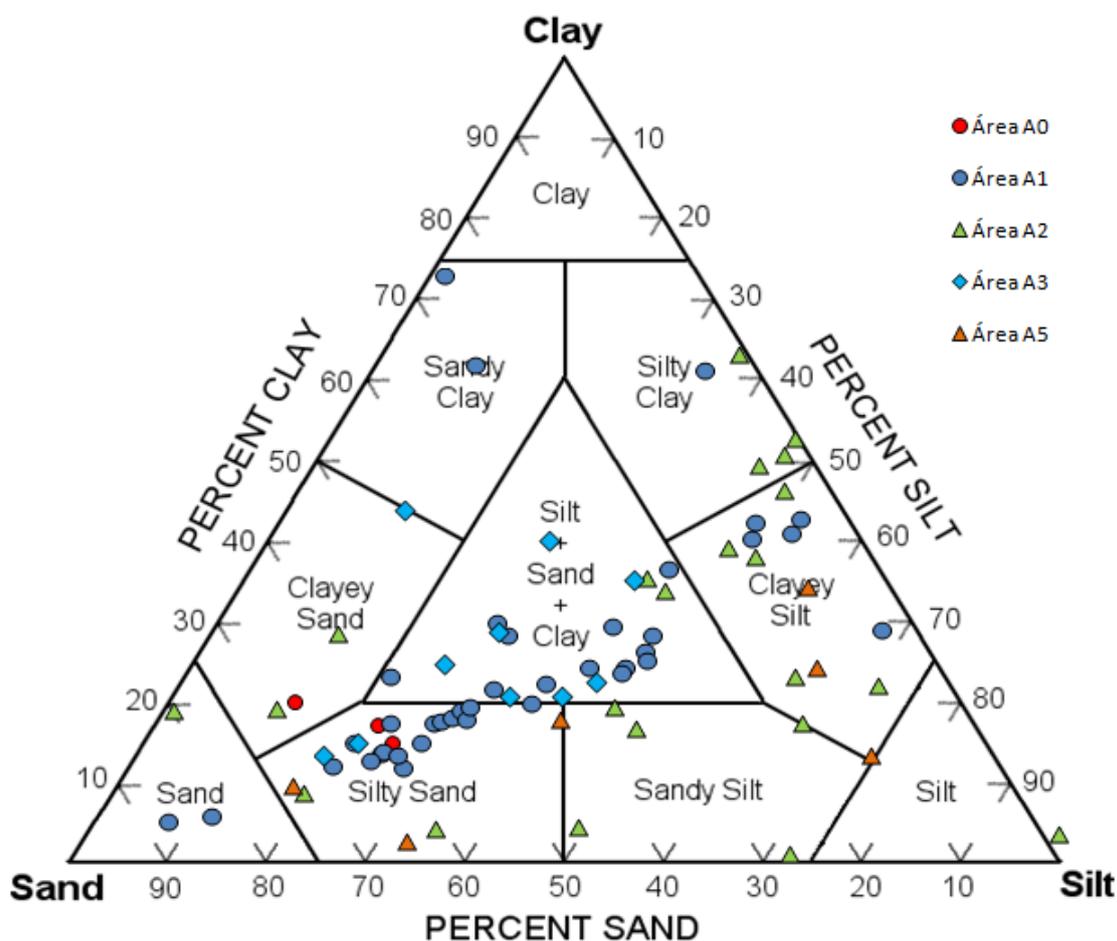


Figura 5.68: Classificação segundo o diagrama de Shepard para as aluviões da área em estudo.

Quer para os sedimentos, quer para as aluviões não se identificam padrões nas percentagens de areia, silte a argila, identificando-se as fracções arenosa e siltosa como as mais importantes na maioria das amostras. Esta grande variabilidade poderá dever-se ao clima presente na região. Sendo o regime pluviométrico muito variável ao longo do ano, será de esperar que camadas mais arenosas (ou até cascalhentas) se formem na época das chuvas, aquando do extravasamento do córrego do seu leito ordinário e do aumento do caudal, uma vez que camadas mais siltosas ou silto-argilosas se deverão depositar, especialmente nos sedimentos do córrego, em épocas mais secas, em que o caudal e a competência de transporte são menores.

5.2.8 Porosidade

A densidade aparente e a porosidade são importantes características importantes a determinar para descrever materiais a serem dragados. Estes parâmetros, aliados à percentagem de argila, fornecem indicações acerca da consolidação do material, o que é extremamente importante para a determinação do tipo de remediação a utilizar e, para o caso específico da dragagem, na escolha da draga mais apropriada (OSPAR Commission, 2009).

Procedeu-se então à comparação da porosidade das amostras com o seu teor em argila, de forma a determinar se existe uma correlação entre estes dois parâmetros. Assim, representam-se estes resultados nas Figuras 5.69 e 5.70 para os sedimentos e nas Figuras 5.71 e 5.72 para as aluviões.

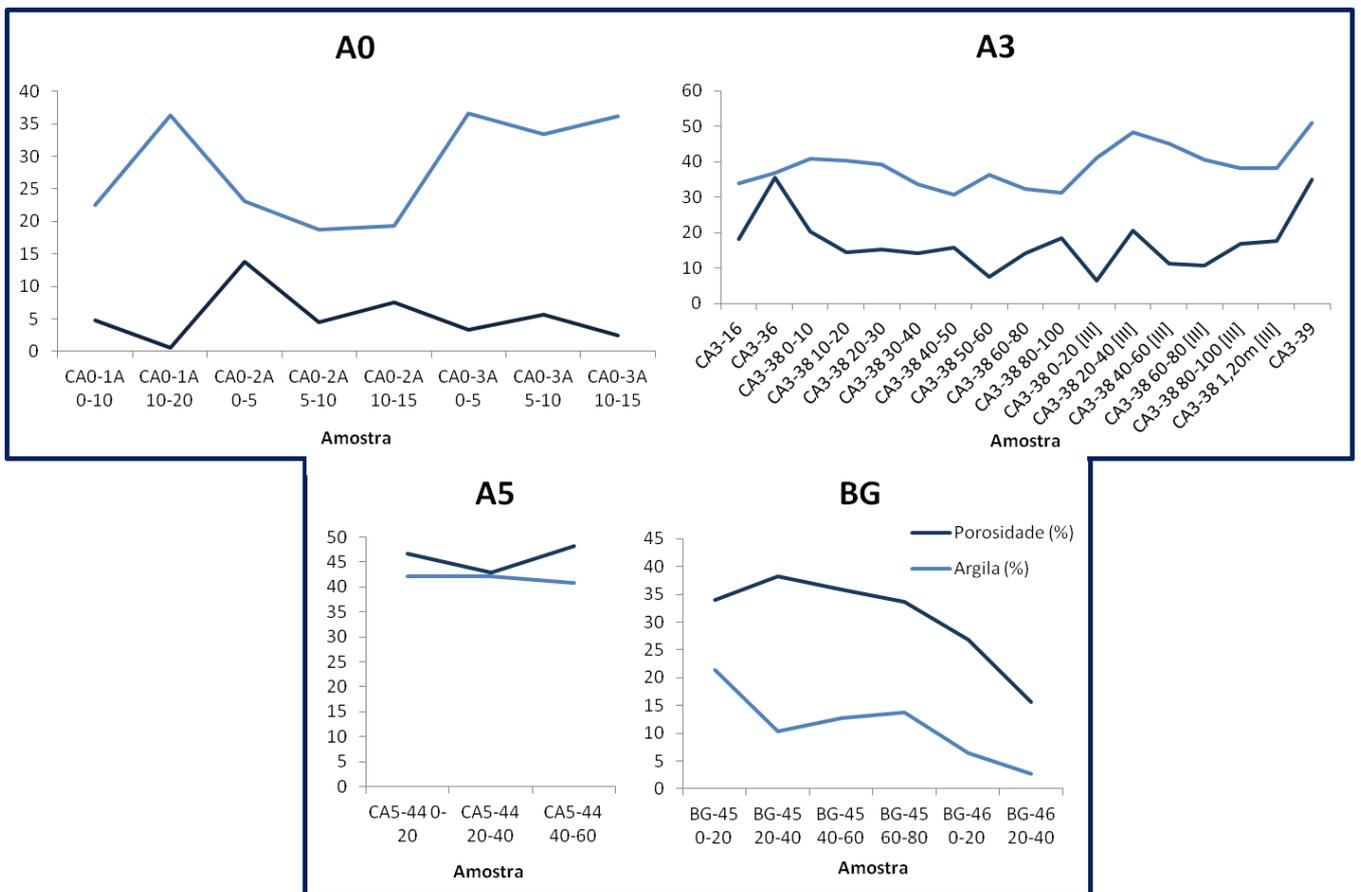


Figura 5.69: Relação entre a porosidade e a percentagem de argila nos sedimentos das áreas A0, A3, A5 e BG.

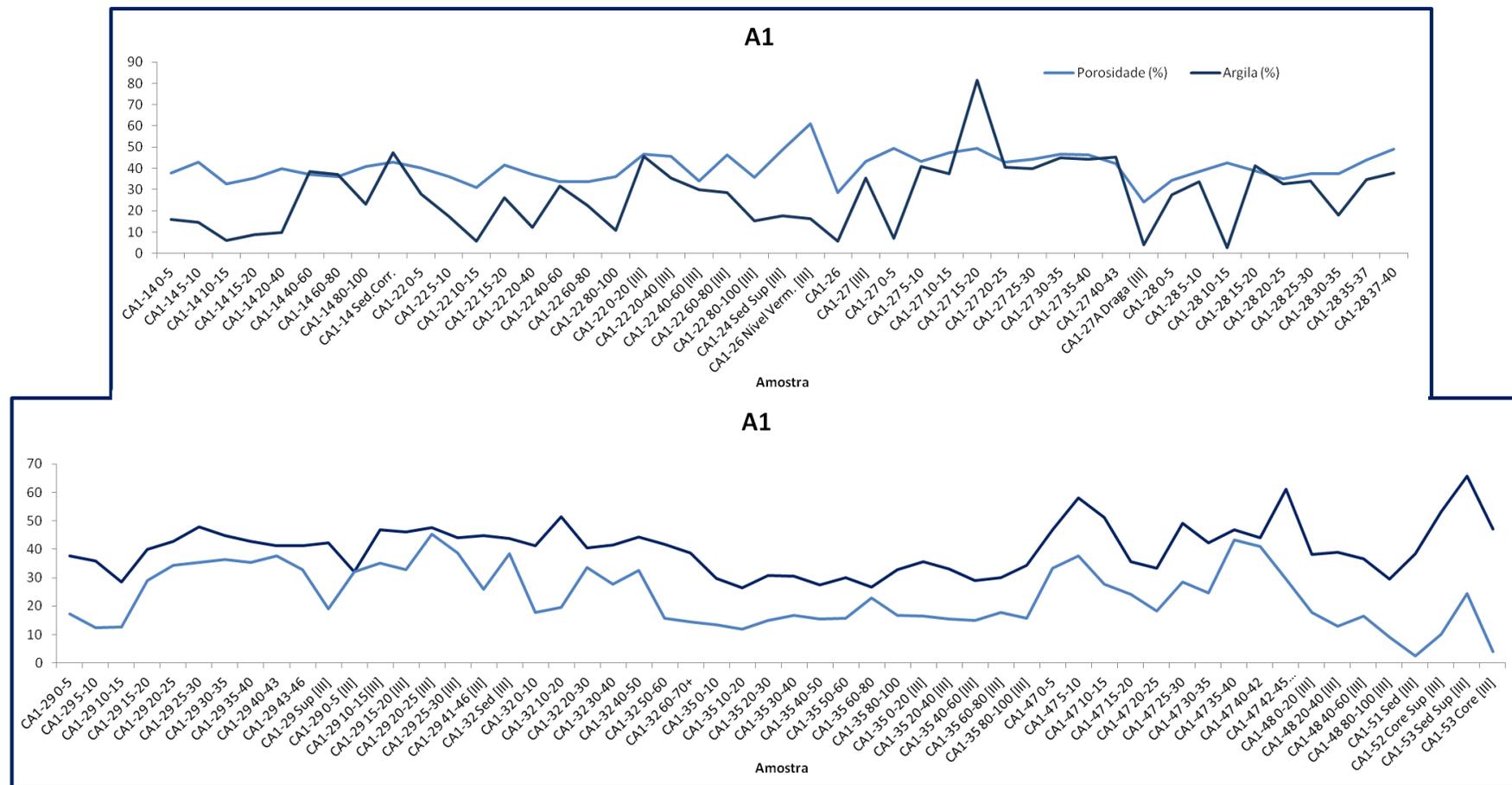


Figura 5.70: Relação entre a porosidade e a percentagem de argila nos sedimentos da área A1.

Tanto nos sedimentos como nas aluviões, apesar de esta relação não ser nítida, é possível estabelecer uma tendência de aumento na percentagem de argila com o aumento da porosidade, e vice-versa, o que evidencia uma porosidade maioritariamente à escala microscópica. Este comportamento é visível nas áreas A1 (especialmente no gráfico inferior na Figura 5.70), A3 e BG para os sedimentos e nas aluviões nas áreas A1, A3 e A5. No entanto, este comportamento nem sempre é notório, pois existem outras variáveis, para além da percentagem em argila, que também influenciam a porosidade, como as percentagens de balastro, areia e silte nas amostras (macroporosidade), o seu grau de empacotamento, e a sua forma (o que se relaciona com o seu transporte sedimentar) (Sander, 2002).

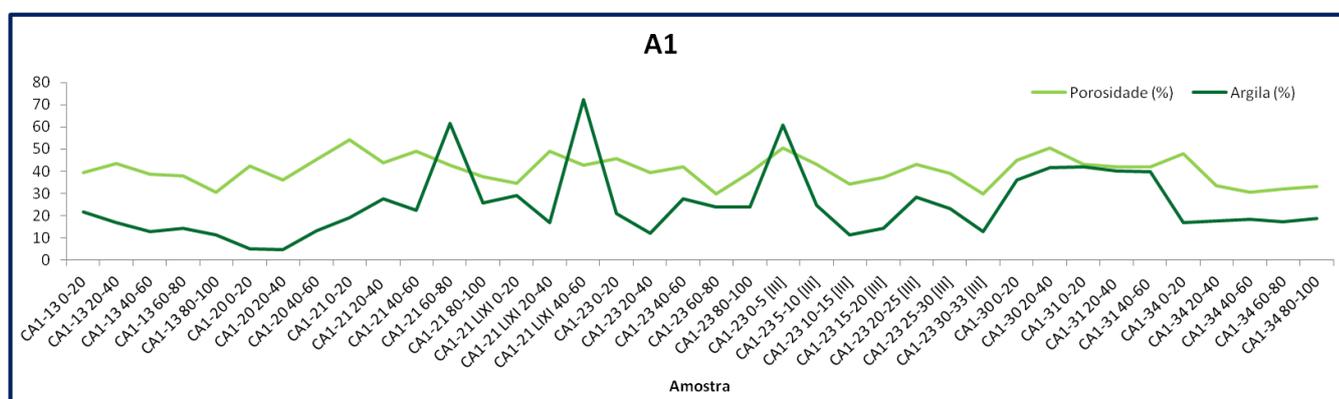


Figura 5.71: Relação entre a porosidade e a percentagem de argila nas aluviões da área A1.

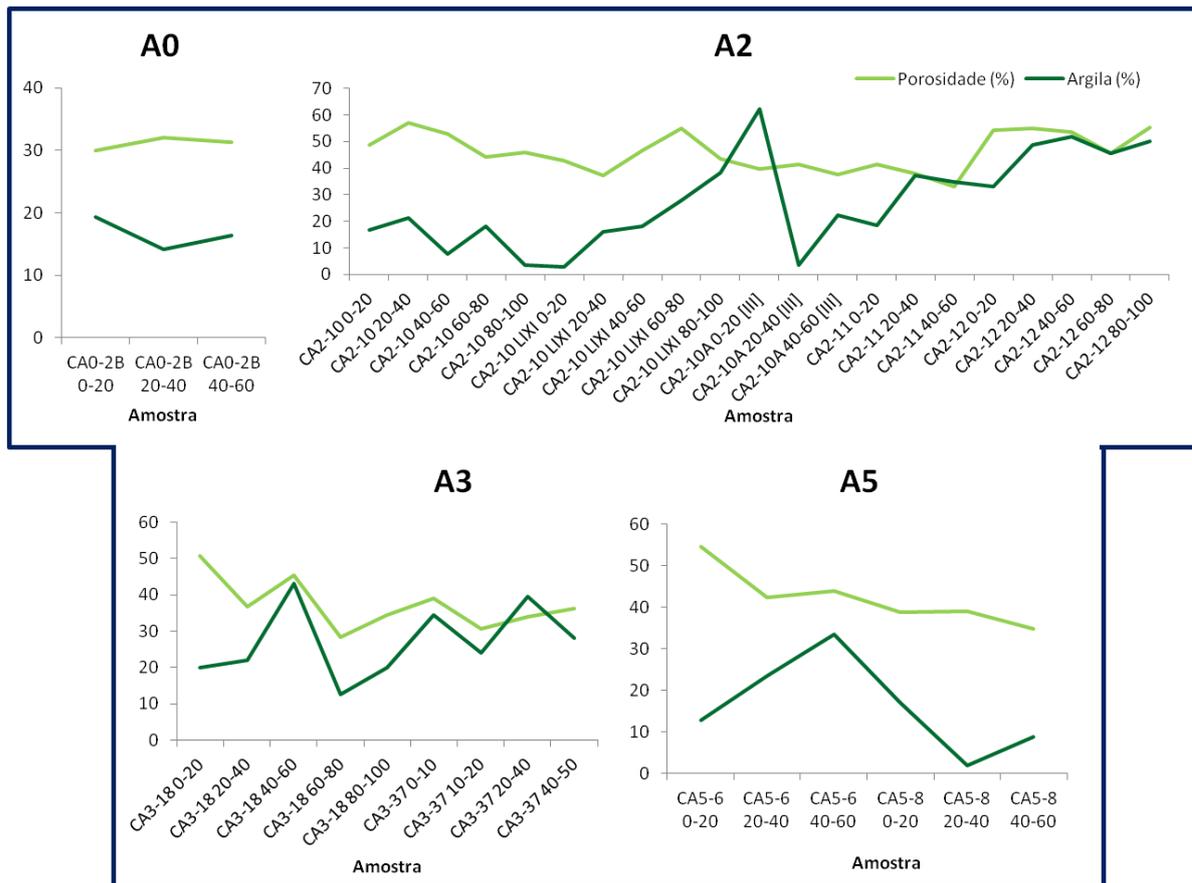


Figura 5.72: Relação entre a porosidade e a percentagem de argila nas aluviões das áreas A0, A2, A3 e A5.

5.3 Ensaio-Piloto para a Avaliação do Efeito da Dragagem no Córrego

5.3.6 Ensaio de Fundo e Superfície

As características dos ensaios de fundo e superfície realizados encontram-se referidos nos procedimentos laboratoriais (ver Metodologias). Foram assim separadas as fracções dissolvida e particulada, por agitação das amostras com a água do córrego colhida no mesmo ponto de amostragem durante um período que se considerou de equilíbrio entre as duas fases, conforme foi comprovado nos ensaios de lixiviação (24 horas), sendo possível determinar os principais elementos químicos associados a cada fase e a sua perigosidade.

Estes ensaios correspondem assim a condições extremas de remeximento do material, de forma a determinar os teores máximos de metais remobilizados e qual a principal forma em que ocorrem, com o objectivo de determinar a perigosidade de métodos de recuperação ambiental muito invasivos, como é o caso da dragagem.

Representam-se nas Figuras 5.73 e 5.74 os valores obtidos na fracção dissolvida para os principais elementos, imediatamente após agitação dos materiais sedimentares com água, comparando-os com os limites legislados para águas superficiais de Classe 2 (CONAMA, 2012). É possível verificar que, para em muitas amostras, os teores dissolvidos são superiores no ensaio de fundo, quando comparados com o ensaio de superfície, o que se poderá dever à passagem destes elementos para a fracção particulada, através de mecanismos de adsorção, fixação e/ou co-precipitação. Excepções a este comportamento identificam-se para o arsénio, cádmio, cobalto e ferro.

Verificam-se ainda claras violações aos níveis legais, quer no ensaio de superfície, quer no ensaio de fundo, para o cádmio, o cobre, o manganês, o chumbo e o zinco, identificando-se ainda violações pontuais para o cobalto (nas amostras CA1-48 60-80 e CA1-53), e para o alumínio (na amostra CA1-53 no ensaio de fundo). Verificam-se ainda valores dissolvidos muito baixos para o crómio, o ferro e o níquel, o que evidencia a sua relativa imobilidade em água, já identificada nos ensaios de lixiviação e extracção sequencial.

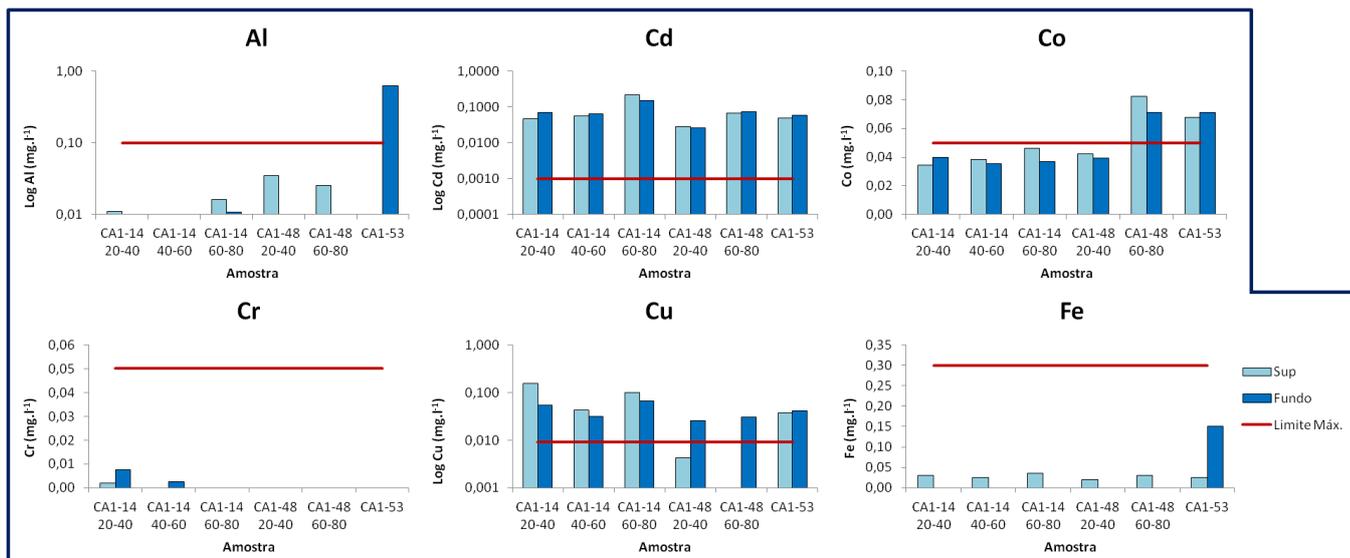


Figura 5.73: Comparação da fracção dissolvida nos ensaios de fundo e superfície com o valor máximo permitido para águas superficiais de Classe 2 (CONAMA, 2012). Estes valores correspondem ao período imediatamente após agitação dos materiais sedimentares com água.

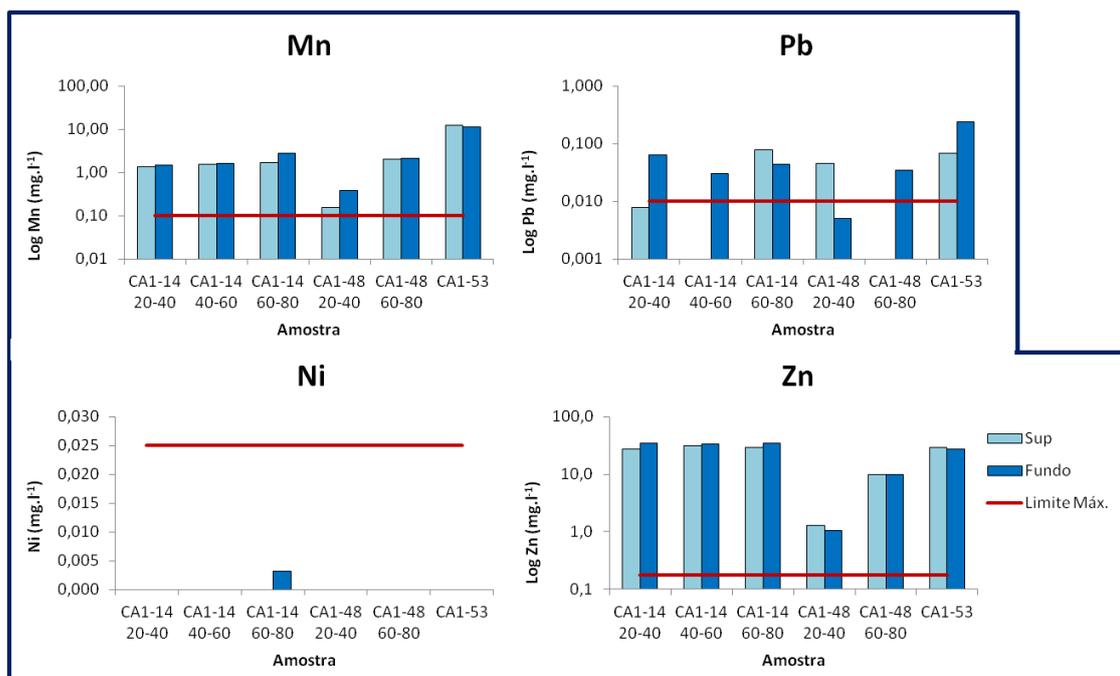


Figura 5.74: Comparação da fracção dissolvida nos ensaios de fundo e superfície com o valor máximo permitido para águas superficiais de Classe 2 (CONAMA, 2012). Estes valores correspondem ao período imediatamente após agitação dos materiais sedimentares com água.

A representação dos teores obtidos para a fracção particulada logo após agitação dos materiais sedimentares com água, encontram-se nas Figuras 5.75 e 5.76. À semelhança do que acontece para a fracção dissolvida, também na fracção particulada é no ensaio de fundo que se encontram os teores mais elevados, o que seria de esperar, pois é junto ao sedimento que ocorre uma maior remobilização

de material sólido. Deste modo, identificam-se valores na fracção particulada muito elevados para o ferro, o manganês, o chumbo e o zinco. Estes elevados teores não correspondem a fracções facilmente solubilizáveis mas sim a fracções relativamente estáveis, cujo remeximento não levou à sua libertação para a fase dissolvida.

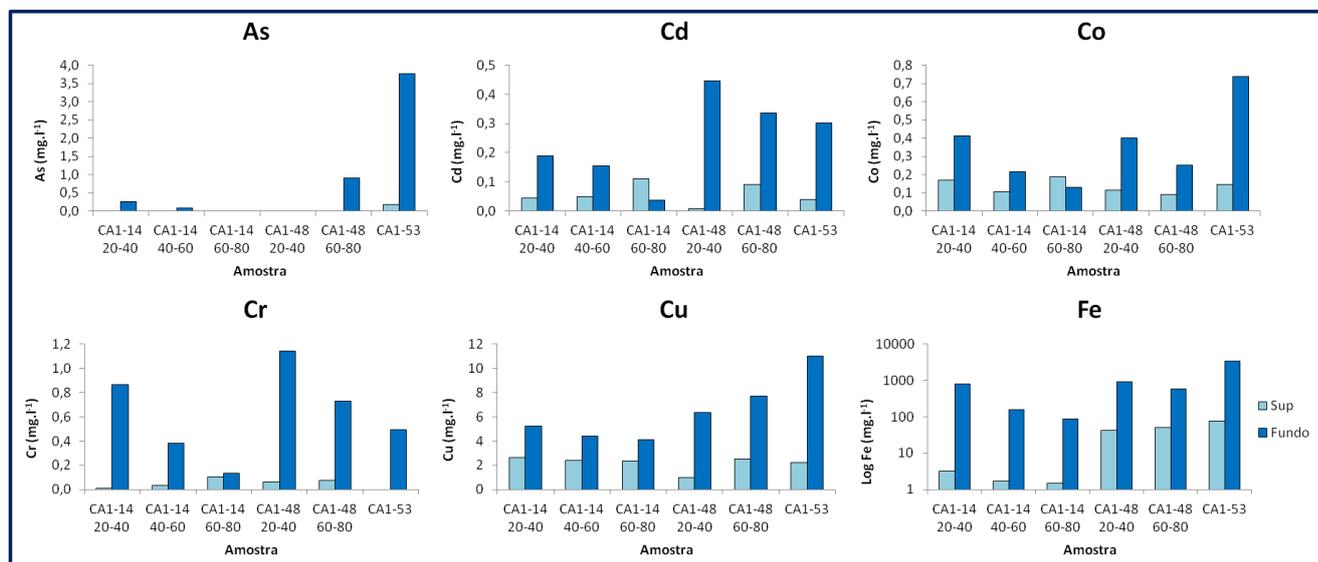


Figura 5.75: Comparação para a fracção particulada dos teores obtidos nos ensaios de fundo e superfície. Estes valores correspondem ao período imediatamente após agitação dos materiais sedimentares com água.

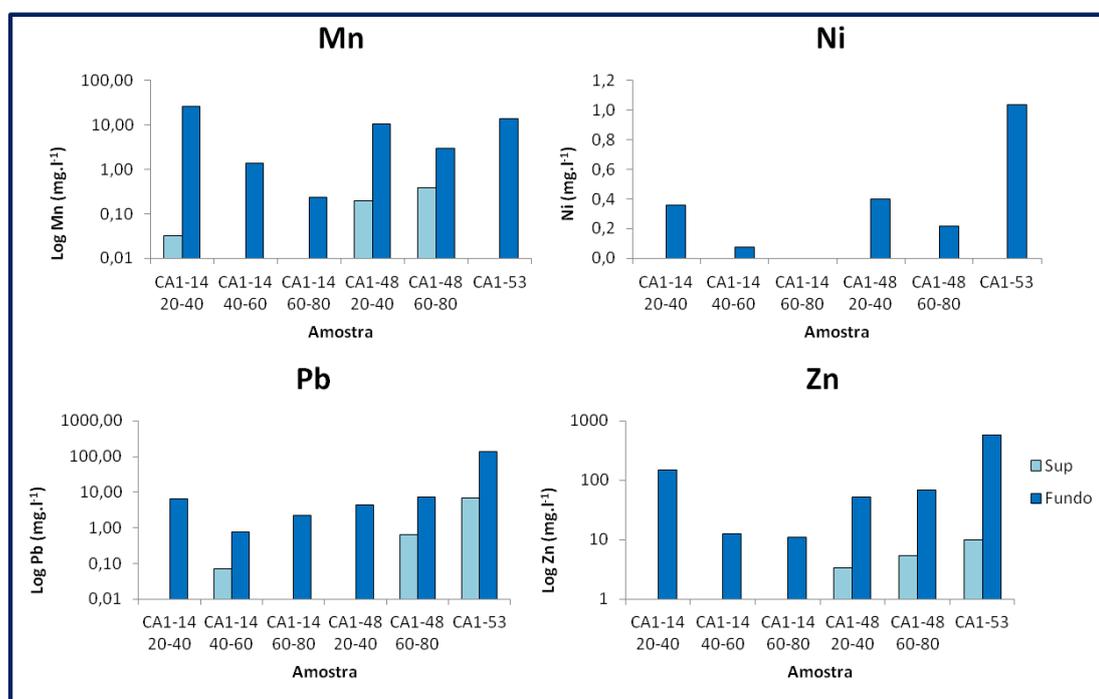


Figura 5.76: Comparação para a fracção particulada dos teores obtidos nos ensaios de fundo e superfície. Estes valores correspondem ao período imediatamente após agitação dos materiais sedimentares com água.

Deste modo, e para mais facilmente se compararem as fracções dissolvida e particulada e determinar os elementos químicos ambientalmente mais perigosos no caso de um remeximento intenso do material sedimentar, representaram-se nas Figuras 5.77 e 5.78 os principais elementos metálicos e a sua distribuição nestas duas fracções, quer no ensaio de superfície, quer no ensaio de fundo.

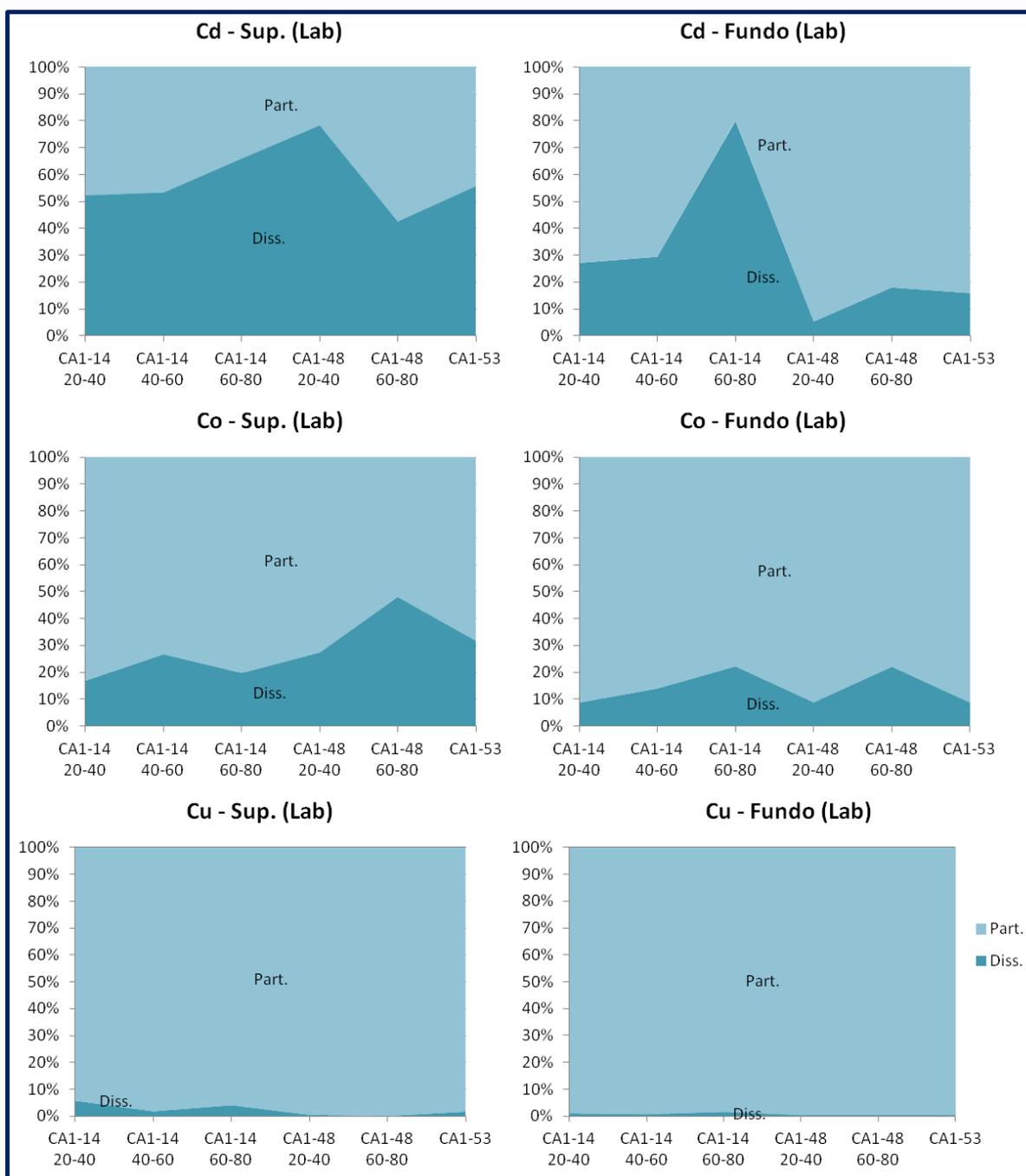


Figura 5.77: Fracções dissolvida e particulada para o cádmio, cobalto e cobre nos ensaios de fundo e superfície. Estes valores correspondem ao período imediatamente após agitação dos materiais sedimentares com água.

Na Figura 5.77 verifica-se que o cádmio se encontra, no ensaio de superfície, igualmente nas fracções dissolvida e particulada, verificando-se apenas para as amostras CA1-14 60-80 e CA1-48 um aumento na fracção dissolvida. No ensaio de fundo, encontra-se maioritariamente sob a forma particulada (o que se poderá dever também à maior concentração de partículas), à excepção da amostra CA1-14 60-80, onde se encontra aproximadamente 80% do total analisado na fracção dissolvida. Por seu lado, o cobalto identifica-se quer no ensaio de superfície, quer no ensaio de fundo essencialmente na fracção particulada, verificando-se apenas uma maior porção da fracção dissolvida para o ensaio de superfície (sempre inferior a 50%). Por fim, o cobre encontra-se na sua grande maioria na fracção particulada, sendo a fracção dissolvida ligeiramente superior no ensaio de superfície (fracções dissolvidas sempre inferiores a 10%).

Na Figura 5.78 verifica-se que, para o ferro, as fracções particuladas são dominantes, verificando-se valores muito inferiores a 10% para a fracção dissolvida. No entanto, o manganês encontra-se essencialmente na fracção dissolvida, especialmente no ensaio de superfície. No ensaio de fundo verifica-se que as amostras entre os 20 e 40 cm (CA1-14 e CA1-48) apresentam teores particulados muito superiores aos dissolvidos, o que poderá relacionar-se com episódios de precipitação de fases minerais relativamente estáveis ricas em manganês. Por sua vez verificam-se elevados teores de manganês na fracção dissolvida nas amostras CA1-14 40-60 e 60-80 e percentagens de 40 a 50% na fracção dissolvida nas amostras CA1-48 60-80 e CA1-53. Para o zinco verificam-se elevadas percentagens relacionadas à fracção dissolvida, sendo a fracção particulada dominante apenas para a amostra CA1-48 20-40 no ensaio de superfície. No ensaio de fundo, verificam-se valores particulados muito elevados, especialmente nas amostras CA1-14 20-40, CA1-48 e CA1-53, encontrando-se o zinco, nas amostras CA1-14 40-60 e CA1-14 60-80, maioritariamente na fracção dissolvida.

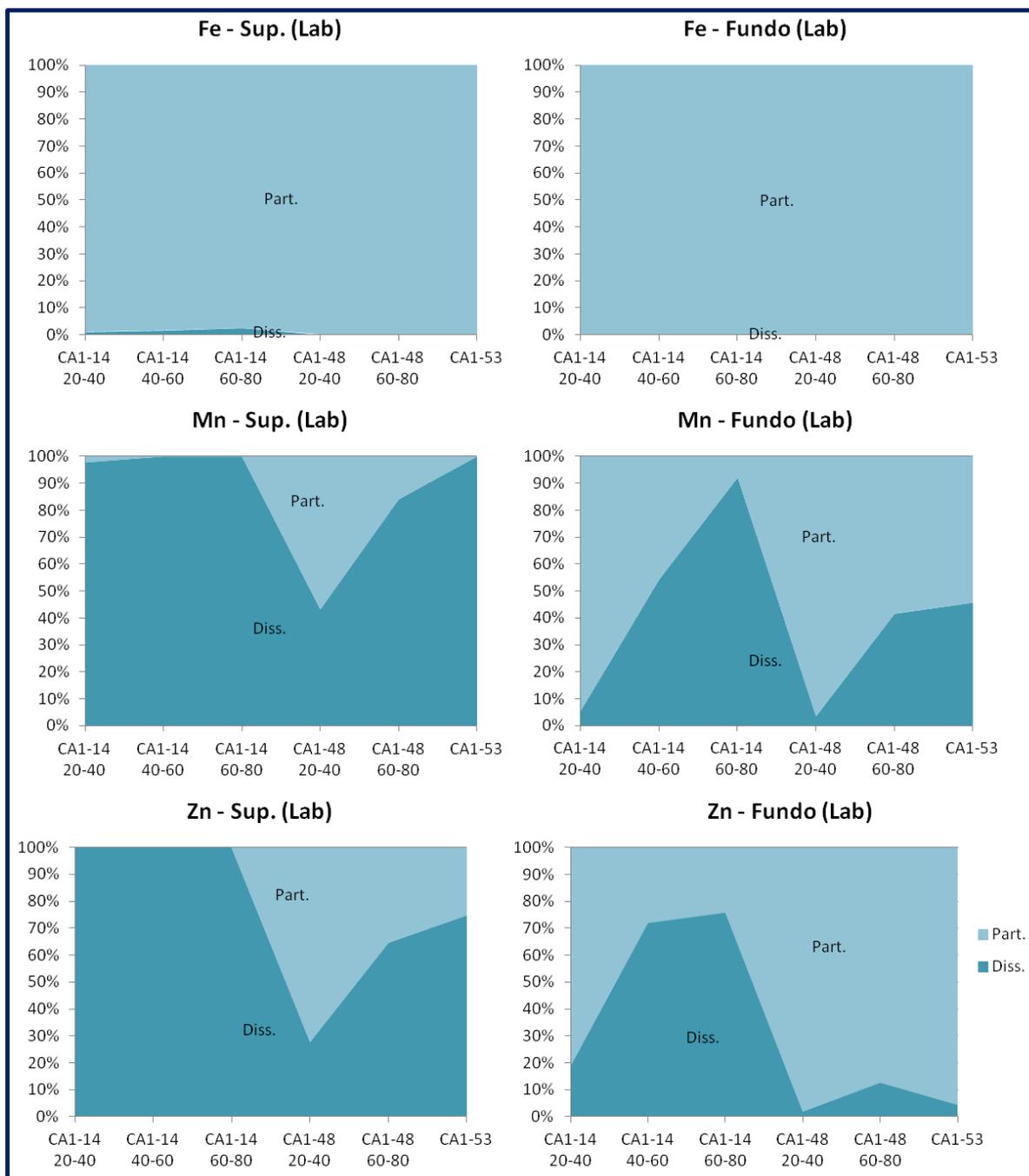


Figura 5.78: Fracções dissolvida e particulada para o ferro, manganês, e zinco nos ensaios de fundo e superfície. Estes valores correspondem ao período imediatamente após agitação dos materiais sedimentares com água.

Em suma, identificam-se como elementos ambientalmente mais perigosos aqueles cuja fracção dissolvida é superior, pois é nesta fracção que se concentram as fases mais facilmente solubilizáveis em água. Assim, destacam-se o cádmio, o manganês e o zinco, quer à superfície, quer junto ao fundo, e o cobre e o chumbo, pelos valores obtidos acima do limite legislado na fracção dissolvida.

Comparando estes dados com os obtidos em outros ensaios químicos, os elementos que existem em maior proporção na fase dissolvida e que ultrapassam significativamente os limites propostos para a qualidade de águas superficiais de Classe 2 (CONAMA, 2012), o zinco, o cádmio e o

manganês, são os elementos que ocorrem maioritariamente associados às fracções minerais mais lábeis extraídas sequencialmente e os elementos que são mais facilmente lixiviados (dados obtidos através dos ensaios de lixiviação).

5.3.7 Ensaios de Turbidez

Os ensaios de turbidez foram realizados de forma a complementarem os ensaios de fundo e superfície discutidos anteriormente. Será uma conjugação dos dados referentes a todos estes ensaios que permitirão compreender a disponibilidade dos principais elementos metálicos. Os procedimentos utilizados durante este ensaio já foi discutidos e encontram-se no capítulo das Metodologias.

Dado que se fizeram colheitas de água em diferentes períodos após a agitação das amostras, pretendeu-se igualmente verificar a evolução da remobilização dos metais ao longo do tempo, de forma a conhecer qual o período temporal durante o qual a água do córrego fica imprópria após os processos de dragagem e durante o qual o córrego deverá ser selado relativamente ao rio São Francisco.

Deste modo, apresentam-se nas Figuras 5.79 e 5.80 a variação dos teores dos principais elementos analisados, ao longo do tempo do ensaio. De um modo geral, verifica-se uma tendência decrescente em alguns dos elementos analisados (como é o caso do cobre ou do níquel), o que poderá ocorrer por se associarem a material particulado e, por isso, decantarem. Este facto está de acordo com as principais formas químicas em que ambos os elementos ocorrem estando mais de 50% destes metais associados a partículas de óxidos de ferro cristalinos e amorfos, de difícil solubilização. Identificam-se ainda alguns elementos (como o manganês ou o zinco) que se mantém constantes na fracção dissolvida ao longo da duração do ensaio. Nos ensaios de extracção sequencial foi verificado que estes elementos se encontram maioritariamente associados a formas mais lábeis, nomeadamente fase solúvel, como catiões de troca e associados a óxidos de manganês. Verificam-se ainda comportamentos instáveis ao longo da duração do ensaio, como é o caso do cobalto ou do chumbo, em que se verificam súbitos decréscimos e aumentos nas concentrações medidas. Este último caso poderá ocorrer devido a pequenas variações nos parâmetros físico-químicos, nomeadamente o pH, que poderão solubilizar ou precipitar fases minerais específicas. Verifica-se ainda, para o alumínio e para o ferro uma subida nas suas concentrações ao longo do ensaio apenas nas amostras CA1-48.

É ainda possível comparar os valores obtidos nas fases solúveis com os limites legislados para águas superficiais de Classe 2 (CONAMA, 2012). Verifica-se assim que alguns dos principais elementos se encontram sempre acima do limite máximo legal, como é o caso do cádmio, do cobre,

do manganês e do zinco, por oposição a elementos como o crómio e o níquel que se encontram abaixo do nível máximo. Por outro lado, identificam-se algumas amostras que ultrapassam os valores máximos apenas durante algumas horas após o período de agitação, como são os casos em que se verificam comportamentos instáveis, ou nas amostras em que verificam subidas nos teores dissolvidos.

É ainda notório que os três contaminantes mais preocupantes nos ensaios de superfície e fundo, discutidos anteriormente, são aqueles cuja concentração ao longo dos sete dias de ensaio diminui significativamente, o que demonstra a sua elevada solubilidade.

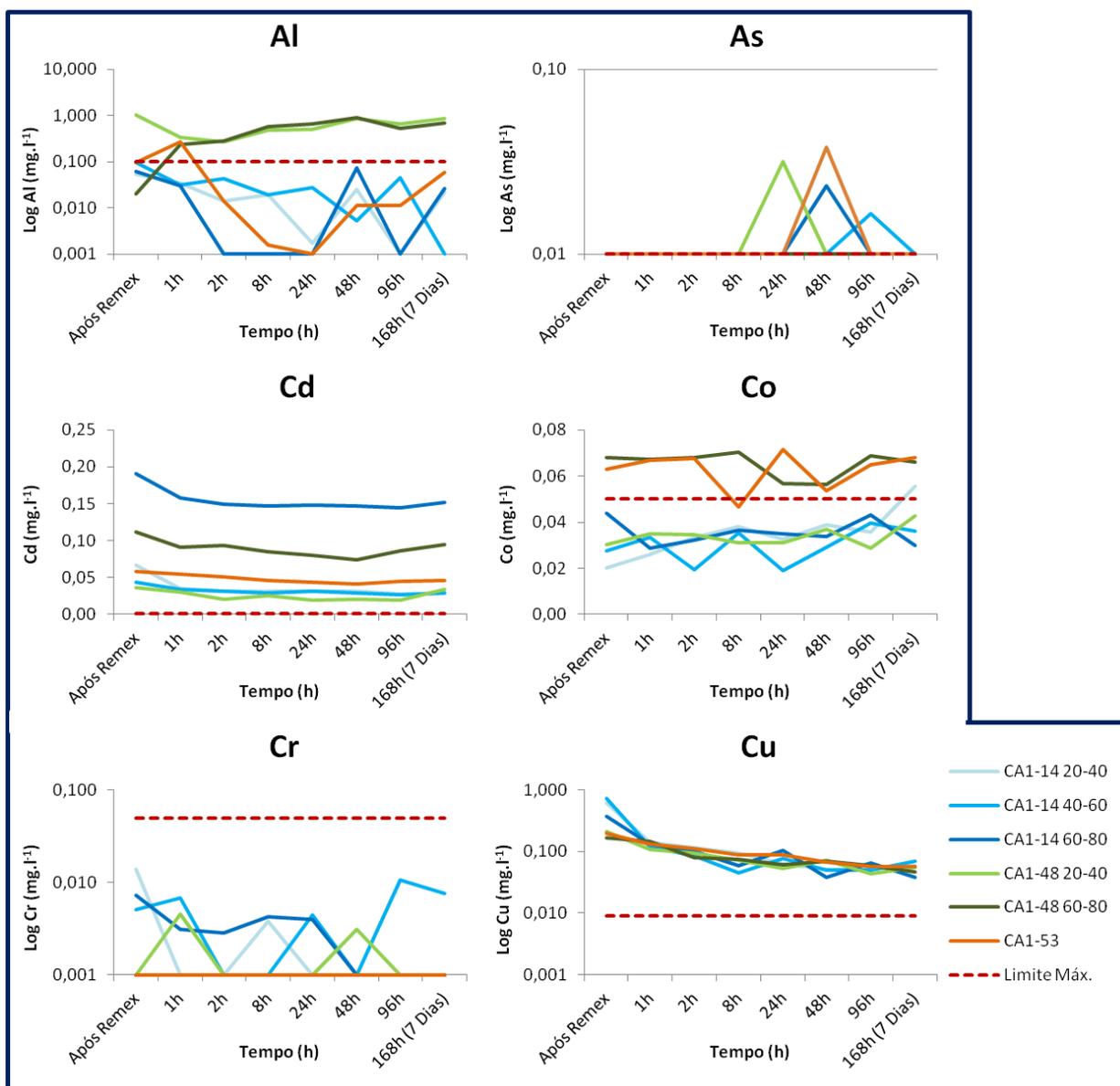


Figura 5.79: Comparação dos teores da fracção dissolvida do ensaio de turbidez com o valor máximo permitido para águas superficiais de Classe 2 (CONAMA, 2012).

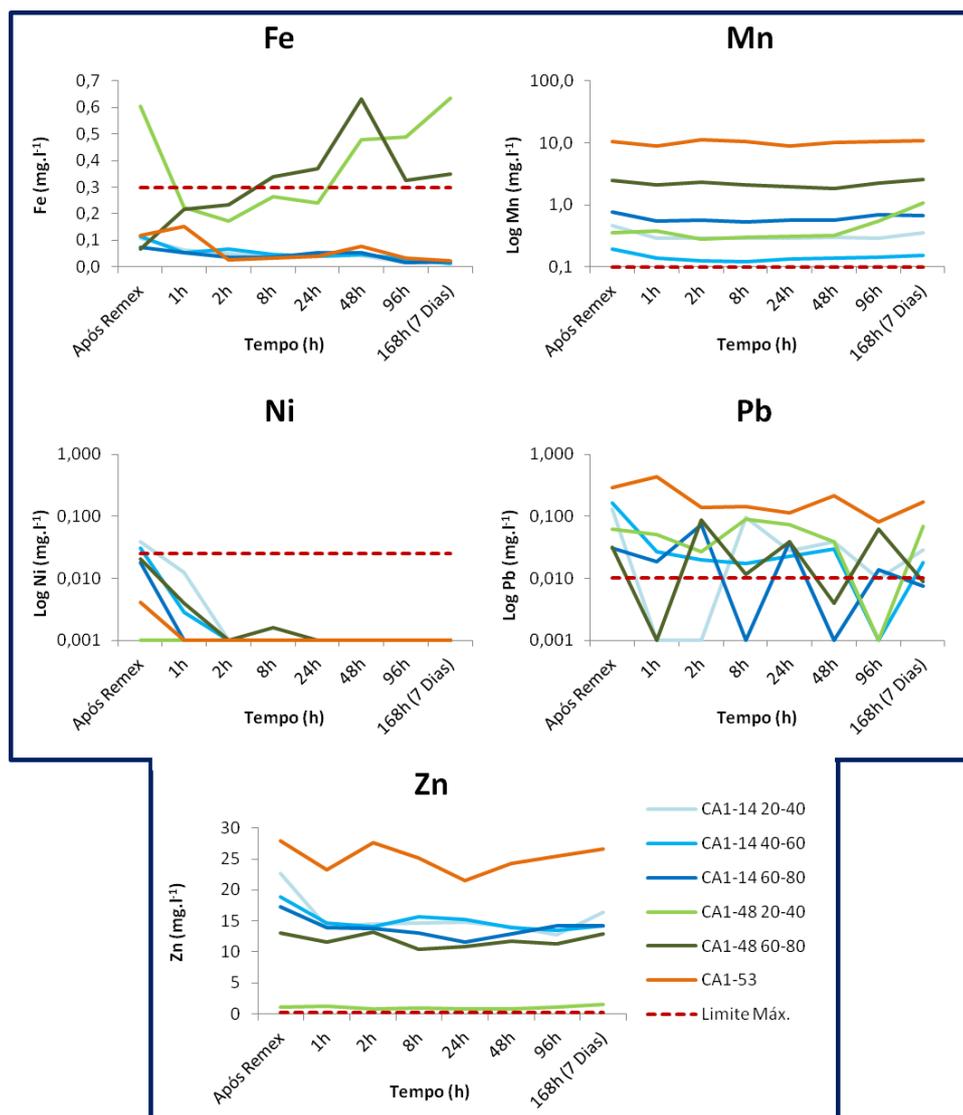


Figura 5.80: Comparação dos teores da fracção dissolvida do ensaio de turbidez com o valor máximo permitido para águas superficiais de Classe 2 (CONAMA, 2012).

Procedeu-se ainda à comparação dos valores médios e máximos na fracção dissolvida obtidos durante o ensaio de turbidez com os valores médios e máximos da fracção dissolvida das águas recolhidas nos próprios pontos de amostragem, ou o mais próximo possível (como é o caso da amostra CA1-53 em que não se procedeu à recolha de água e, portanto, foram utilizadas as águas da amostra CA1-27). Estes resultados encontram-se nas Figuras 5.81 e 5.82.

Verifica-se assim, por análise destas Figuras que, após sete dias sem remeximento das amostras, as fracções dissolvidas continuam a ser muito superiores aos valores encontrados no córrego em condições naturais, não se verificando apenas na amostra CA1-14 para o manganês e o zinco. Deste modo, e de acordo com os resultados obtidos, apenas sete dias não são suficientes para diminuir significativamente os teores na fracção dissolvida e torná-los próximos aos valores obtidos na coluna de água.

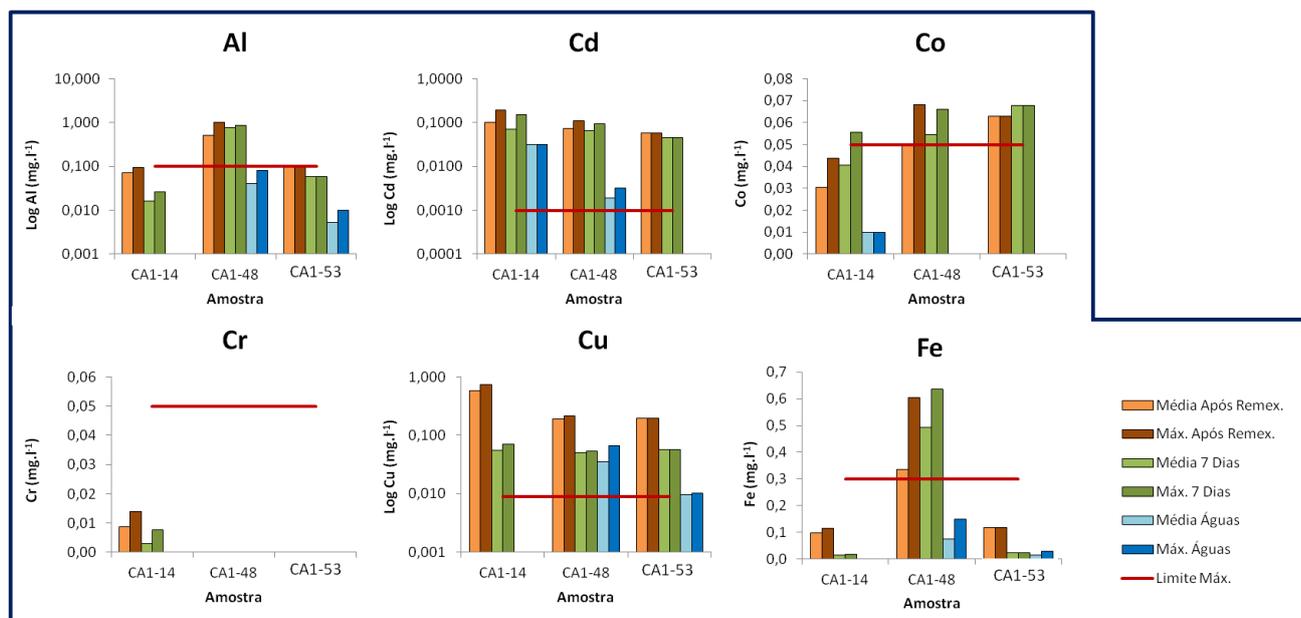


Figura 5.81: Comparação dos valores da fracção dissolvida obtidos no ensaio de turbidez (após remeximento e após 7 dias) com os valores obtidos nas amostras de água no córrego e com o valor máximo permitido para águas superficiais de Classe 2 (CONAMA, 2012).

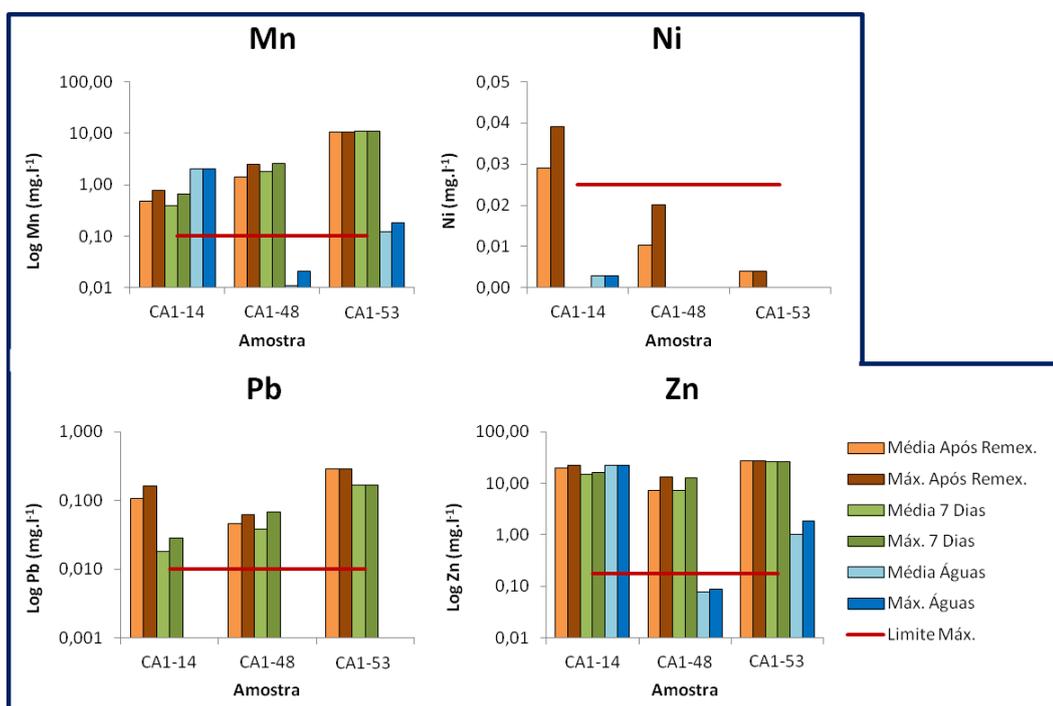


Figura 5.82: Comparação dos valores da fracção dissolvida obtidos no ensaio de turbidez (após remeximento e após 7 dias) com os valores obtidos nas amostras de água no córrego e com o valor máximo permitido para águas superficiais de Classe 2 (CONAMA, 2012).

Para além da fracção dissolvida, foram ainda determinados os teores associados à fracção particulada. A variação ao longo do ensaio de turbidez, das fracções particuladas encontram-se nas Figuras 5.83 e 5.84.

Verifica-se assim, de uma forma geral, um decréscimo ao longo do tempo, o que é notório em todos os elementos analisados. Esta diminuição corresponde ao tempo de decantação das partículas em suspensão e ocorre a diferentes velocidades nas diferentes amostras, identificando-se para as amostras CA1-14, que uma ou duas horas após o remeximento, alguns elementos deixam de ser encontrados sob a forma particulada nas águas, como o manganês, o chumbo ou o zinco.

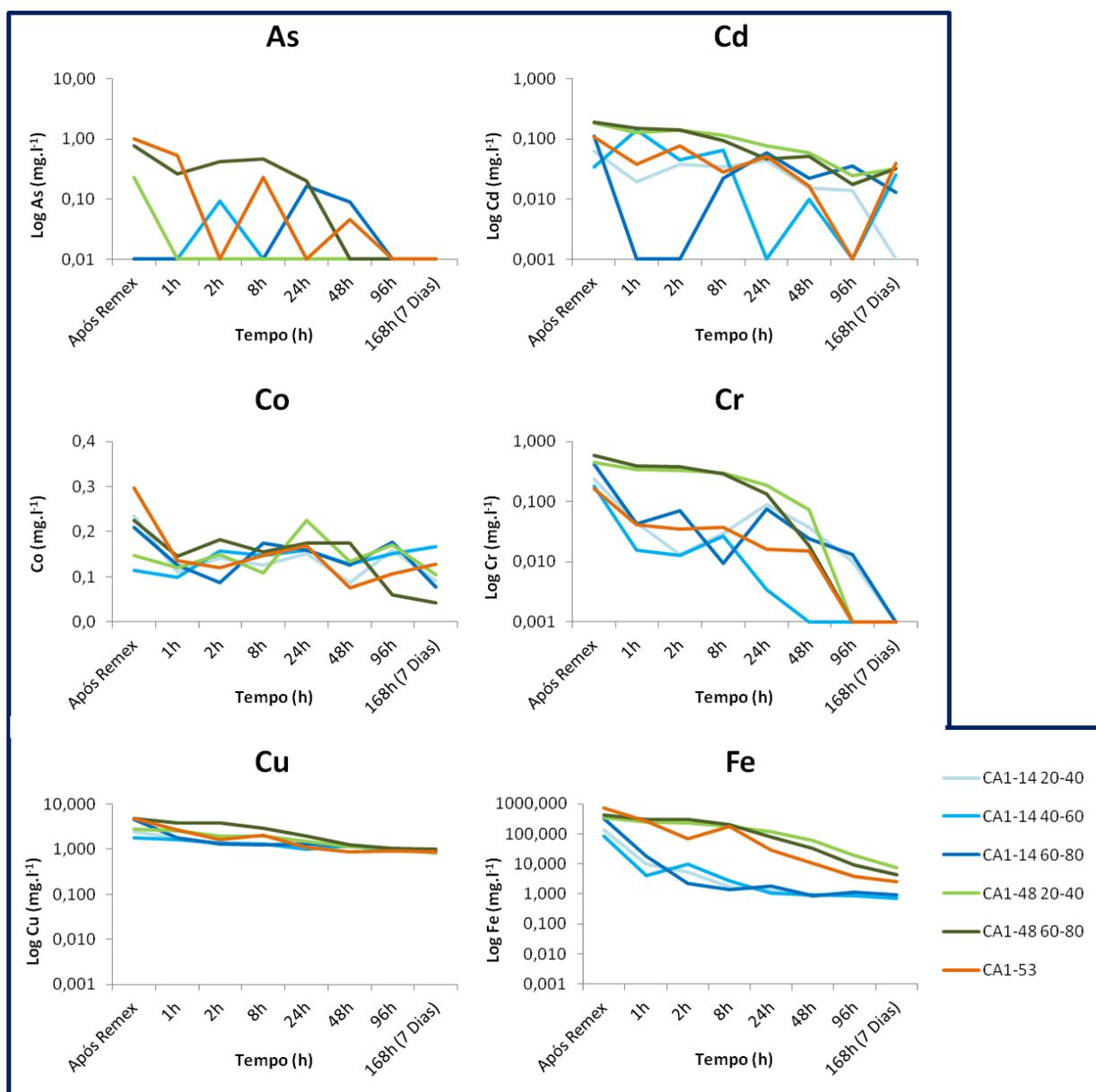


Figura 5.83: Variação dos teores de arsénio, cádmio, cobalto, crómio, cobre e ferro na fracção particulada do ensaio de turbidez ao longo do tempo.

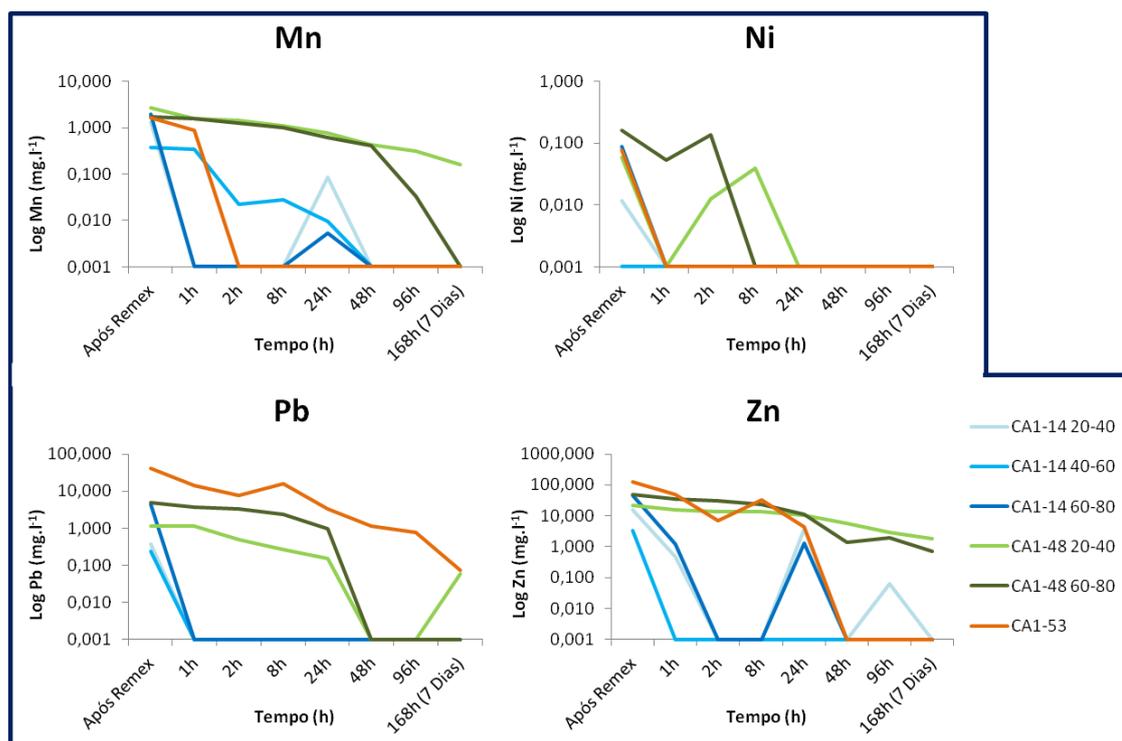


Figura 5.84: Variação dos teores de manganês, níquel, chumbo e zinco na fracção particulada do ensaio de turbidez ao longo do tempo.

Comparando estes valores com os obtidos na fracção particulada das águas do córrego (Figuras 5.85 e 5.86), verifica-se que os valores médios e máximos no final do ensaio de turbidez são muito menores dos encontrados nas águas do córrego, especialmente para o cádmio, o cromo, o cobre, o manganês e o zinco. Estes valores mostram que o caudal do córrego provoca uma maior ressuspensão de partículas, especialmente nos elementos considerados os maiores contaminantes. No entanto, verifica-se para o ferro e para o cobalto valores superiores no final do ensaio de turbidez superiores às médias e máximas obtidas nas águas, o que se poderá relacionar com a sua maior estabilidade na fracção particulada dado que ocorrem maioritariamente sob formas pouco solúveis (óxidos de ferro cristalinos e amorfos), aos valores de pH não favoráveis aos processos de floculação e à pequena dimensão das suas partículas.

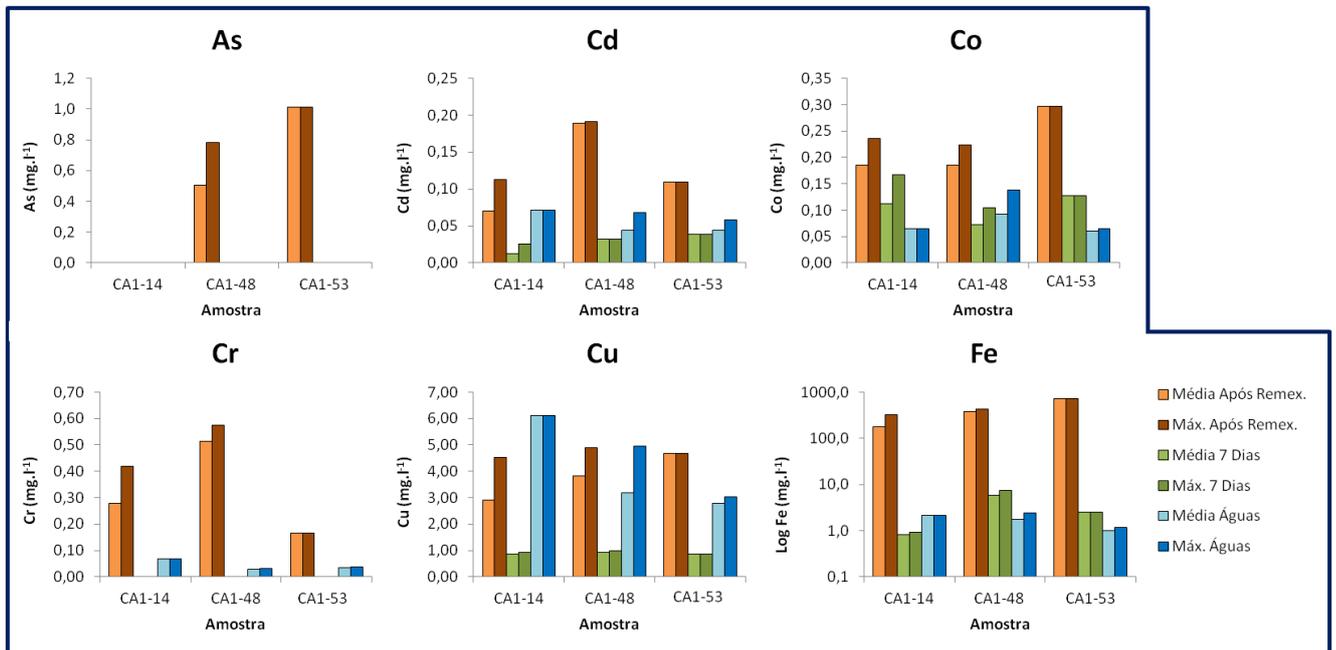


Figura 5.85: Comparação dos valores na fracção particulada obtidos no ensaio de turbidez (após remeximento e após 7 dias) com os valores obtidos nas amostras de água no córrego.

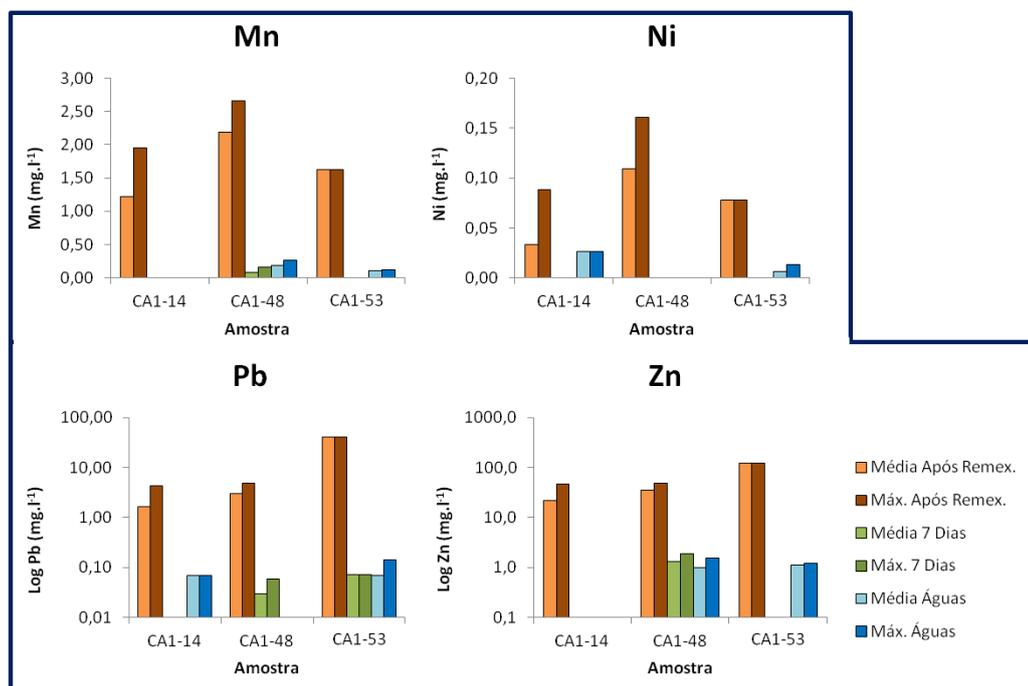


Figura 5.86: Comparação dos valores na fracção particulada obtidos no ensaio de turbidez (após remeximento e após 7 dias) com os valores obtidos nas amostras de água no córrego.

À semelhança do que foi realizado no ensaio de superfície e fundo, também para os ensaios de turbidez se procedeu à comparação entre a fracção dissolvida e particulada, de forma a compreender qual a predominante e, conseqüentemente, quais os elementos mais contaminantes. Por isso, nas Figuras 5.87 e 5.88 representam-se os diferentes teores obtidos, quer para a fracção imediatamente após remeximento, quer para a fracção final, após sete dias de remeximento.



Figura 5.87: Frações dissolvida e particulada para o cádmio, cobalto e cobre no ensaio de turbidez.

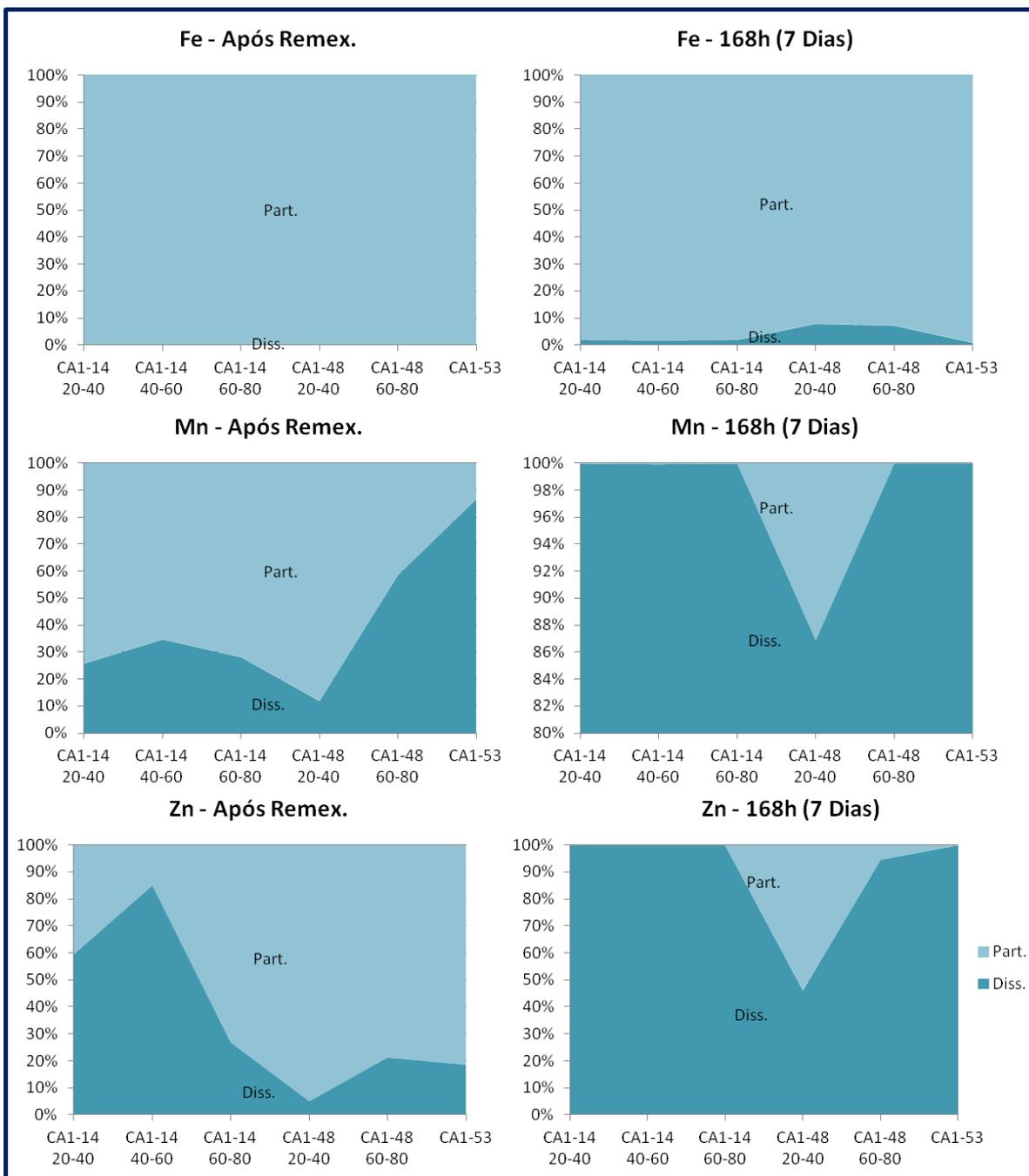


Figura 5.88: Frações dissolvida e particulada para o ferro, manganês e zinco no ensaio de turbidez.

Por análise destes dados, e de uma forma geral, existe um aumento na fracção dissolvida ao longo do tempo, com excepção do cobre, o que pode ser relacionado com a diminuição por decantação da fracção particulada ao longo do ensaio. No entanto, após sete dias, verifica-se um claro domínio da fracção dissolvida para o cádmio, o manganês e o zinco, encontrando-se o cobalto, o cobre e o ferro essencialmente na fracção particulada.

Em suma, e conjuntamente aos dados dos ensaios-piloto de fundo e superfície, identificam-se como principais contaminantes e ambientalmente mais problemáticos o cádmio, o manganês e o zinco, por se encontrarem essencialmente na fração dissolvida, mesmo sete dias após o remeximento.

Estes dados indicam que durante o período de dragagem, no caso de elevada ressuspensão do sedimento, o córrego Consciência deverá ser selado ao rio São Francisco de forma a evitar o transporte dos materiais particulados e parte dos elementos existentes sob forma dissolvida, para este rio, preservando-o assim de um aumento de carga poluente. Por outro lado os dados apontam também que este período de selagem deverá ser superior a sete dias após a finalização dos trabalhos de dragagem.

6. Remediação



Remediação

Tendo em conta o objectivo final deste projecto e os níveis em metais pesados encontrados na área, as opções de remediação desta área tornam-se mais complexas. Muitas tecnologias para a remediação de sedimentos encontram-se em desenvolvimento, baseadas na melhor compreensão entre sedimentos contaminados e qualidade ecológica (Reis *et al.*, 2007). No entanto, um primeiro passo em qualquer processo de remediação ambiental passa pela prevenção de contaminações futuras e pelo controlo das fontes actuais, sendo por isso necessário, antes de tomar qualquer medida na remediação, proceder-se à minimização das emissões de efluentes líquidos e resíduos sólidos nestas áreas, e diminuir contaminações de carácter secundário (U.S.EPA, 1990; OSPAR Commission, 2009).

As principais medidas para a remediação de sedimentos contaminados passam por estratégias conjuntas de controlo na fonte e recuperação ou contenção, através de aplicação de medidas de remoção, contenção e tratamento, *in situ* ou *ex situ*, cuja aplicabilidade depende, não apenas da natureza dos contaminantes, mas também das características intrínsecas dos sedimentos (Reis *et al.*, 2007).

Os principais métodos de remediação de sedimentos contaminados podem dividir-se em quatro tipos diferentes de abordagens (Evanko & Dzombak, 1997; Reis *et al.*, 2007):

1. No isolamento dos materiais contaminados, através da colocação de coberturas superficiais ou barreiras laterais de forma a impedir o alastramento da contaminação;
2. Na imobilização da contaminação, por solidificação ou fusão do material adjacente, o que leva a uma estabilização dos contaminantes e uma resistência à lixiviação;
3. Na redução da toxicidade ou redução da mobilidade dos contaminantes, através da utilização de tratamentos biológicos ou químicos;
4. Na extração, por fraccionamento físico, químico ou térmico dos contaminantes.

Estas técnicas de remediação de sedimentos, ilustradas na Figura 6.1, podem ser:

- Técnicas *in situ*, que consistem no tratamento ou contenção na área contaminada
- Técnicas *ex-situ*, em que se procede à remoção dos sedimentos contaminados, sendo o seu tratamento ou eliminação realizados fora da área contaminada.

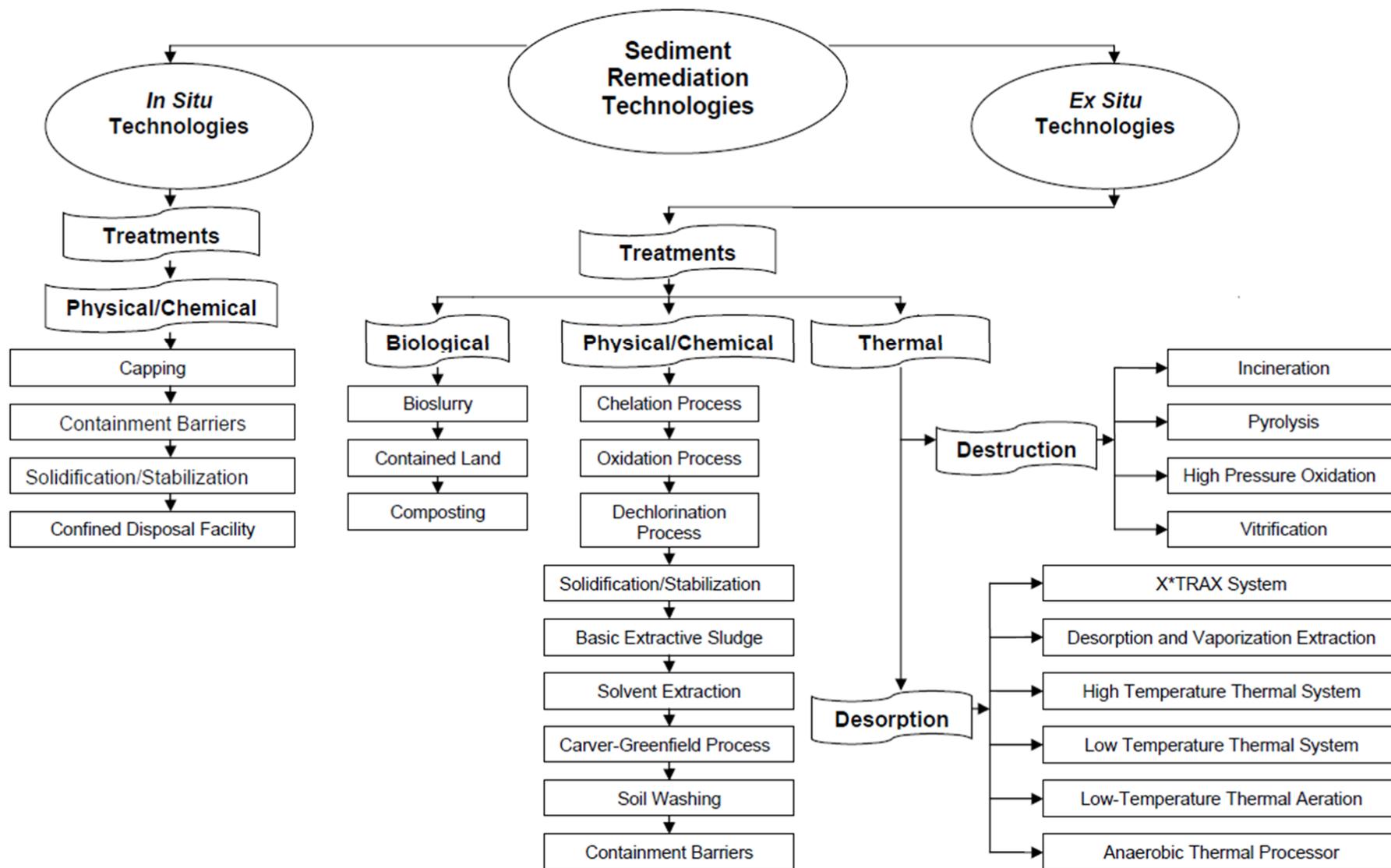


Figura 6.1: Principais técnicas de remediação de sedimentos. Adaptado de Reis *et al.* (2007)

As técnicas *in situ* consistem em tecnologias de contenção ou tratamento sem remover os sedimentos contaminados. Entre estas destacam-se a cobertura, a contenção e a estabilização / imobilização (Figura 6.1) (Evanko & Dzombak, 1997; Mulligan *et al.*, 2001; Khan *et al.*, 2004; Reis *et al.*, 2007):

- A cobertura consiste no isolamento dos sedimentos contaminados da coluna de água, através da utilização de uma cobertura sobre um depósito *in situ* (Figura 6.2). Esta cobertura pode ser constituída por sedimentos não contaminados (da dimensão do cascalho ou areia), ou pode envolver materiais como geotêxteis, em camadas simples ou múltiplas;

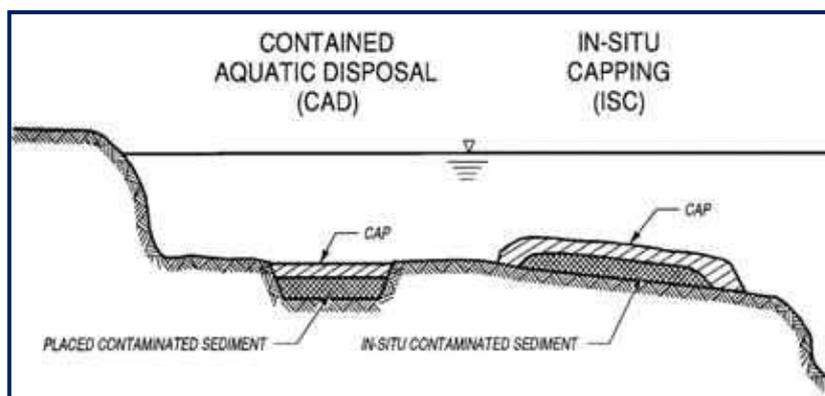


Figura 6.2: Cobertura de sedimentos como técnica de remediação.

Adaptado de: <http://www.epa.gov/glnpo/sediment/iscmain/one.html> (consultado a 06.10.2014).

- A contenção envolve o completo isolamento de uma porção do curso de água. Para tal, são utilizadas barreiras físicas para isolar partes da linha de água, como diques temporários. Na área isolada podem ser utilizadas técnicas de tratamento (*in situ* ou *ex situ*), sendo necessária a cobertura final para impedir a migração dos contaminantes. As técnicas de contenção são utilizadas muitas vezes para a construção de áreas de disposição de materiais dragados, denominados por *Confined Disposal Facility* (Figuras 6.1 e 6.2).
- Tratamentos por estabilização química implicam a mistura de agentes reactivos na zona contaminada, que solidificam ou fixam os contaminantes numa forma química estável. Estes processos produzem blocos de resíduos com alta integridade estrutural, que tornam resistentes a lixiviações os contaminantes, reduzindo a sua mobilidade de forma a permitir que fiquem no mesmo local, ou que possam ser dispostos com segurança. Os reagentes para o processo de solidificação podem ser injectados em sedimentos ou solos sob a forma líquida ou de uma lama reactiva, podendo ainda ser injectados a maiores profundidades com o auxílio de uma pequena broca, conforme ilustrado na Figura 6.3.

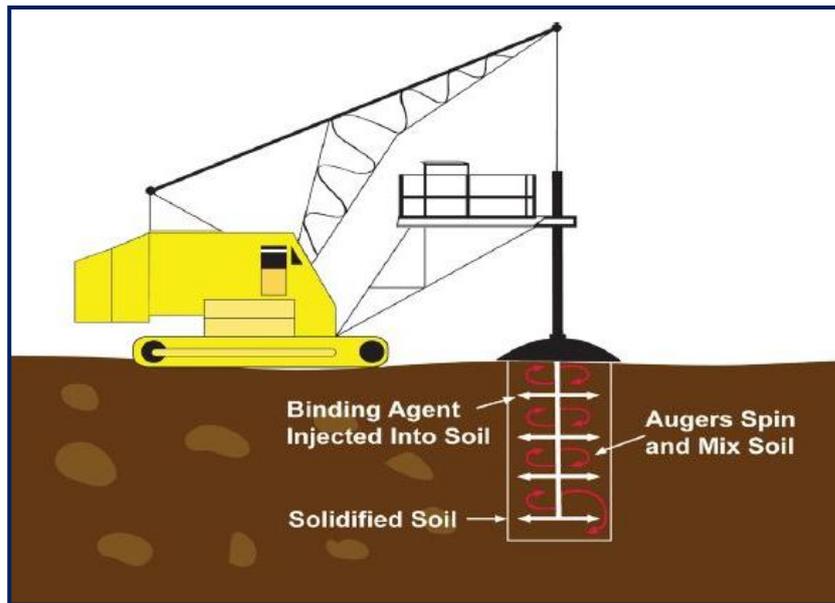


Figura 6.3: Processo de solidificação/estabilização de contaminantes.

Adaptado de: <http://www.geoengineer.org/education/web-based-class-projects/geoenvironmental-remediation-technologies/stabilization-solidification?start=1> (consultado a 06.10.2014)

- Os tratamentos químicos consistem na adição de reagentes químicos à matriz do sedimento, com o objectivo de destruir os contaminantes, alterar a sua forma química ou otimizar as condições ambientais para que outros processos de remediação sejam mais eficientes (Figura 6.4). Entre técnicas de remediação por tratamento químico destacam-se a quelação, a descloração e a oxidação de compostos orgânicos;

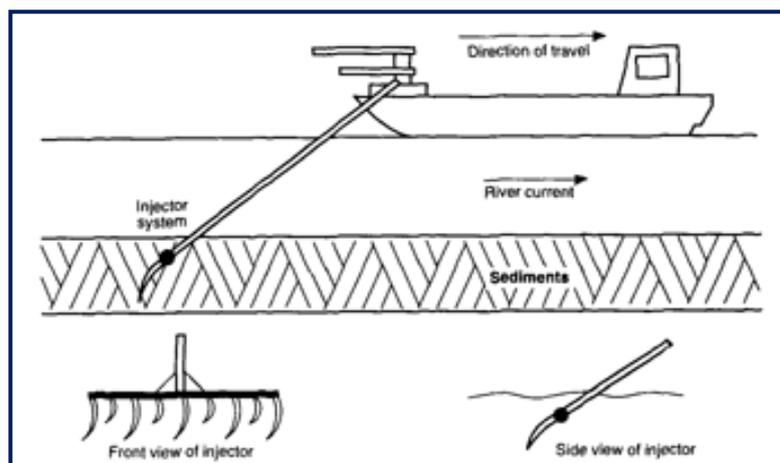


Figura 6.4: Injetor de químicos para o tratamento químico *in situ* de sedimentos.

Adaptado de: <http://epa.gov/greatlakes/arcs/EPA-905-B94-003/B94-003.ch3.html> (consultado a 06.10.2014).

Por outro lado, as técnicas de remediação *ex-situ* implicam a remoção dos sedimentos, sendo o seu tratamento ou eliminação realizado fora da área contaminada. A remoção ou escavação dos sedimentos de uma linha de água é comumente designado como dragagem e é utilizada de forma recorrente na manutenção da navegação em portos e marinas, assim como para o desenvolvimento de instalações portuárias (OSPAR Commission, 2008; Manap & Voulvoulis, 2014).

A dragagem pode ser de três tipos (Barbosa & Almeida, 2001; OSPAR Commission, 2009):

- Dragagem para efeitos de engenharia, onde se incluem dragagens que permitem navegação (em portos, marinas ou outras infra-estruturas costeiras), para o alargamento ou aprofundamento de canais ou áreas portuárias ou até para a criação de novas áreas costeiras;
- Dragagem de manutenção, que mantém as dimensões necessárias para o funcionamento de canais, marinas ou obras de construção, de forma a balançar a sedimentação ou alterações da morfologia do fundo;
- Dragagem ambiental, que remove deliberadamente material contaminado de ambientes aquáticos, de forma a proteger o ambiente e a saúde humana.

No entanto, para se proceder à dragagem de sedimentos é necessário compreender-se os seus perigos e impactes ambientais, através dos seguintes estudos de caracterização (U.S.EPA, 1990; OSPAR Commission, 2009; CONAMA, 2012):

- i. Caracterização física do sedimento, o que inclui a determinação do volume de material a dragar, assim como a determinação do peso específico (densidade) e as características texturais dos sedimentos;
- ii. Caracterização química do sedimento, o que compreende:
 - a. Caracterização geoquímica do sedimento;
 - b. Potenciais razões porque os contaminantes foram introduzidos na área;
 - c. Presença ou ausência de descargas de efluentes ou resíduos industriais ou municipais;
 - d. Probabilidade de contaminação de origem agrícola ou urbana;
 - e. Presença ou ausência de derrames de contaminantes na área;
 - f. Presença ou ausência de depósitos de minerais ou outras substâncias.
- iii. Caracterização biológica, caso os impactos potenciais da dragagem nos materiais não possam ser adequadamente determinados baseados simplesmente na caracterização física e química, assim como na informação biológica disponível. Os testes biológicos deverão determinar a toxicidade aguda e crónica, assim como os potenciais de bioacumulação e de contaminação nas populações faunísticas.

É ainda necessário ter em mente as limitações gerais associadas à utilização da dragagem, que devem ser postas em causa antes de quaisquer trabalhos de dragagem, de entre as quais se destacam (OSPAR Commission, 2004):

- A alteração das condições hidráulicas e sedimentológicas do escoamento, com possível alteração dos padrões de circulação e mistura da água, salinidade e turbidez;
- A poluição por contaminantes existentes no material dragado, por suspensão e movimentação durante a actividade, e consequente alteração da qualidade da água;
- Os impactes directos sobre habitats da fauna e flora aquática, associada ao sedimento marinho e águas interiores.

No entanto, dada a ampla utilização da dragagem, é necessário encontrar soluções para a eliminação do material dragado. Para o caso de sedimentos não contaminados, os sedimentos dragados podem ser valorizados e (OSPAR Commission, 2009; Castro & Almeida, 2012):

- Utilizados em obras de engenharia, como são exemplos a alimentação artificial de zonas costeiras, a criação de áreas terrestres, ou como cobertura ou enchimento em obras de engenharia;
- Utilizados na agricultura ou aquacultura, como materiais-base para a formação de pastagens ou para o estabelecimento de indivíduos bentónicos, respectivamente;
- Utilizados para a melhoria da natureza, no restauro de sapais ou manguezais, em habitats terrestres, entre outros.

No caso de os níveis de contaminação ultrapassarem os limites legislados e não permitirem estes usos, os sedimentos podem ser tratados, através de métodos de tratamento *ex-situ*, ou dispostos em locais onde não constituam riscos ao ambiente ou à saúde humana (OSPAR Commission, 2008).

As principais formas de tratamento *ex-situ* para a remediação de sedimentos contaminados encontram-se expressas na Figura 6.1, sendo seguidamente nomeadas as principais técnicas de remediações em sedimentos contaminados por metais pesados (Evanko & Dzombak, 1997; Mulligan *et al.*, 2001; Khan *et al.*, 2004; Reis *et al.*, 2007):

- A utilização de processos químicos implica a adição de agentes químicos para a estabilização dos contaminantes dos sedimentos. Entre estes processos, a quelação é um dos mais eficientes para o tratamento de metais pesados.

A quelacão é um processo de formação de um complexo estável (um quelato) entre um cátion metálico e um ligando (o agente quelante) (Figura 6.5). Agentes quelantes, especialmente aqueles que possuem várias zonas de ligação, podem penetrar numa matriz sedimentar e formar complexos estáveis com metais, imobilizando-os. Os agentes quelantes mais conhecidos são o EDTA (ácido etilendiamino tetra-acético) ou o DTPA (ácido diethilenotriamino penta-acético).

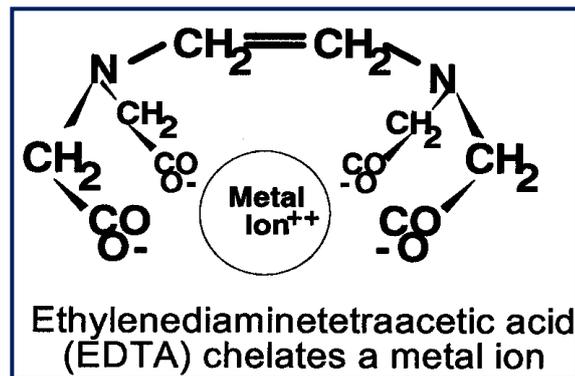


Figura 6.5: Quelação de um íon metálico por EDTA.

Adaptado de: <http://www.helpyourautisticchildblog.com/chelation-therapy/247-what-is-chelation/> (consultado a 06.10.2014)

- A lavagem do sedimento é uma técnica eficaz na remoção de um grande espectro de contaminantes, orgânicos e inorgânicos, por dissolução ou suspensão numa solução aquosa. Este processo utiliza a diferença na granulometria e densidade das partículas dos sedimentos para separar os contaminantes em diferentes fracções e diminuir o volume de material contaminado. A maioria dos solventes utilizados nos processos de lavagem são compostos por água, ou água combinada com solventes orgânicos, agentes quelantes, surfactantes, ácidos ou bases.

De uma forma geral, o processo de lavagem do sedimento inclui as seguintes fases, ilustradas na Figura 6.6:

- O tratamento preliminar, que consiste na separação de metais por magnetometria;
- A descontaminação da fracção arenosa, onde se separa a fracção fina da fracção arenosa;
- A lavagem da fracção cascalho;
- A eliminação da fracção fina em aterro, precedida pela remoção do excesso de água;
- O tratamento da água de lavagem.

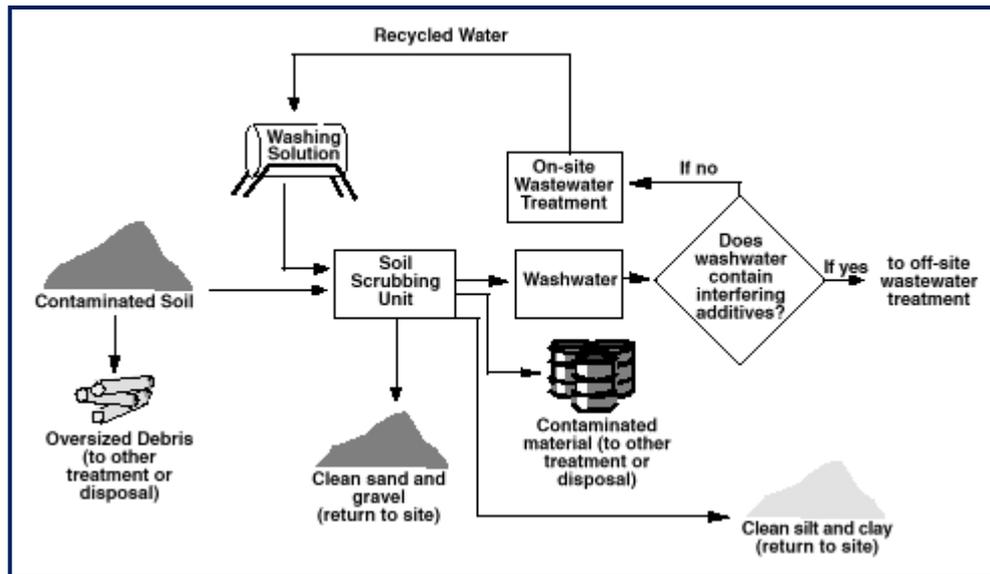


Figura 6.6: Processo de lavagem.

Adaptado de: <http://infohouse.p2ric.org/ref/07/06189/> (consultado a 06.10.2014).

- Os tratamentos térmicos podem ser *in situ* ou *ex situ*, e consistem no aquecimento dos sedimentos a temperaturas muito superiores às ambientais.

As técnicas de remediação térmicas podem ser por destruição ou desadsorção. Entre as técnicas de remediação térmicas por destruição destacam-se metodologias como a incineração, a pirólise, a oxidação a alta pressão e a vitrificação. Por outro lado, as técnicas de desadsorção térmica são utilizadas essencialmente na remediação de áreas contaminadas por compostos orgânicos, e podem ser realizadas em sistemas térmicos aeróbios ou anaeróbios, sistemas X-TRAX, sistemas de desadsorção e vaporização, entre outros.

Em sedimentos contaminados por metais pesados, o melhor tratamento térmico a realizar é a vitrificação.

A vitrificação utiliza electricidade para aquecer e destruir compostos orgânicos e imobilizar contaminantes inorgânicos em solos, sedimentos ou lamas. O processo consiste na inserção de eléctrodos nos resíduos sólidos, aos quais são aplicadas elevadas correntes eléctricas (Figura 6.7). O aquecimento rápido dos sólidos leva à fusão da fracção siliciosa do material, sendo o produto final constituído por um sólido silicatado ou óxido amorfo, altamente resistente à lixiviação.

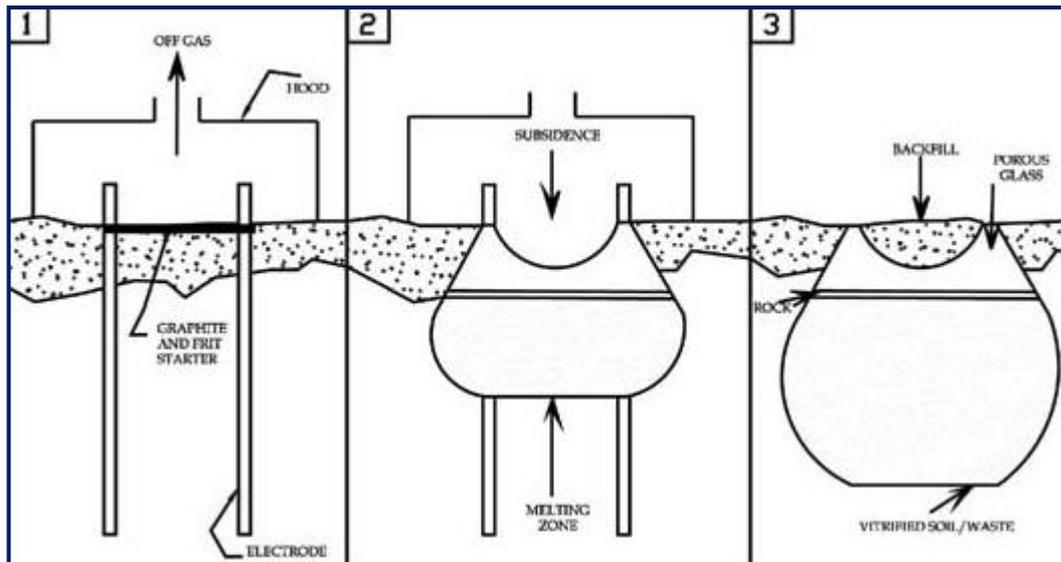


Figura 6.7: Utilização da vitrificação como técnica de remediação.

Adaptado de:

http://www.arstechnologies.com/wa001_pneumatic_fracturing_dry_media_application_government_facility.html
(consultado a 06.10.2014)

A aplicabilidade de cada uma destas técnicas de remediação depende, para além do tipo de contaminante, do tipo de sedimento (pois alternativas como a lavagem não são eficientes em solos pouco arenosos ou cascalhentos), da coluna de água, da acessibilidade, dos níveis de concentração dos contaminantes e da concentração mínima de contaminantes, a partir da qual não se procede à remediação (Reis *et al.*, 2007).

É, portanto, tendo como base todos estes factores, que deverão ser tomadas decisões, acerca das vantagens e desvantagens da utilização de técnicas de remediação numa dada área em estudo. De forma sumária, é necessária a determinação das características físicas e geoquímicas dos materiais, de forma a mais facilmente depreender qual a forma de remediação mais adequada a cada caso. Se a dragagem for a melhor técnica, o tratamento e/ou eliminação dos materiais têm de ser pensados, assim como a idealização de estratégias para a minimização ou eliminação das fontes de contaminação, para que esta não seja apenas uma solução temporária ao problema (Barbosa & Almeida, 2001). O pré-tratamento pode ainda ser aplicado, tornando-se uma mais-valia se aplicado a outras técnicas de remediação.

Para auxiliar a tomada de decisão na escolha da dragagem (em detrimento de outras técnicas de remediação de áreas contaminadas), inúmeros autores têm criado, através de análises multivariadas, modelos de estimação do grau de perigosidade, que estimam parâmetros como a ressuspensão sedimentar ou a fracção de metais solubilizados para a coluna de água (Suedel *et al.*, 2008; Alvarez-Guerra *et al.*, 2009; Wasserman, 2009; Giubilato *et al.*, 2014).

Para o caso particular da área em estudo, verifica-se que a diminuição das fontes de contaminação U.S.EPA (1990) não fará diminuir, num intervalo de tempo curto, as concentrações destes elementos nas águas do rio São Francisco, uma vez que os materiais sedimentares das bacias dos córregos Consciência e Barreiro Grande constituem por si só fontes destes elementos. No entanto, é crucial que a Votorantim Metais S.A. minimize as emissões de efluentes líquidos e resíduos sólidos contaminados para estas áreas, de modo que o método de recuperação seja eficiente.

Tendo em conta as características da área em estudo, os principais contaminantes referidos e discutidos anteriormente, assim como as extracções sequenciais que permitem distinguir as principais fases em que se encontram e os ensaios de lixiviação e ensaios-piloto realizados nas amostras, é possível, primeiro que tudo compreender que remediações *in situ* podem não resultar na área. Visto serem identificados níveis excessivamente contaminados até profundidades de 2,5 m, elevadas concentrações de contaminantes solúveis em águas intersticiais até aos 120 cm, uma cobertura de material não contaminado e soterramento da contaminação, assim como a solidificação / estabilização *in situ* ou a adição de reagentes químicos se tornarão ineficazes, diminuindo apenas os teores elevados na coluna de água, e não removendo a disponibilidade destes elementos em profundidade, o que poderá levar à continuação da contaminação das águas subterrâneas, e podendo existir ainda a possibilidade de introdução de novos elementos provenientes dos tratamentos químicos.

Deste modo, a melhor opção, em termos económicos e ambientais, será a remoção destes sedimentos e o seu tratamento ou eliminação. Os ensaios-piloto realizados mostram-nos elevada ressuspensão do material sedimentar e, ao final de sete dias, ainda importantes fracções dissolvidas de cádmio, manganês e zinco, especialmente à superfície. Pelo que se verifica pela análise química das águas do córrego, quer na estação seca, quer na estação das chuvas, os elevados teores de manganês poderão dever-se a dissoluções locais de óxidos de manganês durante a época das chuvas, por alteração do potencial de oxidação/redução. Deste modo, na época seca, esta fracção mineral precipitará, deixando de se encontrar na coluna de água. No entanto, não deverão encontrar-se diferenças muito significativas nos teores de cádmio ou zinco. Assim, a melhor solução seria realizar o processo de dragagem com o mínimo de água possível, para que os trabalhos sejam facilitados e para que durante o processo se minimizem ressuspensões sedimentares para a coluna de água. Por esta razão, seria ideal a construção de um dique ou um conjunto de diques provisórios na área contaminada após a época das chuvas, de modo a torná-la uma estrutura de contenção. Desta forma, no final da época seca (quando o nível freático fosse mínimo, e a área o mais seca possível), proceder-se-ia à remoção do material, imediatamente procedido por um pré-tratamento, de forma a extrair o máximo teor em água. Após este pré-tratamento, o material dragado poderia ser tratado (especialmente com processos químicos) ou reaproveitadas as elevadas fracções de metais pesados

na unidade industrial de Três Marias, para a produção de ligas metálicas, sendo os sedimentos (já sem os teores descritos anteriormente) utilizados (Giannetti *et al.*, 2009) para o fabrico de cerâmicas (Menezes *et al.*, 2002; Ribeiro *et al.*, 2009), para pavimentação ou em aterros estruturais em obras geotécnicas (Almeida *et al.*, 2009; Frias *et al.*, 2009). Caso não seja possível a sua valorização, a única opção seria a sua eliminação num local devidamente impermeabilizado, como é exemplo o Depósito Murici, pertencente à Votorantim Metais S.A..

De forma a finalizar o processo, e por se proceder à remoção dos materiais a profundidades muito elevadas, poderia proceder-se à cobertura destes locais com sedimentos não contaminados, de textura mais grosseira, que para além de impedirem a erosão, protegeriam as águas subterrâneas de futuros problemas ambientais.

Idealmente, este processo de remediação dos córregos (especialmente o córrego Consciência) seria realizado conjuntamente ou posteriormente à remediação dos solos da envolvente da unidade, de forma a minimizar o acarreo de material contaminado na área e da construção de estruturas que façam com que esta não seja apenas uma solução temporária a este problema. Assim, conjuntamente a estes processos, deveriam ser construídos pequenos tanques de contenção que ajudariam na correção da drenagem da área e impediriam o acarreo de contaminantes para os córregos Consciência e Barreiro Grande, conforme proposto no relatório técnico da Golder Associates (2007b).

7. Conclusões



Conclusões

A contaminação do ambiente físico não é, de todo, um problema novo. Desde que o Homem é capaz de trabalhar metais se têm identificado impactos negativos da sua exploração nos solos, nos materiais sedimentares e nas águas (superficiais e subterrâneas) que têm conduzido à sucessiva poluição e contaminação de certos meios. No entanto, agora é diferente. A crescente necessidade de recursos naturais para uma crescente população mundial torna urgente um melhor aproveitamento e reaproveitamento dos materiais. Assim, após séculos de exploração de recursos naturais sem quaisquer consequências para a espécie humana, é agora necessário empreender técnicas ambientais para uma melhor gestão dos recursos e dos resíduos e corrigir erros do passado, através de estudo e monitorização de antigos depósitos e resíduos, de modo a que deixem de ser fontes de poluentes e, quem sabe, possam até ser reaproveitados e reexplorados.

É neste âmbito que surge este trabalho. A área em estudo foi, durante mais de quarenta anos, alvo de múltiplas descargas de efluentes líquidos industriais e área de deposição de resíduos sólidos, ricos em metais pesados. Esta contaminação associa-se à presença e funcionamento de uma unidade industrial metalúrgica de ligas metálicas, especialmente ricas em zinco, que durante anos dispôs os resíduos da sua actividade nos solos e linhas de água da sua envolvente. Após anos de erros ambientais, associados a múltiplos episódios de contaminação, especialmente no rio São Francisco, o maior rio inteiramente brasileiro, é agora necessário identificar os principais problemas ambientais associados à sua acção e determinar as melhores estratégias de recuperação desta área, através de variados estudos geoquímicos, mineralógicos, físicos, cartográficos e geofísicos reunidos num projecto de consultoria da Universidade de Évora.

É neste projecto que se insere este trabalho, que se foca principalmente numa linha de água, em cujas margens se verificaram despejos de grande volume de resíduos de naturezas diversas (o córrego Consciência). São assim principais objectivos o reconhecimento dos principais contaminantes da área em estudo, assim como a determinação da sua perigosidade. Assim, estes estudos contribuirão para a identificação das melhores estratégias de recuperação da área, com especial foco na determinação dos principais impactos associados à dragagem do material sedimentar.

Para tal, procedeu-se à recolha de amostras de sedimentos e aluviões dos córregos Consciência e Barreiro Grande, ambos na envolvente da unidade industrial, dando uma particular importância ao córrego Consciência, onde se verificaram, efectivamente, descargas e depósitos de resíduos

industriais, tendo-se procedido à extracção das águas intersticiais das amostras que apresentam elevados teores de humidade. Procedeu-se ainda à recolha de águas da coluna de água.

Assim, procedeu-se à determinação dos principais elementos químicos (especialmente elementos alcalinos, alcalino-terrosos e metálicos) na fracção dissolvida das amostras de água e água intersticial. Para algumas amostras de água, foram ainda determinados os principais elementos metálicos na fracção particulada de forma a se ter um conhecimento sobre a natureza química do material em suspensão.

Estes resultados mostram uma diminuição na fracção dissolvida aquando do período de chuva, o que se verifica quer para as amostras de água, quer para as águas intersticiais, o que se poderá dever a um efeito de diluição por acção das águas pluviais. Na fracção particulada, verificam-se teores muito elevados para o cobalto, o crómio, o cobre, o ferro e o níquel, o que se deverá a uma maior estabilidade e a uma associação preferencial destes elementos à fracção sólida. Por outro lado, o cádmio, o manganês e o zinco apresentam valores muito baixos na fase particulada, encontrando-se preferencialmente na fracção dissolvida. São, deste modo, estes elementos os que são ambientalmente mais perigosos, devendo-se encontrar nos sedimentos nas fracções menos estáveis e mais facilmente mobilizáveis.

De forma a se identificarem os principais contaminantes nos materiais sólidos, nos sedimentos e aluviões, procedeu-se à sua digestão parcial. À semelhança do que se verifica nas águas, são o cádmio e o zinco os elementos mais perigosos, identificando-se valores muito superiores ao Valor Crítico. Localmente, e especialmente nas áreas A1 e A2, quer para os sedimentos, quer para as aluviões, verificam-se teores muito elevados, superiores ao Valor Crítico, para o arsénio, cobre e chumbo. Estas concentrações poderão ser relacionadas com os episódios de descarga de efluentes e depósito de resíduos na bacia do córrego Consciência. Na bacia do córrego Barreiro Grande, verifica-se a influência da contaminação pela unidade industrial por comparação das amostras BG-46 e BG-45, a montante e jusante, respectivamente, da influência da Votorantim Metais S.A.. Identificam-se assim enriquecimentos em zinco (que na amostra BG-45 ultrapassa o Valor Crítico) e em cádmio, que se traduz em valores superiores ao Valor de Qualidade de Referência.

Comparando as concentrações obtidas para o período após-seca e após-chuvas, identifica-se uma ligeira diminuição dos teores na amostragem após-chuvas, especialmente à superfície, o que se pode dever ao aumento do caudal e da sua capacidade de lixiviação dos sedimentos, com mobilização dos elementos mais solúveis em direcção ao rio São Francisco.

O cálculo de índices de enriquecimento, como o Factor de Enriquecimento ou o Índice de Geoacumulação, permite identificar ainda mais facilmente os principais contaminantes nas áreas, assim como o nível de contaminação em cada área. Deste modo, as áreas A1, A2 e A3 verificam, como já havia sido referido na análise dos dados da digestão parcial, elevados enriquecimentos, especialmente em cádmio e zinco, mas também em arsénio, cobre e chumbo. Por sua vez, o Factor

de Contaminação permite identificar, para cada área, o grau de contaminação em cada elemento, servindo de complemento na análise realizada pelos restantes índices.

Tendo-se determinado o grau de contaminação, para cada amostra, por solubilização das fracções não silicatadas, através da digestão parcial, procedeu-se seguidamente à identificação e avaliação da proporção em que cada elemento ocorre ligado às diferentes fases minerais, através de ensaios de extracção sequencial. Deste modo, quer para os sedimentos, quer para as aluviões, verificam-se que essencialmente ligados a fracções mais estáveis (óxidos de ferro cristalinos) se encontram o crómio, o ferro e o níquel, enquanto em fases mais facilmente mobilizáveis se identificam o cádmio, o cobalto, o manganês e o zinco. Estes elementos, a par da sua elevada concentração, apresentam elevada mobilidade sendo, portanto, os que apresentam maior perigosidade ambiental. Elementos como o chumbo e o cobre apresentam padrões mistos, encontrando-se para algumas amostras em fracções muito estáveis e noutras em fases muito mobilizáveis, o que explica as suas contaminações pontuais na área em estudo.

Os ensaios de lixiviação nestas amostras tiveram como principal objectivo a determinação da fracção mais facilmente extraível por acção da água ajustado ao pH das chuvas locais, de forma a se avaliar e quantificar os elementos que são solubilizados e entram no sistema hidrológico, em consequência da precipitação. Esta fracção lixiviada corresponderá, para cada elemento, à fracção mais solúvel de entre as formas mais facilmente mobilizáveis, identificadas nos ensaios de extracção sequencial. Verificam-se nas áreas A1, A2, A3 e A5 teores de elementos lixiviados superiores ao Valor de Investigação legislado para águas subterrâneas, o que permite identificar o grau de perigosidade destes elementos. Por comparação dos valores obtidos com os registados na primeira fase da extracção sequencial, verifica-se uma relativa estabilidade para o crómio, o cobre, o ferro e o chumbo, encontrando-se apenas os valores de cádmio, cobalto, manganês e zinco muito próximos aos identificados na primeira fase de extracção sequencial. Estes quatro elementos químicos destacam-se como os mais perigosos, sendo facilmente extraíveis fracções tóxicas apenas por agitação com água. Assim, quando chove, significativas quantidades destes elementos são solubilizadas e arrastadas para a coluna de água do córrego Consciência e, sequencialmente, para o rio São Francisco.

De forma a identificar fontes adicionais de contaminação, uma vez que existe um historial de contaminação por lançamento de efluentes domésticos (esgotos) provenientes da cidade de Três Marias no córrego Barreiro Grande (Oliveira, 2007; Almeida, 2010), procedeu-se à análise elementar e determinação da concentração de fósforo total nos sedimentos e aluviões da área em estudo.

Por análise dos resultados obtidos, não se verificam concentrações elevadas de carbono, azoto e fósforo de forma a sugerirem fontes contínuas de descarga de efluentes domésticos, quer no córrego Consciência, quer no córrego Barreiro Grande. Os teores obtidos para estes elementos são ainda muito inferiores aos valores-alerta legislados para materiais dragados, o que significa que não deverão causar problemas ambientais no local de disposição dos resíduos. Por outro lado, estes baixos valores apontam para a ocorrência de baixos conteúdos orgânicos na área, não devendo ser significativos a formação de complexos organo-metálicos através de processos de quelação com os metais contaminantes. Por sua vez, as concentrações em enxofre são, em geral, baixas por toda a área, comparando com os valores das amostras *background*. Verifica-se apenas, nas aluviões da área A2 valores elevados, cuja presença deverá estar associada à oxidação de resíduos ricos em sulfuretos.

A textura e a porosidade são dos principais componentes na caracterização de materiais a serem dragados, pois permitem inferir acerca da coesão do material, do potencial de ressuspensão, e velocidade de sedimentação, que são importantes informações para o bom funcionamento técnico *in situ* e para a escolha da draga mais adequada para cada local. Na área em estudo verifica-se uma grande variabilidade nas percentagens de areia, silte e argila, o que se poderá dever ao clima da região. Assim, durante a época das chuvas, deverão formar-se depósitos de granulometria mais grosseira (com predomínio de fracções arenosas ou até cascalhentas) aquando do extravasamento do leito ordinário do córrego, estando depósitos ou camadas de granulometria mais fina (argilosas ou silto-argilosas) associadas a épocas mais secas, com menor caudal.

Os ensaios-piloto para verificação do efeito da dragagem na coluna de água foram realizados nas amostras de forma a identificar, com base em agitações muito violentas, o comportamento dos principais elementos metálicos, os seus teores (e, conseqüentemente, a sua perigosidade ambiental) e a sua persistência. Deste modo, foram realizados três ensaios distintos: o ensaio de superfície, o ensaio de fundo e o ensaio de turbidez.

Os ensaios-piloto de superfície e de fundo consistiram na agitação e sub-amostragem imediatamente após remeximento. Estes resultados representam, assim, as condições que deverão ocorrer imediatamente após episódios de remeximento muito intensos, como é o caso da dragagem de material sedimentar. Por outro lado, o ensaio-piloto de turbidez consistiu na agitação do material e na sua estabilização durante sete dias, de forma a compreender qual a evolução ao longo do ensaio. Foram assim realizadas oito sub-amostragens, nas quais se procedeu à análise da turbidez, do pH, da condutividade eléctrica e dos principais elementos presentes nas fracções dissolvida e particulada.

Deste modo, os ensaios de superfície e fundo mostram teores dissolvidos superiores no ensaio de superfície, encontrando-se, por norma, acima do limite máximo legislado para águas superficiais de Classe 2. Por sua vez, a fracção particulada é dominante no ensaio de fundo, o que já era esperado devido à maior quantidade de material em suspensão. No entanto, o cádmio, o manganês e o zinco demarcam-se com as maiores concentrações na fracção dissolvida, quer no ensaio de superfície, quer no ensaio de fundo, o que os torna ambientalmente mais problemáticos.

Do mesmo modo, também no ensaio de turbidez estes elementos se distinguem como os mais perigosos, aumentando a sua fracção dissolvida ao longo do ensaio. Assim, e mesmo sete dias após agitação, e em total repouso, verifica-se um claro domínio destes elementos na fracção dissolvida, com teores superiores aos limites legais para águas superficiais de Classe 2 e às concentrações encontradas nas águas nos mesmos pontos de amostragem. Estes dados mostram que, durante os processos de dragagem, o córrego deverá estar selado relativamente ao rio São Francisco onde o efeito da contaminação será mais nefasto, num período superior a sete dias.

Tendo em conta os resultados obtidos e discutidos anteriormente, a remediação da área não será tarefa fácil. Tendo presente os teores obtidos nos diversos elementos químicos, a profundidade a que ocorrem, os principais contaminantes em cada uma das áreas, as fases minerais a que se encontram ligados e os ensaios-piloto realizados para compreender o potencial de ressuspensão e a contaminação a que esta ressuspensão se associa, assim como a capacidade do sistema de autodepurar, compreende-se que uma simples técnica de remediação, nesta área, pode não ser suficiente.

Deste modo, e de uma forma ideal, para que o processo de recuperação ambiental possa ser eficaz e não uma solução temporária, de forma a impedir a migração de elementos tóxicos para o rio São Francisco, terão de ser cessadas toda e qualquer fonte de contaminação para a área, sejam estas directas ou indirectas, por erosão de áreas contaminadas. Portanto, e previamente a qualquer acção para a remediação da bacia do córrego Consciência, terão de ser removidos todos os resíduos da Barragem Velha, o que deverá ser seguido por uma cobertura do solo contaminado, assim como realizados planos de recuperação de solos contaminados (como os antigos depósitos de resíduos, identificados na Figura 1.8), quer por implantação de estratégias de recuperação com técnicas químicas, quer por estratégias de fitorremediação.

Assim, e tendo presentes as técnicas de recuperação de sedimentos já referidas que podem ser implementadas na recuperação ambiental da bacia do córrego Consciência, assim como as principais limitações da dragagem de uma linha de água, relacionadas essencialmente com a mobilização de elementos tóxicos (cuja estimativa foi realizada nos ensaios de turbidez), com os impactes directos

sobre os ecossistemas aquáticos e com as condições hidráulicas e sedimentológicas do escoamento, sugere-se a dragagem destes materiais, conforme foi sugerido nesta área por Almeida (2010).

Esta será a melhor opção para a reabilitação da área em estudo, quer em termos económicos, quer em termos ambientais, por o córrego apresentar um fluxo intermitente, que facilita os trabalhos, o qual pode ser ainda minimizado através da construção de um dique ou de um conjunto de diques que reduzirão significativamente o fluxo de água na área. Estes farão ainda diminuir a ressuspensão do material para a coluna de água, minorando os riscos de mobilização de elementos tóxicos e migração para o rio São Francisco. Caso o acarreo de material seja muito elevado durante a operação de dragagem, o córrego, na sua foz, poderá estar selado relativamente ao rio São Francisco através da colocação de barreiras designadas por *silt curtains*, fáceis de colocar neste curso de água, atendendo à sua baixa profundidade (profundidade máxima de 4,5 m) e largura entre margens. Estas barreiras são geotêxteis que apresentam diferentes permeabilidades escolhidas de acordo com o caudal do rio, devendo esta selagem manter-se durante todo o processo de dragagem até um período superior a seten dias para possibilitar a sedimentação das partículas.

O material removido poderia, idealmente, ser valorizado, quer por extracção dos teores em metais pesados e utilizá-los no funcionamento da unidade industrial de Três Marias, quer por outros usos, especialmente em obras geotécnicas. Caso o material não possa ser reaproveitado, terá de ser depositado num aterro impermeabilizado, como é o caso do Depósito Murici. Na área em estudo, para impedir processos de erosão muito acentuada e para proteger os aquíferos de futuras contaminações, dever-se-ia ainda proceder à cobertura dos locais dragados com sedimentos não contaminados.

8. Referências Bibliográficas



Referências Bibliográficas

Adamo, P., Zampella, M., Gianfreda, L., Renella, G., Rutigliano, F. A., Terribile, F. (2006) – *Impact of river overflowing on trace element contamination of volcanic soils in south Italy: Part I. Trace element speciation in relation to soil properties*. Environmental Pollution, 144, 1, pp.308-316.

Almeida, A., Dinis de Sousa, C., Lopes, M. L. (2009) – *Valorização de escórias de incineração de resíduos sólidos urbanos em obras geotécnicas*. Seminário Valorização de Resíduos em Obras Geotécnicas, Sociedade Portuguesa de Geotecnia.

Almeida, D. F. (2010) – *Gestão Ambiental dos Sedimentos de Corrente do Rio São Francisco na Região de Três Marias/ Minas Gerais*. Tese de doutoramento em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade de Minas Gerais, Belo Horizonte (Minas Gerais, Brasil), 94p.

Alvarez-Guerra, M., Viguri, J. R., Voulvoulis, N. (2009) – *A multicriteria-based methodology for site prioritisation in sediment management*. Environment International, 35, pp.920-930.

ANA. Agência Nacional de Águas.

Em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/SaoFrancisco.aspx> (consultado a 20.07.2014)

Barbosa, M. C., Almeida, M. S. S. (2001) – *Dredging and disposal of fine sediments in the state of Rio de Janeiro, Brazil*. Journal of Hazardous Materials, 85, pp.15-38.

Batista, A. A. M., Ribeiro, M. Q. C., Macedo, A. T. M., Tonidandel, D. (2008) – *Parecer Técnico GEDIN N° 00107 /2008: Barragem Murici*. FEAM.

Em: http://www.semad.mg.gov.br/images/stories/urcparaopeba/3reuniao/4-2_votorantim_pt.pdf (consultado a 02.12.2013).

Bizzi L. A., Schobbenhaus, C., Vidotti, R. M., Gonçalves, J. H. (2003) – *Geologia, Tectónica e Recursos Minerais do Brasil: texto, mapas & SIG*. Serviço Geológico do Brasil, CPRM, Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Minas e Metalurgia. Em: <http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?inford=790&sid=9> (consultado a 07.12.2013)

Bolle, J. N., Martin, H., Sondag, F., Cardoso Fonseca, E. (1988) – *Selective chemical extraction of uranium from mineral, soil and stream sediment samples at Horta da Vilariça, Northeastern Portugal*. Uranium, 4, 4, pp.327-340.

Campos, J. E. G., Dardenne, M. A. (1994) – *A Glaciação Neopaleozóica na Porção Meridional da Bacia Sanfranciscana*. Revista Brasileira de Geociências, v.24, 2, pp.65-72.

Cappuyns, V., Swennen, R., Niclaes, M. (2007) – *Application of the BCR sequential extraction scheme to dredged pond sediments contaminated by Pb–Zn mining: A combined geochemical and mineralogical approach*. Journal of Geochemical Exploration, 93, pp.78–90.

Castro, S. M., Almeida, J. R. (2012) – *Dragagem e Conflitos Ambientais em Portos Clássicos e Modernos: Uma Revisão*. Sociedade e Natureza, Uberlândia, 24, 3, pp.519-534.

Chen, M., Ma, L. Q. (2001) – *Comparison of Three Aqua Regia Digestion Methods for Twenty Florida Soils*. Soil Science Society of America Journal, v.65, pp.491-499.

Cheng-xiu, L., Jie-min, C. (2011) – *Speciation of heavy metals in the sediments from different eutrophic lakes of China*. Procedia Engineering, 18, pp.318-323.

CONAMA (2012) – *Resoluções do CONAMA: Resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 1125p.

Conflitos Ambientais Minas Gerais. *Luta contra a poluição provocada por barragens de rejeitos operadas pela Votorantim Metais*. Em: <http://conflitosambientaismg.lcc.ufmg.br/conflito/?id=194> (consultado a 10.12.2013)

Conflitos Ambientais Minas Gerais. *Luta contra a poluição e mortandade de peixes no rio São Francisco em Três Marias*. Em: <http://conflitosambientaismg.lcc.ufmg.br/conflito/?id=197> (consultado a 10.12.2013)

COPAM (2011) – *Deliberação Normativa COPAM nº 166, de 29 de junho de 2011*. Conselho Estadual de Política Ambiental, 5p.

- Costa, R. D., Knauer, L. G., Prezotti, F. P. S., Paula, F. L., Duarte, F. T., Teixeira, L. F. (2011) – *Mapa Geológico folha Três Marias - SE.23-Y-B-III Escala 1:100.000*. Ministério de Minas e Energia, CPRM - Serviço Geológico do Brasil, CODEMIG - Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais.
- DeLaune, R. D., Reddy, K. R. (2005) – *Redox Potential*. In *Encyclopedia of Soils in the Environment*, D. Hillel (ed.), Elsevier pp.366-371.
- de Abreu, C. B., Martins, A. H. (2009) – *Recuperação de sulfato de cálcio a partir do resíduo gerado no processamento de zinco primário*. *Estudos Tecnológicos*, v.5, 3, pp.332-340.
- DGT Research. Em: <http://www.dgtresearch.com/DGTResearchTech.html> (consultado a 28.07.2014)
- Environmental Canada. *Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life, Canadian Environmental Quality Guidelines*. Em: <http://ceqg-rcqe.ccme.ca/en/index.html> (consultado a 24.09.2014).
- Evanko, C. R., Dzombak, D. A. (1997) – *Remediation of metals-contaminated soils and groundwater*. Ground-water remediation technologies analysis center, 53p.
- Fernández, E., Jiménez, R., Lallena, A. M., Aguilar, J. (2004) – *Evaluation of the BCR sequential extraction procedure applied for two unpolluted Spanish soils*. *Environmental pollution*, 131, 3, pp.355-364.
- Fia, R., Frizzarim, S. S., Fia, F. L. R. (2013) – *Análise Qualitativa de Poluentes na Água das Chuvas em Lavras - MG*. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, vol.18, n.2, pp.269-278.
- França, A. C. M. (2011) – *Levantamento florístico e características anatômicas de espécies nativas do Cerrado em solos contaminados por metais pesados*. Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, Lavras (Minas Gerais, Brasil), 112p.
- Frias, A., Roque, A. J., Almeida, I. M., Caldeira, L., Januário, P., Santos, J. (2009) – *Características mecânicas de finos de pedreiras de granito: avaliação da aplicabilidade em obras geotécnicas*. Seminário Valorização de Resíduos em Obras Geotécnicas, Sociedade Portuguesa de Geotecnia.
- IGAM – Instituto de Gestão das Águas de Minas Gerais. Em: <http://www.igam.mg.gov.br/> (consultado a 03.10.2014).

Giannetti, B. F., Almeida, C. M. V. B, Bonilla, S. H. (2003) – *Implementação de Eco-tecnologias Rumo à Ecologia Industrial*. RAE-eletrônica, v.2, n.1, 19p.

Giubilato, E., Zabeo, A., Critto, A., Giove, S., Bierkens, J., Hond, E. D., Marcomini, A. (2014) – *A risk-based methodology for ranking environmental chemical stressors at the regional scale*. Environment International, 65, pp.41-53.

Golder Associates (2007a) – *Diagnóstico Geoquímico da Área Industrial da Votorantim Metais - Unidade Três Marias*. Golder Associates Brasil Consultoria e Projetos Ltda.

Golder Associates (2007b) – *Projeto de Recuperação Ambiental dos Córregos Consciência e Barreiro Grande na Área Industrial da Votorantim Metais - Unidade Três Marias*. Golder Associates Brasil Consultoria e Projetos Ltda.

INMET. *Instituto Nacional de Meteorologia*.

Em: http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf
(consultado a 20.08.2014).

Kabata-Pendias, A. (2001) – *Trace elements in soils and plants*. CRC press, 3ªed..

Khan, F. I., Husain, T., Hejazi, R. (2004) – *An overview and analysis of site remediation technologies*. Journal of Environmental Management, 71, pp.95-122.

Kwon, Y. -T., Lee, C. -W. (1998) – *Application of multiple ecological risk indices for the evaluation of heavy metal contamination in a coastal dredging area*. The Science of the Total Environment, 214, pp.203-210.

Lee, P. K., Touray, J. C., Baillif, P., Ildefonse J. P. (1997) – *Heavy metal contamination of settling particles in a retention pond along the A-71 motorway in Sologne, France*. Science of The Total Environment. n.201, pp.1–15.

Li, F., Fan, Z., Xiao, P., Oh, K., Ma, X., Hou, W. (2009) – *Contamination, chemical speciation and vertical distribution of heavy metals in soils of an old and large industrial zone in Northeast China*. Environmental geology, 57, 8, pp.1815-1823.

Manap, N., Voulvoulis, N. (2014) – *Risk-based decision-making framework for the selection of sediment dredging option*. Science of the Total Environment, 496, pp.607–623.

Marinho, A. O. T., Abreu, A. V., Pol, A., da Costa, A. L., Costa, D. A. A., Ramos, D. B. S. A., do Nascimento, F. S., Eccard, G. H. A., Meyer, G., Christofidis, H. V., Rezende, J. A., André, M. A. S., Neves, M- J. M., Neto, P. B. S., Coimbra, R. M., Mattioli, R. L., Souza, R. S., Vendruscolo, S., Vieira, V. M., Alves, V. P. (2006) – *Caderno da região hidrográfica do São Francisco*. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. – Brasília: MMA, 148p.

Menezes, R. R., Neves, G. A., Ferreira, H. C. (2002) – *O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.6, n.2, pp.303-313.

Moschini-Carlos, V., Nishimura, P. Y., Pompêo, M. (2011) – *A Importância e Problemática das Cianobactérias nos Reservatórios Eutrofizados*. Saneas, 40, pp.14-18.

Mozeto, A. A., Nascimento, M. D., Silva, E. F. A., Fioravanti, M. I. A. (2007) – *Avaliação da contaminação por metais e metalóides (água, sedimento e peixe) no Rio São Francisco em Três Marias (MG-Brasil): projeto de pesquisa participativa com a comunidade local*. Relatório Final Técnico-Científico. Departamento de Química, Universidade Federal de São Carlos.

Em: [http://worldfish.org/PPA/PDFs/Semi-Annual%20VII/E-6b%20UFSCar%20Metals%20Project%20Technical%20 Report -%20port.pdf](http://worldfish.org/PPA/PDFs/Semi-Annual%20VII/E-6b%20UFSCar%20Metals%20Project%20Technical%20Report-%20port.pdf) (a 30.11.2013)

Mulligan, C. N., Yong, R. N., Gibbs, B. F. (2001) – *An evaluation of technologies for the heavy metal remediation of dredged sediments*. Journal of Hazardous Materials, 85, pp.145-163.

Murphy, J., Riley, J. P. (1962) – *A Modified Single Solution Method for the Determination of Phosphate in Natural Waters*. Analytica Chimica Acta, n.27, pp.31-36.

Nude, P. M., Foli, G., Yidana, S. M. (2011) – *Geochemical Assessment of Impact of Mine Spoils on the Quality of Stream Sediments within the Obuasi Mines Environment, Ghana*. International Journal of Geosciences, n.2, pp.259-266.

Oliveira, M. A., Horn, A. H. (2006) – *Comparação da Concentração de Metais Pesados nas Águas do rio São Francisco em Três Marias, desde 1991 até hoje, relacionando a atuação da CMM-Três Marias*. Geonomos, v.14, 1,2, pp.55-63.

Oliveira, M. R. (2007) – *Investigação da Contaminação por Metais Pesados da Água e do Sedimento de Corrente nas margens do Rio São Francisco e tributários, a jusante da Represa da Cemig, no município de Três Marias, Minas Gerais*. Tese Final de Doutorado em Geologia Económica e Aplicada. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte (Minas Gerais, Brasil), 150p.

OMAFRA (2006) – *Soil Fertility Handbook p.611*. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 198pp.

OSPAR Commission (2004) – *Environmental impacts to marine species and habitats of dredging for navigational purposes*. Em: http://www.ospar.org/v_publications/download.asp?v1=p00208 (consultado a 03.09.2014).

OSPAR Commission (2008) – *Assessment of the environmental impact of dredging for navigational purposes*. Em: http://qsr2010.ospar.org/media/assessments/p00366_Dredging.pdf (consultado a 03.09.2014).

OSPAR Commission (2009) – *OSPAR Guidelines for the Management of Dredged Material*. Em: http://www.ospar.org/documents/dbase/decrecs/agreements/09-04e_guidelines%20on%20dredged%20material.doc (consultado a 03.09.2014).

Pereira, M. G., Espindula, A., Valladares, G. S., Anjos, L. H., Benites, V. M., Schultz, N. (2006) – *Comparison of Total Nitrogen Methods Applied for Histosols and Soil Horizons with High Organic Matter Content*. Communications in Soil Science and Plant Analysis, n.37, pp.939–943.

Pettijohn, E. J. (1975) – *Sedimentary Rocks*. Harper & Row Publishers, Harper International Edition, 3ª ed., 628 p.

Pinho, A. C. (2013) – *Avaliação Geoquímica de Ambientes Contaminados pela Extração Mineira, em Duas Distintas Regiões Geológicas e Climáticas*. Tese de Mestrado em Engenharia Geológica, Universidade de Évora, Évora.

Pueyo, M., Lopez-Sanchez, J. F., Rauret, G. (2004) – *Assessment of CaCl₂, NaNO₃ and NH₄NO₃ extraction procedures for the study of Cd, Cu, Pb and Zn extractability in contaminated soils*. Analytica chimica acta, 504, 2, pp.217-226.

Rauret, G. (1998) – *Extraction procedures for the determination of heavy metals in contaminated soil and sediment*. Talanta, 46, 3, pp.449-455.

Rauret, G., López-Sánchez, J. F., Sahuquillo, A., Rubio, R., Davidson, C., Ureb, A., Quevauvillerc, P. (1999) – *Improvement of the BCR three step sequential extraction procedure prior to the certification of new sediment and soil reference materials*. Journal of Environmental Monitoring, n.1, pp.57–61.

Reis, E., Lodolo, A., Miertus, S. (2007) – *Survey of sediment remediation technologies*. International Centre for Science and High Technology.

Em: <http://www.clu-in.org/download/contaminantfocus/sediments/Survey-of-sediment-remediation-tech.pdf> (consultado a 01.10.2014).

Resende, A. V. (2002) – *Agricultura e Qualidade da Água: Contaminação da Água por Nitrato*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1ªed, 29p.

Ribeiro, C. A. S., Castro, F., Vilarinho, C., Costa, F. (2009) – *Valorização das areias de fundição em obras geotécnicas*. Seminário Valorização de Resíduos em Obras Geotécnicas, Sociedade Portuguesa de Geotecnia.

Ribeiro, E. V. (2010) – *Avaliação da qualidade da água do rio São Francisco no segmento entre Três Marias e Pirapora-MG: Metais pesados e actividades antropogênicas*. Dissertação de Mestrado em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte (Minas Gerais, Brasil), 196p.

Roy, R. N., Finck, A., Blair, G. J., Tandon, H. L. S. (2006) – *Plant nutrition for food security. A guide for integrated nutrient management*. FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin, n.16.

Sahuquillo, A., Rigol, A., Rauret, G. (2003) – *Overview of the use of leaching/extraction tests for risk assessment of trace metals in contaminated soils and sediments*. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 22, 3, pp-152-159.

Salomons, W., Förstner, U. (1980) – *Trace metal analysis on polluted sediments. Part II: Evaluation of environmental impact*. Environmental Technology Letters, v.I, pp.506-517.

Salomons, W. (1995) – *Environmental impact of metals derived from mining activities: processes, predictions, prevention*. Journal of Geochemical Exploration, 52, 1, pp.5-23.

Sander, H. (2002) – *The porosity of tropical soils and implications for geomorphological and pedogenetic processes and the movement of solutions within the weathering cover*. *Catena*, 49, pp.129-137.

Santos, J. F. (2010) – *Relatório Técnico 25: Perfil do Minério de Zinco*. Ministério de Minas e Geologia. Em:

http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/a_mineracao_brasileira/P16_RT2_5_Perfil_do_Minxrio_de_Zinco.pdf (consultado a 09.10.2014).

Signorelli, N., Tuller, M. P., Silva, P. C., Justo, L. J. (2003) – *Carta Geológica Escala 1:250000 Folha SE.23-Y-B-Três Marias*. CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Ministério de Minas e Energia.

Suedel, B. C., Kim, J., Clarke, D. G., Linkov, I. (2008) – *A risk-informed decision framework for setting environmental windows for dredging projects*. *The Science of the Total Environment*, 403, pp.1-11.

Tessier, A., Campbell, P. G. C., Bisson, M. (1979) – *Sequential Extraction Procedure for the Speciation of Particulate Trace Metals*. *Analytical Chemistry*, 51, n.7, pp.844-851

Trindade, W. M. (2010) – *Concentração e distribuição de metais pesados em sedimentos do rio São Francisco entre Três Marias e Pirapora/MG: Factores naturais e antrópicos*. Dissertação de Mestrado em Geologia, na área de Geologia Econômica e Aplicada, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte (Minas Gerais, Brasil), 111p.

Trindade, W. M., Horn, A. H., Ribeiro, E. V. (2012) – *Concentrações de metais pesados em sedimentos do rio São Francisco entre Três Marias e Pirapora - MG: Geoquímica e Classificação de Risco Ambiental*. *Geonomos*, 20, 1, pp.64-75.

Tundisi, J.G. (2005) – *Avaliação das condições físicas, químicas, biológicas e toxicológicas da Represa de Três Marias e do Rio São Francisco (Trecho Represa Três Marias–Rio Abaeté)*. Instituto Internacional de Ecologia e Gerenciamento Ambiental.

Em: <http://www.worldfish.org/PPA/PDFs/Semi-Annual%20VI/E-11b.pdf> (consultado a 30.11.2013)

U.S.EPA (1990) – *Managing contaminated sediments: EPA decision-making processes*. U.S. Environmental Protection Agency, Sediment Oversight Technical Committee, 62p.

U.S.EPA (2007) – *Method 3051A: Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils*. Em: <http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3051a.pdf> (consultado a 15/11/2013).

Votorantim Metais. Em: <http://www.vmetais.com.br/pt-BR/Paginas/default.aspx> (consultado a 10.12.2013).

Wardlab. *Ward Guide*. Em: <http://www.wardlab.com/WardInfo/WardGuide.pdf> (consultado a 20.08.2014).

Wasserman, J. C. (2009) – *Avaliação Ambiental do Projeto de Dragagem do Porto do Sudeste: Avaliação dos Aporte de Metais para a Coluna d'Água Durante a Dragagem*. Rede UFF de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, Niterói.

Anexos



Anexo 1: Tabelas

	Pág.
Tabela A.1: Listagem das amostras de sedimento amostradas nas campanhas de Setembro e Novembro (pós-seca) e Março (pós-chuva). Caracterização, localização e data de recolha.	239
Tabela A.2: Listagem das amostras de aluvião amostradas nas campanhas de Setembro e Novembro (pós-seca) e Março (pós-chuva). Caracterização, localização e data de recolha.	247
Tabela A.3: Parâmetros físico-químicos para as águas recolhidas na campanha de Novembro de 2013.	251
Tabela A.4: Parâmetros físico-químicos para as águas recolhidas na campanha de Março de 2014.	251
Tabela A.5: Parâmetros físico-químicos para as águas intersticiais dos sedimentos.	252
Tabela A.6: Parâmetros físico-químicos para as águas intersticiais das aluviões.	255
Tabela A.7: Parâmetros físico-químicos referentes aos sedimentos.	256
Tabela A.8: Parâmetros físico-químicos referentes às aluviões.	260
Tabela A.9: Química da fracção dissolvida das águas recolhidas nas campanhas de Novembro de 2013 e Março de 2014.	263
Tabela A.10: Química da fracção dissolvida das águas intersticiais dos sedimentos (campanhas do período pós-seca – Setembro/Novembro 2013).	265
Tabela A.11: Química da fracção dissolvida das águas intersticiais dos sedimentos (campanha do período pós-chuvas – Março 2014).	269
Tabela A.12: Química da fracção dissolvida das águas intersticiais das aluviões (campanhas do período pós-seca – Setembro/Novembro 2013).	273
Tabela A.13: Química da fracção dissolvida das águas intersticiais das aluviões (campanha do período pós-chuvas – Março 2014).	275
Tabela A.14: Química da fracção particulada referente às águas (campanha do período pós-chuvas – Março 2014).	276
Tabela A.15: Valores resultantes da digestão parcial das amostras de sedimentos.	277

Tabela A.16: Valores resultantes da digestão parcial das amostras de aluviões.	285
Tabela A.17: Fracções extraídas em cádmio, nos sedimentos, nas diferentes fases da extracção sequencial.	289
Tabela A.18: Fracções extraídas em cobalto, nos sedimentos, nas diferentes fases da extracção sequencial.	291
Tabela A.19: Fracções extraídas em crómio, nos sedimentos, nas diferentes fases da extracção sequencial.	293
Tabela A.20: Fracções extraídas em cobre, nos sedimentos, nas diferentes fases da extracção sequencial.	295
Tabela A.21: Fracções extraídas em ferro, nos sedimentos, nas diferentes fases da extracção sequencial.	297
Tabela A.22: Fracções extraídas em manganês, nos sedimentos, nas diferentes fases da extracção sequencial.	299
Tabela A.23: Fracções extraídas em níquel, nos sedimentos, nas diferentes fases da extracção sequencial.	301
Tabela A.24: Fracções extraídas em chumbo, nos sedimentos, nas diferentes fases da extracção sequencial.	303
Tabela A.25: Fracções extraídas em zinco, nos sedimentos, nas diferentes fases da extracção sequencial.	305
Tabela A.26: Fracções extraídas em cádmio, nas aluviões, nas diferentes fases da extracção sequencial.	307
Tabela A.27: Fracções extraídas em cobalto, nas aluviões, nas diferentes fases da extracção sequencial.	308
Tabela A.28: Fracções extraídas em cobalto, nas aluviões, nas diferentes fases da extracção sequencial.	309
Tabela A.29: Fracções extraídas em cobre nas aluviões, nas diferentes fases da extracção sequencial.	310

Tabela A.30: Fracções extraídas em ferro, nas aluviões, nas diferentes fases da extracção sequencial.	311
Tabela A.31: Fracções extraídas em manganês, nas aluviões, nas diferentes fases da extracção sequencial.	312
Tabela A.32: Fracções extraídas em níquel, nas aluviões, nas diferentes fases da extracção sequencial.	313
Tabela A.33: Fracções extraídas em chumbo, nas aluviões, nas diferentes fases da extracção sequencial.	314
Tabela A.34: Fracções extraídas em zinco, nas aluviões, nas diferentes fases da extracção sequencial.	315
Tabela A.35: Percentagens de carbono, hidrogénio, azoto e enxofre obtidas por análise elementar para os sedimentos da área em estudo.	317
Tabela A.36: Percentagens de carbono, hidrogénio, azoto e enxofre obtidas por análise elementar para as aluviões da área em estudo.	319
Tabela A.37: Teores de fósforo total obtidos para os sedimentos da área em estudo.	321
Tabela A.38: Teores de fósforo total obtidos para as aluviões da área em estudo.	325
Tabela A.39: Valores correspondentes à lixiviação dos sedimentos após uma hora de agitação.	327
Tabela A.40: Valores correspondentes à lixiviação dos sedimentos após três horas de agitação.	329
Tabela A.41: Valores correspondentes à lixiviação dos sedimentos após dezoito horas de agitação.	331
Tabela A.42: Valores correspondentes à lixiviação dos sedimentos após vinte e quatro horas de agitação.	333
Tabela A.43: Valores correspondentes à lixiviação dos sedimentos após quarenta e oito horas de agitação.	335
Tabela A.44: Valores correspondentes à lixiviação das aluviões após uma hora de agitação.	337
Tabela A.45: Valores correspondentes à lixiviação das aluviões após três horas de agitação.	339

Tabela A.46: Valores correspondentes à lixiviação das aluviões após dezoito horas de agitação.	341
Tabela A.47: Valores correspondentes à lixiviação das aluviões após vinte e quatro horas de agitação.	343
Tabela A.48: Valores correspondentes à lixiviação das aluviões após quarenta e oito horas de agitação.	345
Tabela A.49: Valores obtidos para a fracção dissolvida no ensaio-piloto (superfície). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.	347
Tabela A.50: Valores obtidos para a fracção dissolvida no ensaio-piloto (fundo). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.	348
Tabela A.51: Valores obtidos para a fracção particulada no ensaio-piloto (superfície). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.	349
Tabela A.52: Valores obtidos para a fracção particulada no ensaio-piloto (fundo). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.	349
Tabela A.53: Valores obtidos para a fracção dissolvida no ensaio de turbidez (após remeximento). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.	350
Tabela A.54: Valores obtidos para a fracção dissolvida no ensaio de turbidez (1 hora após remeximento). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.	351
Tabela A.55: Valores obtidos para a fracção dissolvida no ensaio de turbidez (2 horas após remeximento). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.	352
Tabela A.56: Valores obtidos para a fracção dissolvida no ensaio de turbidez (8 horas após remeximento). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.	353
Tabela A.57: Valores obtidos para a fracção dissolvida no ensaio de turbidez (24 horas após remeximento). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.	354
Tabela A.58: Valores obtidos para a fracção dissolvida no ensaio de turbidez (48 horas após remeximento). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.	355
Tabela A.59: Valores obtidos para a fracção dissolvida no ensaio de turbidez (96 horas após remeximento). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.	356

Tabela A.60: Valores obtidos para a fracção dissolvida no ensaio de turbidez (168 horas – 7 dias após remeximento). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.	357
Tabela A.61: Valores obtidos para a fracção particulada no ensaio de turbidez (após remeximento). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.	358
Tabela A.62: Valores obtidos para a fracção particulada no ensaio de turbidez (1 hora após remeximento). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.	358
Tabela A.63: Valores obtidos para a fracção particulada no ensaio de turbidez (2 horas após remeximento). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.	359
Tabela A.64: Valores obtidos para a fracção particulada no ensaio de turbidez (8 horas após remeximento). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.	359
Tabela A.65: Valores obtidos para a fracção particulada no ensaio de turbidez (24 horas após remeximento). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.	360
Tabela A.66: Valores obtidos para a fracção particulada no ensaio de turbidez (48 horas após remeximento). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.	360
Tabela A.67: Valores obtidos para a fracção particulada no ensaio de turbidez (96 horas após remeximento). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.	361
Tabela A.68: Valores obtidos para a fracção particulada no ensaio de turbidez (168 horas – 7 dias após remeximento). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.	361
Tabela A.69: Percentagens de areia, silte e argila obtidos para as amostras de sedimento e respectiva classificação segundo o diagrama triangular de Shepard.	363
Tabela A.70: Percentagens de areia, silte e argila obtidos para as amostras de aluviões e respectiva classificação segundo o diagrama triangular de Shepard.	367
Tabela A.71: Densidade aparente, densidade das partículas e porosidade dos sedimentos.	369
Tabela A.72: Densidade aparente, densidade das partículas e porosidade das aluviões.	372
Tabela A.73: Valores obtidos para o Factor de Enriquecimento nos sedimentos.	375
Tabela A.74: Valores obtidos para o Factor de Enriquecimento nas aluviões.	379
Tabela A.75: Valores obtidos para o Índice de Geoacumulação nos sedimentos.	383

Anexo 2: Mapas

	Página
Figura A.1: Média anual de 2009 para o Índice de Qualidade da água e Contaminação por Tóxicos no estado de Minas Gerais.	393
Figura A.2: Média anual de 2012 para o Índice de Qualidade da Água e Contaminação por Tóxicos para a zona Sul da Bacia do Alto São Francisco.	395
Figura A.3: Média anual de 2013 para o Índice de Qualidade de Águas e Contaminação por Tóxicos para a zona Sul da Bacia do Alto São Francisco.	397
Figura A.4: Distribuição dos teores nos principais metalóides e metais pesados analisados, para profundidades entre os 0 e os 20 cm.	399
Figura A.5: Distribuição dos teores nos principais metalóides e metais pesados analisados, para profundidades entre os 20 e os 40 cm.	401
Figura A.6: Distribuição dos teores nos principais metalóides e metais pesados analisados, para profundidades entre os 40 e os 60 cm.	403
Figura A.7: Distribuição dos teores nos principais metalóides e metais pesados analisados, para profundidades entre os 60 e os 80 cm.	405
Figura A.8: Distribuição dos teores nos principais metalóides e metais pesados analisados, para profundidades entre os 80 e os 100 cm.	407
Figura A.9: Distribuição dos teores nos principais metalóides e metais pesados analisados, para profundidades superiores a 100 cm.	409

Anexo 1: Tabelas

Tabela A.1: Listagem das amostras de sedimento amostrados nas campanhas de Setembro e Novembro (pós-seca) e Março (pós-chuva). Caracterização, localização e data de recolha.

Período de Amostragem	Amostras	Profundidade (cm)	Data de Amostragem	Coordenadas		Tipo de Amostra	Observações
				Latitude	Longitude		
Pós-seca	CA0-1A	0-10 10-20	31-08-2013	S 18° 11,142'	W 45° 13,039'	Sedimento fluvial: Arenoso	Amostragem no leito do córrego Consciência; Manchas de areia quártzica sobre lajes de ardósia com baixo grau metamorfismo; Depósitos de cascalho em sectores mais deprimidos.
	CA0-2A	0-5 5-10 10-15	31-08-2013	S 18° 10,882'	W 45° 13,753'	Sedimento fluvial	Trecho do leito do córrego Consciência com lajes de siltitos; Água em pegos; Circulação de água subterrânea com fluxo ligeiro.
	CA0-3A	0-5 5-10 10-15	31-08-2013	S 18° 10,847'	W 45° 13,967'	Sedimento	Amostragem em zona emersa na margem côncava; Rio com água em pegos intermitentes.
Pós-seca	CA1-14	0-5 5-10 10-15 15-20 20-40 40-60 60-80 80-100	04-09-2013	S 18° 10,895'	W 45° 14,331'	Sedimento	Amostragem em zona emersa; Material muito plástico e adesivo; Nível muito argiloso e esverdeado; Posterior amostragem mais profunda entre os 60 e os 100 cm.
		11-11-2013					
	CA1-14 Sed. Córrego Draga	0-20	11-11-2013	S 18° 10,895'	W 45° 14,331'	Sedimento	Amostragem em zona emersa.
Pós-chuva	CA1-14 [III]	0-20 20-40 40-60 60-80 80-100	11-03-2014	S 18° 10,895'	W 45° 14,331'	Sedimento	Amostragem em zona emersa.

		100-120 1,30 m 1,40 m					
Pós-seca	CA1-22	0-5	04-09-2013	S 18° 10,961'	W 45° 14,141'	Sedimento	Amostragem no leito, em zona emersa e húmida; Sedimento amostrado ao lado do ponto CA1-21; Posterior amostragem mais profunda entre os 60 e os 100 cm.
		5-10 10-15 15-20 20-40 40-60 60-80 80-100					
Pós-chuva	CA1-22 [III]	0-20	14-03-2014	S 18° 10,961'	W 45° 14,141'	Sedimento	Amostragem no leito, em zona emersa e húmida.
		20-40 40-60 60-80 80-100					
	CA1-24 Sed Sup [III]	0-10	12-03-2014	S 18° 10,854'	W 45° 14,312'	Sedimento superficial: Cascalhento	Amostragem junto à margem de acumulação.
	CA1-26 [III]	0-5 5-10 10-15 15-20 20-25 25-30 30-35	12-03-2014	S 18° 10,825'	W 45° 14,284'	Core de Sedimentos	Amostragem de um core de sedimentos.
	CA1-26 Nível Verm. [III]	0-10	12-03-2014	S 18° 10,825'	W 45° 14,284'	Sedimento	Nível muito vermelho a mais ou menos 20 cm da superfície da água.
Pós-seca	CA1-26 Sed.	0-20	11-11-2013	S 18° 10,825'	W 45° 14,284'	Sedimento superficial	Amostragem de sedimentos com core apenas superficial.
Pós-chuva	CA1-27 Sed Sup [III]	0-5	12-03-2014	S 18° 10,790'	W 45° 14,259'	Sedimento superficial	O core apenas apanhou 5 a 10 cm de sedimento superficial; Não se recolheu core.

Pós-seca	CA1-27	0-5	11-11-2013	S 18° 10,790'	W 45° 14,259'	Core de Sedimentos	Amostragem com core perto da margem direita.
		5-10					
		10-15					
		15-20					
		20-25					
		25-30					
		30-35					
		35-40					
40-43							
Pós-chuva	CA1-27A Draga [III]	0-10	12-03-2014	S 18° 10,790'	W 45° 14,259'	Sedimento superficial	Amostragem a meio do canal onde apenas se apanhou areão e cascalho com argila.
	CA1-28 Draga [III]	0-5	12-03-2014	S 18° 10,768'	W 45° 14,285'	Sedimento superficial	Dragagem em várias tentativas, só se conseguiu amostrar na margem esquerda (de erosão).
Pós-seca	CA1-28	0-5	11-11-2013	S 18° 10,768'	W 45° 14,285'	Core de sedimentos	Amostragem de um core de sedimentos perto da foz junto ao São Francisco, próximo da margem esquerda.
		5-10					
		10-15					
		15-20					
		20-25					
		25-30					
		30-35					
		35-37					
	37-40						
	CA1-29	0-5	11-11-2013	S 18° 10,746'	W 45° 14,286'	Core de sedimentos	Amostragem de um core de sedimentos no Leque de sedimentação junto à foz do Consciência a 2 m de profundidade, junto à margem esquerda.
		5-10					
		10-15					
		15-20					
		20-25					
		25-30					
		30-35					
35-40							

		40-43 43-46					
Pós-chuva	CA1-29 Sup [III]	0-10	12-03-2014	S 18° 10,746'	W 45° 14,286'	Sedimento superficial	Dragagem superficial.
	CA1-29 [III]	0-5 5-10 10-15 15-20 20-25 25-30 30-35 35-41 41-46 2,50 m	12-03-2014	S 18° 10,746'	W 45° 14,286'	Core de sedimentos	Amostragem de um core de sedimentos a 2,10 m de profundidade.
	CA1-32 Sed [III]	0-20	12-03-2014	S 18° 10,871'	W 45° 14,253'	Sedimento superficial	Fundo revestido de lages de siltitos; Existem pequenas acumulações de material arenoso em saliências das lages inclinadas.
Pós-seca	CA1-32	0-10 10-20 20-30 30-40 40-50 50-60 60-70+	12-11-2013	S 18° 10,871'	W 45° 14,253'	Sedimento	Amostragem na margem esquerda de um meandro de acumulação escavado pelas correntes em períodos de maior precipitação, em zona emersa; Amostragem com trado; Muitas raízes nas camadas superficiais; As ervas, abundantes, fazem uma teia que protege o material que se depositou por cima, mantendo-o mais seco.
	CA1-35	0-10 10-20 20-30 30-40 40-50 50-60	12-11-2013	S 18° 10,959'	W 45° 14,169'	Sedimento	Amostragem na zona de maior acumulação, na margem direita do córrego Consciência junto à ponte; Grande acumulação de sedimentos na margem; Amostragem com trado; Córrego muito estreito; Muito material em Suspensão; Determinação da espessura do sedimento (Penetrômetro até 3m); Amostragem de gramíneas.

		60-80 80-100					
Pós-chuva	CA1-35 [III]	0-20 20-40 40-60 60-80 80-100	14-03-2014	S 18° 10,959'	W 45° 14,169'	Sedimento	Ao longo do curso de água grande acumulação de sedimento semelhante ao que amostrámos na margem; Amostragem de sedimento com core na mesma margem direita junto à ponte onde estava o DGT; Níveis de sedimento com muita água abaixo dos 20 cm.
Pós-seca	CA1-47	0-5 5-10 10-15 15-20 20-25 25-30 30-35 35-40 40-42 42-45	14-11-2013	S 18° 10,697'	W 45° 14,284'	Core de sedimentos	Amostragem com core a 2,5 m de profundidade na foz do córrego Consciência, junto à margem direita mas já no rio São Francisco.
Pós-chuva	CA1-48 [III]	0-20 20-40 40-60 60-80 80-100	11-03-2014	S 18° 10,930'	W 45° 14,254'	Sedimento	Amostragem na margem direita; Amostragem com trado; Abaixo dos 60 cm, pouca amostra mas muita saturada em água.
	CA1-51 Sed [III]	0-20	12-03-2014	S 18° 10,853'	W 45° 14,270'	Sedimento	Amostragem a 25 m a montante de CA1-23, zona de acumulação de material argiloso muito vermelho apenas em alguns sectores; Amostragem com core mas apenas se apanhou pouca amostra; Amostragem compósita.

	CA1-52 Core Sup [III]	0-20	12-03-2014	S 18° 10,735'	W 45° 14,284'	Core de sedimentos	Amostragem de um core de sedimentos na margem direita da foz no leque de sedimentação; Sedimento muito fino e avermelhado; Camada de material grosseiro sobre leito de argila vermelha fina.
	CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	12-03-2014	S 18° 10,749'	W 45° 14,284'	Sedimento superficial	Amostragem de sedimento superficial.
	CA1-53 [III]	0-5 5-10 10-15 15-20 20-25 25-30 30-35 35-40 40-45 45-50 50-55	12-03-2014	S 18° 10,749'	W 45° 14,284'	Core de sedimentos	2ª Tentativa de amostragem com core no local; Ótima amostragem sem esfinger com 55 cm de espessura de sedimentos.
	CA1-53 Core [III]	0-10	12-03-2014	S 18° 10,749'	W 45° 14,284'	Core de sedimentos	1ª Amostragem com core no local; Só amostrou 10 cm, o resto do core vem vazio.
Pós-seca	CA3-16 Sed	0-5	03-09-2013	S 18° 11,036'	W 45° 14,060'	Sedimento: Arenoso	Sedimento no leito do córrego Grota Seca, com cerca de 5 cm de espessura e graduação.
	CA3-36 Sup	0-5	13-11-2013	S 18° 11,064'	W45° 14,101'	Sedimento Superficial	Fluxo de escorrência da unidade de postulação após intensa chuvada (40 min); Escorrência para o córrego Grota Seca; Amostragem em local de escorrência preferencial; Amostragem de sedimento na margem.
	CA3-38	0-10 10-20 20-30 30-40 40-50	13-11-2013	S 18° 10,960'	W 45° 14,120'	Sedimento	Amostragem de sedimento depositado na foz do córrego Grota Seca no encontro com o córrego Consciência; Zona com pegos; Pouca amostra porque o perfil estava oco abaixo dos 60 cm.

		50-60 60-80 80-100					
Pós-chuva	CA3-38 [III]	0-20 20-40 40-60 60-80 80-100 1,20 m	11-03-2014	S 18° 10,960'	W 45° 14,120'	Sedimento	Repetição de amostragem na foz do córrego Grota Seca pós época das chuvas, na margem esquerda do córrego; Amostragem de Gramíneas.
Pós-seca	CA3-39 Esc. Grota Seca	0-5	13-11-2013	S 18° 10,972'	W 45° 14,136'	Sedimento superficial	Película superficial da escorrência do córrego Grota Seca.
Pós-seca	CA5-44	0-20 20-40 40-60	13-11-2013	S 18° 11,588'	W 45° 14,207'	Sedimento de Escorrência	Amostragem a 1,5 m a W do perfil do solo CA5-43, realizada com trado.
Pós-seca	BG-45	0-20 20-40 40-60 60-80	14-11-2013	S18° 11,789'	W 45,14,333'	Sedimento	Ponto a jusante da Votorantim a cerca de 100-200 m a W da BR-40 (estrada); Amostragem em meandro de acumulação; Espessura: 80 cm; Abaixo dos 80 cm existe o soco rochoso; Sedimento fino da margem do córrego Barreiro Grande muito saturado em água.
	BG-46	0-20 20-40	14-11-2013	S18° 11,633'	W 45° 14,003'	Sedimento	Amostragem na margem de acumulação do córrego Barreiro Grande ao nível de água; Coluna de água com 20 cm de profundidade; Espessura do sedimento amostrado de 40 cm.

Tabela A.2: Listagem das amostras de aluvião amostradas nas campanhas de Setembro e Novembro (pós-seca) e Março (pós-chuva). Caracterização, localização e data de recolha.

Período de Amostragem	Amostras	Profundidade (cm)	Data de Amostragem	Coordenadas		Tipo de Amostra	Observações
				Latitude	Longitude		
Pós-seca	CA0-2B	0-20 20-40 40-60	31-08-2013	S 18° 10,882'	W 45° 13,753'	Aluvião: Neossolo Flúvico (Ry)	Amostragem num barranco na margem direita.
Pós-seca	CA1-13	0-20 20-40 40-60 60-80 80-100	03-09-2013	S 18° 10,901'	W 45° 14,295'	Aluvião: Neossolo Flúvico (Ry)	Solo aluvionar na margem direita do córrego Consciência; Na margem esquerda existem camadas de sedimentos emersos (quase secos); Amostragem profunda, material mais seco (60-80 cm); Amostragem mais profunda, material mais húmido (80-100 cm).
Pós-chuva		11-11-2013					
		2,50 m	11-03-2014				
Pós-seca	CA1-20	0-20 20-40 40-60	04-09-2013	S 18° 10,936'	W 45° 14,040'	Aluvião: Neossolo Flúvico (Ry)	Margem esquerda do córrego Consciência; Nas margens verticais presença de vegetação; Associação do aluvião com solo Litólico.
	CA1-21	0-20 20-40 40-60 60-80 80-100	04-09-2013	S 18° 10,961'	W 45° 14,141'	Aluvião: Neossolo Flúvico (Ry)	Margem direita do córrego Consciência; Cobertura de gramíneas e braquiária; Posterior amostragem mais profunda entre os 60 e os 100 cm.
			13-11-2013				
		CA1-21 (lixí)	0-20 20-40 40-60	13-11-2013	S 18° 10,961'	W 45° 14,141'	Aluvião: Neossolo Flúvico (Ry)
	CA1-23	0-20 20-40 40-60	04-09-2013	S 18° 10,853'	W 45° 14,279'	Aluvião: Neossolo Flúvico (Ry)	Margem esquerda mesmo junto ao córrego Consciência; Planície aluvionar típica; Posterior amostragem mais profunda entre os 60 e os 100 cm.

		60-80 80-100	12-11-2013				
Pós-chuva	CA1-23 [III]	0-5 5-10 10-15 15-20 20-25 25-30 30-33	12-03-2014	S 18° 10,853'	W 45° 14,279'	Aluvião: Neossolo Flúvico (Ry)	Zona do leito do córrego Consciência mesmo por baixo do ponto anterior; Zona com água; Recolha de um core de sedimentos.
Pós-seca	CA1-30	0-20 20-40	12-11-2013	S 18° 10,771'	W 45° 14,290'	Aluvião: Neossolo Flúvico (Ry)	Zona aluvionar na margem esquerda do córrego Consciência, junto à foz; Margem elevada relativamente ao córrego; Muitas árvores (mangas) e raízes.
	CA1-31	0-20 20-40 40-60	12-11-2013	S 18° 10,810'	W 45° 14,275'	Aluvião: Neossolo Flúvico (Ry)	Zona aluvionar na margem esquerda do córrego Consciência; Zona de árvores, floresta de braquiária.
	CA1-34	0-20 20-40 40-60 60-80 80-100	12-11-2013	S 18° 10,831'	W 45° 14,306'	Aluvião: Neossolo Flúvico (Ry)	Planície aluvionar na margem direita; Película arenosa de 3 cm; Restante perfil com humidade; Nível mais argiloso a cerca de 40 cm; Entre os 80 e os 100 cm encontra-se perto do nível freático (nível do córrego).
Pós-seca	CA2-10 Sulfatos	0-5	03-09-2013	S 18° 10,975'	W 45° 14,323'	Fragmentos: Sulfatos Hidratados	Amostragem de fragmentos de Sulfatos que cobrem a superfície da planície aluvionar.
	CA2-10	0-20 20-40 40-60 60-80 80-100	03-09-2013	S 18° 10,975'	W 45° 14,323'	Aluvião: Neossolo Flúvico (Ry) + Aterro	Planície aluvionar alagada na época das cheias, com material de aterro muito argiloso; Cobertura de sulfatos; Posterior amostragem mais profunda entre os 60 e os 100 cm; Determinação da espessura do aluvião (Penetrómetro até 2,20 m); Amostragem de Gramíneas; Posterior amostragem e determinação de espessura (Penetrómetro até 2,40 m) pós época das chuvas; Zona muito alagada, sedimento muito coeso e argiloso.
			11-11-2013				
Pós-chuva		2,40 m	11-03-2014				

Pós-seca	CA2-10 (lixí)	0-20 20-40 40-60 60-80 80-100	11-11-2013	S 18° 10,975'	W 45° 14,323'	Aluvião: Neossolo Flúvico (Ry) + Aterro	Repetição de amostragem para ensaio de lixiviação no local anterior.
Pós-chuva	CA2-10A [III]	0-20 20-40 40-60	13-03-2014	S 18° 10,600'	W 45° 14,870'	Aluvião: Neossolo Flúvico (Ry) + Aterro	Plataforma, levemente inclinada para NE, de material de escorrência atapetado com material argiloso vermelho; Neste local o canal de retenção está quebrado e a escorrência vai directa para o aluvião, para a estação CA2-10 e para o córrego Consciência; Ponto a SE de CA2-10.
Pós-seca	CA2-11	0-20 20-40 40-60	03-09-2013	S 18° 10,995'	W 45° 14,283'	Aluvião: Neossolo Flúvico + Gleissolo Háplico (Ry + Gx) + Aterro	Continuação da superfície aluvionar; Mistura com Gleissolo e aterro; Solo húmido coberto por camada de sulfatos sobre vegetação morta (capim); Pode corresponder a deposição recente devido às últimas chuvas; Perto do tanque de deposição.
	CA2-12	0-20 20-40 40-60 60-80 80-100	03-09-2013	S 18° 10,958'	W 45° 14,244'	Aluvião: Neossolo Flúvico + Gleissolo Háplico (Ry + Gx) + Aterro	Superfície aluvionar; Solo húmido acinzentado, coberto por capim alto (Gramíneas); Posterior amostragem mais profunda entre os 60 e os 100 cm; Posterior amostragem e determinação de espessura do aluvião (Penetrómetro até 2,70 m) pós época das chuvas.
		11-11-2013					
Pós-chuva		2,70 m	11-03-2014				
Pós-seca	CA3-18	0-20 20-40 40-60 60-80 80-100	03-09-2013	S 18° 10,980'	W 45° 14,119'	Aluvião: Neossolo Flúvico (Ry)	Amostragem num aluvião coberto de gramíneas e com camada superficial de sulfatos, na foz do córrego Grota Seca muito perto do ponto da experiência 1 com amostradores DGT; Posterior amostragem mais profunda entre os 60 e os 100 cm; Amostragem de Gramíneas.
		13-11-2013					
		11-03-2014					
Pós-chuva		1,20-1,50 m					
Pós-seca	CA3-37	0-10 10-20	13-11-2013	S 18° 11,076'	W 45° 14,103'	Aluvião: Neossolo Flúvico (Ry)	Zona aluvionar da linha de água afluyente do córrego Grota Seca; Material mais fino e alaranjado (0-10 cm).

		20-40 40-50					
Pós-seca	CA5-6	0-20 20-40 40-60	02-09-2013	S 18° 11,633'	W 45° 14,319'	Aluvião: Neossolo Flúvico	Zona aluvionar do córrego Barreiro Grande; Amostragem dificultada devido à existencia de muita água.
	CA5-8	0-20 20-40 40-60	02-09-2013	S 18° 11,663'	W 45° 14,267'	Aluvião: Neossolo Flúvico (Ry) + Aterro	Margem do córrego Barreiro Grande; Trecho muito poluído; Capim penisetto cortado.

Tabela A.3: Parâmetros físico-químicos para as águas recolhidas na campanha de Novembro de 2013.

Amostra	Data	Hora de Recolha	T°C	Prof. (m)	pH	Eh	Condutividade Eléctrica (mS.cm ⁻¹)
CA1-14 Sup	11-11-2013	12:20	33,3	1	5,81	118	1,72
CA1-14 Sup	18-11-2013	08:20	22,6	1	5,04	230	12,5
CA1-24 Fundo	11-11-2013	15:45	28,2	1	5,00	209	0,726
CA1-24 Sup	11-11-2013	15:45	28,7	1	7,04	220	0,97
CA1-24	14-11-2013	13:40	25,1	1	5,89	276	10,5
CA1-26	11-11-2013	-	30,7	1-1,2	6,55	197	1,02
CA1-28 Sup	11-11-2013	17:05	28,8	1,5	6,92	151	1,42
CA1-28 Fundo	11-11-2013	17:05	28,7	1,5	7,00	147	1,31
CA1-28 Sup	14-11-2013	14:05	24,8	1,5	6,67	303	11,9
CA1-29 Sup	11-11-2013	17:40	27	2	7,21	86	1,11
CA1-29 Fundo	11-11-2013	17:40	28,8	2	7,13	91	0,859
CA1-29 Sup	14-11-2013	13:20	24,9	2	6,84	238	10,9
CA1-35	12-11-2013	16:00	32,6	0,8	6,30	210	2,33
CA1-35	18-11-2013	08:50	23,9	0,8	6,56	199	20,5
CA1-47 Sup	14-11-2013	-	25,1	2,5	6,96	220	13,8
CA3-38	13-11-2013	-	28	-	6,22	322	16
BG-45 Sup	14-11-2013	-	23,7	-	8,15	255	7,39
BG-46 Sup	14-11-2013	-	24,2	-	7,08	257	9,65
Escorrência Grota Seca	13-11-2013	-	28	-	6,11	318	9,98
SF - Foz Consciência	14-11-2013	-	25,4	-	6,87	226	10,3

Tabela A.4: Parâmetros físico-químicos para as águas recolhidas na campanha de Março de 2014.

Amostra	Data	Hora	T°C	Prof. (m)	pH	Eh	Condutividade Eléctrica (mS.cm ⁻¹)
CA1-14	11-03-2014		29,2	1	6,30	90	0,506
CA1-26 Sup	12-03-2014	10:55	26,8	1	6,61	125	0,178
CA1-26 Fundo	12-03-2014	10:55	26,1	1	6,17	135	0,249
CA1-27 Sup	12-03-2014	10:05	26,4	2,4	6,82	159	0,143
CA1-27 Sup	12-03-2014	10:05	25,4	2,4	6,35	173	0,239
CA1-27A	17-03-2014	08:38	24,9	2,4	7,24	118	0,255
CA1-29 Sup	12-03-2014	09:20	26,6	2,1	6,94	105	0,153
CA1-29 Fundo	12-03-2014	10:05	26,2	2,1	6,61	136	0,237
CA1-35 Sup	10-03-2014	15:20	28,9	1	6,67	149	0,115
CA1-35	14-03-2014	09:30	25,1	1	6,41	143	0,08
CA1-48	11-03-2014	10:30	25,1	1,2	6,49	138	0,08
CA1-48	17-03-2014	09:00	24,7		7,2	141	0,088
CA1-49	11-03-2014	15:20	26,5		6,42	132	0,105
CA1-49	17-03-2014	09:25	26,7		7,16	175	0,321
CA1-50 Sup	12-03-2014	11:30	27,7	1,4	6,38	44	0,322
CA1-50 Sup	12-03-2014	11:30	27,7	1,4	6,38	44	0,322
CA1-50 Fundo	12-03-2014	11:30	28	1,4	6,56	44	0,311

Tabela A.5: Parâmetros físico-químicos para as águas intersticiais dos sedimentos. As amostras referentes à campanha de Março de 2014 encontram-se referenciadas com [III].

Amostras	Profundidade (cm)	pH	Condutividade Eléctrica (mS.cm ⁻¹)
CA1-14	60-80	4,43	-
	80-100	4,17	-
CA1-14 Sed. Córrego Draga	0-20	3,80	-
CA1-14 [III]	0-20	5,15	6,71
	20-40	5,79	6,57
	40-60	5,73	6,78
	60-80	5,06	6,45
	80-100	4,95	6,22
	100-120	4,79	5,42
CA1-22	60-80	6,43	-
CA1-22 [III]	0-20	6,63	0,52
	20-40	7,03	0,47
	40-60	7,18	0,42
	60-80	7,03	0,38
	80-100	6,90	0,42
CA1-24 Sed Sup [III]	0-10	6,13	0,42
CA1-26 [III]	0-5	6,26	0,74
	5-10	6,36	0,76
	10-15	6,33	0,74
	15-20	6,49	0,77
	20-25	6,33	0,72
	25-30	6,35	0,60
	30-35	6,26	0,60
CA1-27	0-5	6,04	-
	5-10	5,63	-
	15-20	6,47	-
	20-25	5,93	-
	25-30	6,24	-
	30-35	6,27	-
	35-40	6,36	-
	40-43	4,72	-
CA1-27 Sed Sup [III]	0-5	6,23	0,29
CA1-27A Draga [III]	0-10	6,89	0,37
CA1-28	0-5	6,38	-
	5-10	6,54	-
	10-15	6,51	-
	15-20	6,96	-
	20-25	6,82	-
	25-30	6,88	-
	30-35	6,38	-

	35-37	6,80	-
CA1-28 Draga [III]	0-5	5,73	0,28
CA1-29	0-5	6,10	-
	5-10	7,11	-
	10-15	7,49	-
	20-25	7,74	-
	25-30	7,53	-
	30-35	7,42	-
	35-40	7,24	-
	40-43	7,43	-
CA1-29 Sup [III]	0-10	6,66	0,42
CA1-29 [III]	0-5	6,85	0,31
	5-10	7,11	0,44
	10-15	7,21	0,46
	15-20	7,10	0,47
	20-25	7,03	0,41
	25-30	7,20	0,44
	30-35	7,00	0,43
	35-41	6,71	0,36
	41-46	6,63	2,12
CA1-32 Sed [III]	0-20	6,24	2,74
CA1-35 [III]	0-20	4,27	0,48
	20-40	3,94	0,31
	40-60	3,74	0,56
	60-80	4,43	0,30
	80-100	4,78	0,28
CA1-47	0-5	6,85	-
	5-10	6,72	-
	10-15	6,71	-
	15-20	3,64	-
	20-25	6,46	-
	25-30	6,46	-
	30-35	6,43	-
	35-40	6,55	-
	40-42	6,58	-
42-45	6,57	-	
CA1-48 [III]	20-40	6,47	0,40
	40-60	6,24	0,50
	60-80	6,49	0,17
	80-100	6,35	0,16
CA1-51 Sed [III]	0-20	6,44	0,84
CA1-52 Core Sup [III]	0-20	6,80	0,22
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	6,68	0,29
CA1-53 [III]	0-5	6,74	0,33
	5-10	6,65	0,31
	10-15	6,68	0,41

	15-20	6,73	0,29
	20-25	6,71	0,33
	25-30	6,65	0,35
	30-35	6,71	0,29
	35-40	6,69	0,26
	40-45	6,70	0,26
	45-50	6,74	0,26
	50-55	6,99	0,22
CA1-53 Core [III]	0-10	6,76	0,31
CA3-36 Sup	0-5	6,28	-
CA3-38	20-30	6,45	-
	30-40	6,57	-
	40-50	6,52	-
	50-60	6,41	-
	60-80	6,36	-
CA3-38 [III]	0-20	6,55	0,30
	20-40	7,33	0,70
	40-60	6,70	0,26
	60-80	6,92	0,80
	80-100	7,74	1,28
	1,20 m	7,01	0,80
BG-45	20-40	7,29	-
	40-60	7,03	-
	60-80	7,02	-
BG-46	20-40	7,22	-

Tabela A.6: Parâmetros físico-químicos para as águas intersticiais das aluviões.
As amostras referentes à campanha de Março de 2014 encontram-se referenciadas com [III].

Amostras	Profundidade (cm)	pH	Condutividade Eléctrica (mS.cm⁻¹)
CA1-13	40-60	-	-
	60-80	5,02	-
	80-100	5,23	-
CA1-21	60-80	6,43	-
	80-100	7,09	-
CA1-23 [III]	0-5	5,88	0,58
	5-10	6,94	0,69
	10-15	7,17	0,64
	15-20	6,76	0,63
	20-25	6,99	0,66
	25-30	6,91	0,84
	30-33	7,48	0,72
CA2-10	80-100	5,64	-
CA2-12	60-80	5,99	-
	80-100	6,07	-
	2,70 m	4,98	2,75

Tabela A.7: Parâmetros físico-químicos referentes aos sedimentos.
As amostras referentes à campanha de Março de 2014 encontram-se referenciadas com [III].

Amostras	Profundidade (cm)	pH	Eh (mV)
CA0-1A	0-10	6,25	309
	10-20	6,32	290
CA0-2A	0-5	6,26	124
	5-10	6,20	71
	10-15	5,88	85
CA0-3A	0-5	5,43	138
	5-10	5,19	104
	10-15	5,13	128
CA1-14	0-5	5,80	257
	5-10	5,80	238
	10-15	6,01	289
	15-20	6,27	206
	20-40	5,96	310
	40-60	5,17	132
	60-80	6,10	202
	80-100	5,89	226
CA1-14 Sed. Córrego Draga	0-20	5,14	315
CA1-14 [III]	0-20	5,66	178
	20-40	5,66	120
	40-60	5,5	216
	60-80	5,05	269
	80-100	4,72	329
	100-120	5,13	192
	1,30 m	6,07	-
	1,40 m	5,63	197
CA1-22	0-5	5,58	43
	5-10	6,55	14
	10-15	6,18	-105
	15-20	6,35	-43
	20-40	6,83	-14
	40-60	6,62	-35
	60-80	6,47	58
	80-100	6,22	-
CA1-22 [III]	0-20	4,81	-170
	20-40	5,2	-70
	40-60	5,38	-45
	60-80	5,47	-75
	80-100	6,32	-130
CA1-24 Sed Sup [III]	0-10	6,33	19
CA1-26 [III]	0-5	6,93	-106

	5-10	8,67	-50
	10-15	7,48	-45
	15-20	7,76	-50
	20-25	7,19	-98
	25-30	6,72	-70
	30-35	6,88	-62
CA1-26 Nível Verm. [III]	0-10	6,04	29
CA1-26 Sed.	0-20	6,62	-
CA1-27 Sed Sup [III]	0-5	6,16	4
CA1-27	0-5	5,73	6
	5-10	5,61	6
	10-15	5,82	247
	15-20	5,71	136
	20-25	5,40	71
	25-30	6,47	57
	30-35	5,54	13
	35-40	5,46	112
	40-43	5,46	156
CA1-27A Draga [III]	0-10	6,73	40
CA1-28 Draga [III]	0-5	6,37	15
CA1-28	0-5	5,90	47
	5-10	5,98	-12
	10-15	6,03	66
	15-20	6,21	-41
	20-25	6,35	-39
	25-30	6,02	77
	30-35	5,98	6
	35-37	6,05	1
	37-40	6,01	26
CA1-29	0-5	7,24	-75
	5-10	6,55	-85
	10-15	6,77	-142
	15-20	6,85	-142
	20-25	7,16	-66
	25-30	6,97	-70
	30-35	6,94	-29
	35-40	6,81	-18
	40-43	6,92	-48
	43-46	6,89	-6
CA1-29 Sup [III]	0-10	6,66	-72
CA1-29 [III]	0-5	7,17	-68
	5-10	6,98	-79
	10-15	7,07	-30
	15-20	7,24	-43
	20-25	6,65	-47
	25-30	6,9	-17

	30-35	6,43	16
	35-41	6,14	-17
	41-46	6,04	-62
	2,50 m	6,29	-89
CA1-32 Sed [III]	0-20	6,20	93
CA1-32	0-10	5,33	111
	10-20	5,50	197
	20-30	5,81	7
	30-40	5,98	-26
	40-50	5,85	241
	50-60	6,21	48
	60-70+	6,14	84
CA1-35	0-10	5,66	236
	10-20	5,74	453
	20-30	5,49	375
	30-40	5,29	445
	40-50	5,47	503
	50-60	5,42	414
	60-80	5,64	554
	80-100	5,36	192
CA1-35 [III]	0-20	3,94	216
	20-40	3,08	247
	40-60	4,13	213
	60-80	4,95	233
	80-100	3,61	155
CA1-47	0-5	5,87	-10
	5-10	6,07	40
	10-15	5,50	115
	15-20	5,75	50
	20-25	5,86	75
	25-30	5,84	117
	30-35	5,91	78
	35-40	6,01	228
	40-42	6,03	42
42-45	5,87	36	
CA1-48 [III]	0-20	6,32	48
	20-40	6,36	12
	40-60	6,36	-19
	60-80	6,49	-26
	80-100	6,61	0
CA1-51 Sed [III]	0-20	6,38	87
CA1-52 Core Sup [III]	0-20	6,61	-98
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	6,53	-105
CA1-53 [III]	0-5	6,86	-53
	5-10	6,66	-31
	10-15	6,9	-96

	15-20	7,03	-53
	20-25	6,9	-55
	25-30	6,57	-65
	30-35	6,82	-62
	35-40	5,96	-125
	40-45	6,36	-91
	45-50	6,27	-48
	50-55	6,65	-53
CA1-53 Core [III]	0-10	6,61	-89
CA3-16 Sed	0-5	6,76	269
CA3-36 Sup	0-5	5,87	340
CA3-38	0-10	5,96	212
	10-20	6,19	359
	20-30	6,49	345
	30-40	6,39	328
	40-50	6,24	188
	50-60	6,26	347
	60-80	6,00	97
80-100	6,24	3	
CA3-38 [III]	0-20	6,28	228
	20-40	6,69	-24
	40-60	5,87	7
	60-80	6,2	72
	80-100	6,82	-98
	1,20 m	6,61	-86
CA3-39 Esc. Grotta Seca	0-5	6,74	142
CA5-44	0-20	6,12	306
	20-40	5,93	243
	40-60	5,96	256
BG-45	0-20	6,52	45
	20-40	6,82	-11
	40-60	6,20	-26
	60-80	5,92	-64
BG-46	0-20	7,92	26
	20-40	7,79	-4

Tabela A.8: Parâmetros físico-químicos referentes às aluviões.
As amostras referentes à campanha de Março de 2014 encontram-se referenciadas com [III].

Amostras	Profundidade (cm)	pH	Eh (mV)
CA0-2B	0-20	5,53	191
	20-40	5,17	160
	40-60	4,99	198
CA1-13	0-20	5,65	305
	20-40	5,77	281
	40-60	5,87	310
	60-80	6,07	219
	80-100	6,16	170
	2,50 m	6,04	163
CA1-20	0-20	5,77	318
	20-40	6,16	313
	40-60	5,56	318
CA1-21	0-20	5,89	127
	20-40	5,08	72
	40-60	5,42	245
	60-80	5,75	160
	80-100	6,48	4
CA1-21 (lixí)	0-20	5,10	-
	20-40	5,24	-
	40-60	5,46	-
CA1-23	0-20	5,27	325
	20-40	5,20	320
	40-60	5,69	243
	60-80	5,78	387
	80-100	6,16	330
CA1-23 [III]	0-5	6,56	-7
	5-10	6,47	30
	10-15	6,73	-39
	15-20	6,43	-43
	20-25	6,94	-41
	25-30	6,91	-41
	30-33	6,68	-130
CA1-30	0-20	7,48	265
	20-40	7,39	322
CA1-31	0-20	5,20	303
	20-40	5,12	330
	40-60	4,84	294
CA1-34	0-20	6,41	282
	20-40	5,74	286
	40-60	5,30	270

	60-80	5,55	397
	80-100	5,27	402
CA2-10 Sulfatos	0-5	6,12	-
CA2-10	0-20	6,39	173
	20-40	5,87	204
	40-60	5,95	240
	60-80	6,17	188
	80-100	6,00	132
	2,40 m	5,87	166
CA2-10 (lixivi)	0-20	6,23	-
	20-40	6,28	-
	40-60	6,23	-
	60-80	6,12	-
	80-100	6,04	-
CA2-10A [III]	0-20	6,22	252
	20-40	6,20	255
	40-60	6,56	226
CA2-11	0-20	6,60	288
	20-40	6,06	320
	40-60	6,12	308
CA2-12	0-20	5,48	262
	20-40	6,00	178
	40-60	6,44	296
	60-80	6,35	192
	80-100	6,25	226
	2,70 m	5,62	102
CA3-18	0-20	6,82	298
	20-40	7,05	279
	40-60	6,83	271
	60-80	7,45	326
	80-100	6,45	183
	1,20-1,50 m	6,32	146
CA3-37	0-10	6,02	162
	10-20	6,38	282
	20-40	5,25	268
	40-50	4,88	212
CA5-6	0-20	5,86	50
	20-40	6,09	23
	40-60	5,62	-26
CA5-8	0-20	7,64	218
	20-40	7,51	202
	40-60	7,30	209

Tabela A.9: Química da fracção dissolvida das águas recolhidas nas campanhas de Novembro de 2013 e Março de 2014.

Amostra	Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Na (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)
CAMPANHA DE NOVEMBRO DE 2013															
CA1-14 Sup	0,3978	< 0,01	47,8148	0,0750	0,0292	< 0,001	< 0,001	1,2622	6,6923	76,0492	4,7630	11,2644	0,0162	< 0,001	46,8382
CA1-14 Sup	< 0,001	< 0,01	191,2111	0,4089	0,1909	< 0,001	< 0,001	< 0,001	13,5227	394,6060	31,2740	41,2842	0,1525	< 0,001	321,2279
CA1-24 Fundo	0,1255	< 0,01	28,4018	0,0438	0,0038	< 0,001	< 0,001	0,1362	3,3510	23,5717	1,8758	4,5355	< 0,001	< 0,001	18,5706
CA1-24 Sup	0,2093	< 0,01	28,9891	0,0516	0,0050	< 0,001	< 0,001	0,2810	3,9715	26,1679	2,1193	5,1873	< 0,001	< 0,001	20,8582
CA1-24	< 0,001	< 0,01	71,2268	0,6740	0,0885	< 0,001	< 0,001	< 0,001	7,0857	53,4187	8,2130	7,3634	0,0320	< 0,001	62,9917
CA1-26	0,2948	< 0,01	15,5650	0,0379	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,2641	5,6102	17,1807	1,4136	4,8722	< 0,001	< 0,001	11,1073
CA1-28 Sup	0,0908	< 0,01	11,6658	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	3,1354	12,2365	0,2632	5,4100	< 0,001	< 0,001	2,0486
CA1-28 Fundo	0,1316	< 0,01	10,2492	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	3,5114	9,5132	0,1961	4,6887	< 0,001	0,0216	1,6031
CA1-28 Sup	< 0,001	< 0,01	12,5823	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	3,3402	14,3217	0,4722	5,3260	< 0,001	< 0,001	0,4062
CA1-29 Sup	0,1184	< 0,01	6,2974	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,4616	6,1264	0,0565	3,2193	< 0,001	< 0,001	0,4097
CA1-29 Fundo	0,0913	< 0,01	5,8741	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	1,3702	5,8041	0,0592	2,8458	< 0,001	< 0,001	0,4552
CA1-29 Sup	< 0,001	< 0,01	10,7806	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,7174	13,1337	0,1421	5,1485	< 0,001	< 0,001	0,1747
CA1-35	0,2496	< 0,01	6,8099	0,0100	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	6,7781	2,1848	0,9377	4,6696	< 0,001	< 0,001	1,0399
CA1-35	< 0,001	< 0,01	14,2952	0,0585	0,0014	< 0,001	< 0,001	< 0,001	7,4966	4,1288	2,3377	4,2750	< 0,001	< 0,001	2,5648
CA1-47 Sup	< 0,001	< 0,01	6,8649	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,4367	11,6179	0,0373	3,6473	< 0,001	< 0,001	< 0,001
CA3-38	0,4031	< 0,01	31,4776	0,4323	0,0168	< 0,001	0,0040	< 0,001	8,0913	6,0997	3,1939	5,3315	< 0,001	< 0,001	16,2774
BG-45 Sup	< 0,001	< 0,01	21,4299	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0065	5,2131	5,3930	0,0712	10,3787	< 0,001	< 0,001	0,0539
BG-46 Sup	< 0,001	< 0,01	16,3475	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0122	< 0,001	5,0505	3,2839	< 0,001	8,3799	< 0,001	< 0,001	0,0379
Escorrência Grotta Seca	< 0,001	< 0,01	105,0194	4,2465	0,4624	< 0,001	< 0,001	< 0,001	5,2590	45,9020	24,3682	3,9937	0,1780	< 0,001	244,5844
SF - Foz Consc.	< 0,001	< 0,01	6,4342	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,8049	1,5753	0,0001	4,5992	< 0,001	< 0,001	< 0,001
CAMPANHA DE MARÇO DE 2014															
CA1-14	< 0,001	< 0,01	20,7122	0,0319	0,0101	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,8484	31,2270	2,0415	5,9087	0,0028	< 0,001	22,4694
CA1-26 Sup	< 0,001	< 0,01	8,2427	0,0050	< 0,001	< 0,001	0,0469	< 0,001	2,7836	5,8422	0,3044	2,9889	< 0,001	< 0,001	2,2317

CA1-26 Fundo	< 0,001	< 0,01	11,5934	0,0086	0,0027	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,8939	13,3310	0,7719	4,6811	< 0,001	< 0,001	7,0861
CA1-27 Sup	0,0786	< 0,01	8,1102	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0242	0,0665	3,4839	8,0551	0,0923	4,6728	< 0,001	< 0,001	0,3562
CA1-27 Sup	< 0,001	< 0,01	7,0792	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0101	< 0,001	2,5217	4,8210	0,0620	3,0946	< 0,001	< 0,001	0,1895
CA1-27A	0,0101	< 0,01	9,2118	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0094	0,0274	3,6385	10,3786	0,1822	5,1173	< 0,001	< 0,001	1,8780
CA1-29 Sup	0,0101	< 0,01	9,2118	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0094	0,0274	3,6385	10,3786	0,1822	5,1173	< 0,001	< 0,001	1,8780
CA1-29 Fundo	< 0,001	< 0,01	12,0476	0,0123	0,0039	< 0,001	0,0091	0,0127	3,8411	14,8755	0,8902	5,2921	< 0,001	< 0,001	7,4528
CA1-35 Sup	< 0,001	< 0,01	1,6984	0,0051	< 0,001	< 0,001	0,0807	0,0012	3,9294	0,8113	< 0,001	3,5973	< 0,001	< 0,001	0,0377
CA1-35	< 0,001	< 0,01	1,6566	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	1,6484	0,6724	0,0646	2,0802	< 0,001	< 0,001	0,0479
CA1-48	< 0,001	< 0,01	2,2379	0,0033	< 0,001	< 0,001	0,0664	0,0013	3,0843	0,9036	0,0212	2,8221	< 0,001	< 0,001	0,0892
CA1-48	0,0804	< 0,01	4,6730	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0049	0,1483	5,1138	2,0607	< 0,001	3,6964	< 0,001	< 0,001	0,0665
CA1-49	< 0,001	< 0,01	0,7152	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0010	5,2945	0,3533	< 0,001	2,0678	< 0,001	< 0,001	0,0563
CA1-49	0,0924	< 0,01	3,1982	0,0095	< 0,001	< 0,001	0,1012	0,1964	40,5023	1,2095	< 0,001	3,9577	< 0,001	0,0017	0,0514
CA1-50 Sup	< 0,001	< 0,01	12,0476	0,0123	0,0039	< 0,001	0,0091	0,0127	3,8411	14,8755	0,8902	5,2921	< 0,001	< 0,001	7,4528
CA1-50 Sup	< 0,001	< 0,01	14,4076	0,0159	0,0062	< 0,001	0,0136	0,0098	4,0139	20,7775	1,2980	5,4733	< 0,001	< 0,001	13,0275
CA1-50 Fundo	< 0,001	< 0,01	10,5579	0,0054	0,0025	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,0361	10,3823	0,6910	3,1613	< 0,001	< 0,001	8,8167

Valores de Intervenção para Águas Doces (Classe 2) (CONAMA, 2012)										
Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)
0,1000	0,0100	0,0010	0,0500	0,0500	0,0090	0,3000	0,1000	0,0250	0,0100	0,1800

Tabela A.10: Química da fracção dissolvida das águas intersticiais dos sedimentos (campanhas do período pós-seca – Setembro/Novembro 2013).

Campanha do Período de Seca – Setembro/Novembro 2013																
Amostras	Prof. (cm)	Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Na (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)
CA0-2A	0-5	0,1328	<0,01	<0,001	<0,001	-	<0,001	0,0204	0,2093	1,4520	1,7223	0,4588	5,6703	< 0,001	<0,001	1,4539
	5-10	0,1220	<0,01	0,3778	<0,001	-	<0,001	0,0147	0,6814	1,5030	0,7914	0,6213	4,6660	< 0,001	<0,001	0,5948
	10-15	0,1556	<0,01	<0,001	<0,001	-	<0,001	0,0099	0,2951	1,6180	0,6275	0,6371	4,5720	< 0,001	<0,001	0,4655
CA0-3A	0-5	0,2800	<0,01	11,0886	<0,001	-	<0,001	0,0090	1,4535	2,8520	4,7079	0,5033	7,1971	< 0,001	0,0016	1,5117
	5-10	0,1607	<0,01	2,3525	<0,001	-	<0,001	0,0056	3,6815	1,1220	1,5842	0,1819	3,8166	< 0,001	0,0033	0,2452
	10-15	0,1348	<0,01	2,0432	<0,001	-	<0,001	0,0205	9,6802	0,6130	1,3592	0,1910	3,1952	< 0,001	0,0070	1,8162
CA1-14	0-5	0,3230	<0,01	374,7284	2,9623	-	0,0590	1,0054	0,0568	27,4900	1589,03	128,3782	113,0634	0,6314	0,0902	677,4986
	5-10	0,2229	<0,01	403,4225	0,9971	-	0,0221	0,7514	0,0359	12,3800	848,15	68,4393	48,5484	0,2736	0,0851	480,4353
	10-15	0,4643	<0,01	402,8893	0,7197	-	0,0236	0,8644	0,0504	11,3200	831,27	74,9177	45,8116	0,2722	0,1567	459,8475
	15-20	0,2472	<0,01	372,5628	0,5455	-	0,0214	1,1788	0,0185	11,0100	733,96	68,8734	56,2624	0,2378	0,1733	406,7916
	20-40	0,3991	<0,01	399,8730	0,9876	-	0,0328	3,3248	0,1092	10,2700	1036,33	89,4898	57,5685	0,3838	1,2803	512,6604
	40-60	0,3624	<0,01	307,3784	0,2832	-	0,0024	0,0400	90,5107	6,7620	691,01	68,7212	77,8180	0,2473	0,2764	304,7386
	60-80	0,2171	< 0,01	528,5333	0,6991	< 0,001	0,9192	0,0936	160,903	7,3195	1118,93	119,5979	89,1560	0,2859	0,1579	653,2380
	80-100	0,1558	< 0,01	523,1178	1,5365	< 0,001	1,3233	0,2415	295,655	7,1558	1489,70	140,3508	145,4783	0,5059	0,2316	733,8197
CA1-14 Sed. Cór. Draga	0-20	0,2238	< 0,01	146,2631	0,3798	< 0,001	0,2233	0,0103	12,1008	11,4185	272,0765	45,0401	21,1737	0,1368	0,0141	470,7841
CA1-22	0-5	0,1266	<0,01	24,4399	<0,001	-	<0,001	0,0019	29,0431	13,2600	9,5856	5,8945	20,5388	0,0014	0,0096	1,0026
	5-10	0,2691	<0,01	21,4722	0,0131	-	<0,001	0,0056	4,4192	12,9900	10,2662	6,9169	13,4563	0,0040	<0,001	3,2223
	10-15	0,1399	<0,01	25,3301	<0,001	-	<0,001	<0,001	20,5709	10,9000	10,2626	1,7682	10,3771	< 0,001	0,0019	1,0330
	15-20	0,1401	<0,01	23,2057	<0,001	-	<0,001	<0,001	25,5225	11,9700	11,0693	1,3996	9,7973	0,0021	0,0077	0,4676
	20-40	0,1613	<0,01	42,3752	0,0150	-	<0,001	0,0812	2,9134	12,6900	50,4987	1,2236	21,3254	0,0074	<0,001	9,1058

	40-60	0,2013	<0,01	31,6933	<0,001	-	<0,001	0,0284	6,1095	9,3200	29,7047	0,1352	21,9003	<0,001	<0,001	5,5821
	60-80	<0,001	<0,01	116,6885	0,2777	<0,001	0,2678	0,0082	<0,001	15,1955	49,9472	59,7554	16,3530	0,0409	<0,001	27,3333
CA1-27	0-5	0,0710	<0,01	12,5019	<0,001	<0,001	0,0296	0,0075	1,3820	8,8072	15,5310	2,6451	10,7501	<0,001	<0,001	2,9135
	5-10	0,0071	<0,01	9,3182	<0,001	<0,001	0,0252	<0,001	<0,001	2,1476	10,7490	1,7891	6,4757	<0,001	<0,001	3,6198
	15-20	<0,001	<0,01	4,4288	<0,001	<0,001	0,0037	<0,001	0,0604	2,0570	7,2795	2,0776	6,6415	<0,001	<0,001	0,4164
	20-25	<0,001	<0,01	6,1865	<0,001	<0,001	0,0092	0,0270	0,1620	1,8473	10,0062	1,7738	8,0892	<0,001	<0,001	2,0819
	25-30	0,0387	<0,01	2,1240	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	2,1228	1,5995	3,4679	0,5224	7,2501	<0,001	<0,001	2,2830
	30-35	<0,001	<0,01	3,3937	<0,001	<0,001	0,0047	<0,001	1,5076	1,6938	6,4333	1,0811	7,8127	<0,001	<0,001	1,6365
	35-40	0,0723	<0,01	3,3882	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	1,2266	2,7939	0,2877	6,6920	<0,001	<0,001	1,0242
	40-43	0,0231	<0,01	0,8914	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	1,0701	0,9571	0,1336	5,2142	<0,001	<0,001	0,4007
CA1-28	0-5	0,0416	<0,01	4,9206	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,3611	2,7144	3,0644	1,0203	4,7697	<0,001	<0,001	0,7634
	5-10	0,0087	<0,01	4,9201	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	1,5775	2,4828	3,2704	1,5911	4,3812	<0,001	<0,001	0,2969
	10-15	<0,001	<0,01	14,8181	<0,001	<0,001	0,0095	<0,001	0,0263	3,3815	12,8772	4,3626	5,3257	<0,001	<0,001	1,6518
	15-20	0,0360	<0,01	6,3209	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,6403	2,6672	6,0295	0,9891	4,0678	<0,001	<0,001	0,0809
	20-25	0,0606	<0,01	4,8045	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,3425	2,7390	4,8825	0,6160	4,2414	<0,001	<0,001	1,5188
	25-30	0,0142	<0,01	3,0504	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	2,5494	3,0023	0,3082	4,1699	<0,001	<0,001	0,4686
	30-35	0,0222	<0,01	3,5538	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	2,5867	3,0324	0,1583	5,0678	<0,001	<0,001	1,2515
	35-37	0,0277	<0,01	6,3128	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	1,1561	2,7007	6,1232	0,2990	6,0729	<0,001	<0,001	0,6368
CA1-29	0-5	0,0157	<0,01	19,7533	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	2,2208	9,8962	40,0251	0,0980	7,9510	<0,001	<0,001	0,2048
	5-10	0,0193	0,0109	11,5545	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	9,4020	15,1775	0,5154	7,3312	<0,001	<0,001	4,0877
	10-15	0,0075	<0,01	11,1789	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,8960	6,8483	8,8610	0,1283	13,3935	<0,001	<0,001	1,1241
	15-20	0,0027	<0,01	13,8268	<0,001	0,0024	<0,001	<0,001	0,5491	7,6955	19,0079	0,2099	6,9440	<0,001	<0,001	1,1741
	20-25	0,0096	<0,01	12,0246	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	8,8821	19,5485	0,0928	7,5584	<0,001	<0,001	0,3392
	25-30	0,0147	<0,01	9,5821	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,5627	7,5836	15,2416	0,0337	6,5217	<0,001	<0,001	0,2763
	30-35	0,3857	<0,01	9,6443	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	8,4311	12,6141	0,1168	7,1776	<0,001	<0,001	0,4851
	35-40	0,0095	<0,01	11,1206	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	8,7147	15,0743	0,0970	7,6261	<0,001	<0,001	1,7039
	40-43	0,0009	<0,01	11,3299	<0,001	<0,001	<0,001	0,3944	<0,001	8,2874	16,5134	0,2639	7,3406	<0,001	<0,001	0,8960
CA1-32	10-20	0,0705	<0,01	114,6977	1,2494	<0,001	0,0535	0,0071	<0,001	7,9523	53,0915	7,5988	9,7100	0,0968	0,0082	216,5121

	20-30	0,0236	< 0,01	78,7778	0,2705	< 0,001	0,0077	0,0029	< 0,001	7,0540	50,7735	2,2697	9,2793	0,0213	< 0,001	69,3572
	30-40	0,0440	< 0,01	23,7815	< 0,001	< 0,001	0,0077	0,0269	36,1756	2,9652	20,7572	1,4980	7,0469	< 0,001	< 0,001	4,7096
	40-50	0,0216	< 0,01	124,9196	0,6215	< 0,001	0,0917	0,0010	0,7075	14,1787	62,1312	11,8574	10,2309	0,1022	< 0,001	183,4039
	50-60	0,0689	0,0123	30,6096	< 0,001	< 0,001	0,0113	0,0083	7,5265	2,3504	25,0587	3,3193	9,5167	< 0,001	< 0,001	4,0970
	60-70+	0,0922	0,0278	98,0848	0,0956	< 0,001	0,1290	0,0143	26,6139	6,9590	56,6920	18,0150	12,4511	0,0359	< 0,001	67,9373
CA1-35	20-30	0,4917	< 0,01	68,2503	0,0805	< 0,001	0,0333	0,0066	< 0,001	1,1759	15,8315	3,2463	44,3271	0,0215	< 0,001	18,9208
	30-40	< 0,001	< 0,01	0,7971	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0048	< 0,001	0,1825	0,5738	0,0151	1,3412	< 0,001	< 0,001	0,1060
	40-50	0,6273	< 0,01	60,3397	0,2244	< 0,001	0,0570	0,0081	< 0,001	2,2532	15,0085	1,9066	42,1722	0,0502	< 0,001	38,6647
	50-60	1,0133	< 0,01	71,0481	0,2353	< 0,001	0,3876	0,0080	< 0,001	3,5434	18,5523	6,7678	42,3782	0,0683	< 0,001	41,2940
	60-80	0,4184	< 0,01	56,1323	0,1627	< 0,001	0,3479	0,0076	< 0,001	15,4939	16,9443	9,7953	30,1492	0,0673	0,0061	36,4504
	80-100	0,5059	< 0,01	55,6914	0,2119	< 0,001	0,4060	0,0060	< 0,001	2,9745	16,3407	10,6955	33,5842	0,0575	< 0,001	34,9947
CA1-47	0-5	0,0074	< 0,01	6,1711	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,5333	2,9079	4,2262	0,5966	4,3216	< 0,001	< 0,001	0,9751
	5-10	0,0113	< 0,01	5,7467	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	7,7632	2,5469	3,9126	0,6079	3,6878	< 0,001	< 0,001	0,2549
	10-15	< 0,001	< 0,01	4,0168	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	1,7450	2,3847	2,7008	0,3223	3,4281	< 0,001	< 0,001	0,7390
	15-20	1,4981	< 0,01	3,0034	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,3436	3,0869	1,4131	0,2055	4,1894	< 0,001	< 0,001	10,8941
	20-25	0,0144	< 0,01	2,9157	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,3997	2,4295	1,7814	0,1344	2,8095	< 0,001	< 0,001	1,1388
	25-30	0,0005	< 0,01	4,9745	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	4,4463	2,5912	2,7147	0,2029	2,8589	< 0,001	< 0,001	0,7892
	30-35	0,0035	< 0,01	3,6350	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	8,0283	2,6114	2,2126	0,0789	2,7397	< 0,001	< 0,001	0,0978
	35-40	< 0,001	< 0,01	2,7430	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,3023	2,4937	1,6793	0,4069	2,6687	< 0,001	< 0,001	0,1791
	40-42	0,0992	< 0,01	3,2908	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,7974	3,0827	0,2510	3,0559	< 0,001	< 0,001	2,0769
	42-45	0,0464	< 0,01	3,3104	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,6830	2,2661	1,4284	0,1763	2,8259	< 0,001	< 0,001	0,7116
CA3-36 Sup	0-5	< 0,001	< 0,01	4,5962	0,2267	0,0350	< 0,001	0,0430	< 0,001	5,4451	31,4755	4,5206	0,1117	< 0,001	104,34 71	48,4712
CA3-38	0-20	0,0046	< 0,01	161,4192	0,3621	< 0,001	0,0608	0,0127	< 0,001	5,5982	51,0030	22,0570	23,3827	0,0192	< 0,001	29,0825
	20-30	< 0,001	< 0,01	118,1054	0,8739	< 0,001	0,0216	0,0595	< 0,001	5,0320	42,7189	21,2894	20,0765	0,0286	< 0,001	38,0035
	30-40	< 0,001	< 0,01	67,4925	0,6720	< 0,001	0,0196	0,0536	< 0,001	3,1821	26,1601	18,4227	15,9354	0,0177	< 0,001	24,4440
	40-50	< 0,001	< 0,01	78,0696	0,4633	< 0,001	0,0799	0,0040	< 0,001	5,8951	28,9479	25,0579	19,0996	0,0265	< 0,001	30,8323

	50-60	< 0,001	< 0,01	30,3203	0,0127	< 0,001	0,1390	0,0094	5,0532	5,5339	13,8594	14,4074	16,9039	0,0070	< 0,001	11,5299
	60-80	< 0,001	< 0,01	49,8221	0,3430	< 0,001	0,0783	0,0039	< 0,001	4,6393	18,4103	16,1177	17,7872	0,0095	< 0,001	16,3583
	80-100	< 0,001	< 0,01	30,3418	0,0433	< 0,001	0,0856	< 0,001	2,0178	9,0251	15,0483	11,4077	16,2867	< 0,001	< 0,001	6,7900
BG-45	20-40	0,0419	< 0,01	85,2616	< 0,001	< 0,001	0,0140	< 0,001	< 0,001	1,4401	17,6048	4,9213	7,3339	< 0,001	< 0,001	1,0453
	40-60	0,0103	< 0,01	44,0177	< 0,001	< 0,001	0,0248	< 0,001	< 0,001	2,8125	6,5363	3,3350	5,0790	< 0,001	< 0,001	0,3169
	60-80	< 0,001	< 0,01	25,2156	< 0,001	< 0,001	0,0028	< 0,001	< 0,001	1,8083	5,4345	3,4001	3,2475	< 0,001	< 0,001	0,7707
BG-46	20-40	0,0041	< 0,01	59,4426	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	7,3574	8,1753	2,2755	29,2570	< 0,001	< 0,001	0,0365

Valores de Intervenção para Águas Subterrâneas (COPAM, 2011)

Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)
3,5000	0,0100	0,0050	0,0050	0,0500	2,0000	2,4500	0,4000	0,0200	0,0100	1,0500

Tabela A.11: Química da fração dissolvida das águas intersticiais dos sedimentos (campanha do período pós-chuvas – Março 2014).

Campanha do Período de Chuva - Março 2014																
Amostras	Profundidade (cm)	Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Na (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)
CA1-14 [III]	0-20	< 0,001	< 0,01	453,6147	1,2229	0,0059	< 0,001	0,1237	< 0,001	16,6341	1021,2795	23,6241	52,0382	0,2864	0,0298	892,2071
	20-40	< 0,001	< 0,01	488,2122	1,0257	0,0043	< 0,001	0,0527	0,0069	12,4864	946,3059	29,0638	39,4281	0,2443	0,0106	756,0585
	40-60	0,0290	< 0,01	490,0927	1,0891	0,0051	< 0,001	0,0877	0,0086	12,3896	982,5835	25,9248	40,9345	0,2851	0,0239	812,0903
	60-80	0,2313	< 0,01	468,7998	1,6073	0,2520	< 0,001	0,2207	0,1092	10,0272	898,0040	55,9915	48,0942	0,2383	0,6039	735,0740
	80-100	1,9350	< 0,01	477,9001	2,9897	0,2047	< 0,001	0,3995	< 0,001	9,6941	925,6447	61,8027	49,8119	0,2342	0,6575	781,4965
	100-120	0,2151	< 0,01	312,3262	0,2952	0,9262	< 0,001	0,0264	14,1287	3,2305	696,3529	55,1179	244,0301	0,2928	0,0858	309,9088
CA1-22 [III]	0-20	< 0,001	< 0,01	32,3396	< 0,001	0,0405	< 0,001	< 0,001	0,1743	15,1108	14,8774	4,9433	8,4231	< 0,001	< 0,001	0,4886
	20-40	< 0,001	< 0,01	44,9326	< 0,001	0,0703	< 0,001	< 0,001	0,0018	9,6915	21,1092	10,0384	9,7428	< 0,001	< 0,001	0,3579
	40-60	< 0,001	< 0,01	31,7281	< 0,001	0,0195	< 0,001	0,0028	0,0105	10,2223	17,4489	2,6917	11,1528	< 0,001	< 0,001	1,0294
	60-80	< 0,001	< 0,01	26,7565	< 0,001	0,0049	< 0,001	< 0,001	0,0207	10,3382	13,1544	0,3851	10,9804	< 0,001	< 0,001	0,3282
	80-100	< 0,001	0,0168	39,3769	< 0,001	0,0227	< 0,001	< 0,001	0,0391	9,6610	12,7353	7,5158	11,8530	< 0,001	< 0,001	0,5460
CA1-24 Sed Sup [III]	0-10	< 0,001	< 0,01	22,8568	< 0,001	0,0373	< 0,001	< 0,001	0,0111	3,7105	20,9199	6,2291	6,7262	< 0,001	< 0,001	3,0603
CA1-26 [III]	0-5	< 0,001	< 0,01	59,9945	< 0,001	0,0258	< 0,001	< 0,001	0,0297	6,7516	35,6822	10,8815	13,5609	< 0,001	< 0,001	4,7598
	5-10	< 0,001	< 0,01	64,0934	< 0,001	0,0283	< 0,001	< 0,001	0,0412	7,5025	36,3993	11,8446	14,1919	< 0,001	< 0,001	4,8056
	10-15	< 0,001	< 0,01	66,4940	< 0,001	0,0209	< 0,001	< 0,001	0,3238	6,9077	34,4952	11,9254	14,1472	< 0,001	< 0,001	3,2385
	15-20	< 0,001	< 0,01	72,7258	< 0,001	0,0203	< 0,001	< 0,001	0,0014	7,3311	37,2989	13,6642	15,6335	< 0,001	< 0,001	2,3070
	20-25	< 0,001	< 0,01	61,6399	< 0,001	0,0165	< 0,001	0,0886	0,5011	6,7875	29,2809	12,9047	15,6509	< 0,001	< 0,001	1,9963
	25-30	< 0,001	< 0,01	53,3783	< 0,001	0,0150	< 0,001	0,0355	0,6386	6,2545	25,0029	11,2991	14,3983	< 0,001	< 0,001	1,2840
	30-35	< 0,001	< 0,01	49,6058	< 0,001	0,0196	< 0,001	0,0022	0,8268	6,6779	25,0008	11,4144	15,2382	< 0,001	< 0,001	2,6247
CA1-27 Sed Sup [III]	0-5	< 0,001	< 0,01	9,3354	< 0,001	0,0072	< 0,001	< 0,001	0,0185	2,7236	16,8902	2,0706	8,7300	< 0,001	< 0,001	0,7863

CA1-27A Draga [III]	0-10	< 0,001	< 0,01	41,0392	< 0,001	0,0050	< 0,001	< 0,001	0,0026	3,0414	18,5096	1,7549	5,7223	< 0,001	< 0,001	0,7450
CA1-28 Draga [III]	0-5	< 0,001	< 0,01	14,5773	< 0,001	0,0149	< 0,001	< 0,001	0,1953	3,4538	12,5470	6,9811	8,0677	< 0,001	< 0,001	2,3210
CA1-29 Sup [III]	0-10	< 0,001	< 0,01	24,9456	< 0,001	0,0040	< 0,001	0,0115	0,9201	4,5435	25,4765	3,4651	11,1000	< 0,001	< 0,001	0,3368
CA1-29 [III]	0-5	< 0,001	< 0,01	7,7946	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,1874	5,9582	9,4318	0,5048	5,7308	< 0,001	< 0,001	0,0373
	5-10	< 0,001	< 0,01	9,3221	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,9251	7,8731	13,2552	0,0172	6,5752	< 0,001	< 0,001	0,1263
	10-15	< 0,001	< 0,01	10,6109	< 0,001	0,0015	< 0,001	0,0098	0,9183	10,0805	14,1568	0,0108	8,0159	< 0,001	< 0,001	0,0150
	15-20	< 0,001	< 0,01	6,2340	< 0,001	0,0017	< 0,001	< 0,001	0,4873	9,5087	9,2928	0,0087	7,7885	< 0,001	< 0,001	0,0542
	20-25	< 0,001	< 0,01	4,6212	< 0,001	0,0012	< 0,001	< 0,001	0,6313	8,4617	5,6109	0,0071	7,2961	< 0,001	< 0,001	0,2699
	25-30	0,0024	< 0,01	4,9090	< 0,001	0,0019	< 0,001	< 0,001	0,7446	9,3866	5,8005	0,0082	7,7720	< 0,001	< 0,001	0,1020
	30-35	0,0472	< 0,01	13,5617	0,0244	0,0020	< 0,001	0,0020	1,9334	25,7077	51,8302	0,0224	570,3501	< 0,001	< 0,001	0,2365
	35-41	< 0,001	< 0,01	1,8185	< 0,001	0,0022	< 0,001	0,0034	0,3348	6,6457	1,7287	0,0031	6,9999	< 0,001	< 0,001	0,0420
41-46	0,0977	< 0,01	30,3898	0,0459	0,0174	< 0,001	0,0239	2,9159	384,3908	57,2863	0,7557	393,0434	0,0013	0,0208	5,6525	
CA1-32 Sed [III]	0-20	< 0,001	< 0,01	321,0207	0,4016	0,0534	< 0,001	0,0145	0,5754	6,0896	281,3231	14,3226	54,8524	0,0845	0,0110	113,5342
CA1-35 [III]	0-20	0,1158	< 0,01	26,4116	0,0195	0,2921	< 0,001	0,0294	1,0883	1,8089	8,7690	14,9562	20,5376	0,0318	0,1333	10,3492
	20-40	0,0393	< 0,01	10,4073	< 0,001	0,1258	< 0,001	0,0162	6,8807	0,9591	3,4093	4,1390	9,7242	0,0019	< 0,001	1,2383
	40-60	0,1299	< 0,01	36,3755	0,0051	0,3501	< 0,001	0,0129	6,9173	5,3669	10,5780	21,0786	17,3655	0,0150	0,0103	5,9778
	60-80	< 0,001	< 0,01	10,7549	< 0,001	0,0978	< 0,001	0,0038	6,2156	1,7279	3,8372	5,1082	11,1148	< 0,001	< 0,001	1,4833
	80-100	< 0,001	< 0,01	9,5470	< 0,001	0,0663	< 0,001	< 0,001	8,9266	1,1310	3,6755	3,5892	9,3313	< 0,001	< 0,001	1,3983
CA1-48 [III]	20-40	< 0,001	< 0,01	40,9717	< 0,001	0,0276	< 0,001	< 0,001	0,8392	2,8436	15,8219	1,0331	10,7360	< 0,001	< 0,001	0,1368
	40-60	< 0,001	< 0,01	34,9758	< 0,001	0,0341	< 0,001	< 0,001	0,0114	7,0631	16,2806	1,0726	8,5907	< 0,001	< 0,001	0,0561
	60-80	< 0,001	0,0525	10,6335	< 0,001	0,0115	< 0,001	< 0,001	5,1632	2,4048	4,4237	0,8067	6,7900	< 0,001	< 0,001	1,0882
	80-100	< 0,001	< 0,01	8,7052	< 0,001	0,0035	< 0,001	< 0,001	0,4964	3,2511	4,7222	0,9279	8,8309	< 0,001	< 0,001	0,2635
CA1-51 Sed [III]	0-20	< 0,001	< 0,01	81,3768	0,0250	0,0167	< 0,001	< 0,001	0,0136	3,2521	63,1779	1,8552	14,5343	0,0114	0,0163	16,3425
CA1-52 Core Sup [III]	0-20	< 0,001	0,6447	14,3698	0,0148	0,0058	< 0,001	< 0,001	0,3976	3,7063	5,2051	12,4178	5,2107	< 0,001	< 0,001	0,5892

CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	< 0,001	0,4388	11,0198	0,0098	0,0049	< 0,001	0,0048	2,9299	3,5962	5,2164	11,1371	8,1284	< 0,001	< 0,001	0,5483
CA1-53 [III]	0-5	< 0,001	0,2406	16,3771	0,0028	0,0054	< 0,001	< 0,001	2,1007	4,6290	10,4388	11,3424	9,3534	< 0,001	< 0,001	0,5459
	5-10	< 0,001	0,2946	10,5648	0,0045	0,0030	< 0,001	< 0,001	0,9862	4,2764	6,1525	8,9927	8,7079	< 0,001	< 0,001	0,8739
	10-15	< 0,001	0,3253	17,0453	0,0087	0,0090	< 0,001	0,0045	0,7526	5,1270	9,3089	16,7479	9,9129	< 0,001	< 0,001	0,8105
	15-20	< 0,001	0,3222	10,0564	0,0060	0,0027	< 0,001	< 0,001	2,1060	4,3233	5,2782	9,6754	9,0149	< 0,001	< 0,001	0,7235
	20-25	0,1784	0,4428	11,8464	0,0100	0,0040	< 0,001	< 0,001	8,4572	4,3576	6,1731	11,7559	9,4898	< 0,001	0,0369	0,5581
	25-30	< 0,001	0,4887	13,0218	0,0120	0,0054	< 0,001	< 0,001	4,3052	4,3521	6,9076	12,9046	9,8365	< 0,001	< 0,001	0,5099
	30-35	0,0644	0,6849	8,8448	0,0170	0,0042	< 0,001	< 0,001	9,5791	3,4963	5,0608	8,4636	9,1030	< 0,001	< 0,001	0,5983
	35-40	< 0,001	0,6378	8,7374	0,0153	0,0032	< 0,001	0,0089	7,0223	3,8488	5,4736	7,4059	9,3283	< 0,001	< 0,001	0,3243
	40-45	0,0075	0,4365	6,5292	0,0101	0,0028	< 0,001	0,0027	4,4626	3,5172	4,7997	4,8580	8,9037	< 0,001	< 0,001	0,4783
	45-50	0,1017	0,4308	9,3219	0,0126	0,0049	< 0,001	< 0,001	7,6137	8,7982	19,3591	5,7036	138,6596	< 0,001	< 0,001	0,8737
50-55	< 0,001	1,3099	5,4416	0,0364	0,0058	< 0,001	< 0,001	4,0781	2,9466	3,8891	2,2422	8,1876	< 0,001	< 0,001	0,3121	
CA1-53 Core [III]	0-10	< 0,001	0,4085	17,5945	0,0084	0,0075	< 0,001	< 0,001	0,8054	4,4421	9,0052	17,5000	9,5995	< 0,001	< 0,001	0,5648
CA3-38 [III]	0-20	< 0,001	< 0,01	6,4354	< 0,001	0,0012	< 0,001	< 0,001	0,2151	3,0132	2,6890	0,3795	3,5973	< 0,001	< 0,001	1,1101
	20-40	0,1229	< 0,01	90,5953	0,0021	0,0172	< 0,001	< 0,001	0,0905	24,1043	54,4731	1,6642	283,0917	< 0,001	< 0,001	0,5788
	40-60	0,1765	< 0,01	27,5621	< 0,001	0,0158	< 0,001	< 0,001	1,7443	5,8835	7,0616	2,7819	7,2400	< 0,001	< 0,001	1,8583
	60-80	< 0,001	< 0,01	93,6066	< 0,001	0,0232	< 0,001	0,0140	0,4200	8,7541	40,2415	6,7976	13,2664	< 0,001	< 0,001	0,2344
	80-100	0,1783	< 0,01	158,7483	0,0314	0,0092	< 0,001	< 0,001	0,1552	27,5146	171,9104	1,9676	718,1053	< 0,001	< 0,001	0,5896
	1,20 m	< 0,001	< 0,01	107,0944	< 0,001	0,0254	< 0,001	< 0,001	0,0308	9,6643	36,6485	8,1339	19,4795	< 0,001	< 0,001	0,1710

Valores de Intervenção para Águas Subterrâneas (COPAM, 2011)											
Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	
3,5000	0,0100	0,0050	0,0050	0,0500	2,0000	2,4500	0,4000	0,0200	0,0100	1,0500	

Tabela A.12: Química da fração dissolvida das águas intersticiais das aluviões (campanhas do período pós-seca – Setembro/Novembro 2013).

Campanha do Período de Seca - Setembro/Novembro 2013																
Amostras	Profundidade (cm)	Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Na (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)
CA1-13	40-60	0,1775	<0,01	46,4567	0,4654	-	<0,001	0,0343	0,0165	3,3410	16,4640	0,0830	7,3034	0,0422	<0,001	81,1801
	60-80	0,0424	<0,01	191,1933	3,2113	<0,001	0,0558	0,0615	0,1114	8,9321	102,1095	12,6023	13,2354	0,2496	0,2060	313,5926
	80-100	0,0328	<0,01	378,6251	3,2381	<0,001	0,2773	0,0226	<0,001	12,7698	220,8718	52,0027	24,9574	0,4047	0,1148	584,2624
CA1-21	60-80	<0,001	<0,01	111,2586	0,0761	<0,001	0,1551	0,0113	<0,001	18,9039	29,7722	20,4818	7,4290	0,0142	<0,001	19,8527
	80-100	0,0182	<0,01	13,8211	<0,001	<0,001	<0,001	0,0128	0,7325	10,0801	5,4971	0,2347	7,8363	<0,001	<0,001	0,9522
CA1-23	60-80	0,1573	<0,01	83,2135	0,9600	<0,001	<0,001	0,0126	<0,001	8,8758	29,4484	1,5623	5,6740	0,0820	0,0027	121,2216
	80-100	0,0153	<0,01	59,3237	0,3532	<0,001	0,0299	0,0132	<0,001	6,1198	24,9141	7,7738	5,2282	0,0362	<0,001	60,5388
CA1-34	80-100	0,5211	<0,01	17,8922	0,1279	<0,001	<0,001	0,0056	<0,001	4,3691	8,5636	0,6502	12,1110	0,0195	0,0075	52,2067
CA2-10	0-20	3,4975	<0,01	339,1955	2,4363	-	0,0666	0,0292	0,2726	60,6100	1753,1119	67,9723	217,9003	0,7212	0,5081	508,2156
	20-40	1,2692	<0,01	426,7346	0,6440	-	0,0284	0,0487	0,0656	21,2800	1115,0243	39,3036	61,4401	0,4545	0,6893	373,2726
	40-60	0,1113	<0,01	414,2114	0,8188	-	0,0260	0,0294	0,4429	20,1200	1069,4009	38,0873	60,6298	0,4323	0,6167	356,0044
	80-100	0,0437	<0,01	553,4350	0,8174	<0,001	0,4198	0,0176	4,6551	16,1060	1537,8659	54,9276	71,4671	0,6692	0,1842	743,4180
CA2-12	0-20	0,9234	<0,01	330,2924	0,0641	-	<0,001	0,0091	29,3011	19,1200	465,7003	28,2729	109,3391	0,2384	0,1821	245,6078
	20-40	0,5301	<0,01	282,8610	<0,001	-	0,0111	0,0081	20,3059	15,6600	411,0094	35,5902	94,0862	0,1465	0,0564	57,2598
	40-60	0,1657	<0,01	276,9960	0,1775	-	0,0242	0,5272	0,0294	12,7300	409,7729	103,3887	85,9169	0,1612	0,0490	130,7469
	60-80	0,0107	0,0527	485,5125	0,2029	<0,001	0,9554	0,1843	1,0090	22,1951	645,7006	176,5582	152,1517	0,3759	0,1341	280,1187
	80-100	0,1898	0,0374	445,0146	1,3460	<0,001	1,3786	0,3141	<0,001	15,9741	564,0963	165,4395	121,5803	0,3066	0,2870	256,5753
CA3-18	80-100	<0,001	<0,01	505,0289	6,3108	<0,001	0,0527	0,0481	<0,001	23,7455	223,8458	45,0658	60,5771	0,1811	<0,001	223,9967
CA5-6	0-20	0,1927	<0,01	67,3873	0,0375	-	<0,001	<0,001	14,4596	2,2780	58,2776	2,9982	8,8426	<0,001	0,0020	5,8705

	20-40	0,1275	<0,01	58,6059	<0,001	-	<0,001	<0,001	74,0262	1,3830	52,2202	3,2881	7,8505	< 0,001	0,0487	1,1182
	40-60	0,1777	<0,01	66,9322	<0,001	-	<0,001	<0,001	49,6528	0,7080	56,6281	5,3240	7,8953	< 0,001	0,0360	1,4118

Valores de Intervenção para Águas Subterrâneas (COPAM, 2011)										
Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)
3,5000	0,0100	0,0050	0,0050	0,0500	2,0000	2,4500	0,4000	0,0200	0,0100	1,0500

Tabela A.13: Química da fracção dissolvida das águas intersticiais das aluviões (campanha do período pós-chuvas – Março 2014).

Campanha do Período de Chuva - Março 2014																
Amostras	Profundidade (cm)	Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Na (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)
CA1-23 [III]	0-5	< 0,001	< 0,01	31,0079	< 0,001	0,0179	< 0,001	< 0,001	0,5906	5,9266	42,0283	3,4150	13,3680	< 0,001	< 0,001	4,8176
	5-10	0,1141	< 0,01	36,7676	0,0438	0,0091	< 0,001	0,0090	0,5130	18,4479	100,3194	2,2543	431,8168	< 0,001	< 0,001	0,1595
	10-15	0,0971	< 0,01	30,0442	0,0448	0,0131	< 0,001	0,0062	0,4043	20,1895	108,8080	1,1568	571,3385	< 0,001	< 0,001	0,1324
	15-20	0,0107	< 0,01	27,0880	0,0410	0,0197	< 0,001	0,0243	4,6050	22,6922	116,8630	1,3354	545,9603	< 0,001	< 0,001	0,2635
	20-25	0,0044	< 0,01	26,3700	0,0046	0,0126	< 0,001	0,0024	0,8978	11,2962	75,4769	0,4833	225,7095	< 0,001	< 0,001	0,3044
	25-30	< 0,001	< 0,01	40,0292	< 0,001	0,0043	< 0,001	< 0,001	0,1067	4,6831	78,0995	0,8768	24,2821	< 0,001	< 0,001	0,0183
	30-33	< 0,001	< 0,01	41,0984	0,0203	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0392	5,4433	69,2982	0,9795	26,7171	< 0,001	0,0608	0,1651
CA2-12	2,70 m	< 0,001	< 0,01	201,6692	0,0171	0,2694	< 0,001	0,0312	68,6025	8,3398	279,8397	16,4747	71,4251	0,1442	0,0099	94,6095

Valores de Intervenção para Águas Subterrâneas (COPAM, 2011)										
Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)
3,5000	0,0100	0,0050	0,0050	0,0500	2,0000	2,4500	0,4000	0,0200	0,0100	1,0500

Tabela A.14: Química da fracção particulada referente às águas (campanha do período pós-chuvas – Março 2014).

Material Particulado (Águas) – Campanha Março 2014												
Amostras	Data	Hora	As (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)
CA1-14	11-03-2014	11h30	-	0,0709	0,0647	0,0694	6,0987	2,1202	-	0,0261	0,0701	-
CA1-26 Sup.	12-03-2014	10h55	-	0,0438	0,0365	0,0505	3,6413	1,4042	0,0738	-	0,0426	1,4359
CA1-26 Fundo	12-03-2014	10h55	-	0,0476	0,0667	0,0325	3,6092	4,0008	0,1056	0,0114	0,0165	0,2746
CA1-27 Sup	12-03-2014	10h05	-	0,0305	0,0555	0,0341	3,0197	1,1546	0,0971	-	-	1,1999
CA1-27A	17-03-2014	08h38	-	0,0584	0,0649	0,0364	2,5655	0,8327	0,1172	0,0130	0,1393	1,0426
CA1-29 Sup.	12-03-2014	09h20	-	0,0216	0,0692	0,0447	2,1669	0,8451	0,0227	-	-	0,4940
CA1-29 Fundo	12-03-2014	10h05	0,0210	0,0419	0,0713	0,0312	1,9186	1,6881	0,0488	-	0,0230	-
CA1-35 Sup.	10-03-2014	15h20	-	0,0255	0,0666	0,0404	1,6237	1,0312	0,0649	-	-	0,5373
CA1-35 DGT	14-03-2014	09h30	0,0575	0,0212	0,0605	0,0330	1,7513	1,4610	0,0687	-	-	0,5723
CA1-48	11-03-2014	10h30	-	0,0681	0,1376	0,0303	4,9526	2,3727	0,2622	-	-	1,5542
CA1-48	17-03-2014	09h00	-	0,0195	0,0467	0,0238	1,3833	1,1969	0,1118	-	-	0,4424
CA1-49	11-03-2014	15h20	-	0,0207	0,0856	0,0356	1,0502	2,1005	0,0923	-	-	0,4655
CA1-49	17-03-2014	09h25	0,0583	0,0070	0,0659	0,0248	1,2119	2,2821	0,2850	-	-	0,5187
CA1-50 Sup.	12-03-2014	11h30	-	0,0159	0,0561	0,0291	1,2363	1,3083	0,0214	-	-	-
CA1-50 Fundo	12-03-2014	11h30	-	0,0777	0,1719	0,0095	4,0653	2,7213	0,0740	-	-	0,6281

Tabela A.15: Valores resultantes da digestão parcial das amostras de sedimentos.
As amostras correspondentes à campanha de Março de 2014 encontram-se referenciadas com [III].

Amostras	Profundidade (cm)	Extracção Parcial										
		As (mg.kg ⁻¹)	Cd (mg.kg ⁻¹)	Co (mg.kg ⁻¹)	Cr (mg.kg ⁻¹)	Cu (mg.kg ⁻¹)	Fe (mg.kg ⁻¹)	Fe (%)	Mn (mg.kg ⁻¹)	Ni (mg.kg ⁻¹)	Pb (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)
CA0-1A	0-10	1,9470	2,0042	10,9303	26,7390	178,1593	22739,0697	2,2739	190,3737	4,9339	5,0789	40,2575
	10-20	4,2940	0,8178	8,1272	152,7557	129,4055	48972,8759	4,8973	355,1188	4,8807	10,9983	35,7682
CA0-2A	0-5	1,6702	0,1785	6,8812	96,2352	109,3669	65336,6337	6,5337	118,6363	7,4994	11,3970	77,3565
	5-10	6,6175	< 0,025	9,1890	70,3838	57,1402	46903,7155	4,6904	154,2943	9,2158	8,5287	57,4288
	10-15	< 0,25	0,0822	6,3360	105,8805	63,2861	65058,9391	6,5059	145,6044	6,8520	13,1717	65,8913
CA0-3A	0-5	0,8486	0,6230	4,4803	41,1412	26,4715	29121,8638	2,9122	50,3655	6,8493	12,3003	116,2653
	5-10	7,4005	0,0312	9,1817	92,3763	33,0247	55554,4522	5,5554	95,6174	9,4341	14,1867	86,0902
	10-15	2,5834	< 0,025	8,5534	97,8556	31,6781	70848,3393	7,0848	72,8483	8,7576	12,1050	60,5420
CA1-14	0-5	40,3691	7,9594	18,7587	18,9795	187,7957	53618,4211	5,3618	2078,5148	11,3478	453,5532	18361,2440
	5-10	46,2351	8,1798	15,2470	14,6028	250,2514	79789,2422	7,9789	3026,8116	12,4457	685,6820	24298,2603
	10-15	51,5669	5,2261	9,6423	5,6932	228,9995	96314,7410	9,6315	1661,2232	9,3374	736,4690	29521,9124
	15-20	45,1876	10,5057	4,3895	7,0543	246,1765	92979,1460	9,2979	1595,5247	10,5391	800,1541	29225,4220
	20-40	87,3045	7,6438	3,2070	9,3485	347,7074	78554,4083	7,8554	1153,3207	10,4214	985,1328	25982,9230
	40-60	9,2774	14,6448	5,2187	25,9038	116,3573	43624,8265	4,3625	288,9625	12,6243	246,1279	11292,8812
	60-80	< 0,25	8,2730	6,6363	43,0822	162,7306	55972,2996	5,5972	293,2688	18,6759	165,8120	7302,2440
	80-100	3,5352	6,5401	4,8232	31,7075	221,9209	57755,5975	5,7756	319,4739	12,9667	310,2182	10072,4579
CA1-14 Sed. Córrego Draga	0-20	< 0,25	19,2337	3,4355	48,1402	92,8225	43201,8814	4,3202	99,6696	17,3868	18,5867	1734,3531
CA1-14 [III]	0-20	6,5654	9,0394	6,3304	28,1930	273,5511	28442,1400	2,8442	897,6257	10,4472	231,1266	5375,0571
	20-40	12,5778	7,5607	8,2568	29,1629	294,1610	34154,0887	3,4154	1173,1130	12,3324	310,0444	8346,4718
	40-60	12,4138	5,1898	5,7589	26,6515	250,3452	32226,3638	3,2226	941,8736	11,1302	321,4776	8121,3432
	60-80	25,6580	7,6801	5,8356	24,4402	248,8835	29520,2884	2,9520	564,4770	11,2805	686,5936	15107,3876

	80-100	7,0249	9,1744	5,1536	26,3944	246,4209	35556,5619	3,5557	400,1863	10,6136	431,2467	7614,3734
	100-120	< 0,25	1,6091	4,6201	26,8750	112,4149	23332,0760	2,3332	244,1649	10,3845	73,4171	2134,2973
	1,30 m	27,0939	20,9122	15,4655	35,9648	445,6334	49762,8004	4,9763	1110,7963	17,2204	887,2925	19498,8320
	1,40 m	20,3859	11,9851	7,6523	28,6881	355,6302	48463,4341	4,8463	959,3123	12,8448	647,8249	14992,0476
CA1-22	0-5	6,0649	21,3196	3,9888	26,7323	130,4278	42726,5501	4,2727	440,1818	11,0144	161,5722	4646,9888
	5-10	10,2263	18,1401	7,0000	33,4129	96,6337	40762,5786	4,0763	434,7198	9,0506	99,8049	3383,7442
	10-15	9,1749	14,5696	5,4511	25,1582	70,9148	33743,2513	3,3743	249,5394	7,5835	64,0579	2537,6567
	15-20	22,8018	28,1075	15,7496	34,4614	111,4004	45944,5994	4,5945	399,9924	13,4329	214,0892	3843,8555
	20-40	21,9608	36,3136	28,5523	30,7313	154,8803	52421,7660	5,2422	548,1215	12,2323	295,1392	12945,9837
	40-60	12,3104	17,4798	15,0398	23,9548	87,5190	35547,1094	3,5547	285,2717	8,6500	126,5739	3244,6363
	60-80	< 0,25	21,6839	8,4338	42,7504	151,3400	45510,7355	4,5511	502,4521	11,4543	142,5675	4004,6174
	80-100	12,3912	33,3187	13,3595	30,1710	219,6979	34687,7260	3,4688	520,0162	9,9357	182,7334	4283,8029
CA1-22 [III]	0-20	< 0,25	22,4274	11,0280	34,9595	179,4330	30598,8574	3,0599	482,9954	11,3746	99,1260	3510,1150
	20-40	< 0,25	24,6114	9,2981	36,2257	185,4093	33993,5124	3,3994	458,8518	12,0246	144,1927	4110,4984
	40-60	< 0,25	32,0342	10,5512	40,5509	204,8749	36356,1626	3,6356	497,2336	13,2861	192,2541	5149,5135
	60-80	< 0,25	28,7338	6,9232	40,1684	231,6539	38320,7191	3,8321	568,9648	12,4788	348,2254	6816,3056
	80-100	8,8409	25,9234	9,3391	46,9008	410,2482	32971,1979	3,2971	370,9356	10,9342	644,2041	10852,6502
CA1-24 Sed Sup [III]	0-10	11,7139	24,5186	11,1755	43,5361	324,0501	43683,1100	4,3683	1155,1582	16,8298	632,4197	13445,3106
CA1-26 [III]	0-5	46,4733	0,5345	18,2210	20,4976	550,6822	138471,0287	13,8471	301,8846	26,6560	3985,9711	32622,1767
	5-10	47,2041	2,3304	17,1666	21,8428	497,0714	108515,7932	10,8516	328,4876	27,0583	3689,6315	25408,9596
	10-15	84,0359	1,2913	22,3078	20,5595	672,3021	142885,4537	14,2885	608,2551	27,8715	6103,9559	43490,8047
	15-20	82,3709	0,7489	21,2582	20,8786	473,2710	150102,5731	15,0103	428,4293	30,1235	4165,3326	30850,7723
	20-25	0,8946	7,6979	7,2255	34,9184	221,6990	56422,7133	5,6423	286,6605	18,3233	1526,9896	12584,9877
	25-30	4,1444	2,8411	6,1722	30,0390	206,9848	41590,1922	4,1590	240,2153	15,0656	1077,7421	10085,2231
	30-35	6,7720	2,8794	8,2949	36,6442	222,3997	55750,9792	5,5751	310,5474	19,2183	1750,1944	13638,3690
CA1-26 Nível Verm. [III]	0-10	10,9772	5,7303	8,6727	24,2857	577,6481	135332,9074	13,5333	130,5805	18,9471	3403,3995	29137,6919
CA1-26 Sed.	0-20	6,5992	12,5626	10,4398	59,6916	244,3140	107971,4969	10,7971	1162,3494	18,0848	500,7527	18064,9550

CA1-27 Sed Sup [III]	0-5	< 0,25	< 0,025	3,7552	52,5440	62,9662	28433,9899	2,8434	73,6242	16,4954	2,4892	185,3568
CA1-27	0-5	< 0,25	10,0392	6,1303	52,7094	159,7123	38243,5646	3,8244	128,6426	16,8053	48,4487	1818,8711
	5-10	< 0,25	1,2336	4,6795	52,6505	80,5327	48948,9793	4,8949	91,6262	17,0118	16,5595	771,4584
	10-15	< 0,25	< 0,025	5,1666	51,5817	95,0550	56471,2269	5,6471	123,4289	16,9485	7,2215	354,9375
	15-20	< 0,25	< 0,025	6,9976	56,5897	97,6990	48594,6168	4,8595	212,9571	19,7332	8,5573	273,8602
	20-25	< 0,25	1,5142	5,9693	57,7037	93,3172	42638,1065	4,2638	137,7897	20,7083	24,9500	627,4719
	25-30	< 0,25	0,4485	4,4795	54,2743	85,7354	46660,6377	4,6661	85,0772	17,6951	7,8152	339,0341
	30-35	< 0,25	< 0,025	5,0067	57,7794	90,3423	45598,2134	4,5598	172,3133	19,3426	9,5920	370,1501
	35-40	< 0,25	< 0,025	5,0464	57,7110	74,2813	38467,3217	3,8467	104,3336	18,4409	4,4720	219,5988
	40-43	< 0,25	1,2380	4,5412	58,8772	72,0964	33860,3717	3,3860	102,8636	18,7463	2,1499	135,8295
CA1-27A Draga [III]	0-10	11,5023	8,2624	10,2925	37,1330	161,5365	55331,4088	5,5331	967,5211	10,9263	499,1562	17979,3907
CA1-28 Draga [III]	0-5	29,9015	25,1351	13,5028	34,5518	181,5969	65870,9090	6,5871	615,4603	24,5367	1204,6211	11673,5269
CA1-28	0-5	< 0,25	< 0,025	5,3656	40,8570	56,8830	25462,2671	2,5462	155,8712	13,6629	3,7426	317,9246
	5-10	< 0,25	< 0,025	3,9992	31,8092	46,2691	35959,3975	3,5959	140,6194	12,2225	4,8235	313,5398
	10-15	< 0,25	1,2470	5,8392	48,2938	78,1584	28489,6201	2,8490	166,6098	17,4515	11,9517	730,8377
	15-20	< 0,25	< 0,025	4,0427	41,2403	52,2339	19555,1731	1,9555	126,1818	15,3298	4,3448	242,1598
	20-25	< 0,25	1,5369	3,5056	40,6481	37,8529	16858,8977	1,6859	94,3452	13,8657	1,6735	71,5813
	25-30	< 0,25	< 0,025	3,7995	45,2439	31,6363	57563,8890	5,7564	79,1233	15,4810	<0,001	58,9150
	30-35	< 0,25	< 0,025	4,5583	32,3948	70,5400	57632,5804	5,7633	142,8106	10,8478	6,0879	70,8991
	35-37	< 0,25	< 0,025	3,7277	31,8306	92,5894	30876,3986	3,0876	149,5222	10,7448	6,4872	55,9011
	37-40	< 0,25	< 0,025	3,9929	41,4282	54,3646	56847,2207	5,6847	94,2702	14,6601	3,4977	121,3560
CA1-29	0-5	0,7834	14,8804	7,7706	39,1087	173,3132	28600,0070	2,8600	704,0120	11,4766	314,7154	11184,8184
	5-10	< 0,25	9,0465	5,0061	34,4099	83,8205	29186,0699	2,9186	271,2016	8,5555	76,4645	3353,0429
	10-15	< 0,25	11,6024	15,7656	35,1499	84,8621	42617,6527	4,2618	472,3835	10,9757	87,6331	3073,6425
	15-20	< 0,25	< 0,025	5,1709	40,2951	73,0121	62646,5936	6,2647	573,6839	14,2107	4,6255	1082,6633
	20-25	< 0,25	10,5430	5,0413	36,7728	55,8955	32162,7656	3,2163	401,2663	13,2354	3,8346	412,4255
	25-30	< 0,25	< 0,025	4,4798	39,9698	58,5472	35117,3284	3,5117	358,8218	13,6198	4,0234	223,7736

	30-35	< 0,25	< 0,025	4,6808	40,2920	58,2538	35841,8088	3,5842	346,9756	13,6271	4,9390	128,0789
	35-40	< 0,25	< 0,025	4,7945	38,5378	57,0087	36130,0355	3,6130	414,7572	13,4050	3,3463	134,0098
	40-43	< 0,25	207,2192	7,3341	56,6503	172,2460	46251,9610	4,6252	638,8179	22,5136	353,7286	835,4886
	43-46	< 0,25	< 0,025	6,6912	41,6899	99,2972	44397,3746	4,4397	551,7977	14,4054	116,5759	1679,0781
CA1-29 Sup [III]	0-10	< 0,25	15,8413	8,0791	45,6993	123,1351	39552,4637	3,9552	535,9642	14,8572	204,8559	7033,3578
CA1-29 [III]	0-5	< 0,25	19,1371	7,0608	40,6394	109,3024	37024,2957	3,7024	525,4744	14,3651	73,4044	1876,8577
	5-10	< 0,25	< 0,025	5,7612	41,3522	71,2533	35280,1603	3,5280	415,9627	14,6526	5,2579	130,7493
	10-15	< 0,25	< 0,025	5,4772	38,5885	72,9058	33082,5505	3,3083	600,2266	14,4383	2,6944	127,6996
	15-20	< 0,25	< 0,025	5,8614	48,1138	79,4254	39503,5114	3,9504	725,5337	16,5866	1,5310	99,2907
	20-25	< 0,25	< 0,025	5,9366	44,8799	73,5675	36354,8273	3,6355	682,0077	16,5163	2,9153	93,5648
	25-30	< 0,25	< 0,025	6,0486	42,9019	75,3356	36000,2757	3,6000	652,2318	16,0985	1,7364	94,1532
	30-35	< 0,25	< 0,025	6,0679	45,7306	79,9771	43887,4998	4,3887	633,4394	16,6346	2,0260	114,3702
	35-41	< 0,25	< 0,025	6,4737	46,8367	77,8629	37814,5389	3,7815	818,3002	16,5914	3,0900	76,0839
	41-46	< 0,25	< 0,025	4,1340	36,9306	54,1893	24740,0706	2,4740	379,0254	11,8371	2,9917	47,8100
	2,50 m	35,6494	23,3118	15,3447	41,1575	414,0316	60491,7225	6,0492	2307,5537	15,0252	1505,3399	26052,6842
CA1-32 Sed [III]	0-20	19,7456	39,4170	8,8697	46,1029	331,8909	52491,7040	5,2492	885,4112	16,7037	584,9430	19347,6908
CA1-32	0-10	0,3463	25,3936	6,3806	35,0631	155,8077	59020,9275	5,9021	541,9883	10,2757	384,9790	10601,9046
	10-20	< 0,25	23,1967	5,2922	36,5607	130,4342	55904,2810	5,5904	307,8523	12,5870	212,0011	6951,5733
	20-30	< 0,25	32,0809	7,6085	38,8479	157,7319	60851,9169	6,0852	609,9602	12,3482	263,7128	8833,9333
	30-40	< 0,25	19,6370	6,3664	39,6961	126,1905	52133,1985	5,2133	317,9680	11,8441	170,8534	4803,3634
	40-50	< 0,25	20,0197	5,2743	39,3201	137,5704	43484,2095	4,3484	344,8680	12,4348	211,6850	4797,6221
	50-60	13,5004	38,4308	8,2576	34,8573	283,2242	72817,8041	7,2818	831,8374	12,7196	633,0457	15096,7497
	60-70+	14,9827	34,4975	7,8960	39,6650	284,6799	71233,6987	7,1234	946,8096	12,5571	683,0916	14891,9037
CA1-35	0-10	< 0,25	3,6396	3,5141	24,4020	49,5041	27746,3803	2,7746	139,8582	6,6956	23,3365	684,2854
	10-20	< 0,25	2,5388	3,1750	22,4629	39,2468	21478,8121	2,1479	88,5218	6,4533	14,6647	404,2737
	20-30	< 0,25	0,4017	2,9996	19,3787	35,5212	13621,0394	1,3621	83,0837	5,9411	3,2911	124,9345
	30-40	< 0,25	0,3714	3,2531	23,7629	41,9216	15757,4798	1,5757	99,1612	7,0297	4,3389	137,4154

	40-50	< 0,25	0,8478	3,2392	21,4679	35,4401	21336,6338	2,1337	84,2367	6,5492	7,6001	215,1522
	50-60	< 0,25	0,5554	2,7196	20,1620	32,2630	21297,3632	2,1297	61,5299	6,3634	3,8120	127,5155
	60-80	< 0,25	0,6793	2,1711	20,3688	32,7744	18649,2558	1,8649	56,4562	5,8991	7,8688	198,1147
	80-100	< 0,25	0,3233	2,6209	23,0280	37,1908	22497,7502	2,2498	66,5690	7,1118	5,6278	172,7080
CA1-35 [III]	0-20	< 0,25	0,4636	3,9546	22,0418	43,8264	15863,9055	1,5864	108,2125	6,8742	5,7977	264,1559
	20-40	< 0,25	0,2794	3,3837	22,6929	36,6546	16000,5697	1,6001	79,2247	7,2780	6,1854	219,0143
	40-60	< 0,25	1,1996	3,7248	23,5042	42,4143	14943,8459	1,4944	102,0534	6,4789	11,3767	416,8918
	60-80	< 0,25	0,1887	2,8297	22,9831	35,9793	16445,4572	1,6445	66,3787	7,1095	3,6049	132,0436
	80-100	< 0,25	0,8441	2,7266	22,6338	39,5130	17028,9990	1,7029	65,8476	7,0523	3,5753	121,5978
CA1-47	0-5	< 0,25	16,1767	7,4360	61,0876	99,3606	48102,2104	4,8102	559,0890	20,6841	21,2252	300,6154
	5-10	< 0,25	15,0186	8,2046	60,8312	109,1716	54204,6334	5,4205	684,3996	22,7177	21,1537	360,7579
	10-15	< 0,25	6,5476	5,1024	46,9632	75,4603	37812,1584	3,7812	462,3419	16,1117	26,2387	302,9438
	15-20	< 0,25	7,4495	4,7450	51,3969	73,0620	37297,0975	3,7297	395,4436	15,4267	20,2985	362,7335
	20-25	< 0,25	3,3072	6,0204	48,7806	84,7801	47728,5771	4,7729	670,0352	17,9750	7,8332	119,8614
	25-30	< 0,25	2,8944	5,9134	53,6210	78,9477	46678,6544	4,6679	554,8129	18,2933	13,0867	84,3018
	30-35	< 0,25	5,8089	4,2531	37,9008	58,9596	33063,3433	3,3063	310,7806	14,6677	18,3921	97,7792
	35-40	< 0,25	2,0464	6,8048	45,8211	85,2064	51109,4141	5,1109	723,3382	18,3319	5,8252	94,9606
	40-42	< 0,25	2,2198	6,0405	48,7523	84,2164	49949,4747	4,9949	555,3348	17,5451	13,0098	197,9854
	42-45	< 0,25	2,5679	6,3014	50,3981	81,1099	52079,4077	5,2079	590,9375	18,7163	3,7670	83,1636
CA1-48 [III]	0-20	< 0,25	14,1507	4,8809	45,1295	85,3691	28502,2669	2,8502	262,3694	9,0484	88,2794	2266,9907
	20-40	< 0,25	26,4358	7,0579	33,6379	137,8784	26817,4071	2,6817	672,8503	9,6735	132,8011	3459,3827
	40-60	< 0,25	12,7145	5,2662	29,8957	131,1296	26240,7945	2,6241	330,4445	8,7338	141,5597	3723,0920
	60-80	22,1826	10,8336	5,4347	26,7542	205,9811	29124,2034	2,9124	205,7821	10,2463	258,9827	4891,7844
	80-100	10,1566	7,0064	6,2723	20,8843	128,8175	21866,7376	2,1867	295,1873	7,2463	238,9117	3598,3365
CA1-51 Sed [III]	0-20	52,0407	52,3347	13,8511	75,7912	473,8866	96442,4752	9,6442	1812,0577	17,5723	1860,0949	32918,2216
CA1-52 Core Sup [III]	0-20	52,0270	15,1930	8,9668	19,4197	451,9097	122879,0379	12,2879	1544,9597	16,7940	2903,7142	32195,6498
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	105,9563	4,6840	16,2030	20,3388	414,4733	115039,8149	11,5040	1035,0342	21,9466	4250,6486	30750,5834

CA1-53 [III]	0-5	69,2471	6,3600	18,4111	16,5844	402,7984	139651,3180	13,9651	905,7080	24,5673	4895,2093	33895,0311
	5-10	102,3483	1,9761	23,5836	16,4375	343,6548	136464,2146	13,6464	907,4512	29,4530	4569,4899	38996,4269
	10-15	134,3991	2,6990	19,5522	17,2880	468,3173	138963,8744	13,8964	723,5236	27,3352	5098,6000	32424,8615
	15-20	119,7670	2,0482	17,4783	15,8832	431,2743	181738,3059	18,1738	1040,3583	28,1611	5058,4714	33815,9999
	20-25	116,6828	1,3807	16,7528	16,4956	408,8109	135248,3862	13,5248	1336,3472	22,1620	5178,0908	23655,6079
	25-30	25,0051	6,1457	11,1921	33,3130	364,3421	72542,6048	7,2543	911,0224	20,4065	2783,6035	16032,9538
	30-35	28,7193	2,7985	10,8462	32,6945	346,4242	57080,1121	5,7080	655,1258	18,6919	1918,2329	11031,6260
	35-40	54,4481	3,7433	16,2221	26,7247	540,8216	92559,0763	9,2559	569,1372	22,8611	3211,2685	16537,4081
	40-45	24,1995	3,4786	12,3093	32,9436	346,0740	58250,4196	5,8250	639,7988	18,8041	2130,9746	12332,6988
	45-50	19,4467	2,6194	13,2455	31,3962	232,2945	57810,5924	5,7811	560,6685	19,0279	2243,6249	12696,1314
50-55	124,8659	7,1401	22,4039	30,4870	234,1043	112827,7909	11,2828	456,2804	11,2040	733,6653	23291,7247	
CA1-53 Core [III]	0-10	40,4734	5,5965	10,6568	25,2938	354,9320	123524,6249	12,3525	972,8029	15,0381	2078,5858	32439,9526
CA3-16 Sed	0-5	31,7962	27,5538	10,1277	56,5174	165,0951	73311,3509	7,3311	1475,6748	9,0761	396,2764	18065,5476
CA3-36 Sup	0-5	< 0,25	26,1245	14,3132	44,9276	167,6102	53526,7045	5,3527	728,6912	14,3824	120,3550	3547,4612
CA3-38	0-10	< 0,25	34,0841	6,7380	35,8769	248,9083	32825,9304	3,2826	431,5203	11,5783	122,5648	2865,9649
	10-20	< 0,25	21,6867	6,6630	37,3812	119,2110	37536,3522	3,7536	465,4621	11,3810	107,7501	2992,6933
	20-30	2,3070	24,2502	5,5932	30,2068	184,4118	32182,7872	3,2183	433,9485	9,8511	111,7495	3027,2740
	30-40	< 0,25	23,7247	6,5654	32,0179	185,7403	36106,7545	3,6107	392,7406	10,9248	90,6318	2154,4681
	40-50	< 0,25	19,7436	5,1923	32,1281	111,1583	31305,9974	3,1306	362,2811	9,6471	72,1200	1842,6369
	50-60	< 0,25	8,4155	2,8660	25,4253	45,4474	23218,9032	2,3219	151,2674	6,9210	34,2647	990,4084
	60-80	< 0,25	11,5316	4,7128	31,1428	84,3086	31494,0783	3,1494	265,6823	9,1250	49,7069	1330,2472
	80-100	< 0,25	11,7697	3,8286	26,5216	80,2105	27393,0842	2,7393	227,5252	7,8232	53,1254	1316,9417
CA3-38 [III]	0-20	< 0,25	4,0379	3,7030	23,7085	42,5294	13947,3446	1,3947	138,1221	6,1539	11,8564	363,5221
	20-40	< 0,25	7,2735	4,7895	30,0634	69,4706	22693,2987	2,2693	215,6417	9,0113	42,1248	1324,6534
	40-60	< 0,25	6,9654	4,8821	23,4072	44,4275	15749,1767	1,5749	179,9768	7,6924	27,2873	858,9132
	60-80	< 0,25	14,6061	5,8433	31,8406	90,1045	27814,2784	2,7814	336,7346	9,5636	66,6130	1861,7969
	80-100	< 0,25	8,2243	4,7289	30,1417	63,3345	20845,4549	2,0845	267,1837	7,9900	45,8885	1235,5910

	1,20 m	< 0,25	9,2817	5,0109	28,5808	76,3806	21308,2799	2,1308	263,4870	8,9686	41,6518	1327,3995
CA3-39 Esc. Grotta Seca	0-5	16,2042	44,7927	7,4418	49,2118	367,8310	59895,8350	5,9896	879,0207	17,4305	518,0213	14545,8201
CA5-44	0-20	< 0,25	37,7368	6,3973	45,2016	261,6899	52048,2548	5,2048	168,3674	16,5442	62,6588	2517,7038
	20-40	< 0,25	42,0145	6,2083	36,7030	302,9409	37204,9903	3,7205	142,6370	12,9835	51,0364	1986,4092
	40-60	< 0,25	30,5873	7,5063	40,3224	387,2221	50442,0898	5,0442	202,4527	15,4140	62,9036	2133,5491
BG-45	0-20	< 0,25	1,2589	3,5819	43,1573	92,9654	39868,8778	3,9869	163,5692	13,0626	8,2910	539,7144
	20-40	< 0,25	2,7405	4,2764	31,9882	70,3645	28219,5887	2,8220	108,2842	9,6896	14,4593	1044,0197
	40-60	< 0,25	1,8140	4,2567	30,2440	73,0285	26745,9538	2,6746	144,9406	9,7363	13,4148	956,3049
	60-80	< 0,25	1,6416	2,4767	31,1316	60,9076	26695,4349	2,6695	86,2532	10,9315	8,9811	599,0435
BG-46	0-20	< 0,25	0,5534	11,1027	87,7946	97,9930	54206,7240	5,4207	275,9112	10,8134	19,4106	166,0474
	20-40	< 0,25	< 0,025	10,4131	145,0816	170,3812	97754,6038	9,7755	378,9513	12,1181	20,9442	145,9612

Sedimentos	CONAMA, 2012	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Normal		< 5,9	< 0,6	< 33	< 17	< 14	< 8,4	< 58
Intemédio		5,9-17	0,6-3,5	33-37,3	17-35,7	14-18	8,4-35	58-123
Atenção		> 17	> 3,5	> 90	> 197	> 35,9	> 91,3	> 315
Crítico								

Tabela A.16: Valores resultantes da digestão parcial das amostras de aluviões.
As amostras correspondentes à campanha de Março de 2014 encontram-se referenciadas com [III].

Amostras	Profundidade (cm)	Extracção Parcial										
		As (mg.kg ⁻¹)	Cd (mg.kg ⁻¹)	Co (mg.kg ⁻¹)	Cr (mg.kg ⁻¹)	Cu (mg.kg ⁻¹)	Fe (mg.kg ⁻¹)	Fe (%)	Mn (mg.kg ⁻¹)	Ni (mg.kg ⁻¹)	Pb (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)
CA0-2B	0-20	< 0,25	0,0576	3,2810	17,0677	13,0450	20640,2863	2,0640	135,6214	4,8255	4,8227	44,1880
	20-40	1,5130	< 0,025	3,9976	17,8486	14,2476	29402,3586	2,9402	144,9625	5,6857	4,7572	34,6507
	40-60	< 0,25	< 0,025	4,3292	21,2315	14,8420	25159,2357	2,5159	145,5012	5,7698	5,0138	32,4406
CA1-13	0-20	5,5741	14,9929	5,4402	22,2955	87,2057	34188,4608	3,4188	245,5139	8,4828	61,5936	2475,3381
	20-40	8,0311	13,1998	4,1958	18,0359	66,1831	29910,0899	2,9910	251,6239	6,5136	94,9951	2959,8127
	40-60	12,6862	13,1750	4,3965	19,7311	67,8112	34702,2382	3,4702	490,3742	6,7428	106,2870	3260,8427
	60-80	3,4376	66,2787	4,7885	31,8927	287,0572	50138,2997	5,0138	343,3167	10,3775	338,4708	9213,0246
	80-100	14,0010	37,7836	5,0698	26,9684	325,5813	110243,3627	11,0243	775,7568	11,3146	793,0442	25069,0559
	2,50 m	24,0831	6,7487	10,7218	19,6074	527,0194	163074,7189	16,3075	948,9920	15,1849	965,3876	38067,1836
CA1-20	0-20	< 0,25	3,2982	9,8370	19,9342	17,0851	36124,3544	3,6124	174,1030	7,2570	23,2024	333,8353
	20-40	< 0,25	0,5372	8,0090	20,1539	14,7441	26791,0300	2,6791	162,3846	5,9809	10,4203	200,5149
	40-60	< 0,25	0,5766	5,4989	21,6360	15,1824	30325,7394	3,0326	192,8386	6,6884	9,0328	169,8683
CA1-21	0-20	0,6669	3,6321	8,7684	19,4932	20,1737	28084,5127	2,8085	207,8144	6,1104	20,4178	568,6000
	20-40	4,3235	11,9003	9,5176	22,8497	40,1870	33395,7061	3,3396	169,9485	7,6170	52,3903	1445,9099
	40-60	1,3055	17,2462	5,9012	27,6755	84,8571	39466,7722	3,9467	129,8244	9,0440	128,1318	2533,9849
	60-80	< 0,25	23,1965	6,0664	34,6321	140,1799	54359,4554	5,4359	413,5288	11,6401	121,3596	3302,5173
	80-100	< 0,25	25,6223	6,2252	43,5416	168,1576	35293,3217	3,5293	528,9004	12,5983	137,0987	4290,4025
CA1-21 (lixí)	0-20	< 0,25	149,9336	5,7768	33,2197	305,5526	24884,7909	2,4885	228,1634	8,8999	82,5921	1328,2638
	20-40	< 0,25	29,8765	5,1461	39,7170	156,1552	44047,7230	4,4048	189,4332	12,6773	121,7006	3297,2646
	40-60	< 0,25	15,8703	5,0798	37,8359	109,0340	38727,2977	3,8727	231,4446	10,5356	87,2604	2381,8612
CA1-23	0-20	4,3427	8,0739	12,5124	23,5229	35,6392	36916,6334	3,6917	172,7920	7,2942	60,1676	2278,3853
	20-40	12,4323	13,1469	9,0846	29,8078	45,4514	45170,0000	4,5170	282,4506	10,1029	59,0154	1590,8861

	40-60	3,9702	13,3499	5,3044	22,1726	43,8588	37667,5335	3,7668	248,7500	8,4381	67,7923	1902,8587
	60-80	< 0,25	14,1195	5,7995	36,9669	109,3019	45919,1414	4,5919	334,7926	10,7468	104,7461	3160,8296
	80-100	< 0,25	18,8199	5,5051	36,5335	171,2597	52467,1956	5,2467	409,4417	12,1592	237,7504	7318,4215
CA1-23 [III]	0-5	< 0,25	10,3644	6,6170	43,7083	208,3415	50220,7961	5,0221	207,0568	15,2471	281,2297	5247,5772
	5-10	< 0,25	8,5556	7,0907	41,5479	143,3754	39240,1211	3,9240	341,9130	13,9145	71,1962	2188,3241
	10-15	< 0,25	20,0578	4,9396	33,9111	158,5470	32057,0294	3,2057	280,0295	9,8883	102,6694	2754,2851
	15-20	< 0,25	11,5440	3,9324	29,7773	132,9962	32796,1479	3,2796	224,7147	8,8578	121,5035	3286,9352
	20-25	< 0,25	20,2549	5,0638	34,3119	117,3245	31219,8495	3,1220	210,3536	11,6208	75,4242	2233,3130
	25-30	< 0,25	9,8822	4,7428	29,6158	128,7848	32007,7857	3,2008	183,6633	9,7493	131,6589	3335,9184
	30-33	< 0,25	24,6120	2,2506	26,6635	134,9315	26314,4337	2,6314	92,4761	7,5083	185,2358	3855,8292
CA1-30	0-20	< 0,25	1,3580	6,2340	60,8964	88,0165	51398,0232	5,1398	566,5119	20,1564	7,0717	436,3025
	20-40	< 0,25	< 0,025	5,6819	54,3993	73,0866	51628,0878	5,1628	441,4790	19,1183	4,7762	228,8231
CA1-31	0-20	< 0,25	1,2540	4,7225	56,3810	79,1715	48998,4237	4,8998	238,6297	19,0070	38,8996	661,3658
	20-40	< 0,25	< 0,025	3,4935	70,4352	69,4358	52065,9298	5,2066	115,6006	21,6186	2,6304	188,5701
	40-60	< 0,25	< 0,025	4,2091	59,4300	59,5555	73544,2761	7,3544	140,9016	18,9188	2,7966	159,0622
CA1-34	0-20	18,0680	14,5481	5,9409	33,4248	258,2983	48653,8110	4,8654	738,7517	13,0351	467,7866	10758,7748
	20-40	< 0,25	2,2209	3,6003	29,1597	88,7981	40491,0299	4,0491	225,3230	10,2286	276,8041	3082,0918
	40-60	< 0,25	2,6760	3,8369	26,4133	89,3941	40227,0705	4,0227	279,5118	10,1946	284,3473	3514,8323
	60-80	< 0,25	1,6432	3,3481	27,7296	55,7131	28843,5470	2,8844	157,0059	8,5567	87,8802	1459,9646
	80-100	< 0,25	1,1847	2,9219	26,3035	60,3730	31271,3418	3,1271	151,0942	9,2194	99,8619	1648,8323
CA2-10 Sulfatos	0-5	< 0,25	44,2459	25,3802	< 0,025	21,5882	1473,9784	0,1474	2086,5194	42,1885	66,0552	31343,8772
CA2-10	0-20	11,3937	59,0505	3,9809	26,1423	132,9081	52408,4395	5,2408	138,0300	14,9594	427,3163	28960,9873
	20-40	61,4531	3,1152	5,6920	17,7626	105,7462	153085,6800	15,3086	94,4708	12,4763	1664,5358	58458,1586
	40-60	72,6832	3,6566	7,1457	20,5999	103,0623	162602,4385	16,2602	141,1649	16,9481	1785,9416	65720,5677
	60-80	24,7241	11,6454	6,6824	38,5507	418,2692	211564,4699	21,1564	263,8160	17,1923	1502,5414	46804,9053
	80-100	34,0053	14,4654	8,7351	28,4779	348,0532	207635,9216	20,7636	215,0089	18,0915	1803,5711	51325,4961
	2,40 m	24,1928	39,1146	2,9683	22,6246	257,7308	124755,6978	12,4756	113,4542	12,7539	845,7650	36257,5104

CA2-10 (lix)	0-20	11,3761	40,9541	8,2426	60,4766	343,1029	124435,3568	12,4435	252,3323	17,4518	1199,3007	32856,7859
	20-40	31,4341	6,2648	5,8201	58,2202	423,1453	231499,9133	23,1500	211,5236	18,4429	1399,4659	55838,1902
	40-60	56,6235	11,8462	9,5803	23,1956	418,0421	216302,4775	21,6302	193,1617	17,1320	1897,3237	52724,8812
	60-80	< 0,25	159,6864	4,1056	34,8547	135,3965	63162,9028	6,3163	121,1339	18,7235	1078,7210	15260,1271
	80-100	< 0,25	66,1607	5,4229	30,7697	201,9019	73659,3022	7,3659	157,4558	17,9363	1050,1354	16916,6236
CA2-10A [III]	0-20	< 0,25	35,8147	7,9540	62,8717	275,0391	55863,2969	5,5863	1278,8862	11,9630	652,9810	11590,9768
	20-40	< 0,25	38,3747	19,7370	35,5278	227,0360	42467,6029	4,2468	1229,8815	12,0866	678,3312	12547,6848
	40-60	8,4306	31,0096	9,7131	51,9621	241,2706	58474,5305	5,8475	831,2409	13,4216	757,0681	15943,9869
CA2-11	0-20	23,1305	6,6798	4,7933	12,7331	101,1042	54373,8766	5,4374	199,7653	8,7963	586,8310	17046,1354
	20-40	3,2220	5,2739	2,8006	20,3317	15,5862	36997,3995	3,6997	106,3762	8,0419	10,1091	673,1988
	40-60	< 0,25	3,8955	2,6898	20,1426	14,8968	35265,9892	3,5266	100,0374	7,8851	4,7992	557,3263
CA2-12	0-20	41,6087	31,6222	3,5408	17,5219	279,5065	86614,8015	8,6615	135,4433	12,3874	993,9557	20606,4233
	20-40	62,7721	46,2286	6,4410	24,4905	496,4140	89155,1827	8,9155	194,8500	16,1958	1081,7963	22208,9075
	40-60	1480,7352	63,5520	25,2243	27,4251	3134,4997	72592,2233	7,2592	4944,8903	24,5067	3733,5127	28175,4736
	60-80	598,8199	36,6257	15,3262	44,2985	2620,9319	74830,7354	7,4831	3060,1751	29,6417	3050,9011	22042,9076
	80-100	997,7321	70,4056	22,4355	40,6535	3246,9448	75247,3173	7,5247	4379,3891	30,4123	3997,0584	23988,0221
	2,70 m	< 0,25	2,8316	8,0840	42,8045	60,8587	34840,6462	3,4841	73,7792	19,5147	62,6325	1179,3184
CA3-18	0-20	31,2731	20,9778	3,7210	23,2100	141,9964	40128,0256	4,0128	593,7031	8,8242	310,1498	12522,5045
	20-40	19,0907	25,0707	4,4964	24,2207	146,6962	41645,1164	4,1645	824,4374	9,4235	318,7998	13228,5657
	40-60	20,7618	27,9086	4,2356	23,3598	145,2611	43803,6320	4,3804	605,2333	9,8041	349,4168	12163,2409
	60-80	15,7779	34,3334	14,0757	40,3494	337,9358	57764,0141	5,7764	1441,3993	14,4397	556,1693	12548,0915
	80-100	15,1468	35,4389	10,7290	36,1267	289,5660	49163,3799	4,9163	1239,3533	12,6005	468,5532	11647,0972
	1,20-1,50 m	58,4673	21,6386	9,1591	34,3852	533,0118	39855,2034	3,9855	913,7625	15,9959	1068,0839	15393,7780
CA3-37	0-10	< 0,25	27,8616	6,7506	40,0986	155,9421	52279,0443	5,2279	409,8736	13,1125	100,2323	4376,8793
	10-20	< 0,25	40,7269	32,1575	64,2744	239,0259	76555,1195	7,6555	2239,8373	17,7642	467,7938	7622,5041
	20-40	< 0,25	17,5387	9,0650	61,8094	122,6702	63989,5972	6,3990	509,8734	15,7234	46,9361	1312,6453
	40-50	< 0,25	12,6800	26,9653	74,5121	135,0428	81619,9700	8,1620	1481,7344	16,8802	48,1731	1080,6234

CA5-6	0-20	14,2740	52,4646	2,9301	23,4562	106,7767	45738,9750	4,5739	71,2564	10,6504	166,2580	21136,2733
	20-40	2,1686	19,9798	5,1449	21,3732	154,7590	41588,4116	4,1588	199,2699	11,5237	43,8474	12367,6324
	40-60	< 0,25	2,5747	6,0199	20,3655	26,3273	35940,2985	3,5940	104,5935	9,2033	9,1963	321,9598
CA5-8	0-20	< 0,25	0,7139	4,3292	18,8330	16,3585	33469,3471	3,3469	198,2876	7,3039	9,5806	160,8396
	20-40	< 0,25	1,1512	3,8043	18,2527	15,1825	29298,4190	2,9298	164,2426	6,0070	8,4462	220,4636
	40-60	< 0,25	3,4081	4,2415	23,9997	16,2959	31796,4072	3,1796	135,1641	6,2358	11,6851	366,7425

Aluviões	CONAMA, 2012	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Normal		<5,9	< 0,6	< 33	< 17	< 14	< 8,4	< 58
Intermédio				33-37,3	17-35,7	14-18	8,4-35	58-123
Atenção		5,9-17	0,6-3,5	37,3-90	35,7-197	18-35,9	35-91,3	123-315
Crítico		> 17	> 3,5	> 90	> 197	> 35,9	> 91,3	> 315

Tabela A.17: Fracções extraídas em cádmio, nos sedimentos, nas diferentes fases da extracção sequencial.

#1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a matéria orgânica e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos.

Cd								
Amostras	Profundidade (cm)	#1 (mg.kg ⁻¹)	#2 (mg.kg ⁻¹)	#3 (mg.kg ⁻¹)	#4 (mg.kg ⁻¹)	#5 (mg.kg ⁻¹)	Total Extracção (mg.kg ⁻¹)	Extracção Parcial (mg.kg ⁻¹)
CA0-1A	0-10	3,3194	0,0443	< 0,03	0,2195	4,8747	8,4578	2,0042
	10-20	0,6768	0,0475	< 0,03	0,2009	2,2721	3,1973	0,8178
CA0-3A	0-5	0,6064	0,1960	< 0,03	< 0,01	< 0,025	0,8024	0,6230
	10-15	0,1651	0,0374	< 0,03	0,1953	1,0457	1,4435	< 0,025
CA1-14	5-10	5,6264	2,2678	0,1305	0,1567	< 0,025	8,1814	8,1798
	20-40	12,1517	2,2207	0,9884	0,1433	4,2840	19,7881	7,6438
	40-60	8,9958	2,3132	< 0,03	0,1281	6,3093	17,7464	14,6448
CA1-22	10-15	5,9141	4,3168	0,1797	< 0,01	< 0,025	10,4106	14,5696
	20-40	27,7983	15,7090	2,0660	< 0,01	< 0,025	45,5733	36,3136
	80-100	19,6362	10,7834	3,1173	3,1979	3,7804	40,5152	33,3187
CA1-27	0-5	3,1727	2,5548	2,2891	0,7472	0,8881	9,6519	10,0392
	20-25	1,2383	0,6872	0,2603	0,3255	1,7216	4,2329	1,5142
	40-43	0,3203	0,1038	< 0,03	0,1411	< 0,025	0,5790	1,2380
CA1-28	10-15	0,8911	0,2530	0,0957	0,1497	3,3249	4,7144	1,2470
	15-20	0,4399	< 0,02	0,1191	0,1385	0,1106	0,8129	< 0,025
	35-37	0,1645	< 0,02	0,0854	0,0644	0,5230	0,8373	< 0,025
CA1-29	0-5	3,2606	10,8855	0,4446	0,9516	2,5786	18,1209	14,8804
	20-25	0,2533	0,1026	0,4418	0,0388	< 0,025	0,8365	< 0,025
	40-43	0,1864	0,2684	< 0,03	0,0666	0,2766	0,7980	207,2192
CA1-32	0-10	17,8388	3,9413	1,1795	0,6090	0,1788	23,7474	25,3936

	50-60	10,7105	24,4320	3,8848	5,0311	4,0758	48,1342	38,4308
CA1-35	0-10	4,2733	0,5475	< 0,03	0,1318	0,2957	5,2483	3,6396
	80-100	0,9957	0,2228	< 0,03	0,0696	0,0390	1,3271	0,3233
CA1-47	5-10	0,0242	< 0,02	< 0,03	0,0703	1,8041	1,8986	15,0186
	15-20	0,0625	< 0,02	< 0,03	0,0463	< 0,025	0,1088	7,4495
	42-45	< 0,02	< 0,02	< 0,03	0,0336	0,5279	0,5615	2,5679
CA3-38	20-30	21,4563	3,3922	1,0041	0,5850	2,2155	28,6531	24,2502
	50-60	7,9089	1,7678	0,5868	0,2466	0,8710	11,3811	8,4155
CA5-44	0-20	31,0835	5,0410	1,0052	0,8237	8,1179	46,0713	37,7368
BG-45	20-40	2,6823	0,6465	0,0597	0,2761	< 0,025	3,6646	2,7405
BG-46	0-20	0,3459	< 0,02	< 0,03	0,0411	0,0935	0,4805	0,5500

Tabela A.18: Fracções extraídas em cobalto, nos sedimentos, nas diferentes fases da extracção sequencial.

#1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a matéria orgânica e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos.

Co								
Amostras	Profundidade (cm)	#1 (mg.kg ⁻¹)	#2 (mg.kg ⁻¹)	#3 (mg.kg ⁻¹)	#4 (mg.kg ⁻¹)	#5 (mg.kg ⁻¹)	Total Extracção (mg.kg ⁻¹)	Extracção Parcial (mg.kg ⁻¹)
CA0-1A	0-10	0,4484	2,9115	16,0936	< 0,01	13,7038	33,1573	10,9303
	10-20	0,3909	3,2295	0,5993	0,2848	< 0,025	4,5044	8,1272
CA0-3A	0-5	2,9044	1,9356	0,7039	< 0,01	< 0,025	5,5438	4,4803
	10-15	1,7794	2,2184	2,9113	0,3233	< 0,025	7,2324	8,5534
CA1-14	5-10	3,9856	41,3402	0,5039	0,2305	52,9834	99,0435	15,2470
	20-40	3,5422	5,9050	< 0,03	0,0279	1,7530	11,2281	3,2070
	40-60	< 0,02	2,1319	< 0,03	0,2925	0,6672	3,0916	5,2187
CA1-22	10-15	0,7443	1,7148	0,5768	0,2732	< 0,025	3,3092	5,4511
	20-40	10,0449	3,5022	0,2337	0,2232	1,1039	15,1080	28,5523
	80-100	10,5207	3,1245	0,3972	0,5495	< 0,025	14,5918	13,3595
CA1-27	0-5	1,7938	1,1753	0,9587	0,0304	1,1097	5,0679	6,1303
	20-25	1,8829	1,1705	0,8375	0,0662	0,3458	4,3030	5,9693
	40-43	0,8217	0,7394	0,9875	< 0,01	0,8125	3,3611	4,5412
CA1-28	10-15	1,7407	1,2306	0,8677	< 0,01	3,5137	7,3526	5,8392
	15-20	0,4578	0,4907	0,2654	< 0,01	1,5601	2,7740	4,0427
	35-37	0,4649	0,9099	0,8010	< 0,01	3,3724	5,5482	3,7277
CA1-29	0-5	4,2864	2,0924	0,8466	0,2072	< 0,025	7,4327	7,7706
	20-25	1,5691	1,3897	0,8337	0,1619	1,5770	5,5314	5,0413
	40-43	1,5253	1,4055	1,7226	0,2600	1,1648	6,0782	7,3341
CA1-32	0-10	0,8381	4,9763	0,8117	0,3601	< 0,025	6,9862	6,3806

	50-60	5,1054	2,4188	0,3445	0,2848	< 0,025	8,1535	8,2576
CA1-35	0-10	0,7788	2,5230	0,5871	0,0163	< 0,025	3,9052	3,5141
	80-100	1,0699	0,3779	0,1138	< 0,01	0,9333	2,4948	2,6209
CA1-47	5-10	1,3400	1,6960	3,9281	0,2423	16,3888	23,5952	8,2046
	15-20	0,6922	1,0905	2,2726	0,1545	< 0,025	4,2098	4,7450
	42-45	0,9803	1,7740	2,2438	0,2736	3,8382	9,1099	6,3014
CA3-38	20-30	1,8143	3,9583	0,8968	0,1311	< 0,025	6,8006	5,5932
	50-60	1,9400	0,6843	0,3189	0,0118	< 0,025	2,9550	2,8660
CA5-44	0-20	0,2600	6,3772	0,5491	< 0,01	< 0,025	7,1864	6,3973
BG-45	20-40	2,0392	1,0606	1,1634	0,1745	< 0,025	4,4377	4,2764
BG-46	0-20	3,1746	4,3342	5,8650	0,4091	2,5627	16,3455	11,1027

Tabela A.19: Fracções extraídas em crómio, nos sedimentos, nas diferentes fases da extracção sequencial.

#1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a matéria orgânica e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos.

Cr								
Amostras	Profundidade (cm)	#1 (mg.kg ⁻¹)	#2 (mg.kg ⁻¹)	#3 (mg.kg ⁻¹)	#4 (mg.kg ⁻¹)	#5 (mg.kg ⁻¹)	Total Extracção (mg.kg ⁻¹)	Extracção Parcial (mg.kg ⁻¹)
CA0-1A	0-10	< 0,02	< 0,02	3,3936	1,9296	21,9813	27,3045	26,7390
	10-20	< 0,02	0,1530	1,6406	1,3443	150,0000	153,1379	152,7557
CA0-3A	0-5	0,4366	0,5801	3,3699	1,6632	32,3500	38,3998	41,1412
	10-15	1,3632	1,3267	6,1896	2,0378	78,4500	89,3673	97,8556
CA1-14	5-10	< 0,02	< 0,02	4,3996	2,0118	< 0,025	6,4114	14,6028
	20-40	< 0,02	< 0,02	1,4163	2,2232	16,9730	20,6125	9,3485
	40-60	< 0,02	0,2257	4,0277	1,9150	38,9359	45,1043	25,9038
CA1-22	10-15	< 0,02	0,2796	3,2872	2,1014	< 0,025	5,6682	25,1582
	20-40	0,0399	0,1665	1,1038	1,8389	< 0,025	3,1491	30,7313
	80-100	0,2571	< 0,02	1,6655	5,0408	35,3899	42,3532	30,1710
CA1-27	0-5	0,7666	0,0863	2,7861	6,9287	160,0208	170,5887	52,7094
	20-25	< 0,02	< 0,02	4,4399	6,4681	128,0118	138,9199	57,7037
	40-43	0,9998	0,1842	5,1757	7,3790	125,3378	139,0764	58,8772
CA1-28	10-15	0,4971	0,1165	5,0555	6,2165	74,1788	86,0644	48,2938
	15-20	1,0031	0,1811	3,7361	6,0400	33,8380	44,7985	41,2403
	35-37	0,4320	< 0,02	2,4511	3,5257	154,9432	161,3520	31,8306
CA1-29	0-5	< 0,02	< 0,02	5,3755	0,8079	82,2055	88,3889	39,1087
	20-25	1,3615	< 0,02	3,2981	4,7758	42,3293	51,7647	36,7728
	40-43	1,4934	< 0,02	9,0142	6,4902	48,1600	65,1578	56,6503
CA1-32	0-10	< 0,02	< 0,02	2,9391	5,6309	54,6198	63,1898	35,0631

	50-60	0,5746	< 0,02	2,5099	1,7488	41,9550	46,7884	34,8573
CA1-35	0-10	0,1453	< 0,02	1,6293	2,1960	43,3005	47,2712	24,4020
	80-100	0,3927	< 0,02	1,8466	2,5872	37,2535	42,0800	23,0280
CA1-47	5-10	1,7100	0,0513	19,9751	4,8481	99,5791	126,1636	60,8312
	15-20	1,7019	< 0,02	16,1411	5,8956	41,3937	65,1501	51,3969
	42-45	2,2521	0,1760	13,8109	7,5730	72,2789	96,0909	50,3981
CA3-38	20-30	0,0620	< 0,02	2,3724	3,6230	50,0080	56,0653	30,2068
	50-60	0,2417	< 0,02	2,1108	2,5804	42,8111	47,7441	25,4253
CA5-44	0-20	0,1161	< 0,02	3,2350	4,1149	149,4566	156,9226	45,2016
BG-45	20-40	0,3105	< 0,02	6,2982	3,5493	65,0869	75,2449	31,9882
BG-46	0-20	0,9112	0,1521	6,1440	7,4405	132,1143	146,7621	87,7946

Tabela A.20: Fracções extraídas em cobre, nos sedimentos, nas diferentes fases da extracção sequencial.

#1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a matéria orgânica e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos.

Cu								
Amostras	Profundidade (cm)	#1 (mg.kg ⁻¹)	#2 (mg.kg ⁻¹)	#3 (mg.kg ⁻¹)	#4 (mg.kg ⁻¹)	#5 (mg.kg ⁻¹)	Total Extracção (mg.kg ⁻¹)	Extracção Parcial (mg.kg ⁻¹)
CA0-1A	0-10	2,3480	< 0,02	0,8579	1,8213	25,9644	30,9916	178,1593
	10-20	1,8591	0,2162	0,2662	0,6680	77,1972	80,2067	129,4055
CA0-3A	0-5	2,2594	0,5844	2,2702	7,1343	76,8554	89,1036	26,4715
	10-15	2,5339	0,5417	2,6632	0,8500	130,5586	137,1474	31,6781
CA1-14	5-10	79,9386	72,1584	22,7582	6,3436	107,4914	288,6901	250,2514
	20-40	13,0378	93,1975	64,1994	12,9541	124,3205	307,7093	347,7074
	40-60	13,9201	29,4566	12,3748	9,1357	66,1163	131,0035	116,3573
CA1-22	10-15	15,2524	24,0692	10,7138	12,0098	48,4543	110,4995	70,9148
	20-40	10,2846	49,0049	61,4007	50,5876	88,2402	259,5180	154,8803
	80-100	6,1556	39,2216	59,8373	33,7281	47,8123	186,7550	219,6979
CA1-27	0-5	2,3276	21,9601	41,1800	3,5701	47,8552	116,8929	159,7123
	20-25	1,9549	16,1687	8,4102	2,3762	40,1602	69,0702	93,3172
	40-43	2,6860	12,1221	7,1206	2,4989	39,0278	63,4554	72,0964
CA1-28	10-15	3,7698	14,1612	11,8726	2,6975	29,7221	62,2232	78,1584
	15-20	4,4237	12,4929	9,7899	2,2401	19,5937	48,5403	52,2339
	35-37	3,0544	10,0075	10,8376	2,4912	37,2681	63,6588	92,5894
CA1-29	0-5	6,0194	41,8734	16,0305	8,5460	71,5665	144,0359	173,3132
	20-25	3,3881	10,1629	12,1449	2,4866	25,2146	53,3971	55,8955
	40-43	3,6275	10,7614	25,5392	2,7561	23,7781	66,4622	172,2460
CA1-32	0-10	15,6067	22,9731	43,9673	6,5062	67,4434	156,4967	155,8077

	50-60	7,0363	42,7449	81,8352	33,8148	65,2057	230,6369	283,2242
CA1-35	0-10	5,5830	6,3460	7,5452	1,6345	26,0238	47,1325	49,5041
	80-100	2,2073	3,9056	5,7252	1,5261	20,9667	34,3309	37,1908
CA1-47	5-10	5,7330	8,6274	27,2438	1,7476	24,3404	67,6923	109,1716
	15-20	4,7284	7,2659	27,1893	1,6887	19,3240	60,1963	73,0620
	42-45	5,6598	10,1412	25,2990	2,2889	19,1713	62,5602	81,1099
CA3-38	20-30	48,3157	38,8365	38,9750	4,4291	43,8680	174,4242	184,4118
	50-60	8,5099	11,2588	10,3028	2,0196	25,5555	57,6467	45,4474
CA5-44	0-20	44,2816	50,9195	30,2695	2,9825	61,3185	189,7715	261,6899
BG-45	20-40	4,2171	5,9759	9,0452	1,9425	29,8250	51,0056	70,3645
BG-46	0-20	4,5755	4,7661	8,3054	1,7713	55,3946	74,8128	97,9930

Tabela A.21: Fracções extraídas em ferro, nos sedimentos, nas diferentes fases da extração sequencial.

#1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a matéria orgânica e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos.

Fe								
Amostras	Profundidade (cm)	#1 (mg.kg ⁻¹)	#2 (mg.kg ⁻¹)	#3 (mg.kg ⁻¹)	#4 (mg.kg ⁻¹)	#5 (mg.kg ⁻¹)	Total Extração (mg.kg ⁻¹)	Extração Parcial (mg.kg ⁻¹)
CA0-1A	0-10	86,6448	135,9372	804,2321	651,1669	12508,7946	14186,7755	22739,0697
	10-20	88,4473	205,7846	1399,2157	834,3511	46242,5789	48770,3776	48972,8759
CA0-3A	0-5	445,6144	666,4797	1871,1720	1,3090	35522,8240	38507,3991	29121,8638
	10-15	411,0448	443,1539	1962,5335	988,1161	80603,3401	84408,1885	70848,3393
CA1-14	5-10	417,8269	1037,0456	2234,7046	109,6992	55429,4590	59228,7354	79789,2422
	20-40	1155,1911	848,0262	2243,7975	110,8343	56714,0043	61071,8534	78554,4083
	40-60	324,7433	389,7097	5800,7062	195,5524	25204,2264	31914,9379	43624,8265
CA1-22	10-15	83,0632	649,4868	1290,9219	202,4304	23291,0529	25516,9551	33743,2513
	20-40	2897,6535	1526,3605	2313,3609	197,5172	31231,2548	38166,1470	52421,7660
	80-100	1002,4529	1108,4172	906,0962	260,5753	20000,4650	23278,0066	34687,7260
CA1-27	0-5	655,4632	486,8590	1691,4533	448,8335	25407,9046	28690,5136	38243,5646
	20-25	319,9467	398,2182	2443,9061	529,2506	23741,3019	27432,6235	42638,1065
	40-43	335,8206	296,4599	2702,3437	860,9424	21957,3638	26152,9304	33860,3717
CA1-28	10-15	926,5388	740,2238	3210,1589	923,5334	17363,5777	23164,0325	28489,6201
	15-20	802,5846	673,2993	2105,6051	343,0402	9603,4359	13527,9651	19555,1731
	35-37	837,2283	1331,4783	5297,5969	1104,6373	25677,9270	34248,8678	30876,3986
CA1-29	0-5	2159,3095	1599,1836	2733,9187	103,5168	31436,4451	38032,3736	28600,0070
	20-25	1786,9955	3146,6404	3552,1880	772,5821	13513,5070	22771,9130	32162,7656
	40-43	1824,9901	3957,8086	8332,3955	835,2913	11664,0311	26614,5167	46251,9610
CA1-32	0-10	334,6924	1155,3942	3407,5267	290,4981	37839,9953	43028,1067	59020,9275

	50-60	1548,6285	1881,1553	2426,3349	116,9980	20286,3301	26259,4468	72817,8041
CA1-35	0-10	277,4023	196,7493	1191,0562	146,6463	12718,0436	14529,8976	27746,3803
	80-100	343,7772	287,5401	1731,5059	277,7631	10571,6947	13212,2810	22497,7502
CA1-47	5-10	2472,6535	4860,9825	14469,0567	250,7392	11713,8375	33767,2694	54204,6334
	15-20	1826,9167	3379,0820	8967,4419	284,5565	8888,7645	23346,7616	37297,0975
	42-45	2584,9013	6582,7469	12694,7566	463,1090	8290,1708	30615,6846	52079,4077
CA3-38	20-30	465,4515	546,9051	1708,4809	340,6029	19882,9830	22944,4234	32182,7872
	50-60	740,0791	430,7882	1828,7721	169,8047	12335,6753	15505,1194	23218,9032
CA5-44	0-20	70,6398	316,2999	2023,1451	217,8545	28163,0607	30791,0000	52048,2548
BG-45	20-40	325,9836	395,8221	2045,9073	279,8575	14684,5481	17732,1186	28219,5887
BG-46	0-20	461,7077	777,0748	2552,4949	508,6600	30308,1605	34608,0979	54206,7240

Tabela A.22: Fracções extraídas em manganês, nos sedimentos, nas diferentes fases da extracção sequencial.

#1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a matéria orgânica e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos.

Mn								
Amostras	Profundidade (cm)	#1 (mg.kg ⁻¹)	#2 (mg.kg ⁻¹)	#3 (mg.kg ⁻¹)	#4 (mg.kg ⁻¹)	#5 (mg.kg ⁻¹)	Total Extracção (mg.kg ⁻¹)	Extracção Parcial (mg.kg ⁻¹)
CA0-1A	0-10	28,0817	94,5204	66,1576	< 0,01	40,3490	229,1087	190,3737
	10-20	33,7077	148,4921	20,4070	1,9933	46,9965	251,5966	355,1188
CA0-3A	0-5	22,7752	14,1614	6,4578	1,6191	53,8597	98,8732	50,3655
	10-15	13,7008	8,0619	8,0525	1,9940	60,8257	92,6349	72,8483
CA1-14	5-10	488,5594	3041,7901	140,0774	0,8493	32,9722	3704,2484	3026,8116
	20-40	240,5925	852,6794	60,1088	< 0,01	399,6150	1552,9957	1153,3207
	40-60	48,4760	153,4758	17,5465	2,0787	89,7149	311,2918	288,9625
CA1-22	10-15	50,3165	58,1605	6,6821	1,9536	33,6858	150,7985	249,5394
	20-40	559,7604	136,9715	11,6446	1,8303	37,4075	747,6142	548,1215
	80-100	385,4812	74,3829	< 0,03	5,3098	47,0434	512,2174	520,0162
CA1-27	0-5	57,5226	15,2649	13,3955	2,9025	169,3579	258,4433	128,6426
	20-25	55,4406	11,9071	13,7747	7,9373	148,8238	237,8836	137,7897
	40-43	40,8157	8,6558	14,4414	4,9935	129,8748	198,7812	102,8636
CA1-28	10-15	111,0518	16,9886	< 0,03	1,8993	104,4745	234,4142	166,6098
	15-20	85,9164	13,4763	< 0,03	1,4523	41,5380	142,3831	126,1818
	35-37	35,9915	56,9602	53,1489	4,0851	166,8979	317,0836	149,5222
CA1-29	0-5	501,1515	83,7657	< 0,03	3,4323	99,9921	688,3416	704,0120
	20-25	163,6858	181,7147	35,6663	5,4690	89,5274	476,0633	401,2663
	40-43	185,8915	219,1736	88,5191	7,8665	101,1704	602,6211	638,8179
CA1-32	0-10	115,8455	351,9249	85,5014	22,9103	103,9551	680,1371	541,9883

	50-60	448,9197	200,5325	43,8141	9,2909	37,5214	740,0785	831,8374
CA1-35	0-10	37,1761	76,6355	17,9119	2,5888	67,7948	202,1071	139,8582
	80-100	34,4802	5,7658	< 0,03	1,9550	80,6487	122,8497	66,5690
CA1-47	5-10	277,4158	198,7876	160,9424	9,1357	499,8313	1146,1128	684,3996
	15-20	142,4519	121,6301	142,1838	8,5651	124,5581	539,3891	395,4436
	42-45	176,8755	251,1636	120,9326	12,1698	143,5715	704,7129	590,9375
CA3-38	20-30	191,7085	211,7308	33,8692	6,5452	79,6017	523,4553	433,9485
	50-60	117,3276	23,9788	< 0,03	2,7648	64,0727	208,1439	151,2674
CA5-44	0-20	33,4853	122,2236	17,7176	2,4121	224,7545	400,5931	168,3674
BG-45	20-40	60,6071	11,6025	15,4018	4,9674	84,5500	177,1288	108,2842
BG-46	0-20	141,1748	64,0423	44,4074	11,6273	150,5060	411,7578	275,9112

Tabela A.23: Fracções extraídas em níquel, nos sedimentos, nas diferentes fases da extracção sequencial.

#1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a matéria orgânica e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos.

Ni								
Amostras	Profundidade (cm)	#1 (mg.kg ⁻¹)	#2 (mg.kg ⁻¹)	#3 (mg.kg ⁻¹)	#4 (mg.kg ⁻¹)	#5 (mg.kg ⁻¹)	Total Extracção (mg.kg ⁻¹)	Extracção Parcial (mg.kg ⁻¹)
CA0-1A	0-10	< 0,02	0,3530	3,0946	0,1705	2,0409	5,6590	4,9339
	10-20	< 0,02	0,5168	1,1077	0,2827	2,8311	4,7383	4,8807
CA0-3A	0-5	0,8311	1,2236	2,8191	< 0,01	6,0210	10,8948	6,8493
	10-15	0,5144	1,0027	3,1928	0,2893	6,7388	11,7381	8,7576
CA1-14	5-10	1,9273	2,2123	0,7280	0,1456	3,3615	8,3747	12,4457
	20-40	0,7469	1,4484	0,4607	0,0833	5,3900	8,1293	10,4214
	40-60	0,6222	2,1989	1,4755	0,2086	4,1675	8,6728	12,6243
CA1-22	10-15	0,3844	1,0729	3,1890	0,2666	2,4363	7,3492	7,5835
	20-40	3,1952	1,6720	0,8072	0,1059	3,7594	9,5398	12,2323
	80-100	2,2203	1,0677	0,9679	0,7018	4,2558	9,2136	9,9357
CA1-27	0-5	0,4873	0,3063	0,4825	0,7327	5,1664	7,1753	16,8053
	20-25	0,1775	< 0,02	0,7685	0,6703	6,2718	7,8881	20,7083
	40-43	0,1478	0,0389	0,7197	0,8171	5,9788	7,7023	18,7463
CA1-28	10-15	0,2571	0,3431	1,2944	0,7921	6,5435	9,2302	17,4515
	15-20	0,2362	0,3038	0,6771	0,7101	5,0261	6,9533	15,3298
	35-37	0,2490	0,4366	1,2584	0,5060	5,6317	8,0817	10,7448
CA1-29	0-5	1,0893	0,4373	0,8929	0,4016	5,7906	8,6117	11,4766
	20-25	0,7800	0,3790	0,7271	0,6530	6,0115	8,5505	13,2354
	40-43	0,7982	0,4786	2,0841	0,8814	5,6524	9,8947	22,5136
CA1-32	0-10	0,9128	1,0252	1,9059	0,8471	3,8336	8,5245	10,2757

	50-60	2,0822	1,1093	0,7334	0,7953	4,6697	9,3898	12,7196
CA1-35	0-10	< 0,02	< 0,02	0,3654	0,3531	4,3556	5,0740	6,6956
	80-100	< 0,02	< 0,02	0,1083	0,3578	4,0076	4,4737	7,1118
CA1-47	5-10	0,7996	0,6391	4,0124	1,0388	8,0500	14,5399	22,7177
	15-20	0,2990	0,2560	2,7406	0,8427	6,0156	10,1540	15,4267
	42-45	0,5151	0,5163	2,7757	1,1689	7,0531	12,0291	18,7163
CA3-38	20-30	1,1789	0,6883	0,9251	0,6620	3,8296	7,2837	9,8511
	50-60	0,4483	0,2487	0,4665	0,4003	3,5184	5,0822	6,9210
CA5-44	0-20	0,4656	0,4297	0,5323	0,5015	4,8771	6,8063	16,5442
BG-45	20-40	0,4241	0,4355	1,7941	0,6704	4,6376	7,9617	9,6896
BG-46	0-20	0,3355	0,9667	3,7337	0,9555	6,6313	12,6227	10,8134

Tabela A.24: Fracções extraídas em chumbo, nos sedimentos, nas diferentes fases da extração sequencial.

#1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a matéria orgânica e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos.

Pb								
Amostras	Profundidade (cm)	#1 (mg.kg ⁻¹)	#2 (mg.kg ⁻¹)	#3 (mg.kg ⁻¹)	#4 (mg.kg ⁻¹)	#5 (mg.kg ⁻¹)	Total Extração (mg.kg ⁻¹)	Extração Parcial (mg.kg ⁻¹)
CA0-1A	0-10	14,6605	2,6824	1,5501	0,5811	7,3155	26,7896	5,0789
	10-20	2,3570	3,8980	0,4155	0,5811	9,6632	16,9149	10,9983
CA0-3A	0-5	7,1143	4,6627	3,2180	< 0,01	14,4444	29,4394	12,3003
	10-15	4,5333	3,7272	1,7281	0,5945	16,5311	27,1143	12,1050
CA1-14	5-10	178,2087	326,3874	137,1681	< 0,01	136,3006	778,0648	685,6820
	20-40	62,3086	194,1925	158,8643	< 0,01	695,0669	1110,4323	985,1328
	40-60	24,0594	86,5697	52,9911	0,3228	175,9450	339,8880	246,1279
CA1-22	10-15	56,0214	24,5268	11,9868	0,2176	21,8072	114,5598	64,0579
	20-40	254,8178	76,3095	40,1943	< 0,01	56,2677	427,5892	295,1392
	80-100	92,2683	34,0806	22,4957	1,7986	37,2083	187,8515	182,7334
CA1-27	0-5	25,4912	16,6858	34,7170	0,1054	51,9500	128,9495	48,4487
	20-25	6,6854	6,4821	4,1324	< 0,01	25,2420	42,5419	24,9500
	40-43	4,7502	1,9344	2,3398	< 0,01	7,1336	16,1580	2,1499
CA1-28	10-15	4,2106	3,3946	4,0488	< 0,01	19,4203	31,0743	11,9517
	15-20	2,8049	2,4914	2,5067	< 0,01	7,9277	15,7307	4,3448
	35-37	0,7731	1,3223	1,9186	< 0,01	9,5488	13,5627	6,4872
CA1-29	0-5	128,1135	74,1547	9,3450	1,7247	118,7081	332,0460	314,7154
	20-25	2,2397	1,1253	1,0083	< 0,01	3,4127	7,7859	3,8346
	40-43	123,6462	62,3960	4,1784	< 0,01	117,7014	307,9221	353,7286
CA1-32	0-10	85,3250	89,7141	97,7853	3,8784	105,2389	381,9417	384,9790

	50-60	232,2366	101,4556	94,8759	4,8551	133,8513	567,2745	633,0457
CA1-35	0-10	8,7092	9,3922	4,9102	< 0,01	16,8440	39,8556	23,3365
	80-100	1,8085	1,1208	1,5042	< 0,01	7,1119	11,5454	5,6278
CA1-47	5-10	3,9076	1,9922	5,7539	0,4121	28,8565	40,9223	21,1537
	15-20	4,8336	3,0044	4,1852	< 0,01	13,4472	25,4704	20,2985
	42-45	3,3356	1,9669	5,1103	< 0,01	7,0129	17,4256	3,7670
CA3-38	20-30	46,8845	46,2858	32,5037	1,0332	45,9219	172,6290	111,7495
	50-60	18,4041	10,7863	6,0555	< 0,01	19,9414	55,1873	34,2647
CA5-44	0-20	26,1121	27,5365	14,5156	0,8253	60,8370	129,8265	62,6588
BG-45	20-40	5,2403	5,1312	3,2658	< 0,01	18,3713	32,0087	14,4593
BG-46	0-20	1,4836	2,5705	3,9586	< 0,01	40,7930	48,8057	19,4106

Tabela A.25: Fracções extraídas em zinco, nos sedimentos, nas diferentes fases da extracção sequencial.

#1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a matéria orgânica e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos.

Zn								
Amostras	Profundidade (cm)	#1 (mg.kg ⁻¹)	#2 (mg.kg ⁻¹)	#3 (mg.kg ⁻¹)	#4 (mg.kg ⁻¹)	#5 (mg.kg ⁻¹)	Total Extracção (mg.kg ⁻¹)	Extracção Parcial (mg.kg ⁻¹)
CA0-1A	0-10	19,2938	3,6009	< 0,03	4,3338	< 0,025	27,2285	40,2575
	10-20	9,4557	5,0346	< 0,03	1,0552	< 0,025	15,5456	35,7682
CA0-3A	0-5	64,1357	31,4167	< 0,03	8,2628	44,7745	148,5897	116,2653
	10-15	19,1005	15,6033	< 0,03	5,5766	15,1183	55,3987	60,5420
CA1-14	5-10	8736,9233	9632,4376	196,2363	119,5309	470,0948	19155,2228	24298,2603
	20-40	1311,2235	13185,3756	177,5008	136,5885	492,3612	15303,0497	25982,9230
	40-60	1668,9054	5036,8785	1142,8133	538,0570	452,5194	8839,1736	11292,8812
CA1-22	10-15	1620,9561	561,7551	118,5321	520,9786	205,6614	3027,8832	2537,6567
	20-40	5572,6410	2802,7800	291,9944	637,4919	427,3973	9732,3045	12945,9837
	80-100	2451,3320	1218,2601	145,8185	145,8573	209,2636	4170,5314	4283,8029
CA1-27	0-5	515,0946	479,4558	368,7708	43,3787	116,4792	1523,1792	1818,8711
	20-25	177,1442	155,2785	47,7235	20,6162	60,3889	461,1514	627,4719
	40-43	26,1275	20,8955	17,4458	11,5195	29,6725	105,6609	135,8295
CA1-28	10-15	259,2896	150,1536	61,7038	14,1370	51,0517	536,3357	730,8377
	15-20	92,5162	46,4359	20,3813	9,0785	23,4290	191,8408	242,1598
	35-37	8,1381	7,5831	8,8697	6,3961	18,9850	49,9719	55,9011
CA1-29	0-5	3331,1651	4753,3198	149,0642	57,0361	305,2714	8595,8566	11184,8184
	20-25	190,2711	128,3100	25,6668	7,8081	23,1522	375,2082	412,4255
	40-43	223,4697	206,2457	53,5410	9,5356	25,3391	518,1310	835,4886
CA1-32	0-10	2669,8121	3747,7880	397,1608	79,7282	247,9686	7142,4578	10601,9046

	50-60	4854,9493	5528,5999	392,4760	387,3846	391,6846	11555,0943	15096,7497
CA1-35	0-10	294,3720	147,4712	53,1513	17,0628	64,4778	576,5352	684,2854
	80-100	59,8983	43,5349	25,8072	8,1503	29,6710	167,0618	172,7080
CA1-47	5-10	105,8210	100,1618	45,2824	6,4520	31,8174	289,5346	360,7579
	15-20	120,0660	114,4930	30,2984	5,2323	23,8976	293,9873	362,7335
	42-45	14,7226	14,2736	18,9811	3,8461	16,0646	67,8881	83,1636
CA3-38	20-30	1729,9713	1095,0374	178,4316	69,3480	164,1515	3236,9399	3027,2740
	50-60	422,6962	252,0637	92,5108	28,3028	91,9746	887,5481	990,4084
CA5-44	0-20	1291,7517	574,1822	183,1406	39,9454	231,0339	2320,0539	2517,7038
BG-45	20-40	336,4643	318,4098	93,6777	35,1480	70,9951	854,6949	1044,0197
BG-46	0-20	87,1931	36,4988	16,9895	6,0915	27,8904	174,6633	166,0474

Tabela A.26: Fracções extraídas em cádmio, nas aluviões, nas diferentes fases da extracção sequencial. #1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a matéria orgânica e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos.

Cd								
Amostras	Profundidade (cm)	#1 (mg.kg ⁻¹)	#2 (mg.kg ⁻¹)	#3 (mg.kg ⁻¹)	#4 (mg.kg ⁻¹)	#5 (mg.kg ⁻¹)	Total Extracção (mg.kg ⁻¹)	Extracção Parcial (mg.kg ⁻¹)
CA1-13	0-20	17,0218	2,1811	0,4621	1,7153	6,4107	27,7910	14,9929
CA1-21	0-20	4,8147	0,8734	0,2933	0,6523	0,5691	7,2028	3,6321
	80-100	28,3440	6,5939	0,1038	2,4568	6,1238	43,6223	25,6223
CA1-23	20-40	15,0139	2,4093	< 0,03	0,1437	< 0,025	17,5669	13,1469
	80-100	12,8040	3,4585	1,0128	0,7813	2,1433	20,1999	18,8199
CA1-30	0-20	0,8353	0,0540	2,0044	0,0599	3,2643	6,2179	1,3580
CA1-31	0-20	1,1022	0,1411	< 0,03	0,0814	4,7766	6,1158	1,2540
CA1-34	0-20	11,8980	2,4160	1,2882	0,3351	2,0782	18,0155	14,5481
	60-80	1,5996	0,2090	0,1227	0,1148	0,0533	2,0994	1,6432
CA2-10	0-20	20,8656	9,7651	2,1490	< 0,01	24,0692	56,8489	59,0505
	40-60	1,1380	0,5763	0,4636	0,1574	< 0,025	2,3353	3,6566
	80-100	14,6173	7,9667	2,6987	0,7773	< 0,025	26,0600	14,4654
CA2-11	0-20	6,1349	1,4027	0,5909	0,2675	< 0,025	8,3960	6,6798
CA2-12	0-20	8,9936	3,7417	1,8080	< 0,01	25,6725	40,2158	31,6222
	40-60	13,4321	13,1651	33,4671	< 0,01	70,5039	130,5682	63,5520
CA3-18	20-40	0,7700	4,0760	0,1468	< 0,01	< 0,025	4,9928	25,0707
	80-100	31,5912	6,7621	1,7980	1,3640	6,6863	48,2016	35,4389
CA3-37	10-20	31,1470	11,8752	1,4690	0,9776	4,2804	49,7492	40,7269
CA5-6	0-20	43,5665	14,9555	5,6150	< 0,01	< 0,025	64,1370	52,4646
	40-60	1,2606	1,1861	< 0,03	0,1390	< 0,025	2,5857	2,5747

Tabela A.27: Fracções extraídas em cobalto, nas aluviões, nas diferentes fases da extracção sequencial. #1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a matéria orgânica e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos.

Co								
Amostras	Profundidade (cm)	#1 (mg.kg ⁻¹)	#2 (mg.kg ⁻¹)	#3 (mg.kg ⁻¹)	#4 (mg.kg ⁻¹)	#5 (mg.kg ⁻¹)	Total Extracção (mg.kg ⁻¹)	Extracção Parcial (mg.kg ⁻¹)
CA1-13	0-20	0,0950	5,1774	0,4835	0,0462	< 0,025	5,8021	5,4402
CA1-21	0-20	4,9829	3,5718	0,2384	0,1656	< 0,025	8,9586	8,7684
	80-100	14,0023	2,3788	1,0582	0,1091	< 0,025	17,5485	6,2252
CA1-23	20-40	4,3231	8,6139	0,3361	0,2769	0,9444	14,4944	9,0846
	80-100	3,3043	1,2799	0,3878	< 0,01	< 0,025	4,9720	5,5051
CA1-30	0-20	< 0,02	4,7569	0,5943	< 0,01	3,2643	8,6155	6,2340
CA1-31	0-20	< 0,02	2,0957	0,8498	0,0443	14,7766	17,7663	4,7225
CA1-34	0-20	0,0839	6,1632	1,0129	< 0,01	< 0,025	7,2600	5,9409
	60-80	0,1466	2,0617	0,2949	< 0,01	0,1852	2,6884	3,3481
CA2-10	0-20	0,9316	1,0750	< 0,03	0,3099	< 0,025	2,3165	3,9809
	40-60	0,4257	3,3092	< 0,03	< 0,01	< 0,025	3,7349	7,1457
	80-100	0,1872	0,5300	1,0893	0,2958	< 0,025	2,1023	8,7351
CA2-11	0-20	< 0,02	2,5505	0,4349	0,7375	< 0,025	3,7333	4,7933
CA2-12	0-20	1,0587	1,2549	< 0,03	0,3176	< 0,025	2,6312	3,5408
	40-60	7,4653	22,3576	0,3341	0,0214	5,7333	35,9116	25,2243
CA3-18	20-40	0,7914	4,1546	< 0,03	0,2939	3,5063	8,7618	4,4964
	80-100	1,0375	12,6027	1,7381	0,0810	< 0,025	15,4593	10,7290
CA3-37	10-20	< 0,02	37,7101	4,7594	0,3850	0,3780	43,2325	32,1575
CA5-6	0-20	0,9354	0,7502	< 0,03	0,2907	< 0,025	1,9763	2,9301
	40-60	2,2256	1,6942	0,6230	0,2218	< 0,025	4,7646	6,0199

Tabela A.28: Fracções extraídas em cobalto, nas aluviões, nas diferentes fases da extracção sequencial. #1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a matéria orgânica e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos.

Cr								
Amostras	Profundidade (cm)	#1 (mg.kg ⁻¹)	#2 (mg.kg ⁻¹)	#3 (mg.kg ⁻¹)	#4 (mg.kg ⁻¹)	#5 (mg.kg ⁻¹)	Total Extracção (mg.kg ⁻¹)	Extracção Parcial (mg.kg ⁻¹)
CA1-13	0-20	< 0,02	< 0,02	1,9360	2,7179	22,5401	27,1940	22,2955
CA1-21	0-20	1,3388	< 0,02	2,2776	4,6963	57,2257	65,5384	19,4932
	80-100	3,4330	< 0,02	5,4770	2,9768	64,9928	76,8796	43,5416
CA1-23	20-40	< 0,02	< 0,02	0,5147	1,7344	< 0,025	2,2491	29,8078
	80-100	0,1687	< 0,02	2,4164	0,9682	69,4673	73,0206	36,5335
CA1-30	0-20	< 0,02	< 0,02	2,8559	8,3142	67,0359	78,2061	60,8964
CA1-31	0-20	1,1376	0,0581	4,6394	7,5396	56,0501	69,4248	56,3810
CA1-34	0-20	0,2122	< 0,02	1,8153	0,8631	52,0654	54,9560	33,4248
	60-80	0,5961	< 0,02	1,9969	1,2927	35,5103	39,3960	27,7296
CA2-10	0-20	0,0881	< 0,02	0,4445	2,1585	36,0441	38,7483	26,1423
	40-60	< 0,02	< 0,02	0,2001	2,1445	25,5201	27,8648	20,5999
	80-100	< 0,02	< 0,02	1,2087	2,1388	18,0336	21,3811	28,4779
CA2-11	0-20	< 0,02	< 0,02	1,4188	2,2145	22,2650	25,8982	12,7331
CA2-12	0-20	0,2891	0,3796	0,6378	2,2938	56,4799	60,0801	17,5219
	40-60	0,4768	< 0,02	2,1142	2,3185	64,3987	69,3083	27,4251
CA3-18	20-40	< 0,02	< 0,02	0,7949	2,0469	23,7850	26,6268	24,2207
	80-100	< 0,02	< 0,02	4,4880	1,6109	74,7698	80,8687	36,1267
CA3-37	10-20	< 0,02	< 0,02	3,5055	1,9021	86,6690	92,0766	64,2744
CA5-6	0-20	0,9155	0,4863	2,1602	2,0576	25,5230	31,1426	23,4562
	40-60	0,2690	0,2639	1,3943	1,7261	20,0250	23,6783	20,3655

Tabela A.29: Fracções extraídas em cobre nas aluviões, nas diferentes fases da extracção sequencial. #1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a matéria orgânica e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos.

Cu								
Amostras	Profundidade (cm)	#1 (mg.kg ⁻¹)	#2 (mg.kg ⁻¹)	#3 (mg.kg ⁻¹)	#4 (mg.kg ⁻¹)	#5 (mg.kg ⁻¹)	Total Extracção (mg.kg ⁻¹)	Extracção Parcial (mg.kg ⁻¹)
CA1-13	0-20	9,3637	28,7724	16,8200	1,7366	38,3493	95,0420	87,2057
CA1-21	0-20	36,0646	23,3590	9,6014	2,5187	27,0353	98,5790	20,1737
	80-100	55,0670	60,0957	13,5905	8,4408	58,0184	195,2124	168,1576
CA1-23	20-40	649,7784	22,8309	11,2984	2,1652	59,1675	745,2404	45,4514
	80-100	16,0522	51,7517	41,6159	4,8222	51,6830	165,9251	171,2597
CA1-30	0-20	1,9529	5,6503	34,6848	2,5984	35,9178	80,8042	88,0165
CA1-31	0-20	2,8779	7,7733	15,1208	2,4995	38,4501	66,7217	79,1715
CA1-34	0-20	65,7706	62,5857	49,1850	3,1784	58,7555	239,4752	258,2983
	60-80	7,9407	10,4104	7,0510	1,4619	27,6609	54,5249	55,7131
CA2-10	0-20	7,0314	26,0420	30,2857	18,7165	86,2739	168,3495	132,9081
	40-60	16,0905	4,6833	1,4927	5,7148	172,7005	200,6818	103,0623
	80-100	3,2393	9,3954	31,4746	4,7406	93,5945	142,4443	348,0532
CA2-11	0-20	29,6741	48,7800	38,3996	3,1822	64,7870	184,8229	101,1042
CA2-12	0-20	7,8439	1,2348	17,7894	76,1345	105,0934	208,0960	279,5065
	40-60	1477,3870	662,9513	545,8746	119,6381	462,5329	3268,3840	3134,4997
CA3-18	20-40	72,6551	52,0539	11,4855	5,4469	68,4836	210,1249	146,6962
	80-100	83,0304	80,4468	36,3269	4,9307	73,4320	278,1668	289,5660
CA3-37	10-20	42,0238	37,7046	18,8191	2,6473	89,3046	190,4994	239,0259
CA5-6	0-20	9,4338	2,9604	23,6052	28,7422	51,3343	116,0758	106,7767
	40-60	2,7536	7,5250	7,1840	6,3493	38,2473	62,0592	26,3273

Tabela A.30: Fracções extraídas em ferro, nas aluviões, nas diferentes fases da extracção sequencial. #1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a matéria orgânica e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos.

Fe								
Amostras	Profundidade (cm)	#1 (mg.kg ⁻¹)	#2 (mg.kg ⁻¹)	#3 (mg.kg ⁻¹)	#4 (mg.kg ⁻¹)	#5 (mg.kg ⁻¹)	Total Extracção (mg.kg ⁻¹)	Extracção Parcial (mg.kg ⁻¹)
CA1-13	0-20	224,7424	604,8545	2068,6721	197,5748	21710,3685	24806,2123	34188,4608
CA1-21	0-20	5118,6270	677,7083	1753,8860	352,6592	18112,6120	26015,4925	28084,5127
	80-100	6269,5048	1096,7781	4636,6558	139,5707	30526,7644	42669,2738	35293,3217
CA1-23	20-40	74,2130	914,5399	3599,7859	685,4163	28584,1323	33858,0875	45170,0000
	80-100	1141,1075	1114,6390	2693,2650	64,2215	27481,5074	32494,7404	52467,1956
CA1-30	0-20	152,8652	571,2213	1795,1397	904,8721	19142,7380	22566,8364	51398,0232
CA1-31	0-20	345,8386	600,8581	4569,2978	695,9434	19616,9849	25828,9227	48998,4237
CA1-34	0-20	453,5883	649,1156	2292,3740	122,5942	27935,2240	31452,8961	48653,8110
	60-80	335,6117	303,8052	1668,4783	101,2323	13253,8585	15662,9861	28843,5470
CA2-10	0-20	83,6997	479,5293	2239,5366	345,6051	31092,2257	34240,5964	52408,4395
	40-60	99,0984	246,3349	2094,5700	639,1236	87607,7295	90686,8565	162602,4385
	80-100	20,0133	165,4718	1676,4304	152,9482	51293,5146	53308,3783	207635,9216
CA2-11	0-20	124,4100	506,8389	1089,9967	250,0744	33669,9081	35641,2280	54373,8766
CA2-12	0-20	428,8041	838,3646	16837,0288	81,1638	34770,5054	52955,8667	86614,8015
	40-60	325,4782	1933,5891	4645,1614	53,8071	19919,3596	26877,3954	72592,2233
CA3-18	20-40	108,5869	642,6621	1711,5366	220,8831	29909,5529	32593,2216	41645,1164
	80-100	154,0117	436,2062	1495,3902	156,0139	38013,7936	40255,4157	49163,3799
CA3-37	10-20	30,9633	175,2545	1607,6491	59,5889	38021,2007	39894,6564	76555,1195
CA5-6	0-20	548,9103	574,3197	6095,9793	96,9518	22270,6736	29586,8348	45738,9750
	40-60	747,4858	856,4397	2059,2092	244,5136	18236,1022	22143,7506	35940,2985

Tabela A.31: Fracções extraídas em manganês nas aluviões nas diferentes fases da extracção sequencial. #1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a matéria orgânica e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos.

Mn								
Amostras	Profundidade (cm)	#1 (mg.kg ⁻¹)	#2 (mg.kg ⁻¹)	#3 (mg.kg ⁻¹)	#4 (mg.kg ⁻¹)	#5 (mg.kg ⁻¹)	Total Extracção (mg.kg ⁻¹)	Extracção Parcial (mg.kg ⁻¹)
CA1-13	0-20	67,6205	204,2575	32,4400	3,3471	127,7630	435,4280	245,5139
CA1-21	0-20	683,9103	111,0129	16,9031	4,3011	69,0502	885,1776	207,8144
	80-100	1359,3658	127,4404	135,0385	3,5199	110,4887	1735,8532	528,9004
CA1-23	20-40	59,7076	268,3770	28,9621	1,7723	37,2018	396,0209	282,4506
	80-100	254,0781	61,4719	20,7182	2,1802	97,7429	436,1913	409,4417
CA1-30	0-20	78,1683	296,3028	15,2244	8,6465	347,9458	746,2877	566,5119
CA1-31	0-20	29,4759	92,5386	91,1873	8,7170	86,3290	308,2476	238,6297
CA1-34	0-20	118,8680	582,6435	59,4985	5,0698	103,2352	869,3150	738,7517
	60-80	34,0726	85,9661	21,2050	2,2568	56,1238	199,6243	157,0059
CA2-10	0-20	41,2660	26,4032	5,8129	2,0200	255,9521	331,4542	138,0300
	40-60	30,1959	94,0675	10,1234	0,6328	75,2742	210,2939	141,1649
	80-100	18,6440	15,2748	29,9109	8,1175	46,1262	118,0734	215,0089
CA2-11	0-20	38,4061	188,1279	25,3903	4,9907	34,7761	291,6910	199,7653
CA2-12	0-20	62,8139	20,3668	1,6382	2,2016	99,0363	186,0567	135,4433
	40-60	427,1087	4939,7384	603,0326	< 0,01	505,5422	6475,4218	4944,8903
CA3-18	20-40	34,3618	473,2752	17,2815	1,8705	35,8843	562,6733	824,4374
	80-100	153,4979	1142,9088	96,3193	10,0426	96,2286	1498,9972	1239,3533
CA3-37	10-20	58,4387	2437,0527	197,1287	20,3898	153,7611	2866,7710	2239,8373
CA5-6	0-20	31,8440	10,2157	4,8134	2,0981	34,0897	83,0609	71,2564
	40-60	43,5957	27,6717	10,5293	1,6653	34,0476	117,5096	104,5935

Tabela A.32: Fracções extraídas em níquel, nas aluviões, nas diferentes fases da extracção sequencial. #1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a matéria orgânica e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos.

Ni								
Amostras	Profundidade (cm)	#1 (mg.kg ⁻¹)	#2 (mg.kg ⁻¹)	#3 (mg.kg ⁻¹)	#4 (mg.kg ⁻¹)	#5 (mg.kg ⁻¹)	Total Extracção (mg.kg ⁻¹)	Extracção Parcial (mg.kg ⁻¹)
CA1-13	0-20	0,5988	0,2771	0,7468	0,4143	4,8255	6,8625	8,4828
CA1-21	0-20	1,5977	0,1531	0,6848	0,6149	3,4362	6,4868	6,1104
	80-100	5,9538	0,6624	1,1718	0,6369	5,3903	13,8152	12,5983
CA1-23	20-40	8,8214	0,9429	0,8243	0,1762	3,0155	13,7801	10,1029
	80-100	1,0451	0,7373	0,9489	0,2650	5,4248	8,4210	12,1592
CA1-30	0-20	0,1582	1,5077	0,9497	1,0144	7,6003	11,2303	16,7037
CA1-31	0-20	< 0,02	0,1085	0,4027	0,7502	9,1385	10,3999	19,0070
CA1-34	0-20	1,3640	0,8815	0,8258	0,1052	5,9882	9,1647	13,0351
	60-80	< 0,02	< 0,02	0,0609	0,3751	4,7351	5,1816	8,5567
CA2-10	0-20	3,1595	2,5231	1,3562	0,2606	4,0015	11,3011	14,9594
	40-60	4,2526	4,4734	< 0,03	0,2097	3,0253	11,9611	16,9481
	80-100	0,7618	0,8526	1,0417	0,6620	6,2432	9,5613	18,0915
CA2-11	0-20	< 0,02	0,2627	0,5492	0,5492	2,8577	4,2187	8,7963
CA2-12	0-20	3,2908	3,4708	< 0,03	0,6339	2,1557	9,5512	12,3874
	40-60	8,0954	5,4666	0,4191	0,2861	7,2006	21,4678	24,5067
CA3-18	20-40	0,7693	1,1595	0,8356	0,2585	16,9265	19,9494	9,4235
	80-100	1,9298	1,3354	2,1817	0,4896	5,5695	11,5060	12,6005
CA3-37	10-20	0,7661	1,5335	1,3711	0,4691	6,2779	10,4177	17,7642
CA5-6	0-20	0,8160	0,8073	0,2877	0,2423	7,7342	9,8875	10,6504
	40-60	0,4348	0,7162	1,3148	0,1461	3,5666	6,1786	9,2033

Tabela A.33: Fracções extraídas em chumbo, nas aluviões, nas diferentes fases da extracção sequencial. #1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a matéria orgânica e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos.

Pb								
Amostras	Profundidade (cm)	#1 (mg.kg ⁻¹)	#2 (mg.kg ⁻¹)	#3 (mg.kg ⁻¹)	#4 (mg.kg ⁻¹)	#5 (mg.kg ⁻¹)	Total Extracção (mg.kg ⁻¹)	Extracção Parcial (mg.kg ⁻¹)
CA1-13	0-20	19,6110	20,9384	13,4500	0,9108	54,4661	109,3762	61,5936
CA1-21	0-20	20,6895	2,2663	1,7053	< 0,01	7,5882	32,2493	20,4178
	80-100	342,5993	40,6450	7,4855	1,1211	68,1117	459,9627	137,0987
CA1-23	20-40	47,3526	21,1279	26,3133	0,4744	12,3648	107,6330	59,0154
	80-100	100,5679	50,2376	34,8909	0,8136	88,5812	275,0911	237,7504
CA1-30	0-20	0,6243	3,2388	19,6864	< 0,01	6,9875	30,5371	7,0717
CA1-31	0-20	13,1577	15,1619	18,5255	0,3747	40,4868	87,7065	38,8996
CA1-34	0-20	124,3632	177,1860	102,7424	3,3328	133,2939	540,9183	467,7866
	60-80	34,7222	39,0815	14,1422	0,1541	29,3010	117,4010	87,8802
CA2-10	0-20	103,5157	64,6571	148,6364	< 0,01	344,1208	660,9301	427,3163
	40-60	235,4930	40,4911	155,3375	378,4452	560,7318	1370,4986	1785,9416
	80-100	174,8832	84,6457	172,4157	215,2066	650,9839	1298,1351	1803,5711
CA2-11	0-20	228,5323	152,4489	199,6582	7,6534	131,9777	720,2706	586,8310
CA2-12	0-20	450,9466	4,7409	121,5680	20,3110	504,5436	1102,1102	993,9557
	40-60	656,0705	670,9084	118,7111	286,1935	3285,6266	5017,5102	3733,5127
CA3-18	20-40	119,6048	101,4250	54,4717	0,1213	55,8485	331,4714	318,7998
	80-100	116,7545	242,7990	70,0804	5,3666	140,0421	575,0426	468,5532
CA3-37	10-20	61,7111	257,1978	78,3262	3,6888	105,9992	506,9231	467,7938
CA5-6	0-20	128,4108	45,9328	72,7459	0,4050	25,7718	273,2663	166,2580
	40-60	6,1196	3,9540	1,6394	0,5818	7,7578	20,0526	9,1963

Tabela A.34: Fracções extraídas em zinco, nas aluviões, nas diferentes fases da extracção sequencial. #1: fracção solúvel, como catião de troca e ligada a carbonatos; #2: fracção ligada a óxidos de manganês; #3: fracção ligada a óxidos de ferro amorfos; #4: fracção ligada a matéria orgânica e parcialmente a sulfuretos; #5: fracção ligada a óxidos de ferro cristalinos.

Zn								
Amostras	Profundidade (cm)	#1 (mg.kg ⁻¹)	#2 (mg.kg ⁻¹)	#3 (mg.kg ⁻¹)	#4 (mg.kg ⁻¹)	#5 (mg.kg ⁻¹)	Total Extracção (mg.kg ⁻¹)	Extracção Parcial (mg.kg ⁻¹)
CA1-13	0-20	1485,3965	714,9377	176,6827	481,6601	150,6829	3009,3599	2475,3381
CA1-21	0-20	769,2103	91,2668	40,8306	55,2240	47,4910	1004,0227	568,6000
	80-100	5073,0522	823,6330	53,2427	180,2002	286,3719	6416,5000	4290,4025
CA1-23	20-40	8765,1466	440,8355	189,5211	42,8450	141,0282	9579,3764	1590,8861
	80-100	2599,5827	2135,2435	321,0255	56,0746	262,0640	5373,9904	7318,4215
CA1-30	0-20	116,5282	119,9307	221,3967	14,2078	44,6329	516,6963	436,3025
CA1-31	0-20	203,2424	102,2134	64,9718	23,7994	125,9531	520,1801	661,3658
CA1-34	0-20	4867,3706	3162,5010	511,7712	54,1172	360,2113	8955,9714	10758,7748
	60-80	525,7387	410,9077	54,9129	22,2515	153,4718	1167,2827	1459,9646
CA2-10	0-20	17143,1574	4485,7481	440,7865	182,9354	675,7332	22928,3606	28960,9873
	40-60	28843,2874	26114,8109	326,2489	1283,2466	1001,9847	57569,5785	65720,5677
	80-100	1715,1338	3605,1506	589,9709	109,6397	582,3262	6602,2212	51325,4961
CA2-11	0-20	5633,8400	5867,8641	730,3117	195,4045	434,5829	12862,0032	17046,1354
CA2-12	0-20	8841,2195	8010,4771	85,9077	596,5310	569,6801	18103,8155	20606,4233
	40-60	15327,4924	7215,0388	193,5222	126,0862	1233,5981	24095,7377	28175,4736
CA3-18	20-40	2373,2213	2906,5463	386,3570	232,1426	342,3620	6240,6292	13228,5657
	80-100	5061,7785	4388,0476	446,6748	134,2787	380,4470	10411,2267	11647,0972
CA3-37	10-20	2958,4395	3839,5104	346,5622	72,9440	368,4833	7585,9394	7622,5041
CA5-6	0-20	6493,7805	6279,9675	318,7349	245,4805	610,7115	13948,6749	21136,2733
	40-60	183,5718	133,2212	27,9628	16,5248	49,6592	410,9398	321,9598

Tabela A.35: Percentagens de carbono, hidrogénio, azoto e enxofre obtidas por análise elementar para os sedimentos da área em estudo.

Amostras	Profundidade (cm)	C [%]	H [%]	N [%]	S [%]
CA0-1A	0-10	0,460	0,190	0,010	0,017
	10-20	0,330	0,144	0,000	0,021
CA0-2A	0-5	0,290	0,381	0,010	0,015
	5-10	0,310	0,317	0,000	0,010
	10-15	0,320	0,394	0,000	0,017
CA0-3A	0-5	0,750	0,332	0,010	0,012
	5-10	0,760	0,531	0,020	0,016
	10-15	0,940	0,546	0,030	0,030
CA1-14	0-5	0,640	0,544	0,030	0,227
	5-10	0,610	0,503	0,030	0,137
	10-15	0,290	0,323	4,430	0,005
	15-20	0,410	0,305	0,010	0,054
	20-40	0,630	0,372	0,010	0,095
	40-60	0,650	0,743	0,060	0,069
	60-80	0,550	0,723	0,050	0,147
	80-100	0,670	0,549	0,030	0,222
CA1-14 Sed. Córrego Draga	0-20	0,520	0,878	0,070	0,074
CA1-22	0-5	1,080	0,636	0,090	0,061
	5-10	0,930	0,477	0,050	0,048
	10-15	0,730	0,439	0,060	0,025
	15-20	1,200	0,687	0,090	0,044
	20-40	1,130	0,731	0,110	0,121
	40-60	0,320	0,617	0,010	0,151
	60-80	1,030	0,567	0,070	0,056
	80-100	2,590	0,568	0,120	0,178
CA1-26 Sed.	0-20	0,500	0,432	0,020	0,319
CA1-27	0-5	0,800	0,838	0,050	0,106
	5-10	0,540	0,822	0,030	0,073
	10-15	0,330	0,790	0,020	0,026
	15-20	0,410	0,845	0,050	0,037
	20-25	0,350	0,846	0,030	0,064
	25-30	0,300	0,836	0,030	0,037
	30-35	0,320	0,857	0,040	0,061
	35-40	0,350	0,847	0,020	0,021
	40-43	0,220	0,833	0,020	0,022
CA1-28	0-5	0,460	0,569	0,030	0,020
	5-10	0,310	0,556	0,020	0,015
	10-15	0,580	0,767	0,050	0,036
	15-20	0,670	0,692	0,050	0,017
	20-25	0,610	0,601	0,040	0,019

	25-30	0,530	0,640	0,040	0,029
	30-35	0,480	0,455	0,020	0,033
	35-37	0,690	0,507	0,030	0,023
	37-40	0,770	0,631	0,040	0,024
CA1-29	0-5	1,030	0,468	0,060	0,422
	5-10	0,940	0,327	0,050	0,225
	10-15	0,920	0,390	0,060	0,255
	15-20	1,430	0,683	0,090	0,125
	20-25	1,500	0,684	0,100	0,177
	25-30	1,410	0,649	0,100	0,054
	30-35	1,510	0,675	0,100	0,027
CA1-32	0-10	2,030	0,587	0,100	0,066
	10-20	3,540	0,881	0,230	0,087
	20-30	4,100	0,918	0,260	0,112
	30-40	1,750	0,725	0,130	0,106
	40-50	3,030	0,806	0,190	0,092
	50-60	1,840	0,568	0,100	0,237
	60-70+	2,000	0,599	0,110	0,167
CA1-35	0-10	0,600	0,306	0,030	0,021
	10-20	0,670	0,291	0,030	0,026
	20-30	0,500	0,320	0,030	0,013
	30-40	0,560	0,302	0,040	0,007
	40-50	0,640	0,306	0,020	0,011
	50-60	0,550	0,317	0,020	0,020
	60-80	0,510	0,282	0,030	0,024
	80-100	0,530	0,295	0,020	0,051
CA3-16 Sed	0-5	0,370	0,398	0,010	0,089
CA3-36 Sup	0-5	0,360	0,687	0,050	0,087
CA3-38	0-10	2,280	0,670	0,120	0,030
	10-20	2,320	0,681	0,340	0,034
	20-30	1,360	0,529	0,580	0,026
	30-40	0,820	0,524	0,940	0,008
	40-50	0,880	0,475	1,770	0,010
	50-60	0,560	0,327	2,620	0,008
	60-80	0,720	0,425	3,710	0,017
	80-100	0,450	0,553	7,390	0,107
CA3-39 Esc. Grota Seca	0-5	0,440	0,518	5,700	0,103
CA5-44	0-20	1,010	0,879	0,070	0,034
	20-40	1,040	0,893	0,060	0,035
	40-60	0,910	0,873	0,060	0,027
BG-45	0-20	1,060	0,613	0,060	0,027
	20-40	1,060	0,419	0,070	0,027
	40-60	1,140	0,419	0,070	0,069

	60-80	1,210	0,542	0,070	0,026
BG-46	0-20	0,650	0,344	0,020	0,032
	20-40	0,600	0,478	0,010	0,029

Tabela A.36: Percentagens de carbono, hidrogénio, azoto e enxofre obtidas por análise elementar para as aluviões da área em estudo.

Amostras	Profundidade (cm)	C [%]	H [%]	N [%]	S [%]
CA0-2B	0-20	1,160	0,352	0,060	0,010
	20-40	0,830	0,350	0,050	0,012
	40-60	0,800	0,374	0,050	0,007
CA1-13	0-20	1,210	0,564	0,100	0,028
	20-40	1,540	0,479	0,080	0,009
	40-60	1,300	0,432	0,080	0,019
	60-80	1,100	0,431	0,070	0,046
	80-100	0,700	0,366	0,040	0,054
CA1-20	0-20	1,490	0,501	0,090	0,000
	20-40	0,950	0,333	0,050	0,035
	40-60	1,010	0,430	0,050	0,018
CA1-21	0-20	1,920	0,525	0,110	0,036
	20-40	2,670	0,693	0,150	0,037
	40-60	2,950	0,853	0,180	0,060
	60-80	3,390	0,832	0,190	0,046
	80-100	0,990	0,610	0,080	0,054
CA1-21 (lixivi)	0-20	2,700	0,625	0,130	0,017
	20-40	3,320	0,900	0,230	0,035
	40-60	2,660	0,748	0,170	0,035
CA1-23	0-20	1,220	0,502	0,090	0,028
	20-40	0,990	0,691	0,090	0,034
	40-60	1,030	0,611	11,230	0,007
	60-80	1,420	0,597	0,110	0,031
	80-100	1,350	0,579	0,110	0,047
CA1-30	0-20	1,210	0,893	0,150	0,017
	20-40	0,850	0,966	0,120	0,015
CA1-31	0-20	1,260	0,896	0,160	0,012
	20-40	0,990	0,955	0,130	0,012
	40-60	0,830	0,830	0,100	0,019
CA1-34	0-20	0,900	0,542	0,060	0,042
	20-40	0,560	0,389	0,030	0,011
	40-60	0,540	0,403	0,040	0,020
	60-80	0,500	0,370	0,020	0,017
	80-100	0,450	0,378	0,030	0,014

CA2-10 Sulfatos	0-5	0,230	5,746	0,010	3,463
CA2-10	0-20	1,330	0,908	0,110	0,810
	20-40	0,400	0,559	0,000	0,149
	40-60	0,390	0,491	0,020	0,125
	60-80	0,550	0,554	0,030	0,273
	80-100	0,610	0,567	0,040	0,193
CA2-10 (lixiviado)	0-20	1,000	0,803	0,070	0,850
	20-40	0,500	0,510	0,030	0,307
	40-60	0,440	0,515	0,020	0,266
	60-80	1,950	0,845	0,180	0,215
	80-100	1,240	0,738	0,100	0,217
CA2-11	0-20	1,160	0,590	0,530	0,008
	20-40	0,820	0,597	0,070	0,029
	40-60	0,550	0,610	2,510	0,005
CA2-12	0-20	1,590	1,068	0,170	0,331
	20-40	1,440	1,085	0,170	0,369
	40-60	1,430	1,062	0,090	0,359
	60-80	1,420	1,022	0,100	0,402
	80-100	1,550	1,071	0,110	0,481
CA3-18	0-20	0,670	0,475	0,040	0,111
	20-40	0,600	0,518	0,030	0,133
	40-60	0,680	0,511	0,040	0,038
	60-80	0,650	0,403	0,010	0,058
	80-100	0,650	0,452	0,030	0,073
CA3-37	0-10	0,350	0,634	0,040	0,104
	10-20	0,390	0,606	0,030	0,064
	20-40	0,550	0,757	0,040	0,083
	40-50	0,470	0,780	0,100	0,070
CA5-6	0-20	1,470	0,736	0,110	0,106
	20-40	1,250	0,629	0,160	0,061
	40-60	0,900	0,601	0,060	0,063
CA5-8	0-20	1,330	0,539	0,110	0,048
	20-40	0,980	0,391	0,070	0,024
	40-60	0,940	0,390	0,070	0,019

Tabela A.37: Teores de fósforo total obtidos para os sedimentos da área em estudo.

Amostras	Profundidade (cm)	P (mg.kg ⁻¹)
CA0-1A	0-10	19,5991
	10-20	62,9980
CA0-2A	0-5	63,6139
	5-10	110,3198
	10-15	168,1279
CA0-3A	0-5	177,1830
	5-10	43,4685
	10-15	74,8033
CA1-14	0-5	96,2498
	5-10	83,9571
	10-15	115,6426
	15-20	88,8861
	20-40	70,2136
	40-60	114,3158
	60-80	129,7500
	80-100	22,7740
CA1-14 Sed. Córrego Draga	0-20	147,6529
CA1-14 [III]	0-20	102,3256
	20-40	106,5948
	40-60	79,4523
	60-80	89,6635
	80-100	108,0567
	100-120	101,8703
	1,30 m	19,7448
	1,40 m	92,4129
CA1-22	0-5	37,6221
	5-10	138,7100
	10-15	67,5441
	15-20	38,5056
	20-40	131,2264
	40-60	46,9749
	60-80	119,9321
	80-100	107,7544
CA1-22 [III]	0-20	97,8001
	20-40	112,8061
	40-60	85,4321
	60-80	88,1434
	80-100	97,7082
CA1-24 Sed Sup [III]	0-10	183,4226
CA1-26 [III]	0-5	86,4355

	5-10	119,5545
	10-15	82,5763
	15-20	89,5225
	20-25	71,2486
	25-30	35,6055
	30-35	105,3902
CA1-26 Nível Verm. [III]	0-10	98,6940
CA1-26 Sed.	0-20	89,8225
CA1-27 Sed Sup [III]	0-5	17,0602
CA1-27	0-5	48,2114
	5-10	86,1122
	10-15	91,3768
	15-20	74,0123
	20-25	12,6013
	25-30	79,6423
	30-35	120,4106
	35-40	50,1843
	40-43	77,9072
CA1-27A Draga [III]	0-10	167,6983
CA1-28 Draga [III]	0-5	5,7004
CA1-28	0-5	130,6841
	5-10	121,7949
	10-15	14,7300
	15-20	21,7262
	20-25	59,8941
	25-30	56,9140
	30-35	91,4179
	35-37	41,6543
	37-40	164,1691
CA1-29	0-5	109,1280
	5-10	84,4860
	10-15	132,4358
	15-20	152,9677
	20-25	30,3126
	25-30	141,8806
	30-35	71,1018
	35-40	143,2801
	40-43	8,3650
	43-46	143,2757
CA1-29 Sup [III]	0-10	112,4538
CA1-29 [III]	0-5	104,1047
	5-10	67,0559
	10-15	10,0945
	15-20	81,7734
	20-25	164,5163

	25-30	163,8102
	30-35	65,7343
	35-41	99,7865
	41-46	65,4936
	2,50 m	63,8343
CA1-32 Sed [III]	0-20	151,9874
CA1-32	0-10	152,7586
	10-20	150,7259
	20-30	140,1961
	30-40	40,1887
	40-50	124,1879
	50-60	141,7758
	60-70+	42,9019
CA1-35	0-10	13,4804
	10-20	16,0432
	20-30	107,7286
	30-40	101,5153
	40-50	88,0676
	50-60	17,7482
	60-80	25,0192
	80-100	97,1296
CA1-35 [III]	0-20	88,9838
	20-40	93,4377
	40-60	51,6877
	60-80	74,8843
	80-100	16,9905
CA1-47	0-5	134,8100
	5-10	128,4643
	10-15	145,1181
	15-20	128,3988
	20-25	149,7473
	25-30	113,6701
	30-35	147,3853
	35-40	173,0544
	40-42	167,6165
	42-45	71,4182
CA1-48 [III]	0-20	109,9364
	20-40	80,9662
	40-60	77,4681
	60-80	24,7172
	80-100	5,5887
CA1-51 Sed [III]	0-20	168,8752
CA1-52 Core Sup [III]	0-20	133,0331
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	29,5520
CA1-53 [III]	0-5	129,7591
	5-10	106,1627

	10-15	331,4957
	15-20	119,2356
	20-25	155,8767
	25-30	151,4369
	30-35	76,6320
	35-40	97,3893
	40-45	227,1264
	45-50	163,2500
	50-55	63,0023
CA1-53 Core [III]	0-10	143,8217
CA3-16 Sed	0-5	98,7393
CA3-36 Sup	0-5	26,0442
CA3-38	0-10	108,9298
	10-20	119,4998
	20-30	125,3864
	30-40	129,7147
	40-50	42,1936
	50-60	96,2208
	60-80	104,7591
CA3-38 [III]	80-100	18,5583
	0-20	45,5575
	20-40	130,0451
	40-60	85,7598
	60-80	127,5077
	80-100	40,4343
1,20 m	71,7323	
CA3-39 Esc. Grota Seca	0-5	56,1308
CA5-44	0-20	100,2183
	20-40	96,0304
	40-60	102,3530
BG-45	0-20	49,4988
	20-40	169,1024
	40-60	67,1528
	60-80	60,4503
BG-46	0-20	161,9438
	20-40	192,9268

Tabela A.38: Teores de fósforo total obtidos para as aluviões da área em estudo.

Amostras	Profundidade (cm)	P (mg.kg⁻¹)
CA0-2B	0-20	78,4046
	20-40	89,1432
	40-60	84,9178
CA1-13	0-20	96,3937
	20-40	30,6580
	40-60	91,1562
	60-80	107,2163
	80-100	33,1021
	2,50 m	37,4761
CA1-20	0-20	125,6633
	20-40	59,2939
	40-60	147,8695
CA1-21	0-20	94,0646
	20-40	86,2455
	40-60	42,2951
	60-80	90,6607
	80-100	135,3023
CA1-21 (lixí)	0-20	121,4625
	20-40	84,9683
	40-60	136,8750
CA1-23	0-20	98,9805
	20-40	94,4472
	40-60	113,9080
	60-80	94,7269
	80-100	131,1024
CA1-23 [III]	0-5	93,3469
	5-10	103,0546
	10-15	35,0414
	15-20	88,1724
	20-25	93,8630
	25-30	94,3773
	30-33	46,7988
CA1-30	0-20	124,3416
	20-40	104,3750
CA1-31	0-20	156,3719
	20-40	155,3637
	40-60	116,8224
CA1-34	0-20	146,8630
	20-40	29,2476
	40-60	26,4392

	60-80	124,4058
	80-100	114,9139
CA2-10	0-20	140,8100
	20-40	174,4012
	40-60	156,6082
	60-80	129,4045
	80-100	169,2478
	2,40 m	41,8353
CA2-10 (lixiv)	0-20	123,3471
	20-40	71,4144
	40-60	196,4974
	60-80	80,5929
	80-100	93,4751
CA2-10A [III]	0-20	102,6440
	20-40	117,4312
	40-60	132,3280
CA2-11	0-20	120,7520
	20-40	43,6958
	40-60	137,3599
CA2-12	0-20	74,3042
	20-40	200,0149
	40-60	117,6558
	60-80	118,6068
	80-100	251,1382
	2,70 m	158,9326
CA3-18	0-20	73,9274
	20-40	79,8802
	40-60	124,2522
	80-100	126,6449
	1,20-1,50 m	45,9697
CA3-37	0-10	29,2998
	10-20	34,8660
	20-40	71,8348
	40-50	126,1612
CA5-6	0-20	172,2658
	20-40	113,1401
	40-60	98,1911
CA5-8	0-20	117,2496
	20-40	62,5623
	40-60	235,0069

Tabela A.39: Valores correspondentes à lixiviação dos sedimentos após uma hora de agitação.
 Prof (profundidade da amostra); C.E. (condutividade eléctrica).

Amostras	Prof. (cm)	pH (solução)	Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µS/cm)
CA0-1A	0-10	6,54	0,0073	< 0,01	0,3295	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0258	2,9889	0,0807	0,0072	< 0,001	0,0026	0,0169	6,58	98
	10-20	6,40	0,2106	< 0,01	0,2739	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,1859	1,1955	0,1198	0,0140	< 0,001	< 0,001	0,0019	6,15	76
CA0-3A	0-5	6,46	0,1643	< 0,01	0,3927	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,1304	1,4838	0,1092	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0311	6,03	82
	10-15	6,68	< 0,001	< 0,01	0,0744	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0104	1,4374	0,0138	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	6,36	78
CA1-14	0-5	6,46	< 0,001	< 0,01	19,4535	0,0609	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0075	4,9674	42,0498	2,1452	0,0155	< 0,001	46,5917	6,12	662
	5-10	6,46	< 0,001	< 0,01	22,1629	0,0333	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,2927	20,3766	0,6127	0,0044	< 0,001	22,4739	6,15	491
	10-15	6,53	< 0,001	< 0,01	6,5916	0,0031	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	3,0351	8,4826	0,7252	< 0,001	< 0,001	7,3392	5,84	259
	15-20	6,53	< 0,001	< 0,01	6,4580	0,0028	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0033	2,0796	9,1359	0,6896	0,0017	< 0,001	8,1653	5,94	238
	20-40	6,46	< 0,001	< 0,01	16,1746	0,0562	0,0016	< 0,001	< 0,001	< 0,001	1,2106	17,0058	1,3555	< 0,001	< 0,001	17,9530	6,08	403
	40-60	6,46	< 0,001	< 0,01	7,1585	0,0412	0,0043	< 0,001	< 0,001	< 0,001	1,3201	11,1742	1,2153	< 0,001	< 0,001	10,4391	5,71	284
	60-80	6,46	0,0065	< 0,01	37,1979	0,0751	0,0344	< 0,001	< 0,001	0,0078	5,7131	21,2157	2,6541	0,1130	< 0,001	21,1584	6,18	608
80-100	6,53	< 0,001	< 0,01	43,3945	0,1282	0,0257	< 0,001	< 0,001	< 0,001	1,2814	25,5341	2,7427	0,0067	< 0,001	20,0642	5,48	608	
CA1-22	0-5	6,53	< 0,001	< 0,01	3,9355	0,0193	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0164	4,0016	1,7015	0,8229	< 0,001	< 0,001	0,9759	6,05	135
	10-15	6,54	< 0,001	< 0,01	1,8444	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0155	1,9244	0,7164	0,2411	< 0,001	< 0,001	0,2789	6,38	105
	20-40	6,53	0,0607	< 0,01	6,2803	0,0061	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0476	11,3516	21,6692	0,5996	< 0,001	< 0,001	0,8059	6,11	140
CA1-32	0-10	6,53	0,0605	< 0,01	2,4006	0,0256	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0548	3,0997	0,9844	0,2020	< 0,001	< 0,001	5,7731	5,36	141
	10-20	6,53	0,0787	< 0,01	2,4084	0,0161	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0818	2,5087	1,1483	0,2409	< 0,001	< 0,001	3,8862	4,45	130
	20-30	6,53	< 0,001	< 0,01	5,2964	0,0090	0,0077	< 0,001	< 0,001	0,0390	2,3522	3,0165	0,9719	< 0,001	< 0,001	6,5399	6,14	175
	30-40	6,53	0,0071	< 0,01	1,6445	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0196	1,7177	1,0000	0,3777	< 0,001	< 0,001	0,7553	6,05	96
	40-50	6,53	0,0267	< 0,01	4,6253	0,0374	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0535	2,0810	2,0095	0,1304	< 0,001	0,0027	6,4648	6,00	158
	50-60	6,53	< 0,001	< 0,01	2,3286	< 0,001	0,0017	< 0,001	< 0,001	0,0151	1,3569	1,3885	0,2190	< 0,001	< 0,001	2,2006	5,01	121
	60-70+	6,40	0,0090	< 0,01	2,7700	< 0,001	0,0051	< 0,001	< 0,001	0,0223	1,6983	1,4242	0,7208	< 0,001	< 0,001	2,0893	5,45	122

BG-45	0-20	6,53	0,2761	< 0,01	5,3923	0,0057	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,1456	15,0247	32,7441	0,0371	< 0,001	< 0,001	0,0366	6,29	76
	20-40	6,53	0,3125	< 0,01	0,6189	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,2168	2,1590	0,1186	0,0306	< 0,001	< 0,001	0,0761	6,12	65
	40-60	6,53	0,3027	< 0,01	0,6121	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,2057	2,0557	0,1091	0,0295	< 0,001	< 0,001	0,0735	6,14	75
	60-80	6,53	0,0117	< 0,01	3,4838	0,0019	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0154	12,5684	30,5458	0,0268	< 0,001	< 0,001	0,1005	5,81	60

Valores de Intervenção para Águas Subterrâneas (COPAM, 2011)

Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)
3,5000	0,0100	0,0050	0,0050	0,0500	2,0000	2,4500	0,4000	0,0200	0,0100	1,0500

Tabela A.40: Valores correspondentes à lixiviação dos sedimentos após três horas de agitação.
 Prof (profundidade da amostra); C.E. (condutividade eléctrica).

Amostras	Prof. (cm)	pH (solução)	Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µS/cm)
CA0-1A	0-10	6,54	0,1141	< 0,01	0,1749	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,1153	4,3155	0,0630	0,0071	< 0,001	< 0,001	< 0,001	6,46	81
	10-20	6,40	0,1439	< 0,01	0,3321	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,1200	1,3679	0,1002	0,0075	< 0,001	< 0,001	0,0074	6,14	65
CA0-3A	0-5	6,46	0,0957	< 0,01	0,5511	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0840	1,8665	0,1490	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0528	6,24	105
	10-15	6,68	0,0861	< 0,01	0,1305	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,1182	1,3741	0,0162	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	6,31	83
CA1-14	0-5	6,46	< 0,001	< 0,01	25,2211	0,0859	0,0035	< 0,001	< 0,001	0,0118	2,9645	57,3012	2,8295	0,0181	0,0013	59,4940	5,96	744
	5-10	6,46	< 0,001	< 0,01	27,9273	0,0412	< 0,001	< 0,001	0,0551	< 0,001	1,9258	22,7527	0,7406	0,0025	< 0,001	25,0542	6,17	528
	10-15	6,53	< 0,001	< 0,01	7,2575	0,0065	0,0021	< 0,001	< 0,001	< 0,001	1,7100	9,7293	0,8789	< 0,001	< 0,001	8,7856	5,95	250
	15-20	6,53	0,0020	< 0,01	6,9537	0,0067	< 0,001	< 0,001	0,0236	< 0,001	2,7805	9,5806	0,7969	< 0,001	< 0,001	8,6656	5,95	233
	20-40	6,46	< 0,001	< 0,01	19,8584	0,0776	0,0046	< 0,001	< 0,001	< 0,001	1,7035	21,6774	1,7730	0,0042	< 0,001	23,3784	6,11	410
	40-60	6,46	< 0,001	< 0,01	7,4236	0,0470	0,0056	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,5573	11,7572	1,3344	0,0030	< 0,001	11,0858	6,12	301
	60-80	6,46	0,0196	< 0,01	53,6121	0,1055	0,0446	< 0,001	< 0,001	0,0193	2,4933	26,5135	3,4591	0,0114	< 0,001	26,5455	6,08	620
	80-100	6,53	< 0,001	< 0,01	54,2321	0,1478	0,0291	< 0,001	< 0,001	< 0,001	1,8455	28,1779	3,0876	0,0115	< 0,001	22,3819	5,52	584
CA1-22	0-5	6,53	0,0213	< 0,01	5,8899	0,0242	0,0020	< 0,001	< 0,001	0,0293	8,9200	2,1449	1,0603	0,0228	< 0,001	1,5074	6,36	182
	10-15	6,54	0,0609	< 0,01	2,5007	0,0019	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0512	3,6178	0,9497	0,3294	< 0,001	< 0,001	0,3645	6,35	108
	20-40	6,53	0,0085	< 0,01	4,5305	< 0,001	0,0019	< 0,001	< 0,001	0,0326	3,2623	2,0309	0,6992	< 0,001	< 0,001	0,6104	6,50	119
CA1-32	0-10	6,53	0,0144	< 0,01	2,9909	0,0312	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0239	2,9982	1,1084	0,2372	< 0,001	< 0,001	6,8634	5,24	141
	10-20	6,53	0,1727	< 0,01	2,4489	0,0195	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,1134	2,8650	1,2124	0,2818	< 0,001	< 0,001	4,5467	5,26	131
	20-30	6,53	0,0773	< 0,01	7,0447	0,0139	0,0098	< 0,001	< 0,001	0,2109	2,6156	3,6364	1,1414	< 0,001	0,0100	8,9266	6,13	182
	30-40	6,53	< 0,001	< 0,01	1,7529	< 0,001	0,0021	< 0,001	< 0,001	0,0133	2,1844	1,2173	0,5434	< 0,001	< 0,001	1,2601	6,28	114
	40-50	6,53	< 0,001	< 0,01	4,9593	0,0514	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0018	3,8110	2,3353	0,2102	0,0054	< 0,001	8,0877	6,25	187
	50-60	6,53	0,0884	< 0,01	2,0733	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0790	1,0684	1,3674	0,2352	< 0,001	< 0,001	2,4148	5,88	116
	60-70+	6,40	< 0,001	< 0,01	2,3925	< 0,001	0,0027	< 0,001	< 0,001	0,0155	1,7665	1,3434	0,7512	0,0031	< 0,001	2,2982	6,27	123

BG-45	0-20	6,53	0,0596	< 0,01	1,4682	0,0255	0,0105	0,0090	0,2088	0,0600	3,0031	0,2152	0,0266	0,0106	0,0473	0,1374	6,21	102
	20-40	6,53	0,0613	< 0,01	1,0664	0,0149	0,0079	0,0058	0,1839	0,0602	1,8748	0,1836	0,0380	0,0049	0,0364	0,0719	6,32	65
	40-60	6,53	0,0909	< 0,01	0,3221	0,0109	0,0063	0,0052	0,1643	0,1588	1,3496	0,0447	0,0219	0,0019	0,0288	0,0790	6,32	60
	60-80	6,53	0,1039	< 0,01	0,2338	0,0087	0,0052	0,0034	0,1350	0,1186	1,3897	0,1138	0,0807	< 0,001	0,0228	0,0587	6,21	56

Valores de Intervenção para Águas Subterrâneas (COPAM, 2011)

Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)
3,5000	0,0100	0,0050	0,0050	0,0500	2,0000	2,4500	0,4000	0,0200	0,0100	1,0500

Tabela A.41: Valores correspondentes à lixiviação dos sedimentos após dezoito horas de agitação.
 Prof (profundidade da amostra); C.E. (condutividade eléctrica).

Amostras	Prof. (cm)	pH (solução)	Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µs/cm)
CA0-1A	0-10	6,54	0,0809	< 0,01	0,0715	0,0071	0,0048	0,0027	0,1016	0,0818	2,0367	0,0577	0,0158	0,0033	0,0146	0,0117	6,61	70
	10-20	6,40	0,1100	< 0,01	0,4052	0,0066	0,0052	0,0025	0,0760	0,0964	1,8441	0,1270	0,0328	< 0,001	0,0124	0,0150	6,52	67
CA0-3A	0-5	6,46	1,2138	< 0,01	6,0634	0,0441	0,0065	0,0074	0,0364	0,7936	22,1963	22,4281	0,0154	< 0,001	0,0198	0,0187	5,72	203
	10-15	6,68	0,1061	< 0,01	0,1020	0,0051	0,0074	0,0059	0,0179	0,1335	3,7426	0,0306	0,0032	0,0030	0,0054	0,0102	6,48	96
CA1-14	0-5	6,46	< 0,001	< 0,01	30,3706	0,0732	0,0099	< 0,001	< 0,001	0,0168	1,9813	48,3077	2,7223	0,0231	0,0052	54,8163	5,97	760
	5-10	6,46	< 0,001	< 0,01	27,2372	0,0396	0,0059	0,0049	0,0313	0,0104	1,2768	21,2372	0,6848	0,0084	0,0032	23,4649	6,05	495
	10-15	6,53	0,0048	< 0,01	6,8725	0,0121	0,0082	0,0037	0,0276	0,0227	2,6929	8,9557	0,7588	0,0041	0,0040	7,9420	6,08	240
	15-20	6,53	< 0,001	< 0,01	6,9177	0,0118	0,0074	0,0022	< 0,001	0,0093	4,7896	9,8050	0,7188	0,0075	0,0024	8,4611	6,18	261
	20-40	6,46	< 0,001	< 0,01	18,1483	0,0625	0,0096	< 0,001	< 0,001	0,0086	1,3461	19,0609	1,4133	0,0065	0,0057	19,6648	6,14	398
	40-60	6,46	< 0,001	< 0,01	6,9539	0,0511	0,0144	< 0,001	< 0,001	0,0074	1,1860	11,3279	1,2699	0,0042	< 0,001	10,5415	5,80	256
	60-80	6,46	< 0,001	< 0,01	56,0674	0,1471	0,0552	< 0,001	< 0,001	0,0153	1,8614	26,8991	3,5801	0,0178	< 0,001	27,7757	5,81	640
80-100	6,53	< 0,001	< 0,01	52,4098	0,1433	0,0340	< 0,001	< 0,001	0,0097	2,5407	27,4160	2,6684	0,0155	0,0023	22,1455	6,21	637	
CA1-22	0-5	6,53	0,0010	< 0,01	4,7056	0,0532	0,0082	< 0,001	0,0092	0,0346	5,1562	1,8889	1,0059	< 0,001	0,0232	1,1346	6,41	158
	10-15	6,54	0,0595	< 0,01	1,8771	0,0105	0,0054	0,0014	< 0,001	0,0540	3,8466	0,8254	0,3166	< 0,001	< 0,001	0,3505	6,66	108
	20-40	6,53	< 0,001	< 0,01	4,5771	0,0089	0,0100	< 0,001	< 0,001	0,0196	3,6226	1,9809	0,7852	0,0012	0,0051	0,7403	6,14	141
CA1-32	0-10	6,53	< 0,001	< 0,01	3,6273	0,0498	0,0076	< 0,001	< 0,001	0,0069	3,3495	1,1510	0,3295	0,0035	< 0,001	10,3895	6,31	183
	10-20	6,53	0,0348	< 0,01	2,5887	0,0301	0,0085	< 0,001	< 0,001	0,0388	2,9925	1,2170	0,3468	< 0,001	0,0012	5,4766	6,35	131
	20-30	6,53	< 0,001	< 0,01	7,5812	0,0221	0,0203	< 0,001	< 0,001	0,0137	2,4216	3,4318	1,3646	0,0046	< 0,001	9,5041	6,27	191
	30-40	6,53	0,0077	< 0,01	6,8379	0,0257	0,0134	0,0024	0,0103	0,0310	23,3870	31,9356	0,5235	0,0035	0,0084	1,3976	5,94	130
	40-50	6,53	< 0,001	< 0,01	6,1137	0,0588	0,0075	0,0015	< 0,001	0,0144	2,4567	2,4387	0,3011	0,0033	0,0018	9,1818	6,07	158
	50-60	6,53	0,5853	< 0,01	6,1380	0,0811	0,0144	0,0047	0,0270	0,2854	23,5933	64,2356	0,5262	0,0020	0,0308	9,0043	5,26	182
60-70+	6,40	0,1019	< 0,01	2,7517	0,0072	0,0135	< 0,001	< 0,001	0,1026	2,2400	1,3761	0,7417	0,0034	0,0042	2,4990	6,27	119	

BG-45	0-20	6,53	0,9752	< 0,01	6,5587	0,0152	0,0045	0,0042	< 0,001	0,3278	21,5298	54,0303	0,2194	< 0,001	< 0,001	0,0588	6,35	83
	20-40	6,53	0,0863	< 0,01	1,3775	0,0028	0,0056	0,0014	< 0,001	0,3849	2,0044	0,2658	0,0702	< 0,001	0,0025	0,1285	6,11	77
	40-60	6,53	0,2153	< 0,01	0,3578	0,0028	0,0065	0,0016	< 0,001	0,1668	1,7801	0,0661	0,0304	< 0,001	< 0,001	0,0818	6,61	78
	60-80	6,53	0,0871	< 0,01	5,2581	0,0103	0,0048	0,0050	< 0,001	0,1218	19,5135	45,9458	0,0262	< 0,001	< 0,001	0,0521	6,17	75

Valores de Intervenção para Águas Subterrâneas (COPAM, 2011)										
Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)
3,5000	0,0100	0,0050	0,0050	0,0500	2,0000	2,4500	0,4000	0,0200	0,0100	1,0500

Tabela A.42: Valores correspondentes à lixiviação dos sedimentos após vinte e quatro horas de agitação.
Prof (profundidade da amostra); C.E. (condutividade eléctrica).

Amostras	Prof. (cm)	pH (solução)	Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	pH Final	C. E. (µs/cm)
CA0-1A	0-10	6,54	0,1856	< 0,01	0,4399	0,0038	0,0051	0,0022	< 0,001	0,1222	1,8833	0,1420	0,0218	< 0,001	< 0,001	0,0826	5,81	73
	10-20	6,40	0,1847	< 0,01	7,1690	0,0101	0,0048	0,0050	< 0,001	0,1334	26,4984	39,9854	0,0198	< 0,001	< 0,001	0,0362	6,44	62
CA0-3A	0-5	6,46	0,0282	< 0,01	0,6534	0,0038	0,0065	0,0018	< 0,001	0,9620	4,7067	0,2062	0,0103	< 0,001	< 0,001	0,0671	6,48	105
	10-15	6,68	0,0695	< 0,01	0,2750	0,0040	0,0050	0,0023	< 0,001	0,0736	1,7964	0,0627	0,0014	< 0,001	< 0,001	0,0637	6,11	66
CA1-14	0-5	6,46	< 0,001	0,0126	41,6975	0,0945	0,0054	< 0,001	0,0556	0,0260	5,5986	57,7191	3,7774	0,0314	0,0100	59,7875	6,15	781
	5-10	6,46	< 0,001	< 0,01	34,4460	0,0527	0,0039	< 0,001	0,0442	0,0232	3,3210	23,2293	0,8709	0,0137	0,0069	26,8108	6,17	491
	10-15	6,53	< 0,001	< 0,01	6,5796	0,0157	0,0066	< 0,001	0,0209	0,0184	3,3823	9,5848	0,9067	0,0040	0,0028	8,5346	5,98	208
	15-20	6,53	0,0021	< 0,01	5,7339	0,0142	0,0057	< 0,001	0,0147	0,0133	3,3928	9,5625	0,8220	0,0054	0,0036	8,7140	6,12	226
	20-40	6,46	0,0044	< 0,01	19,5909	0,0835	0,0097	< 0,001	< 0,001	0,0114	3,7171	21,6263	1,7989	0,0119	0,0065	22,7636	6,16	375
	40-60	6,46	< 0,001	< 0,01	7,3892	0,0630	0,0130	< 0,001	< 0,001	0,0228	3,1347	12,3633	1,4475	0,0068	0,0080	11,7145	6,10	269
	60-80	6,46	0,0044	< 0,01	64,1349	0,1702	0,0615	< 0,001	< 0,001	0,0239	3,6482	27,7044	3,8152	0,0263	0,0045	29,7657	6,27	645
	80-100	6,53	0,0316	< 0,01	57,4286	0,1588	0,0355	< 0,001	< 0,001	0,0110	2,4901	27,6267	3,0192	0,0165	0,0017	22,4739	5,63	543
CA1-22	0-5	6,53	< 0,001	< 0,01	4,2668	0,0319	0,0072	< 0,001	< 0,001	0,0137	12,1727	2,0398	1,1739	< 0,001	< 0,001	1,2123	6,11	171
	10-15	6,54	0,0629	< 0,01	2,4246	0,0135	0,0044	< 0,001	< 0,001	0,0356	2,7324	0,9243	0,3771	< 0,001	0,0029	0,4586	5,92	100
	20-40	6,53	< 0,001	< 0,01	4,7310	0,0101	0,0093	< 0,001	< 0,001	0,0311	4,0019	2,2141	0,9305	< 0,001	< 0,001	0,9412	6,31	135
CA1-32	0-10	6,53	0,7074	< 0,01	2,9229	0,0435	0,0067	< 0,001	< 0,001	0,4590	3,4668	1,1667	0,3606	< 0,001	0,0023	7,2913	6,16	136
	10-20	6,53	0,0230	< 0,01	3,7807	0,0361	0,0083	< 0,001	< 0,001	0,0115	3,2432	1,4678	0,4574	< 0,001	< 0,001	6,0727	5,23	145
	20-30	6,53	0,0655	< 0,01	7,7050	0,0246	0,0211	< 0,001	< 0,001	0,1535	3,7464	4,0793	1,5629	0,0078	0,0130	10,5604	6,17	214
	30-40	6,53	< 0,001	< 0,01	2,5274	0,0056	0,0154	< 0,001	< 0,001	0,0106	7,0875	1,5671	0,7017	< 0,001	< 0,001	1,6365	5,87	154
	40-50	6,53	< 0,001	< 0,01	5,8955	0,0584	0,0067	< 0,001	< 0,001	0,0079	3,4847	2,3984	0,3385	0,0037	< 0,001	8,5708	6,23	182
	50-60	6,53	0,8784	< 0,01	4,2045	0,0099	0,0115	< 0,001	< 0,001	0,4808	3,3606	1,9407	0,3891	0,0036	0,0054	3,5658	5,73	148
	60-70+	6,40	0,0382	< 0,01	3,1332	0,0059	0,0119	< 0,001	< 0,001	0,0376	1,9558	1,4028	0,7719	0,0083	< 0,001	2,2415	6,34	112

BG-45	0-20	6,53	4,4154	< 0,01	1,6612	0,0027	0,0054	0,0023	< 0,001	1,8767	1,7958	0,3701	0,0409	< 0,001	< 0,001	0,0796	6,40	87
	20-40	6,53	0,2234	< 0,01	1,6322	0,0035	0,0060	< 0,001	< 0,001	0,1736	1,3166	0,2633	0,0835	< 0,001	< 0,001	0,1912	5,83	75
	40-60	6,53	0,2766	< 0,01	0,8356	0,0026	0,0053	< 0,001	< 0,001	0,1749	2,1277	0,1341	0,0374	< 0,001	< 0,001	0,0965	6,69	84
	60-80	6,53	0,2494	< 0,01	0,7431	0,0031	0,0054	< 0,001	< 0,001	0,1284	0,9164	0,0916	0,0318	< 0,001	< 0,001	0,0733	5,68	66

Valores de Intervenção para Águas Subterrâneas (COPAM, 2011)

Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)
3,5000	0,0100	0,0050	0,0050	0,0500	2,0000	2,4500	0,4000	0,0200	0,0100	1,0500

Tabela A.43: Valores correspondentes à lixiviação dos sedimentos após quarenta e oito horas de agitação.
 Prof (profundidade da amostra); C.E. (condutividade eléctrica).

Amostras	Prof. (cm)	pH (solução)	Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µs/cm)
CA0-1A	0-10	6,54	0,3311	< 0,01	0,4833	0,0022	0,0051	< 0,001	< 0,001	0,2210	2,2764	0,1473	0,0318	< 0,001	< 0,001	< 0,001	6,35	71
	10-20	6,40	0,0671	< 0,01	0,5725	0,0019	0,0047	< 0,001	< 0,001	0,0865	1,5023	0,1758	0,0085	< 0,001	< 0,001	0,0030	6,42	60
CA0-3A	0-5	6,46	2,2923	< 0,01	0,5955	0,0027	0,0061	0,0072	< 0,001	2,9576	1,6086	0,2429	0,0142	< 0,001	< 0,001	0,0392	6,23	85
	10-15	6,68	0,0687	< 0,01	0,6002	0,0054	0,0046	< 0,001	< 0,001	0,0865	1,8864	0,0874	0,0033	< 0,001	< 0,001	0,0191	6,21	84
CA1-14	0-5	6,46	< 0,001	< 0,01	41,2489	0,0880	0,0076	< 0,001	< 0,001	0,0030	1,9055	62,4957	3,9985	0,0205	< 0,001	66,0643	5,82	738
	5-10	6,46	0,0342	< 0,01	36,6595	0,0511	0,0061	< 0,001	< 0,001	0,0140	1,4919	25,8925	0,9931	0,0087	< 0,001	28,3341	5,91	524
	10-15	6,53	0,0421	< 0,01	7,2017	0,0130	0,0090	< 0,001	< 0,001	0,0312	1,3504	9,7953	0,9358	< 0,001	0,0021	8,8088	5,66	228
	15-20	6,53	< 0,001	< 0,01	6,2873	0,0064	0,0071	< 0,001	< 0,001	0,0061	1,7967	9,5257	0,7519	0,0019	< 0,001	6,5346	6,02	214
	20-40	6,46	0,0420	< 0,01	12,8590	0,0637	0,0103	< 0,001	< 0,001	0,0083	1,4293	16,6371	1,2292	0,0089	< 0,001	17,0526	6,08	435
	40-60	6,46	< 0,001	< 0,01	7,6538	0,0728	0,0174	< 0,001	0,3755	0,0172	1,4081	11,1398	1,4456	0,0024	0,0020	9,9558	5,86	273
	60-80	6,46	< 0,001	< 0,01	68,0290	0,1948	0,0684	< 0,001	< 0,001	0,0145	1,7116	30,7666	4,3055	0,0189	< 0,001	34,2055	5,84	662
80-100	6,53	0,0531	< 0,01	62,5727	0,1741	0,0386	< 0,001	< 0,001	0,0051	2,1535	29,9203	3,3315	0,0141	< 0,001	23,7446	5,50	627	
CA1-22	0-5	6,53	0,0917	< 0,01	5,9431	0,0854	0,0342	0,0279	0,1534	0,0991	5,2488	2,3982	1,4998	0,0256	0,0673	1,4697	6,28	153
	10-15	6,54	0,0154	< 0,01	2,8725	0,0308	0,0133	0,0077	0,0130	0,0259	6,5495	1,0470	0,4163	0,0032	0,0148	0,4285	6,21	102
	20-40	6,53	< 0,001	< 0,01	6,2137	0,0231	0,0152	< 0,001	< 0,001	0,0101	3,2245	2,5644	1,2081	< 0,001	0,0067	1,1738	6,33	148
CA1-32	0-10	6,53	0,2530	< 0,01	3,0122	0,0320	0,0083	< 0,001	< 0,001	0,1932	3,8476	1,1317	0,3861	0,0025	< 0,001	5,9131	6,47	158
	10-20	6,53	0,0303	< 0,01	3,5235	0,0415	0,0092	< 0,001	< 0,001	0,0350	3,0994	1,2840	0,4497	< 0,001	< 0,001	6,2772	6,38	137
	20-30	6,53	< 0,001	< 0,01	8,4418	0,0314	0,0240	< 0,001	< 0,001	0,0128	2,0096	4,5190	1,7218	0,0048	< 0,001	11,6481	5,79	192
	30-40	6,53	0,1164	< 0,01	4,3197	0,0159	0,0251	< 0,001	< 0,001	0,0813	3,3055	2,3074	1,1153	0,0071	< 0,001	3,5855	5,86	142
	40-50	6,53	0,0338	< 0,01	6,8839	0,0666	0,0083	< 0,001	< 0,001	0,0505	2,2635	2,5612	0,4482	0,0029	0,0046	9,5934	5,98	158
	50-60	6,53	0,0659	< 0,01	3,6181	0,0146	0,0138	< 0,001	< 0,001	0,0368	2,6358	1,7836	0,4470	0,0015	< 0,001	3,3280	6,03	139
60-70+	6,40	0,0992	< 0,01	4,1496	0,0098	0,0152	< 0,001	< 0,001	0,0734	2,4537	1,8508	1,0881	< 0,001	< 0,001	3,1935	6,26	128	

BG-45	0-20	6,53	1,2673	< 0,01	1,9002	0,0031	0,0045	< 0,001	< 0,001	0,5066	1,5623	0,3412	0,0354	< 0,001	< 0,001	0,0482	6,47	90
	20-40	6,53	0,2985	< 0,01	2,0464	0,0050	0,0055	< 0,001	< 0,001	0,1988	1,1326	0,3831	0,0960	< 0,001	< 0,001	0,1131	6,11	73
	40-60	6,53	0,4453	< 0,01	0,6575	0,0031	0,0053	< 0,001	< 0,001	0,5690	1,3838	0,1134	0,0392	< 0,001	< 0,001	0,0812	6,59	88
	60-80	6,53	1,1601	< 0,01	0,6361	0,0030	0,0049	< 0,001	< 0,001	0,4744	1,1775	0,1088	0,0330	< 0,001	< 0,001	0,0726	6,03	72

Valores de Intervenção para Águas Subterrâneas (COPAM, 2011)										
Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)
3,5000	0,0100	0,0050	0,0050	0,0500	2,0000	2,4500	0,4000	0,0200	0,0100	1,0500

Tabela A.44: Valores correspondentes à lixiviação das aluviões após uma hora de agitação.
 Prof (profundidade da amostra); C.E. (condutividade eléctrica).

Amostras	Prof. (cm)	pH (solução)	Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µs/cm)
CA0-2B	0-20	6,54	0,1828	< 0,01	0,2656	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,1458	1,3117	0,0938	0,0080	< 0,001	< 0,001	0,0249	6,33	76
	20-40	6,53	0,0572	< 0,01	4,5243	0,0021	< 0,001	< 0,001	0,0063	0,0393	19,1142	29,3458	0,0421	< 0,001	< 0,001	0,0451	5,48	87
	40-60	6,53	0,0802	< 0,01	0,3143	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0668	1,3487	0,0719	0,0136	< 0,001	< 0,001	0,0245	5,86	65
CA1-21 (lixivi)	0-20	6,53	0,0294	< 0,01	4,2637	0,0034	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0199	6,3564	0,7746	0,2206	0,0115	< 0,001	1,3080	6,20	176
	20-40	6,46	0,0750	< 0,01	2,6970	0,0068	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0526	3,8545	0,5595	0,0709	< 0,001	< 0,001	1,3060	6,16	130
	40-60	6,46	0,0921	< 0,01	2,2361	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0750	2,3282	0,5053	0,0541	< 0,001	< 0,001	0,5508	5,99	112
CA1-23	20-40	6,46	0,2814	< 0,01	0,8011	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,1960	1,3210	0,2755	0,0307	< 0,001	< 0,001	0,6911	5,91	87
CA2-10	0-20	6,46	< 0,001	< 0,01	229,9409	0,9607	0,0371	< 0,001	< 0,001	0,0198	3,6040	152,6891	5,6772	0,0620	0,0154	81,3582	6,05	1950
	20-40	6,53	< 0,001	< 0,01	10,4657	0,0112	0,0039	< 0,001	< 0,001	0,0351	3,0541	23,2262	0,7837	0,0032	< 0,001	11,2136	6,18	418
	40-60	6,54	0,0113	< 0,01	9,0861	0,0112	0,0035	< 0,001	< 0,001	0,0449	1,8591	19,3072	0,7246	< 0,001	0,0139	9,3052	6,34	346
	60-80	6,53	< 0,001	< 0,01	19,3109	0,0443	0,0037	< 0,001	< 0,001	0,0109	2,3414	19,4420	0,7188	0,0021	< 0,001	10,0140	4,82	418
	80-100	6,53	< 0,001	< 0,01	31,6509	0,1125	0,0067	< 0,001	< 0,001	< 0,001	1,8412	25,5452	0,9676	0,0067	< 0,001	13,6338	5,88	512
CA2-10 (lixivi)	0-20	6,46	< 0,001	< 0,01	337,3486	0,1954	0,0075	< 0,001	< 0,001	0,0180	2,6384	33,9743	1,3092	0,0139	< 0,001	27,3607	5,98	1620
	20-40	6,46	< 0,001	< 0,01	11,4643	0,0194	0,0019	< 0,001	< 0,001	0,0011	1,8969	11,7278	0,4701	< 0,001	< 0,001	6,4442	6,05	280
	40-60	6,52	< 0,001	< 0,01	21,9655	0,0688	0,0069	< 0,001	< 0,001	< 0,001	1,7804	29,9935	1,0781	0,0066	< 0,001	15,5368	6,14	508
	60-80	6,54	0,0320	< 0,01	15,2635	0,0624	0,0064	< 0,001	0,0046	0,0257	7,4929	26,5053	0,9930	0,0084	0,0216	15,0033	6,32	451
	80-100	6,46	< 0,001	< 0,01	21,4285	0,3924	0,0105	< 0,001	< 0,001	0,0032	2,9710	36,5302	1,4732	0,0125	< 0,001	26,7643	6,08	583
CA2-10A [III]	0-20	6,45	< 0,001	< 0,01	9,2398	0,1614	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,6326	15,1317	0,1002	0,0025	< 0,001	7,5598	6,19	283
	20-40	6,45	< 0,001	< 0,01	87,2766	0,1243	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0015	2,2031	9,1938	0,0869	0,0179	< 0,001	4,7906	6,33	550
	40-60	6,45	< 0,001	< 0,01	55,7888	0,0959	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,2326	9,9647	0,0865	0,0117	< 0,001	3,2675	6,42	397
CA2-12	0-20	6,50	0,0011	< 0,01	19,7110	0,0813	0,0284	< 0,001	< 0,001	0,0251	3,0062	20,8617	2,6499	0,0332	0,0284	68,9124	5,54	558
	20-40	6,53	< 0,001	< 0,01	15,4226	0,0566	0,0572	< 0,001	< 0,001	0,0065	3,5427	14,8479	4,0593	0,0300	0,0074	41,7768	5,92	461

	40-60	6,53	< 0,001	< 0,01	10,9388	0,0207	0,0369	< 0,001	< 0,001	0,0032	2,1878	12,2745	4,2378	< 0,001	< 0,001	8,2356	6,32	303
	60-80	6,53	< 0,001	< 0,01	13,0328	0,0189	0,0248	< 0,001	< 0,001	0,0025	3,1226	14,3940	5,2776	0,0029	< 0,001	8,2457	5,53	387
	80-100	6,53	< 0,001	< 0,01	12,0748	0,0564	0,0382	< 0,001	< 0,001	0,0057	2,0936	13,3008	5,0331	0,0023	< 0,001	10,8295	5,96	351
CA3-18	0-20	6,53	< 0,001	< 0,01	17,2436	0,0358	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0034	2,6616	5,5249	0,3436	< 0,001	< 0,001	1,1374	6,14	254
	20-40	6,45	< 0,001	< 0,01	12,6802	0,0313	0,0011	< 0,001	< 0,001	0,0047	2,5712	1,6244	0,8308	< 0,001	< 0,001	0,8611	6,54	170
	40-60	6,40	< 0,001	< 0,01	8,3111	0,0168	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0031	2,2374	1,8708	0,3538	< 0,001	< 0,001	0,9154	6,21	136
	60-80	6,53	< 0,001	< 0,01	3,4606	0,0265	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0113	2,0034	1,3032	0,1104	< 0,001	< 0,001	1,1435	6,31	102
	80-100	6,53	0,0085	< 0,01	5,5815	0,0752	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0124	1,9963	1,9660	0,1591	< 0,001	< 0,001	2,6018	5,98	134
CA5-6	0-20	6,54	< 0,001	< 0,01	7,7920	0,1673	0,0021	< 0,001	< 0,001	0,0141	1,8429	4,4914	0,2771	< 0,001	< 0,001	11,3276	6,25	183
	40-60	6,54	0,0243	< 0,01	5,4993	0,0018	0,0269	< 0,001	< 0,001	0,1101	2,3269	2,7191	0,8979	< 0,001	< 0,001	1,1487	6,17	154

Valores de Intervenção para Águas Subterrâneas (COPAM, 2011)										
Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)
3,5000	0,0100	0,0050	0,0050	0,0500	2,0000	2,4500	0,4000	0,0200	0,0100	1,0500

Tabela A.45: Valores correspondentes à lixiviação das aluviões após três horas de agitação.
Prof (profundidade da amostra); C.E. (condutividade eléctrica).

Amostras	Prof. (cm)	pH (solução)	Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µs/cm)
CA0-2B	0-20	6,54	0,6021	< 0,01	0,2943	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,3506	2,8103	0,1447	0,0223	< 0,001	< 0,001	0,0168	6,65	76
	20-40	6,53	0,1242	< 0,01	0,4127	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0826	1,9239	0,1157	0,0136	< 0,001	< 0,001	0,0525	6,07	76
	40-60	6,53	0,0643	< 0,01	0,4839	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0539	1,4821	0,0988	0,0207	< 0,001	< 0,001	0,0297	6,01	67
CA1-21 (lixivi)	0-20	6,53	0,1283	< 0,01	4,6836	0,0062	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0600	5,5496	0,9151	0,2851	0,0049	< 0,001	1,5373	5,18	140
	20-40	6,46	0,4547	< 0,01	9,7967	0,0591	0,0022	< 0,001	0,0138	0,2621	34,6612	55,1939	0,2645	< 0,001	0,0065	1,4684	5,94	118
	40-60	6,46	0,1392	< 0,01	2,9939	0,0030	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,1937	2,9546	0,6615	0,1027	< 0,001	< 0,001	0,9513	6,11	123
CA1-23	20-40	6,46	0,1983	< 0,01	1,2191	0,0046	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,1472	2,7111	0,3563	0,0301	< 0,001	< 0,001	0,9653	6,17	91
CA2-10	0-20	6,46	0,0197	< 0,01	392,6764	1,1802	0,0424	< 0,001	< 0,001	0,0330	4,9714	196,1834	6,3470	0,0855	0,0295	97,8680	6,12	2560
	20-40	6,53	< 0,001	< 0,01	11,3712	0,0132	0,0024	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,5753	26,8004	0,8819	0,0099	< 0,001	13,2764	6,27	455
	40-60	6,54	< 0,001	< 0,01	10,1698	0,0128	0,0024	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,5023	21,6826	0,7685	0,0152	< 0,001	10,1316	6,22	365
	60-80	6,53	< 0,001	< 0,01	28,5454	0,0526	0,0033	< 0,001	< 0,001	< 0,001	1,9294	21,6988	0,8379	0,0108	0,0029	11,3518	5,97	461
	80-100	6,53	< 0,001	< 0,01	47,0272	0,1259	0,0060	< 0,001	< 0,001	< 0,001	1,9337	27,5842	1,0576	0,0107	< 0,001	15,1281	5,91	568
CA2-10 (lixivi)	0-20	6,46	< 0,001	< 0,01	497,6556	0,2369	0,0090	< 0,001	< 0,001	0,0021	5,0333	39,3731	1,5346	0,0332	0,0042	33,6507	6,24	2190
	20-40	6,46	< 0,001	< 0,01	12,5602	0,0233	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,4511	13,8244	0,5236	< 0,001	< 0,001	7,6449	6,16	329
	40-60	6,52	< 0,001	< 0,01	29,6216	0,0819	0,0074	< 0,001	< 0,001	< 0,001	1,7644	36,2520	1,2734	0,0140	< 0,001	18,6718	6,21	612
	60-80	6,54	< 0,001	< 0,01	18,1414	0,0708	0,0059	< 0,001	< 0,001	< 0,001	3,0408	30,7259	1,1280	0,0143	< 0,001	17,3545	6,15	507
	80-100	6,46	< 0,001	< 0,01	27,3936	0,4165	0,0095	< 0,001	< 0,001	0,0076	2,8919	38,7805	1,4958	0,0164	0,0104	28,4576	6,01	671
CA2-10A [III]	0-20	6,45	< 0,001	< 0,01	10,5754	0,1811	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	3,8040	16,5749	0,2033	0,0077	< 0,001	8,3037	6,18	346
	20-40	6,45	< 0,001	< 0,01	129,9723	0,1640	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,3957	11,5474	0,0994	< 0,001	< 0,001	6,1897	6,26	784
	40-60	6,45	< 0,001	< 0,01	79,3192	0,1161	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,4890	11,6386	0,0891	< 0,001	< 0,001	3,8925	6,40	590
CA2-12	0-20	6,50	< 0,001	< 0,01	21,5511	0,0879	0,0301	< 0,001	< 0,001	0,0051	3,3407	22,2590	2,8538	0,0395	0,0279	77,2641	5,71	637
	20-40	6,53	< 0,001	< 0,01	16,1537	0,0627	0,0617	< 0,001	< 0,001	0,0075	3,0185	16,1110	4,4902	0,0298	0,0134	45,4368	5,68	510

	40-60	6,53	< 0,001	< 0,01	11,3211	0,0210	0,0359	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,2778	12,3322	4,3285	0,0014	< 0,001	8,3454	6,22	348
	60-80	6,53	< 0,001	< 0,01	13,7101	0,0224	0,0264	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,8426	15,2915	5,6995	0,0058	< 0,001	8,9298	5,96	382
	80-100	6,53	< 0,001	< 0,01	13,4518	0,0690	0,0445	< 0,001	< 0,001	0,0013	2,4778	15,0170	5,8643	0,0053	< 0,001	12,8445	6,25	401
CA3-18	0-20	6,53	< 0,001	< 0,01	19,2440	0,0412	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,8012	6,0328	0,4084	< 0,001	< 0,001	1,2152	6,38	269
	20-40	6,45	< 0,001	< 0,01	16,4521	0,0380	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	4,8598	1,9082	1,2271	< 0,001	< 0,001	0,9402	6,62	237
	40-60	6,40	0,0577	< 0,01	9,2087	0,0990	0,0764	0,0416	0,0506	0,0404	3,0956	1,9607	0,4885	0,0763	0,0477	1,1109	6,44	179
	60-80	6,53	< 0,001	< 0,01	3,4057	0,0271	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0094	2,1159	1,1798	0,1126	< 0,001	0,0019	1,1580	6,19	118
	80-100	6,53	< 0,001	< 0,01	6,3422	0,1010	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	2,5109	2,2549	0,2115	< 0,001	< 0,001	3,0615	6,27	148
CA5-6	0-20	6,54	< 0,001	< 0,01	8,9000	0,1943	0,0023	< 0,001	< 0,001	0,0159	3,1538	4,9460	0,3253	< 0,001	< 0,001	13,1716	5,17	226
	40-60	6,54	< 0,001	< 0,01	6,4920	0,0018	0,0289	< 0,001	< 0,001	0,0768	2,2970	3,1566	0,9508	0,0031	< 0,001	1,2553	5,04	164

Valores de Intervenção para Águas Subterrâneas (COPAM, 2011)										
Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)
3,5000	0,0100	0,0050	0,0050	0,0500	2,0000	2,4500	0,4000	0,0200	0,0100	1,0500

Tabela A.46: Valores correspondentes à lixiviação das aluviões após dezoito horas de agitação.
Prof (profundidade da amostra); C.E. (condutividade eléctrica).

Amostras	Prof. (cm)	pH (solução)	Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µs/cm)
CA0-2B	0-20	6,54	0,0457	< 0,01	0,2143	0,0083	0,0074	0,0045	0,0433	0,0429	3,0730	0,0826	0,0189	0,0032	0,0111	0,0192	6,52	73
	20-40	6,53	0,0489	< 0,01	0,4260	0,0062	0,0057	0,0036	0,0330	0,0388	2,2587	0,1171	0,0267	0,0035	0,0069	0,0369	6,06	81
	40-60	6,53	0,0749	< 0,01	4,0552	0,1623	0,0064	0,0070	0,0376	0,0573	16,3277	38,5967	0,0178	< 0,001	0,0709	0,0244	6,15	61
CA1-21 (lixí)	0-20	6,53	0,1084	< 0,01	3,8851	0,0118	0,0065	0,0018	< 0,001	0,0867	2,3852	0,7008	0,2739	< 0,001	< 0,001	1,1433	6,47	122
	20-40	6,46	1,1408	< 0,01	9,1921	0,0563	0,0060	0,0053	0,0113	0,4720	29,3181	36,9327	0,1255	< 0,001	0,0134	1,1596	5,92	119
	40-60	6,46	0,9137	< 0,01	7,4126	0,0437	0,0060	0,0058	0,0174	0,3452	21,9967	39,6399	0,1611	< 0,001	0,0170	0,5042	5,97	94
CA1-23	20-40	6,46	2,3005	< 0,01	0,6388	0,0102	0,0062	0,0034	< 0,001	1,2281	1,5656	0,2963	0,0887	< 0,001	0,0034	0,7439	5,99	72
CA2-10	0-20	6,46	< 0,001	< 0,01	418,0892	1,1068	0,0470	< 0,001	< 0,001	0,0096	12,0465	201,4010	6,4413	0,0740	0,0104	104,8989	6,22	2630
	20-40	6,53	< 0,001	< 0,01	13,8165	0,0210	0,0118	0,0066	< 0,001	0,0068	2,4771	28,4272	0,8850	0,0092	< 0,001	13,7183	6,18	447
	40-60	6,54	< 0,001	< 0,01	11,3219	0,0223	0,0109	0,0043	< 0,001	0,0052	3,5932	22,5743	0,7370	0,0062	< 0,001	10,5312	6,06	367
	60-80	6,53	< 0,001	< 0,01	50,2184	0,0789	0,0147	0,0017	< 0,001	0,0060	2,4452	25,6387	0,9671	0,0113	0,0197	15,5106	6,30	571
	80-100	6,53	< 0,001	< 0,01	63,1652	0,1528	0,0186	0,0011	0,0035	0,0053	3,6636	31,5206	1,1351	0,0197	0,0031	18,6789	6,00	664
CA2-10 (lixí)	0-20	6,46	< 0,001	< 0,01	581,7447	0,3362	0,0193	< 0,001	< 0,001	0,0192	3,4445	42,8656	1,6372	0,0301	0,0078	38,8586	6,12	2230
	20-40	6,46	< 0,001	< 0,01	14,5744	0,0348	0,0108	0,0029	< 0,001	0,0086	2,3682	15,3804	0,5926	0,0066	0,0011	8,7696	6,18	340
	40-60	6,52	< 0,001	< 0,01	29,5067	0,0822	0,0151	< 0,001	< 0,001	0,0055	1,9626	33,5403	1,1908	0,0123	0,0011	17,4618	6,05	480
	60-80	6,54	< 0,001	< 0,01	18,8665	0,0910	0,0152	< 0,001	< 0,001	0,0068	2,9604	33,3324	1,1658	0,0123	< 0,001	18,9581	6,37	464
	80-100	6,46	< 0,001	< 0,01	31,1007	0,5246	0,0189	< 0,001	< 0,001	0,0226	2,7644	40,4110	1,5830	0,0183	0,0050	30,5476	6,14	630
CA2-10A [III]	0-20	6,45	< 0,001	< 0,01	11,9765	0,2116	0,0053	0,0029	< 0,001	0,0057	3,0721	18,7696	0,1872	< 0,001	< 0,001	9,7263	6,10	323
	20-40	6,45	0,0060	< 0,01	175,3726	0,2047	0,0048	< 0,001	< 0,001	0,0210	2,0835	12,9637	0,1489	< 0,001	0,0066	8,0553	6,25	827
	40-60	6,45	< 0,001	< 0,01	109,0831	0,1508	0,0046	0,0012	< 0,001	0,0047	2,8280	13,1400	0,1236	< 0,001	< 0,001	5,1176	6,32	639
CA2-12	0-20	6,50	< 0,001	< 0,01	23,2592	0,1124	0,0406	< 0,001	< 0,001	0,0131	3,2129	23,4073	2,8373	0,0458	0,0278	87,0724	5,56	603
	20-40	6,53	0,0725	< 0,01	16,1738	0,0798	0,0735	< 0,001	0,0058	0,0633	4,3520	17,0827	4,6184	0,0390	0,0580	51,5678	5,95	490

	40-60	6,53	0,1332	0,0335	29,4154	0,0482	0,0418	< 0,001	0,0388	0,0743	27,0598	61,9463	4,6684	0,0064	0,0039	8,7663	6,37	338
	60-80	6,53	0,0029	0,0277	15,8805	0,0444	0,0434	< 0,001	0,3724	0,0087	4,1138	16,7547	6,3258	0,0165	0,0074	14,2002	5,96	429
	80-100	6,53	0,0071	0,0133	14,7767	0,0912	0,0634	< 0,001	0,0405	0,0219	4,8008	16,4021	6,6272	0,0227	0,0247	15,0572	6,00	390
CA3-18	0-20	6,53	< 0,001	< 0,01	24,7290	0,0589	0,0055	< 0,001	< 0,001	0,0087	3,9276	7,1821	0,5843	0,0028	< 0,001	1,4721	6,27	267
	20-40	6,45	< 0,001	< 0,01	18,4909	0,0527	0,0072	< 0,001	0,0596	0,0210	2,5726	2,0446	1,4849	< 0,001	< 0,001	1,0113	6,55	198
	40-60	6,40	0,0334	< 0,01	12,5409	0,0347	0,0054	0,0037	0,0553	0,0466	2,5947	2,2790	0,6271	< 0,001	0,0038	1,5817	6,45	182
	60-80	6,53	0,0276	< 0,01	4,4922	0,0449	0,0050	0,0036	< 0,001	0,0326	3,7489	1,5433	0,1661	< 0,001	0,0078	1,5556	6,21	131
	80-100	6,53	< 0,001	< 0,01	7,6131	0,1176	0,0054	0,0012	< 0,001	0,0133	5,1817	2,4722	0,2891	0,0089	< 0,001	3,4983	6,43	169
CA5-6	0-20	6,54	< 0,001	< 0,01	9,2813	0,2304	0,0124	0,0013	< 0,001	0,0203	3,7503	5,3756	0,3851	< 0,001	0,0014	14,7902	5,61	227
	40-60	6,54	0,0094	< 0,01	7,0037	0,0141	0,0435	< 0,001	< 0,001	0,0814	4,8118	3,6245	1,0857	0,0083	0,0023	1,6751	5,23	194

Valores de Intervenção para Águas Subterrâneas (COPAM, 2011)										
Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)
3,5000	0,0100	0,0050	0,0050	0,0500	2,0000	2,4500	0,4000	0,0200	0,0100	1,0500

Tabela A.47: Valores correspondentes à lixiviação das aluviões após vinte e quatro horas de agitação.
 Prof (profundidade da amostra); C.E. (condutividade eléctrica).

Amostras	Prof. (cm)	pH (solução)	Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (ms/cm)
CA0-2B	0-20	6,54	0,2782	< 0,01	0,2875	0,0026	0,0047	0,0021	< 0,001	0,2070	1,1266	0,1221	0,0171	< 0,001	< 0,001	0,0164	6,22	64
	20-40	6,53	0,0043	< 0,01	5,5920	0,0097	0,0057	0,0048	< 0,001	0,0128	19,1283	48,6392	0,0174	< 0,001	< 0,001	0,0609	6,13	79
	40-60	6,53	0,0310	< 0,01	0,4859	0,0029	0,0056	0,0010	< 0,001	0,0256	1,3092	0,0966	0,0361	< 0,001	< 0,001	0,0448	5,76	54
CA1-21 (lixí)	0-20	6,53	0,0533	< 0,01	4,1625	0,0142	0,0064	< 0,001	< 0,001	0,0420	2,5228	0,7956	0,3581	0,0023	0,0010	1,3830	5,06	117
	20-40	6,46	1,0487	< 0,01	3,5794	0,0182	0,0052	0,0012	< 0,001	0,7330	5,4496	0,7423	0,1736	< 0,001	0,0018	1,5814	6,18	141
	40-60	6,46	1,2638	< 0,01	2,9835	0,0088	0,0037	< 0,001	< 0,001	0,6050	3,6689	0,7019	0,1466	< 0,001	< 0,001	0,7850	6,26	110
CA1-23	20-40	6,46	1,3650	< 0,01	1,1911	0,0127	0,0046	0,0022	< 0,001	0,7267	1,8253	0,3689	0,0758	< 0,001	0,0028	0,9430	6,05	85
CA2-10	0-20	6,46	< 0,001	< 0,01	471,2223	1,2838	0,0524	< 0,001	< 0,001	0,0149	4,8389	227,0472	7,1267	0,0857	0,0137	114,0180	6,24	2580
	20-40	6,53	< 0,001	< 0,01	14,0485	0,0221	0,0116	< 0,001	< 0,001	0,0253	5,7281	28,7138	0,8924	0,0152	< 0,001	13,5364	6,05	482
	40-60	6,54	< 0,001	< 0,01	11,2540	0,0226	0,0118	< 0,001	< 0,001	0,0077	1,9897	22,7179	0,7990	0,0075	0,0021	10,5325	5,53	386
	60-80	6,53	< 0,001	< 0,01	53,5670	0,0791	0,0132	< 0,001	< 0,001	0,0241	2,6609	26,5350	0,9925	0,0101	0,0190	15,3231	5,88	525
	80-100	6,53	0,0423	< 0,01	63,4117	0,1586	0,0155	< 0,001	< 0,001	0,0218	2,9204	30,6411	1,1640	0,0134	< 0,001	18,7800	5,59	631
CA2-10 (lixí)	0-20	6,46	< 0,001	< 0,01	641,7999	0,3967	0,0204	< 0,001	< 0,001	0,0081	3,8229	48,3947	1,7822	0,0315	< 0,001	42,7767	6,00	2220
	20-40	6,46	< 0,001	< 0,01	14,4676	0,0344	0,0099	< 0,001	< 0,001	0,0175	2,9054	14,8547	0,6006	0,0029	< 0,001	8,3407	6,20	308
	40-60	6,52	< 0,001	< 0,01	35,1219	0,0960	0,0164	< 0,001	< 0,001	0,0064	2,7581	38,1870	1,3850	0,0147	0,0014	19,6095	6,15	579
	60-80	6,54	< 0,001	< 0,01	21,2075	0,1041	0,0160	< 0,001	< 0,001	0,0041	2,8922	34,7782	1,2471	0,0188	0,0015	19,8124	5,73	505
	80-100	6,46	0,0495	< 0,01	34,1409	0,5869	0,0204	< 0,001	< 0,001	0,0648	3,7059	42,8344	1,7133	0,0199	0,0042	32,5541	6,03	653
CA2-10A [III]	0-20	6,45	< 0,001	< 0,01	11,5149	0,2101	0,0052	< 0,001	< 0,001	0,0011	2,9340	18,0279	0,2420	< 0,001	< 0,001	9,2217	6,10	315
	20-40	6,45	0,0519	< 0,01	190,4217	0,2145	0,0045	< 0,001	< 0,001	0,0358	2,4644	13,6893	0,1914	< 0,001	0,0082	8,4543	6,26	883
	40-60	6,45	< 0,001	< 0,01	121,0128	0,1669	0,0042	< 0,001	< 0,001	0,0015	3,1191	13,9334	0,1831	< 0,001	< 0,001	5,2497	6,35	666
CA2-12	0-20	6,50	< 0,001	< 0,01	26,3329	0,1302	0,0432	< 0,001	< 0,001	0,0273	5,2612	25,2932	3,2655	0,0518	0,0392	94,4793	6,09	662
	20-40	6,53	0,0086	< 0,01	17,2631	0,0904	0,0806	< 0,001	< 0,001	0,0241	4,8074	17,5108	4,8906	0,0381	0,0175	52,4193	6,00	499

	40-60	6,53	< 0,001	< 0,01	12,8967	0,0350	0,0554	< 0,001	< 0,001	0,0172	3,4287	14,2978	5,1527	0,0083	0,0024	9,9384	6,24	338
	60-80	6,53	< 0,001	< 0,01	15,6404	0,0418	0,0405	< 0,001	< 0,001	0,0079	3,7223	17,2018	6,5936	0,0105	< 0,001	11,0455	6,07	413
	80-100	6,53	0,0423	< 0,01	15,0729	0,0943	0,0661	< 0,001	< 0,001	0,0837	3,3413	17,4411	7,0083	0,0124	0,0072	16,2402	6,16	424
CA3-18	0-20	6,53	< 0,001	< 0,01	28,4949	0,0633	0,0053	< 0,001	< 0,001	0,0108	2,4587	8,1080	0,7003	< 0,001	< 0,001	1,4544	6,22	262
	20-40	6,45	< 0,001	< 0,01	22,7047	0,0638	0,0081	< 0,001	< 0,001	0,0050	3,5056	2,4698	1,8839	< 0,001	< 0,001	1,3551	6,64	227
	40-60	6,40	< 0,001	< 0,01	16,1666	0,0454	0,0061	< 0,001	< 0,001	0,0053	4,5331	3,3857	0,8234	0,0046	< 0,001	2,1206	6,69	220
	60-80	6,53	0,0090	< 0,01	4,2251	0,0406	0,0050	< 0,001	< 0,001	0,0249	2,1262	1,3699	0,1589	< 0,001	< 0,001	1,4232	6,20	125
	80-100	6,53	< 0,001	< 0,01	7,4249	0,1136	0,0051	< 0,001	< 0,001	0,0042	2,4156	2,4552	0,3195	< 0,001	< 0,001	3,2231	6,09	148
CA5-6	0-20	6,54	< 0,001	< 0,01	8,9183	0,2287	0,0105	< 0,001	< 0,001	0,0115	1,7281	5,0893	0,4001	< 0,001	< 0,001	14,7056	5,17	210
	40-60	6,54	0,0056	< 0,01	6,7487	0,0129	0,0445	< 0,001	< 0,001	0,0820	1,4937	3,4672	1,0939	0,0058	< 0,001	1,6815	4,60	153

Valores de Intervenção para Águas Subterrâneas (COPAM, 2011)										
Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)
3,5000	0,0100	0,0050	0,0050	0,0500	2,0000	2,4500	0,4000	0,0200	0,0100	1,0500

Tabela A.48: Valores correspondentes à lixiviação das aluviões após quarenta e oito horas de agitação.
 Prof (profundidade da amostra); C.E. (condutividade eléctrica).

Amostras	Prof. (cm)	pH (solução)	Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µs/cm)
CA0-2B	0-20	6,54	0,3029	< 0,01	0,7647	0,0030	0,0046	< 0,001	< 0,001	0,2013	1,8905	0,1652	0,0125	< 0,001	< 0,001	0,0217	6,23	73
	20-40	6,53	0,6603	< 0,01	0,7421	0,0024	0,0044	0,0012	< 0,001	0,4357	2,7722	0,1815	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0057	6,26	90
	40-60	6,53	0,0106	< 0,01	0,2735	0,0113	0,0077	< 0,001	< 0,001	0,0358	1,6544	0,0775	0,0139	< 0,001	< 0,001	0,0308	6,14	59
CA1-21 (lixivi)	0-20	6,53	0,0881	< 0,01	5,0912	0,0138	0,0077	< 0,001	< 0,001	0,0906	2,6658	0,7867	0,3967	< 0,001	< 0,001	1,3174	6,10	116
	20-40	6,46	3,0162	< 0,01	4,5249	0,0306	0,0079	0,0014	< 0,001	1,3728	2,5694	0,8372	0,2423	< 0,001	< 0,001	2,2845	5,84	93
	40-60	6,46	1,9197	< 0,01	3,9170	0,0094	0,0051	< 0,001	< 0,001	0,8073	1,8292	0,8221	0,0534	< 0,001	< 0,001	0,9650	5,98	84
CA1-23	20-40	6,46	0,2401	< 0,01	1,3819	0,0205	0,0059	0,0021	< 0,001	0,1162	2,5063	0,3884	0,0686	0,0021	0,0029	1,0393	6,06	119
CA2-10	0-20	6,46	< 0,001	< 0,01	480,6623	1,2943	0,0520	< 0,001	< 0,001	0,0140	4,9075	225,5396	6,9999	0,0813	0,0140	115,9136	6,04	2760
	20-40	6,53	0,0407	< 0,01	13,9888	0,0245	0,0122	< 0,001	< 0,001	0,0468	2,1662	28,6622	0,9052	0,0115	0,0132	14,0547	6,01	452
	40-60	6,54	< 0,001	< 0,01	10,8878	0,0170	0,0115	< 0,001	< 0,001	0,0024	2,1832	22,2068	0,7398	0,0076	< 0,001	9,3120	6,14	360
	60-80	6,53	< 0,001	< 0,01	61,3009	0,0830	0,0137	< 0,001	< 0,001	0,0025	4,7159	25,6990	0,9726	0,0121	0,0161	16,3797	5,76	610
	80-100	6,53	< 0,001	< 0,01	67,7550	0,1644	0,0162	< 0,001	< 0,001	0,0023	2,7876	34,0114	1,2478	0,0131	0,0022	19,8436	5,88	637
CA2-10 (lixivi)	0-20	6,46	< 0,001	< 0,01	650,6529	0,4847	0,0201	< 0,001	< 0,001	0,0198	3,2016	47,2589	1,7657	0,0281	0,0080	43,2948	6,08	2290
	20-40	6,46	< 0,001	< 0,01	14,4481	0,0441	0,0090	< 0,001	< 0,001	0,0146	1,3943	16,7990	0,7228	0,0094	0,0076	10,9288	6,09	316
	40-60	6,52	< 0,001	< 0,01	39,9102	0,1101	0,0157	< 0,001	< 0,001	0,0097	2,3691	38,6676	1,4943	0,0348	0,0089	21,0849	6,31	607
	60-80	6,54	< 0,001	< 0,01	18,1449	0,1289	0,0136	< 0,001	< 0,001	0,0142	2,4623	34,2156	1,3211	0,0209	0,0085	20,1170	6,06	497
	80-100	6,46	< 0,001	< 0,01	38,7939	0,7110	0,0206	< 0,001	< 0,001	0,0081	2,1174	45,8237	1,9430	0,0304	0,0083	38,3126	6,08	654
CA2-10A [III]	0-20	6,45	< 0,001	< 0,01	11,3762	0,2384	0,0027	0,0015	< 0,001	< 0,001	2,9506	19,6178	0,2582	0,0028	0,0030	10,7493	6,17	342
	20-40	6,45	< 0,001	< 0,01	211,2341	0,2320	0,0024	< 0,001	< 0,001	0,0041	3,1854	14,2536	0,1604	0,0065	< 0,001	8,4443	6,32	944
	40-60	6,45	< 0,001	< 0,01	134,0732	0,1847	0,0030	< 0,001	< 0,001	0,0018	4,7921	13,9907	0,1693	0,0056	< 0,001	5,6124	6,43	745
CA2-12	0-20	6,50	0,0130	< 0,01	26,2904	0,1604	0,0449	< 0,001	< 0,001	0,0453	3,5064	24,7041	3,2851	0,0613	0,0515	95,0668	4,09	703
	20-40	6,53	0,0063	< 0,01	16,6500	0,1000	0,0772	< 0,001	< 0,001	0,0234	3,9775	16,9006	4,8930	0,0431	0,0200	50,9432	5,92	501

	40-60	6,53	< 0,001	0,0340	11,5719	0,0348	0,0513	< 0,001	< 0,001	0,0151	2,2181	13,5969	5,0311	0,0107	0,0066	9,8515	6,22	337
	60-80	6,53	< 0,001	0,0135	14,3544	0,0494	0,0403	< 0,001	< 0,001	0,0027	3,1105	16,4662	6,5376	0,0128	0,0038	11,3297	6,08	397
	80-100	6,53	< 0,001	0,0157	14,2086	0,0895	0,0626	< 0,001	< 0,001	0,0170	2,6960	16,0851	6,6898	0,0165	0,0086	15,2091	6,27	401
CA3-18	0-20	6,53	< 0,001	< 0,01	25,6401	0,0611	0,0037	< 0,001	< 0,001	0,0090	2,6921	7,0428	0,7595	< 0,001	< 0,001	1,4305	6,44	288
	20-40	6,45	< 0,001	< 0,01	22,8852	0,0681	0,0060	< 0,001	< 0,001	0,0011	2,6897	2,4437	2,0945	< 0,001	< 0,001	1,1977	6,78	209
	40-60	6,40	< 0,001	< 0,01	13,7614	0,0345	0,0045	< 0,001	< 0,001	0,0103	4,6351	2,5641	0,8116	0,0617	0,0033	1,1483	6,51	237
	60-80	6,53	0,0261	< 0,01	4,6567	0,0456	0,0037	0,0011	< 0,001	0,0175	1,9826	1,4622	0,1805	< 0,001	0,0052	1,4655	6,21	116
	80-100	6,53	< 0,001	< 0,01	6,5090	0,1279	0,0040	< 0,001	< 0,001	0,0196	1,9803	2,5560	0,3824	< 0,001	0,0045	3,6046	6,40	169
CA5-6	0-20	6,54	< 0,001	< 0,01	9,3539	0,2526	0,0107	< 0,001	< 0,001	0,0109	3,8035	5,1255	0,4422	< 0,001	< 0,001	14,7730	6,01	227
	40-60	6,54	< 0,001	< 0,01	6,7126	0,0160	0,0484	< 0,001	< 0,001	0,0607	2,2450	3,5628	1,1455	0,0035	< 0,001	1,8854	5,97	169

Valores de Intervenção para Águas Subterrâneas (COPAM, 2011)										
Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)
3,5000	0,0100	0,0050	0,0050	0,0500	2,0000	2,4500	0,4000	0,0200	0,0100	1,0500

Tabela A.49: Valores obtidos para a fracção dissolvida no ensaio-piloto (superfície). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.

Amostras	Profundidade (cm)	pH (solução)	Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µs/cm)
CA1-14 [III]	20-40	6,52	< 0,001	< 0,01	28,8327	0,0704	0,0396	0,0076	0,0534	6,07	756
	40-60	6,52	< 0,001	< 0,01	26,7576	0,0650	0,0353	0,0027	0,0315	6,22	780
	60-80	6,52	0,0106	< 0,01	26,1783	0,1521	0,0369	< 0,001	0,0670	6,16	771
CA1-48 [III]	20-40	6,57	< 0,001	< 0,01	4,2296	0,0257	0,0392	< 0,001	0,0253	6,38	147
	60-80	6,57	< 0,001	< 0,01	6,0166	0,0744	0,0709	< 0,001	0,0304	6,34	211
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	6,80	0,6248	< 0,01	14,7324	0,0575	0,0710	< 0,001	0,0417	5,66	710

Amostras	Profundidade (cm)	pH (solução)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µs/cm)
CA1-14 [III]	20-40	6,52	0,0311	16,9579	36,2708	1,3703	< 0,001	0,0077	27,0273	5,29	643
	40-60	6,52	0,0248	16,4158	34,1479	1,5592	< 0,001	< 0,001	30,8023	4,62	726
	60-80	6,52	0,0353	16,7214	35,5121	1,7176	< 0,001	0,0777	29,0451	4,47	616
CA1-48 [III]	20-40	6,57	0,0196	3,6935	1,8657	0,1517	< 0,001	0,0461	1,2994	5,76	144
	60-80	6,57	0,0311	3,4024	2,1997	2,0720	< 0,001	< 0,001	9,7386	5,39	181
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	6,80	0,0262	3,8410	9,1430	12,2379	< 0,001	0,0685	29,4270	5,71	370

Valores de Intervenção para Águas Doces: Classe 2 (CONAMA, 2012)										
Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)
0,1000	0,0100	0,0010	0,0500	0,0500	0,0090	0,3000	0,1000	0,0250	0,0100	0,1800

Tabela A.50: Valores obtidos para a fracção dissolvida no ensaio-piloto (fundo). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.

Amostras	Profundidade (cm)	pH (solução)	Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µs/cm)
CA1-14 [III]	20-40	6,52	< 0,001	< 0,01	28,8327	0,0704	0,0396	0,0076	0,0534	6,07	756
	40-60	6,52	< 0,001	< 0,01	26,7576	0,0650	0,0353	0,0027	0,0315	6,22	780
	60-80	6,52	0,0106	< 0,01	26,1783	0,1521	0,0369	< 0,001	0,0670	6,16	771
CA1-48 [III]	20-40	6,57	< 0,001	< 0,01	4,2296	0,0257	0,0392	< 0,001	0,0253	6,38	147
	60-80	6,57	< 0,001	< 0,01	6,0166	0,0744	0,0709	< 0,001	0,0304	6,34	211
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	6,80	0,6248	< 0,01	14,7324	0,0575	0,0710	< 0,001	0,0417	5,66	710

Amostras	Profundidade (cm)	pH (solução)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µs/cm)
CA1-14 [III]	20-40	6,52	< 0,001	24,4076	46,3460	1,4795	< 0,001	0,0634	35,0260	6,07	756
	40-60	6,52	< 0,001	24,4825	43,9729	1,6482	< 0,001	0,0306	32,7873	6,22	780
	60-80	6,52	< 0,001	22,7867	44,5458	2,7549	0,0032	0,0437	34,8691	6,16	771
CA1-48 [III]	20-40	6,57	< 0,001	3,8935	1,3936	0,3756	< 0,001	0,0049	1,0677	6,38	147
	60-80	6,57	< 0,001	4,3814	1,9203	2,1317	< 0,001	0,0344	9,9114	6,34	211
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	6,80	0,1501	5,2447	8,2326	11,2315	< 0,001	0,2378	26,8095	5,66	710

Valores de Intervenção para Águas Doces: Classe 2 (CONAMA, 2012)										
Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)
0,1000	0,0100	0,0010	0,0500	0,0500	0,0090	0,3000	0,1000	0,0250	0,0100	0,1800

Tabela A.51: Valores obtidos para a fracção particulada no ensaio-piloto (superfície). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.

Ensaio Piloto - Superfície														
Amostras	Profundidade (cm)	pH (solução)	As (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	pH Final	C,.E. (µs/cm)
CA1-14 [III]	20-40	6,52	-	0,0434	0,1682	0,0090	2,6223	3,2098	0,0315	-	-	-	5,29	643
	40-60	6,52	-	0,0491	0,1055	0,0372	2,4152	1,6895	-	-	0,0705	-	4,62	726
	60-80	6,52	-	0,1111	0,1879	0,1022	2,3571	1,4879	-	-	-	-	4,47	616
CA1-48 [III]	20-40	6,57	-	0,0078	0,1120	0,0664	1,0088	42,8692	0,1996	-	-	3,3765	5,76	144
	60-80	6,57	-	0,0897	0,0891	0,0756	2,5228	51,3313	0,3927	-	0,6281	5,3199	5,39	181
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	6,80	0,1802	0,0393	0,1452	-	2,2339	77,3347	-	-	6,8510	9,8616	5,71	370

Tabela A.52: Valores obtidos para a fracção particulada no ensaio-piloto (fundo). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.

Ensaio Piloto Fundo														
Amostras	Profundidade (cm)	pH (solução)	As (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µs/cm)
CA1-14 [III]	20-40	6,52	0,2582	0,1884	0,4113	0,8634	5,2054	796,1549	25,5760	0,3593	6,3393	150,4276	6,07	756
	40-60	6,52	0,0876	0,1552	0,2172	0,3802	4,3992	156,9765	1,3857	0,0754	0,7687	12,7366	6,22	780
	60-80	6,52	-	0,0377	0,1295	0,1370	4,0878	85,4853	0,2342	-	2,1798	11,0918	6,16	771
CA1-48 [III]	20-40	6,57	-	0,4465	0,4020	1,1408	6,3239	925,1217	10,5804	0,3995	4,3702	52,5443	6,38	147
	60-80	6,57	0,8997	0,3371	0,2507	0,7302	7,7046	570,1607	3,0039	0,2174	7,1565	67,8326	6,34	211
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	6,80	3,7713	0,3022	0,7390	0,4919	11,0182	3349,5223	13,3690	1,0362	138,6775	567,5241	5,66	710

Tabela A.53: Valores obtidos para a fracção dissolvida no ensaio de turbidez (após remeximento). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.

Ensaio Turbidez – Após Remeximento												
Amostras	Profundidade (cm)	pH (solução)	Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µs/cm)	Turbidez (NTU)
CA1-14 [III]	20-40	6,22	0,0537	< 0,01	14,5296	0,0666	0,0201	0,0141	0,6187	5,59	533	4180
	40-60	6,22	0,0967	< 0,01	11,0675	0,0439	0,0275	0,0050	0,7315	5,93	292	2700
	60-80	6,22	0,0628	< 0,01	9,7203	0,1909	0,0439	0,0073	0,3676	5,77	207	7050
CA1-48 [III]	20-40	6,33	1,0170	< 0,01	3,9298	0,0365	0,0304	< 0,001	0,2138	5,91	84	10460
	60-80	6,33	0,0206	< 0,01	4,9045	0,1116	0,0682	< 0,001	0,1673	5,89	137	10200
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	6,33	0,0960	< 0,01	9,6741	0,0588	0,0630	< 0,001	0,1971	5,70	259	10350

Ensaio Turbidez – Após Remeximento												
Amostras	Profundidade (cm)	pH (solução)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µs/cm)	Turbidez (NTU)
CA1-14 [III]	20-40	6,22	0,1081	6,8087	23,0504	0,4637	0,0390	0,1286	22,6085	5,59	533	4180
	40-60	6,22	0,1143	5,7965	17,8540	0,1956	0,0306	0,1631	18,8466	5,93	292	2700
	60-80	6,22	0,0732	3,7488	15,9266	0,7626	0,0179	0,0302	17,2911	5,77	207	7050
CA1-48 [III]	20-40	6,33	0,6041	2,6652	0,9884	0,3586	< 0,001	0,0612	1,1796	5,91	84	10460
	60-80	6,33	0,0677	3,0253	1,2129	2,4355	0,0202	0,0317	13,1206	5,89	137	10200
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	6,33	0,1190	3,7149	3,2047	10,6462	0,0041	0,2878	27,8892	5,70	259	10350

Valores de Intervenção para Águas Doces: Classe 2 (CONAMA, 2012)										
Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)
0,1000	0,0100	0,0010	0,0500	0,0500	0,0090	0,3000	0,1000	0,0250	0,0100	0,1800

Tabela A.54: Valores obtidos para a fracção dissolvida no ensaio de turbidez (1 hora após remeximento). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.

Ensaio Turbidez – 1h												
Amostras	Profundidade (cm)	pH (solução)	Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µS/cm)	Turbidez (NTU)
CA1-14 [III]	20-40	6,22	0,0352	< 0,01	10,9127	0,0346	0,0261	< 0,001	0,1401	5,64	271	413
	40-60	6,22	0,0311	< 0,01	8,6633	0,0345	0,0333	0,0067	0,1200	5,54	256	938
	60-80	6,22	0,0302	< 0,01	7,0685	0,1574	0,0289	0,0031	0,1306	4,80	213	157
CA1-48 [III]	20-40	6,33	0,3463	< 0,01	3,6003	0,0302	0,0349	0,0045	0,1067	5,85	81	7664
	60-80	6,33	0,2381	< 0,01	3,6938	0,0905	0,0671	< 0,001	0,1478	5,64	127	8656
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	6,33	0,2685	< 0,01	7,3390	0,0547	0,0667	< 0,001	0,1305	5,34	187	8024

Ensaio Turbidez – 1h												
Amostras	Profundidade (cm)	pH (solução)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µS/cm)	Turbidez (NTU)
CA1-14 [III]	20-40	6,22	0,0633	2,7593	16,6213	0,2887	0,0126	< 0,001	14,0481	5,64	271	413
	40-60	6,22	0,0544	2,4440	15,5868	0,1400	0,0029	0,0266	14,6160	5,54	256	938
	60-80	6,22	0,0540	2,0075	12,1964	0,5481	< 0,001	0,0188	13,9093	4,80	213	157
CA1-48 [III]	20-40	6,33	0,2236	2,0537	1,0482	0,3826	< 0,001	0,0507	1,2701	5,85	81	7664
	60-80	6,33	0,2161	2,7253	1,0946	2,0583	0,0040	< 0,001	11,6550	5,64	127	8656
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	6,33	0,1538	2,2288	2,9215	8,9597	< 0,001	0,4393	23,2729	5,34	187	8024

Valores de Intervenção para Águas Doces: Classe 2 (CONAMA, 2012)										
Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)
0,1000	0,0100	0,0010	0,0500	0,0500	0,0090	0,3000	0,1000	0,0250	0,0100	0,1800

Tabela A.55: Valores obtidos para a fracção dissolvida no ensaio de turbidez (2 horas após remeximento). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.

Ensaio Turbidez – 2h												
Amostras	Profundidade (cm)	pH (solução)	Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µS/cm)	Turbidez (NTU)
CA1-14 [III]	20-40	6,22	0,0142	< 0,01	10,2251	0,0316	0,0332	< 0,001	0,1154	5,05	258	203
	40-60	6,22	0,0434	< 0,01	8,6241	0,0317	0,0193	< 0,001	0,0865	5,02	260	499
	60-80	6,22	< 0,001	< 0,01	6,8282	0,1491	0,0320	0,0028	0,1011	4,95	216	80,9
CA1-48 [III]	20-40	6,33	0,2774	< 0,01	3,2789	0,0212	0,0347	< 0,001	0,0927	5,77	84	6880
	60-80	6,33	0,2826	< 0,01	3,7200	0,0931	0,0680	< 0,001	0,0803	5,14	129	8064
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	6,33	0,0141	< 0,01	9,4786	0,0509	0,0675	< 0,001	0,1115	5,83	263	7000

Ensaio Turbidez – 2h												
Amostras	Profundidade (cm)	pH (solução)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µS/cm)	Turbidez (NTU)
CA1-14 [III]	20-40	6,22	0,0509	2,1094	16,5427	0,2876	< 0,001	< 0,001	14,5037	5,05	258	203
	40-60	6,22	0,0671	1,5579	14,0883	0,1262	< 0,001	0,0199	14,0426	5,02	260	499
	60-80	6,22	0,0371	1,8784	11,8129	0,5726	< 0,001	0,0738	13,7240	4,95	216	80,9
CA1-48 [III]	20-40	6,33	0,1716	1,7737	1,0130	0,2817	< 0,001	0,0272	0,8331	5,77	84	6880
	60-80	6,33	0,2337	2,2220	1,1817	2,2800	< 0,001	0,0868	13,1392	5,14	129	8064
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	6,33	0,0278	2,3708	3,0917	11,1310	< 0,001	0,1414	27,6974	5,83	263	7000

Valores de Intervenção para Águas Doces: Classe 2 (CONAMA, 2012)										
Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)
0,1000	0,0100	0,0010	0,0500	0,0500	0,0090	0,3000	0,1000	0,0250	0,0100	0,1800

Tabela A.56: Valores obtidos para a fracção dissolvida no ensaio de turbidez (8 horas após remeximento). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.

Ensaio Turbidez – 8h												
Amostras	Profundidade (cm)	pH (solução)	Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µS/cm)	Turbidez (NTU)
CA1-14 [III]	20-40	6,22	0,0196	< 0,01	10,0696	0,0318	0,0382	0,0038	0,0934	5,14	269	51,5
	40-60	6,22	0,0198	< 0,01	9,2171	0,0288	0,0352	< 0,001	0,0453	5,00	238	110
	60-80	6,22	< 0,001	< 0,01	7,2203	0,1472	0,0367	0,0042	0,0591	5,05	216	22,5
CA1-48 [III]	20-40	6,33	0,4798	< 0,01	3,1091	0,0257	0,0312	< 0,001	0,0712	6,05	87	5392
	60-80	6,33	0,5754	< 0,01	3,3153	0,0854	0,0702	< 0,001	0,0737	5,01	130	5568
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	6,33	0,0016	< 0,01	8,6330	0,0467	0,0465	< 0,001	0,0867	5,86	261	3880

Ensaio Turbidez – 8h												
Amostras	Profundidade (cm)	pH (solução)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µS/cm)	Turbidez (NTU)
CA1-14 [III]	20-40	6,22	0,0395	2,0846	15,6324	0,2864	< 0,001	0,0963	14,7329	5,14	269	51,5
	40-60	6,22	0,0470	1,9124	15,9191	0,1226	< 0,001	0,0175	15,6564	5,00	238	110
	60-80	6,22	0,0350	1,5188	11,2788	0,5225	< 0,001	< 0,001	13,0968	5,05	216	22,5
CA1-48 [III]	20-40	6,33	0,2641	1,6098	0,9711	0,3036	< 0,001	0,0900	0,9546	6,05	87	5392
	60-80	6,33	0,3407	1,4972	1,0396	2,0654	0,0016	0,0116	10,4868	5,01	130	5568
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	6,33	0,0335	2,1276	3,2488	10,4389	< 0,001	0,1431	25,1977	5,86	261	3880

Valores de Intervenção para Águas Doces: Classe 2 (CONAMA, 2012)										
Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)
0,1000	0,0100	0,0010	0,0500	0,0500	0,0090	0,3000	0,1000	0,0250	0,0100	0,1800

Tabela A.57: Valores obtidos para a fracção dissolvida no ensaio de turbidez (24 horas após remeximento). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.

Ensaio Turbidez – 24h												
Amostras	Profundidade (cm)	pH (solução)	Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µS/cm)	Turbidez (NTU)
CA1-14 [III]	20-40	6,22	0,0017	< 0,01	9,8751	0,0319	0,0327	< 0,001	0,0635	5,10	280	10,9
	40-60	6,22	0,0273	< 0,01	9,5165	0,0321	0,0191	0,0045	0,0768	4,97	251	19
	60-80	6,22	< 0,001	< 0,01	7,1830	0,1478	0,0350	0,0039	0,1027	4,89	233	5,46
CA1-48 [III]	20-40	6,33	0,5080	0,0318	3,0902	0,0197	0,0310	< 0,001	0,0535	5,91	96	3232
	60-80	6,33	0,6761	< 0,01	3,0396	0,0801	0,0566	< 0,001	0,0603	4,99	116	2328
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	6,33	< 0,001	< 0,01	8,1130	0,0436	0,0714	< 0,001	0,0888	5,46	259	1680

Ensaio Turbidez – 24h												
Amostras	Profundidade (cm)	pH (solução)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µS/cm)	Turbidez (NTU)
CA1-14 [III]	20-40	6,22	0,0410	1,4900	16,8673	0,2885	< 0,001	0,0277	14,8588	5,10	280	10,9
	40-60	6,22	0,0409	1,8800	16,3113	0,1353	< 0,001	0,0227	15,2726	4,97	251	19
	60-80	6,22	0,0521	1,8746	11,3713	0,5596	< 0,001	0,0395	11,5668	4,89	233	5,46
CA1-48 [III]	20-40	6,33	0,2403	3,0924	1,0314	0,3067	< 0,001	0,0733	0,7624	5,91	96	3232
	60-80	6,33	0,3708	2,5275	0,9946	1,9308	< 0,001	0,0386	10,9110	4,99	116	2328
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	6,33	0,0417	2,4299	2,6747	8,8558	< 0,001	0,1144	21,4691	5,46	259	1680

Valores de Intervenção para Águas Doces: Classe 2 (CONAMA, 2012)										
Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)
0,1000	0,0100	0,0010	0,0500	0,0500	0,0090	0,3000	0,1000	0,0250	0,0100	0,1800

Tabela A.58: Valores obtidos para a fracção dissolvida no ensaio de turbidez (48 horas após remeximento). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.

Ensaio Turbidez – 48h												
Amostras	Profundidade (cm)	pH (solução)	Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µS/cm)	Turbidez (NTU)
CA1-14 [III]	20-40	6,22	0,0255	< 0,01	9,3368	0,0321	0,0388	< 0,001	0,0519	5,05	275	3,54
	40-60	6,22	0,0052	< 0,01	8,7062	0,0295	0,0290	< 0,001	0,0503	4,98	255	10,3
	60-80	6,22	0,0757	0,0234	7,0532	0,1466	0,0340	< 0,001	0,0380	4,86	225	1,73
CA1-48 [III]	20-40	6,33	0,8860	< 0,01	3,2231	0,0204	0,0370	0,0031	0,0716	5,97	94	1150
	60-80	6,33	0,9220	< 0,01	3,0766	0,0746	0,0564	< 0,001	0,0703	4,52	125	705
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	6,33	0,0112	0,0381	8,7918	0,0417	0,0536	< 0,001	0,0682	5,04	253	560

Ensaio Turbidez – 48h												
Amostras	Profundidade (cm)	pH (solução)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µS/cm)	Turbidez (NTU)
CA1-14 [III]	20-40	6,22	0,0450	1,9982	15,7328	0,3001	< 0,001	0,0389	14,0619	5,05	275	3,54
	40-60	6,22	0,0465	1,7241	14,4775	0,1381	< 0,001	0,0296	13,9982	4,98	255	10,3
	60-80	6,22	0,0530	1,1602	11,6860	0,5563	< 0,001	< 0,001	12,9193	4,86	225	1,73
CA1-48 [III]	20-40	6,33	0,4789	1,9743	0,9876	0,3217	< 0,001	0,0382	0,8068	5,97	94	1150
	60-80	6,33	0,6302	2,4678	0,9675	1,8419	< 0,001	0,0040	11,8104	4,52	125	705
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	6,33	0,0767	2,7851	2,7205	10,0435	< 0,001	0,2155	24,3167	5,04	253	560

Valores de Intervenção para Águas Doces: Classe 2 (CONAMA, 2012)										
Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)
0,1000	0,0100	0,0010	0,0500	0,0500	0,0090	0,3000	0,1000	0,0250	0,0100	0,1800

Tabela A.59: Valores obtidos para a fracção dissolvida no ensaio de turbidez (96 horas após remeximento). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.

Ensaio Turbidez – 96h												
Amostras	Profundidade (cm)	pH (solução)	Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µS/cm)	Turbidez (NTU)
CA1-14 [III]	20-40	6,22	< 0,001	< 0,01	9,0653	0,0279	0,0359	< 0,001	0,0523	4,93	279	1,89
	40-60	6,22	0,0460	0,0165	7,9173	0,0269	0,0397	0,0106	0,0492	4,87	240	7,02
	60-80	6,22	< 0,001	< 0,01	7,8203	0,1446	0,0431	< 0,001	0,0649	4,82	227	5,78
CA1-48 [III]	20-40	6,33	0,6655	< 0,01	4,0463	0,0188	0,0286	< 0,001	0,0431	6,20	118	275
	60-80	6,33	0,5417	< 0,01	3,5929	0,0863	0,0688	< 0,001	0,0592	4,83	144	149
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	6,33	0,0113	< 0,01	8,6759	0,0450	0,0648	< 0,001	0,0564	5,21	257	89

Ensaio Turbidez – 96h												
Amostras	Profundidade (cm)	pH (solução)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µS/cm)	Turbidez (NTU)
CA1-14 [III]	20-40	6,22	0,0161	1,6564	14,6010	0,2925	< 0,001	0,0097	12,7662	4,93	279	1,89
	40-60	6,22	0,0311	1,5312	14,1178	0,1408	< 0,001	< 0,001	13,5439	4,87	240	7,02
	60-80	6,22	0,0161	2,0418	11,9337	0,6847	< 0,001	0,0136	14,2825	4,82	227	5,78
CA1-48 [III]	20-40	6,33	0,4872	3,5135	1,3348	0,5421	< 0,001	< 0,001	1,0857	6,20	118	275
	60-80	6,33	0,3259	3,0068	1,0934	2,2179	< 0,001	0,0630	11,2750	4,83	144	149
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	6,33	0,0332	2,2375	2,8876	10,5872	< 0,001	0,0816	25,4925	5,21	257	89

Valores de Intervenção para Águas Doces: Classe 2 (CONAMA, 2012)										
Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)
0,1000	0,0100	0,0010	0,0500	0,0500	0,0090	0,3000	0,1000	0,0250	0,0100	0,1800

Tabela A.60: Valores obtidos para a fracção dissolvida no ensaio de turbidez (168 horas – 7 dias após remeximento). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.

Ensaio Turbidez – 168h (7 dias)												
Amostras	Profundidade (cm)	pH (solução)	Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Ca (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µS/cm)	Turbidez (NTU)
CA1-14 [III]	20-40	6,22	0,0220	< 0,01	10,2852	0,0297	0,0557	< 0,001	0,0598	4,97	261	0,93
	40-60	6,22	< 0,001	< 0,01	8,0135	0,0294	0,0363	0,0077	0,0705	4,87	260	1,86
	60-80	6,22	0,0265	< 0,01	8,6954	0,1516	0,0297	< 0,001	0,0382	4,84	232	1,42
CA1-48 [III]	20-40	6,33	0,8523	< 0,01	7,5330	0,0344	0,0428	< 0,001	0,0544	6,46	113	82,6
	60-80	6,33	0,6802	< 0,01	4,0078	0,0946	0,0661	< 0,001	0,0466	4,82	147	45,4
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	6,33	0,0593	< 0,01	8,4741	0,0460	0,0678	< 0,001	0,0570	5,30	269	33,1

Ensaio Turbidez – 168h (7 dias)												
Amostras	Profundidade (cm)	pH (solução)	Fe (mg.l ⁻¹)	K (mg.l ⁻¹)	Mg (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µS/cm)	Turbidez (NTU)
CA1-14 [III]	20-40	6,22	0,0149	1,8180	17,4238	0,3579	< 0,001	0,0285	16,4125	4,97	261	0,93
	40-60	6,22	0,0132	1,7574	14,3554	0,1538	< 0,001	0,0177	14,2319	4,87	260	1,86
	60-80	6,22	0,0183	2,4605	13,4704	0,6624	< 0,001	0,0074	14,2245	4,84	232	1,42
CA1-48 [III]	20-40	6,33	0,6362	2,1747	1,8770	1,0520	< 0,001	0,0689	1,5820	6,46	113	82,6
	60-80	6,33	0,3478	2,2241	1,2330	2,5774	< 0,001	0,0089	12,9123	4,82	147	45,4
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	6,33	0,0218	2,1611	2,9850	10,8349	< 0,001	0,1692	26,5996	5,30	269	33,1

Valores de Intervenção para Águas Doces: Classe 2 (CONAMA, 2012)										
Al (mg.l ⁻¹)	As (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)
0,1000	0,0100	0,0010	0,0500	0,0500	0,0090	0,3000	0,1000	0,0250	0,0100	0,1800

Tabela A.61: Valores obtidos para a fracção particulada no ensaio de turbidez (após remeximento). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.

Ensaio Turbidez - Após Remeximento															
Amostras	Profundidade (cm)	pH (solução)	As (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µS/cm)	Turbidez (NTU)
CA1-14 [III]	20-40	6,22	-	0,0632	0,2352	0,2380	2,4187	139,0872	1,3358	0,0116	0,3675	15,3435	5,59	533	4180
	40-60	6,22	-	0,0342	0,1137	0,1795	1,7490	82,3601	0,3680	-	0,2427	3,3244	5,93	292	2700
	60-80	6,22	-	0,1125	0,2093	0,4180	4,5124	320,1247	1,9490	0,0884	4,2779	47,0985	5,77	207	7050
CA1-48 [III]	20-40	6,33	0,2275	0,1862	0,1465	0,4526	2,7755	348,7828	2,6616	0,0585	1,1532	21,9441	5,91	84	10460
	60-80	6,33	0,7842	0,1916	0,2242	0,5761	4,8774	424,9443	1,7226	0,1606	4,9204	48,5286	5,89	137	10200
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	6,33	1,0104	0,1093	0,2965	0,1658	4,6864	728,8224	1,6216	0,0781	40,1324	122,0800	5,70	259	10350

Tabela A.62: Valores obtidos para a fracção particulada no ensaio de turbidez (1 hora após remeximento). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.

Ensaio Turbidez - 1h															
Amostras	Profundidade (cm)	pH (solução)	As (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µS/cm)	Turbidez (NTU)
CA1-14 [III]	20-40	6,22	-	0,0198	0,1103	0,0443	1,8076	9,8369	-	-	-	0,4697	5,64	271	413
	40-60	6,22	-	0,1396	0,0991	0,0155	1,5953	4,1372	0,3461	-	-	-	5,54	256	938
	60-80	6,22	-	-	0,1263	0,0429	1,7719	17,9721	-	-	-	1,2370	4,80	213	157
CA1-48 [III]	20-40	6,33	-	0,1254	0,1202	0,3425	2,5398	247,2037	1,5929	-	1,1600	15,9235	5,85	81	7664
	60-80	6,33	0,2596	0,1502	0,1454	0,3927	3,8495	308,7427	1,5395	0,0526	3,6501	33,8614	5,64	127	8656
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	6,33	0,5314	0,0383	0,1349	0,0418	2,6678	260,4844	0,8902	-	14,3885	48,5110	5,34	187	8024

Tabela A.63: Valores obtidos para a fracção particulada no ensaio de turbidez (2 horas após remeximento). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.

Ensaio Turbidez - 2h															
Amostras	Profundidade (cm)	pH (solução)	As (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µS/cm)	Turbidez (NTU)
CA1-14 [III]	20-40	6,22	-	0,0375	0,1407	0,0134	1,3797	5,2203	-	-	-	-	5,05	258	203
	40-60	6,22	0,0919	0,0457	0,1566	0,0130	1,3751	9,9005	0,0227	-	-	-	5,02	260	499
	60-80	6,22	-	-	0,0870	0,0714	1,2851	2,2110	-	-	-	-	4,95	216	80,9
CA1-48 [III]	20-40	6,33	-	0,1392	0,1496	0,3346	1,9749	225,7913	1,4509	0,0124	0,5054	13,3802	5,77	84	6880
	60-80	6,33	0,4233	0,1415	0,1817	0,3728	3,7425	299,8999	1,2505	0,1346	3,2656	30,5057	5,14	129	8064
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	6,33	-	0,0761	0,1193	0,0348	1,6100	67,6537	-	-	7,8363	6,8621	5,83	263	7000

Tabela A.64: Valores obtidos para a fracção particulada no ensaio de turbidez (8 horas após remeximento). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.

Ensaio Turbidez - 8h															
Amostras	Profundidade (cm)	pH (solução)	As (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µS/cm)	Turbidez (NTU)
CA1-14 [III]	20-40	6,22	-	0,0344	0,1263	0,0293	1,2933	1,7404	-	-	-	-	5,14	269	51,5
	40-60	6,22	-	0,0642	0,1467	0,0271	1,3183	2,7868	0,0285	-	-	-	5,00	238	110
	60-80	6,22	-	0,0224	0,1752	0,0094	1,2360	1,3886	-	-	-	-	5,05	216	22,5
CA1-48 [III]	20-40	6,33	-	0,1138	0,1076	0,2997	1,9097	174,7466	1,0968	0,0395	0,2737	13,3242	6,05	87	5392
	60-80	6,33	0,4697	0,0934	0,1552	0,2939	2,9353	198,0794	0,9928	-	2,3719	22,7057	5,01	130	5568
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	6,33	0,2327	0,0286	0,1483	0,0379	2,0677	181,3190	-	-	15,6012	32,4230	5,86	261	3880

Tabela A.65: Valores obtidos para a fracção particulada no ensaio de turbidez (24 horas após remeximento). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.

Ensaio Turbidez - 24h															
Amostras	Profundidade (cm)	pH (solução)	As (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µS/cm)	Turbidez (NTU)
CA1-14 [III]	20-40	6,22	-	0,0438	0,1504	0,0883	1,2029	1,3229	0,0849	-	-	3,7223	5,10	280	10,9
	40-60	6,22	-	-	0,1596	0,0034	1,0008	1,0728	0,0094	-	-	-	4,97	251	19
	60-80	6,22	0,1646	0,0595	0,1599	0,0765	1,3315	1,8262	0,0053	-	-	1,3446	4,89	233	5,46
CA1-48 [III]	20-40	6,33	-	0,0769	0,2245	0,1887	1,4999	117,0677	0,7611	-	0,1521	10,1628	5,91	96	3232
	60-80	6,33	0,2007	0,0472	0,1755	0,1320	1,9216	81,3399	0,6250	-	0,9718	11,0124	4,99	116	2328
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	6,33	-	0,0513	0,1688	0,0162	1,0845	28,3625	-	-	3,3862	4,2847	5,46	259	1680

Tabela A.66: Valores obtidos para a fracção particulada no ensaio de turbidez (48 horas após remeximento). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.

Ensaio Turbidez - 48h															
Amostras	Profundidade (cm)	pH (solução)	As (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µS/cm)	Turbidez (NTU)
CA1-14 [III]	20-40	6,22	-	0,0152	0,0870	0,0370	1,1264	0,8264	-	-	-	-	5,05	275	3,54
	40-60	6,22	-	0,0100	0,1275	-	1,1945	0,9560	-	-	-	-	4,98	255	10,3
	60-80	6,22	0,0892	0,0220	0,1261	0,0239	1,2063	0,8913	-	-	-	-	4,86	225	1,73
CA1-48 [III]	20-40	6,33	-	0,0586	0,1344	0,0730	1,1485	59,5343	0,4303	-	-	5,7404	5,97	94	1150
	60-80	6,33	-	0,0512	0,1755	0,0185	1,2688	33,3933	0,4019	-	-	1,3998	4,52	125	705
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	6,33	0,0453	0,0165	0,0764	0,0150	0,8773	10,3107	-	-	1,1425	-	5,04	253	560

Tabela A.67: Valores obtidos para a fracção particulada no ensaio de turbidez (96 horas após remeximento). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.

Ensaio Turbidez - 96h															
Amostras	Profundidade (cm)	pH (solução)	As (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µS/cm)	Turbidez (NTU)
CA1-14 [III]	20-40	6,22	-	0,0141	0,1591	0,0102	1,0091	1,1371	-	-	-	0,0624	4,93	279	1,89
	40-60	6,22	-	-	0,1517	-	0,9280	0,8467	0,0008	-	-	-	4,87	240	7,02
	60-80	6,22	-	0,0360	0,1763	0,0130	0,9866	1,1395	-	-	-	-	4,82	227	5,78
CA1-48 [III]	20-40	6,33	-	0,0250	0,1703	-	1,0555	19,5078	0,3126	-	-	2,9406	6,20	118	275
	60-80	6,33	-	0,0178	0,0602	-	1,0235	8,9384	0,0338	-	-	1,8999	4,83	144	149
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	6,33	-	-	0,1075	-	0,9247	3,7852	-	-	0,7813	-	5,21	257	89

Tabela A.68: Valores obtidos para a fracção particulada no ensaio de turbidez (168 horas – 7 dias após remeximento). C.E. corresponde à condutividade eléctrica medida nestas amostras.

Ensaio Turbidez 168h (7 Dias)															
Amostras	Profundidade (cm)	pH (solução)	As (mg.l ⁻¹)	Cd (mg.l ⁻¹)	Co (mg.l ⁻¹)	Cr (mg.l ⁻¹)	Cu (mg.l ⁻¹)	Fe (mg.l ⁻¹)	Mn (mg.l ⁻¹)	Ni (mg.l ⁻¹)	Pb (mg.l ⁻¹)	Zn (mg.l ⁻¹)	pH Final	C.E. (µS/cm)	Turbidez (NTU)
CA1-14 [III]	20-40	6,22	-	-	0,0913	-	0,7989	0,7552	-	-	-	-	4,97	261	0,93
	40-60	6,22	-	0,0258	0,1669	-	0,9152	0,7331	-	-	-	-	4,87	260	1,86
	60-80	6,22	-	0,0129	0,0770	-	0,9151	0,9294	-	-	-	-	4,84	232	1,42
CA1-48 [III]	20-40	6,33	-	0,0319	0,1038	-	0,8233	7,4017	0,1587	-	0,0594	1,8449	6,46	113	82,6
	60-80	6,33	-	0,0321	0,0420	-	0,9976	4,4468	-	-	-	0,7326	4,82	147	45,4
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	6,33	-	0,0389	0,1271	-	0,8729	2,5575	-	-	0,0727	-	5,30	269	33,1

Tabela A.69: Percentagens de areia, silte e argila obtidos para as amostras de sedimento e respectiva classificação segundo o diagrama triangular de Shepard.

Amostras	Profundidade (cm)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Diagrama Triangular de Shepard
CA0-1A	0-10	86,416	8,809	4,776	Areia
	10-20	60,559	38,861	0,580	Areia Siltosa
CA0-2A	0-5	65,888	20,336	13,776	Areia Siltosa
	5-10	90,359	5,093	4,548	Areia
	10-15	87,619	4,793	7,588	Areia
CA0-3A	0-5	90,542	6,107	3,351	Areia
	5-10	83,345	11,075	5,580	Areia
	10-15	93,579	3,928	2,493	Areia
CA1-14	0-5	49,498	34,426	16,076	Areia Siltosa
	5-10	56,613	28,791	14,596	Areia Siltosa
	10-15	77,442	16,425	6,133	Areia
	15-20	75,098	16,254	8,649	Areia
	20-40	66,301	23,957	9,742	Areia Siltosa
	40-60	20,172	41,368	38,461	Areia - Silte - Argila
	60-80	18,535	44,278	37,187	Silte Argiloso
	80-100	45,120	31,780	23,099	Areia - Silte - Argila
CA1-14 Sed. Córrego Draga	0-20	9,181	43,426	47,393	Argila Siltosa
CA1-14 [III]	0-20	36,588	44,327	19,085	Silte Arenoso
	20-40	26,452	46,407	27,141	Areia - Silte - Argila
	40-60	42,617	39,101	18,282	Areia Siltosa
	60-80	36,355	40,449	23,196	Areia - Silte - Argila
	80-100	40,740	40,266	18,994	Areia Siltosa
	100-120	35,873	40,227	23,900	Areia - Silte - Argila
CA1-22	0-5	40,288	31,752	27,961	Areia - Silte - Argila
	5-10	59,621	23,056	17,323	Areia Siltosa
	10-15	86,785	7,380	5,835	Areia
	15-20	38,884	34,826	26,290	Areia - Silte - Argila
	20-40	47,993	39,800	12,207	Areia Siltosa
	40-60	29,503	38,838	31,658	Areia - Silte - Argila
	60-80	46,548	30,963	22,489	Areia - Silte - Argila
	80-100	73,648	15,416	10,936	Areia Siltosa
CA1-22 [III]	0-20	43,654	10,708	45,637	Argila Arenosa
	20-40	27,365	37,263	35,372	Areia - Silte - Argila
	40-60	38,930	31,288	29,782	Areia - Silte - Argila
	60-80	29,156	42,199	28,645	Areia - Silte - Argila
	80-100	56,539	28,224	15,237	Areia Siltosa
CA1-24 Sed Sup [III]	0-10	48,399	33,912	17,689	Areia Siltosa
CA1-26 [III]	0-5	37,237	34,869	27,895	Areia - Silte - Argila
	5-10	26,151	37,980	35,870	Areia - Silte - Argila

	10-15	65,712	22,484	11,804	Areia Siltosa
	15-20	24,936	37,532	37,532	Areia - Silte - Argila
	20-25	30,585	40,188	29,227	Areia - Silte - Argila
	25-30	28,207	43,874	27,920	Areia - Silte - Argila
	30-35	14,882	36,067	49,051	Argila Siltosa
CA1-26 Nível Verm. [III]	0-10	35,402	48,317	16,281	Silte Arenoso
CA1-26 Sed.	0-20	86,618	7,827	5,555	Areia
CA1-27 Sed Sup [III]	0-5	25,985	38,770	35,245	Areia - Silte - Argila
CA1-27	0-5	14,161	78,918	6,921	Silte
	5-10	20,588	38,376	41,036	Areia - Silte - Argila
	10-15	36,063	26,558	37,378	Areia - Silte - Argila
	15-20	7,420	11,191	81,389	Argila
	20-25	14,036	45,392	40,572	Silte Argiloso
	25-30	15,666	44,596	39,739	Silte Argiloso
	30-35	13,069	41,967	44,964	Argila Siltosa
	35-40	13,681	41,966	44,354	Argila Siltosa
	40-43	9,692	44,890	45,418	Argila Siltosa
CA1-27A Draga [III]	0-10	89,997	5,930	4,073	Areia
CA1-28 Draga [III]	0-5	55,111	28,399	16,490	Areia Siltosa
CA1-28	0-5	35,580	36,712	27,707	Areia - Silte - Argila
	5-10	24,649	41,718	33,633	Areia - Silte - Argila
	10-15	20,521	76,693	2,786	Silte
	15-20	12,802	45,965	41,233	Silte Argiloso
	20-25	25,626	41,592	32,782	Areia - Silte - Argila
	25-30	25,365	40,661	33,974	Areia - Silte - Argila
	30-35	58,833	23,038	18,129	Areia Siltosa
	35-37	28,879	36,304	34,817	Areia - Silte - Argila
	37-40	28,185	34,112	37,703	Areia - Silte - Argila
CA1-29	0-5	51,362	31,344	17,293	Areia Siltosa
	5-10	59,951	27,620	12,429	Areia Siltosa
	10-15	70,374	16,998	12,627	Areia Siltosa
	15-20	23,260	47,710	29,031	Areia - Silte - Argila
	20-25	13,890	51,837	34,273	Silte Argiloso
	25-30	12,897	51,717	35,385	Silte Argiloso
	30-35	18,841	44,839	36,320	Silte Argiloso
	35-40	13,988	50,725	35,287	Silte Argiloso
	40-43	11,711	50,675	37,614	Silte Argiloso
	43-46	13,737	53,426	32,837	Silte Argiloso
CA1-29 Sup [III]	0-10	46,813	34,230	18,958	Areia Siltosa
CA1-29 [III]	0-5	20,504	47,330	32,166	Areia - Silte - Argila
	5-10	18,280	52,004	29,716	Silte Argiloso
	10-15	12,961	51,889	35,151	Silte Argiloso
	15-20	2,044	65,115	32,841	Silte Argiloso

	20-25	9,268	45,366	45,366	Silte Argiloso
	25-30	5,365	56,027	38,607	Silte Argiloso
	30-35	12,288	45,286	42,426	Silte Argiloso
	35-41	11,655	45,059	43,287	Silte Argiloso
	41-46	36,008	37,968	26,023	Areia - Silte - Argila
	2,50 m	70,222	19,412	10,366	Areia Siltosa
CA1-32 Sed [III]	0-20	13,805	47,823	38,372	Silte Argiloso
CA1-32	0-10	58,322	23,914	17,764	Areia Siltosa
	10-20	43,432	37,123	19,445	Areia Siltosa
	20-30	43,883	22,565	33,551	Areia - Silte - Argila
	30-40	30,505	41,824	27,672	Areia - Silte - Argila
	40-50	46,641	20,757	32,602	Areia - Silte - Argila
	50-60	58,469	25,935	15,595	Areia Siltosa
	60-70+	58,669	26,915	14,416	Areia Siltosa
CA1-35	0-10	65,500	21,023	13,476	Areia Siltosa
	10-20	62,636	25,439	11,925	Areia Siltosa
	20-30	54,744	30,349	14,906	Areia Siltosa
	30-40	51,358	31,915	16,728	Areia Siltosa
	40-50	54,213	30,316	15,471	Areia Siltosa
	50-60	54,439	29,767	15,795	Areia Siltosa
	60-80	60,963	16,169	22,868	Areia Argilosa
	80-100	58,469	24,756	16,775	Areia Siltosa
CA1-35 [III]	0-20	54,272	29,335	16,393	Areia Siltosa
	20-40	51,403	33,219	15,377	Areia Siltosa
	40-60	55,508	29,414	15,078	Areia Siltosa
	60-80	55,441	26,768	17,791	Areia Siltosa
	80-100	52,921	31,249	15,831	Areia Siltosa
CA1-47	0-5	20,965	45,757	33,278	Areia - Silte - Argila
	5-10	8,047	54,202	37,751	Silte Argiloso
	10-15	38,995	33,252	27,753	Areia - Silte - Argila
	15-20	37,013	38,953	24,035	Areia - Silte - Argila
	20-25	48,893	32,904	18,202	Areia Siltosa
	25-30	29,811	41,634	28,555	Areia - Silte - Argila
	30-35	37,651	37,787	24,562	Areia - Silte - Argila
	35-40	4,973	51,702	43,325	Silte Argiloso
	40-42	13,406	45,499	41,096	Silte Argiloso
	42-45	27,286	43,135	29,579	Areia - Silte - Argila
CA1-48 [III]	0-20	49,933	32,327	17,740	Areia Siltosa
	20-40	45,810	41,375	12,814	Areia Siltosa
	40-60	39,978	43,557	16,465	Silte Arenoso
	60-80	61,750	18,856	19,394	Areia Argilosa
	80-100	65,929	24,863	9,208	Areia Siltosa
CA1-51 Sed [III]	0-20	89,689	7,803	2,508	Areia
CA1-52 Core Sup [III]	0-20	67,728	22,081	10,191	Areia Siltosa

CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	63,875	11,716	24,409	Areia Argilosa
CA1-53 [III]	0-5	10,013	55,650	34,337	Silte Argiloso
	5-10	18,474	54,350	27,175	Silte Argiloso
	10-15	8,533	44,157	47,311	Argila Siltosa
	15-20	13,510	63,967	22,524	Silte Argiloso
	20-25	17,431	62,348	20,221	Silte Argiloso
	25-30	13,331	64,741	21,928	Silte Argiloso
	30-35	5,551	58,687	35,762	Silte Argiloso
	35-40	9,187	55,423	35,390	Silte Argiloso
	40-45	2,437	50,082	47,481	Silte Argiloso
	45-50	1,639	45,193	53,168	Argila Siltosa
	50-55	75,892	14,867	9,242	Areia
CA1-53 Core [III]	0-10	88,468	7,521	4,011	Areia
CA3-16 Sed	0-5	67,057	14,709	18,233	Areia Argilosa
CA3-36 Sup	0-5	30,304	34,120	35,576	Areia - Silte - Argila
CA3-38	0-10	44,544	35,051	20,405	Areia - Silte - Argila
	10-20	56,767	28,762	14,471	Areia Siltosa
	20-30	49,528	35,198	15,275	Areia Siltosa
	30-40	55,001	30,729	14,270	Areia Siltosa
	40-50	45,938	38,272	15,790	Areia Siltosa
	50-60	66,400	26,077	7,522	Areia Siltosa
	60-80	54,338	31,410	14,251	Areia Siltosa
	80-100	54,305	27,299	18,397	Areia Siltosa
CA3-38 [III]	0-20	77,372	16,208	6,419	Areia
	20-40	38,198	41,296	20,506	Areia - Silte - Argila
	40-60	60,768	27,938	11,294	Areia Siltosa
	60-80	70,130	19,124	10,746	Areia Siltosa
	80-100	47,406	35,811	16,784	Areia Siltosa
	1,20 m	47,047	35,247	17,706	Areia Siltosa
CA3-39 Esc. Grotta Seca	0-5	13,562	51,587	34,851	Silte Argiloso
CA5-44	0-20	22,752	30,563	46,685	Areia - Silte - Argila
	20-40	27,722	29,367	42,911	Areia - Silte - Argila
	40-60	20,334	31,365	48,301	Areia - Silte - Argila
BG-45	0-20	48,685	29,842	21,473	Areia - Silte - Argila
	20-40	58,321	31,336	10,343	Areia Siltosa
	40-60	57,145	30,142	12,712	Areia Siltosa
	60-80	55,742	30,473	13,785	Areia Siltosa
BG-46	0-20	80,116	13,451	6,433	Areia
	20-40	92,041	5,253	2,706	Areia

Tabela A.70: Percentagens de areia, silte e argila obtidos para as amostras de aluviões e respectiva classificação segundo o diagrama triangular de Shepard.

Amostras	Profundidade (cm)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Diagrama Triangular de Shepard
CA0-2B	0-20	67,628	13,044	19,329	Areia Argilosa
	20-40	60,258	25,527	14,215	Areia Siltosa
	40-60	60,691	22,894	16,415	Areia Siltosa
CA1-13	0-20	40,838	37,450	21,712	Areia - Silte - Argila
	20-40	59,097	24,061	16,842	Areia Siltosa
	40-60	61,994	25,107	12,899	Areia Siltosa
	60-80	63,987	21,698	14,315	Areia Siltosa
	80-100	67,751	20,847	11,402	Areia Siltosa
	2,50 m	83,076	11,773	5,151	Areia
CA1-20	0-20	87,783	7,716	4,501	Areia
	20-40	61,578	25,136	13,286	Areia Siltosa
	40-60	43,576	37,246	19,179	Areia Siltosa
CA1-21	0-20	41,663	30,681	27,656	Areia - Silte - Argila
	20-40	56,277	21,193	22,530	Areia - Silte - Argila
	40-60	27,923	10,650	61,427	Argila Arenosa
	60-80	28,877	45,513	25,610	Areia - Silte - Argila
	80-100	30,496	40,636	28,867	Areia - Silte - Argila
CA1-21 (lixí)	0-20	54,683	28,522	16,795	Areia Siltosa
	20-40	25,608	2,011	72,381	Argila Arenosa
	40-60	46,625	32,430	20,945	Areia - Silte - Argila
CA1-23	0-20	63,480	24,476	12,045	Areia Siltosa
	20-40	27,159	45,144	27,697	Areia - Silte - Argila
	40-60	31,863	44,424	23,713	Areia - Silte - Argila
	60-80	35,531	40,771	23,698	Areia - Silte - Argila
	80-100	42,000	28,775	29,225	Areia - Silte - Argila
CA1-23 [III]	0-5	5,135	34,176	60,689	Argila Siltosa
	5-10	29,298	46,125	24,577	Areia - Silte - Argila
	10-15	60,718	28,142	11,140	Areia Siltosa
	15-20	57,355	28,430	14,215	Areia Siltosa
	20-25	3,585	68,147	28,268	Silte Argiloso
	25-30	32,508	44,516	22,976	Areia - Silte - Argila
	30-33	60,365	26,812	12,823	Areia Siltosa
CA1-30	0-20	21,321	42,687	35,991	Areia - Silte - Argila
	20-40	9,529	48,757	41,714	Silte Argiloso
CA1-31	0-20	4,874	52,990	42,136	Silte Argiloso
	20-40	6,602	53,114	40,284	Silte Argiloso
	40-60	10,931	49,423	39,646	Silte Argiloso
CA1-34	0-20	53,826	29,208	16,966	Areia Siltosa
	20-40	52,509	30,037	17,454	Areia Siltosa
	40-60	51,211	30,384	18,405	Areia Siltosa

	60-80	51,211	31,584	17,204	Areia Siltosa
	80-100	50,059	31,125	18,815	Areia Siltosa
CA2-10	0-20	17,645	65,676	16,680	Silte Arenoso
	20-40	7,648	71,002	21,350	Silte Argiloso
	40-60	72,539	19,647	7,814	Areia Siltosa
	60-80	69,986	11,709	18,305	Areia Argilosa
	80-100	61,396	35,025	3,578	Areia Siltosa
	2,40 m	-	-	-	-
CA2-10 (lixí)	0-20	41,471	55,733	2,797	Silte Arenoso
	20-40	81,516	2,443	16,041	Areia
	40-60	63,873	17,949	18,178	Areia Argilosa
	60-80	19,599	52,683	27,717	Silte Argiloso
	80-100	13,011	48,628	38,362	Silte Argiloso
CA2-10A [III]	0-20	17,130	20,441	62,429	Argila Siltosa
	20-40	24,819	71,499	3,682	Silte Arenoso
	40-60	33,698	43,878	22,424	Areia - Silte - Argila
CA2-11	0-20	21,340	59,989	18,670	Silte Arenoso
	20-40	22,945	39,673	37,382	Areia - Silte - Argila
	40-60	22,409	42,925	34,666	Areia - Silte - Argila
CA2-12	0-20	13,704	53,242	33,054	Silte Argiloso
	20-40	2,199	49,005	48,796	Silte Argiloso
	40-60	1,664	46,326	52,010	Argila Siltosa
	60-80	4,791	49,675	45,535	Silte Argiloso
	80-100	2,096	47,814	50,091	Argila Siltosa
	2,70 m	24,208	75,373	0,419	Silte
CA3-18	0-20	40,168	39,769	20,064	Areia - Silte - Argila
	20-40	35,876	42,258	21,866	Areia - Silte - Argila
	40-60	44,468	12,484	43,048	Areia Argilosa
	60-80	67,966	19,364	12,670	Areia Siltosa
	80-100	45,579	34,350	20,072	Areia - Silte - Argila
	1,20-1,50 m	63,727	22,079	14,194	Areia Siltosa
CA3-37	0-10	25,616	39,830	34,554	Areia - Silte - Argila
	10-20	50,183	25,819	23,998	Areia - Silte - Argila
	20-40	31,629	28,938	39,433	Areia - Silte - Argila
	40-50	42,586	29,313	28,102	Areia - Silte - Argila
CA5-6	0-20	12,661	74,586	12,753	Silte Argiloso
	20-40	12,671	63,756	23,573	Silte Argiloso
	40-60	8,589	57,862	33,549	Silte Argiloso
CA5-8	0-20	41,870	41,047	17,083	Areia Siltosa
	20-40	65,167	32,929	1,905	Areia Siltosa
	40-60	73,099	17,991	8,910	Areia Siltosa

Tabela A.71: Densidade aparente, densidade das partículas e porosidade dos sedimentos.

Amostras	Profundidade (cm)	Densidade Aparente (g.cm ⁻³)	Densidade das Partículas (g.cm ⁻³)	Porosidade (%)
CA0-1A	0-10	2,041	2,633	22,485
	10-20	1,809	2,841	36,318
CA0-2A	0-5	2,109	2,743	23,124
	5-10	2,158	2,657	18,799
	10-15	2,193	2,720	19,375
CA0-3A	0-5	1,674	2,640	36,600
	5-10	1,791	2,689	33,400
	10-15	1,754	2,749	36,176
CA1-14	0-5	1,756	2,823	37,816
	5-10	1,606	2,815	42,935
	10-15	1,982	2,951	32,850
	15-20	1,864	2,886	35,406
	20-40	1,677	2,794	39,986
	40-60	1,638	2,600	36,998
	60-80	1,711	2,679	36,114
	80-100	1,555	2,629	40,851
CA1-14 Sed. Córrego Draga	0-20	1,562	2,729	42,769
CA1-22	0-5	1,507	2,519	40,1635
	5-10	1,790	2,802	36,1327
	10-15	1,804	2,610	30,8916
	15-20	1,575	2,700	41,6729
	20-40	1,647	2,624	37,2408
	40-60	1,741	2,632	33,8664
	60-80	1,791	2,708	33,8590
	80-100	1,749	2,733	36,0170
CA1-26 Sed.	0-20	2,207	3,083	28,418
CA1-27 Sed Sup [III]	0-5	1,479	2,612	43,386
CA1-27	0-5	1,362	2,693	49,425
	5-10	1,498	2,646	43,405
	10-15	1,448	2,746	47,248
	15-20	1,383	2,740	49,532
	20-25	1,540	2,691	42,771
	25-30	1,480	2,662	44,392
	30-35	1,394	2,612	46,639
	35-40	1,442	2,686	46,327
	40-43	1,551	2,686	42,250
CA1-28	0-5	1,660	2,529	34,354
	5-10	1,632	2,656	38,559
	10-15	1,507	2,623	42,524
	15-20	1,628	2,663	38,860

	20-25	1,686	2,597	35,106
	25-30	1,681	2,685	37,390
	30-35	1,661	2,660	37,530
	35-37	1,543	2,755	44,005
	37-40	1,348	2,640	48,936
CA1-29	0-5	1,582	2,537	37,618
	5-10	1,776	2,769	35,845
	10-15	1,907	2,669	28,528
	15-20	1,553	2,582	39,864
	20-25	1,485	2,594	42,739
	25-30	1,467	2,814	47,853
	30-35	1,459	2,640	44,739
	35-40	1,594	2,789	42,853
	40-43	1,538	2,624	41,367
	43-46	1,506	2,558	41,117
CA1-32	0-10	1,580	2,689	41,263
	10-20	1,339	2,756	51,416
	20-30	1,626	2,736	40,577
	30-40	1,524	2,601	41,406
	40-50	1,486	2,670	44,369
	50-60	1,582	2,713	41,703
	60-70+	1,657	2,706	38,766
CA1-35	0-10	1,884	2,677	29,637
	10-20	1,919	2,608	26,411
	20-30	1,851	2,671	30,687
	30-40	1,895	2,724	30,424
	40-50	1,887	2,603	27,490
	50-60	1,849	2,641	29,989
	60-80	1,965	2,679	26,654
	80-100	1,853	2,762	32,900
CA1-35 [III]	40-60	1,841	2,596	29,059
	60-80	1,931	2,764	30,111
	80-100	1,770	2,696	34,363
CA1-47	0-5	1,446	2,725	46,918
	5-10	1,165	2,779	58,089
	10-15	1,409	2,888	51,227
	15-20	1,653	2,564	35,549
	20-25	1,748	2,621	33,302
	25-30	1,428	2,805	49,081
	30-35	1,516	2,631	42,371
	35-40	1,392	2,624	46,957
	40-42	1,487	2,663	44,163
	42-45	1,102	2,838	61,150
CA3-16 Sed	0-5	1,957	2,958	33,834
CA3-36 Sup	0-5	1,737	2,748	36,800

CA3-38	0-10	1,578	2,664	40,789
	10-20	1,557	2,607	40,293
	20-30	1,665	2,744	39,307
	30-40	1,728	2,606	33,690
	40-50	1,750	2,524	30,673
	50-60	1,727	2,712	36,305
	60-80	1,770	2,612	32,242
	80-100	1,821	2,648	31,226
CA3-39 Esc. Grotta Seca	0-5	1,516	3,091	50,967
CA5-44	0-20	1,631	2,818	42,116
	20-40	1,651	2,852	42,134
	40-60	1,612	2,720	40,737
BG-45	0-20	1,692	2,566	34,047
	20-40	1,650	2,674	38,266
	40-60	1,708	2,663	35,857
	60-80	1,739	2,622	33,698
BG-46	0-20	2,006	2,744	26,891
	20-40	2,237	2,651	15,618

Tabela A.72: Densidade aparente, densidade das partículas e porosidade das aluviões.

Amostras	Profundidade (cm)	Densidade Aparente (g.cm ⁻³)	Densidade das Partículas (g.cm ⁻³)	Porosidade (%)
CA0-2B	0-20	1,862	2,661	30,020
	20-40	1,826	2,685	31,995
	40-60	1,774	2,580	31,247
CA1-13	0-20	1,658	2,739	39,471
	20-40	1,545	2,727	43,357
	40-60	1,625	2,657	38,847
	60-80	1,705	2,740	37,773
	80-100	1,832	2,639	30,572
CA1-20	0-20	1,511	2,625	42,4601
	20-40	1,529	2,392	36,0612
	40-60	1,445	2,647	45,4164
CA1-21	0-20	1,205	2,635	54,2674
	20-40	1,441	2,569	43,8927
	40-60	1,373	2,685	48,8514
	60-80	1,438	2,514	42,8009
	80-100	1,662	2,655	37,4030
CA1-21 (lixí)	0-20	1,685	2,577	34,6022
	20-40	1,296	2,541	49,0085
	40-60	1,493	2,601	42,6052
CA1-23	0-20	1,404	2,581	45,593
	20-40	1,637	2,704	39,476
	40-60	1,537	2,654	42,094
	60-80	1,878	2,671	29,673
	80-100	1,604	2,646	39,391
CA1-30	0-20	1,524	2,766	44,888
	20-40	1,335	2,706	50,662
CA1-31	0-20	1,484	2,610	43,142
	20-40	1,568	2,700	41,902
	40-60	1,550	2,679	42,132
CA1-34	0-20	1,417	2,719	47,869
	20-40	1,758	2,640	33,389
	40-60	1,881	2,702	30,392
	60-80	1,850	2,720	31,998
	80-100	1,880	2,802	32,927
CA2-10	20-40	1,407	3,275	57,027
	40-60	1,424	3,022	52,888
	60-80	1,769	3,160	44,042
	80-100	1,729	3,189	45,784
CA2-10 (lixí)	0-20	1,601	2,804	42,890
	20-40	2,156	3,431	37,151

	40-60	1,884	3,529	46,609
	60-80	1,327	2,955	55,074
	80-100	1,472	2,603	43,430
CA2-10A [III]	0-20	1,644	2,734	39,862
	20-40	1,613	2,756	41,460
	40-60	1,701	2,728	37,649
CA2-11	0-20	1,639	2,806	41,597
	20-40	1,628	2,618	37,804
	40-60	1,740	2,598	33,052
CA2-12	0-20	1,266	2,760	54,142
	20-40	1,302	2,892	54,981
	40-60	1,341	2,883	53,479
	60-80	1,460	2,691	45,735
	80-100	1,266	2,826	55,202
CA3-18	0-20	1,354	2,743	50,634
	20-40	1,730	2,736	36,775
	40-60	1,477	2,701	45,314
	60-80	1,940	2,708	28,365
	80-100	1,738	2,648	34,367
CA3-37	0-10	1,725	2,831	39,079
	10-20	1,890	2,729	30,756
	20-40	1,771	2,677	33,825
	40-50	1,878	2,943	36,212
CA5-6	0-20	1,306	2,873	54,535
	20-40	1,569	2,720	42,302
	40-60	1,520	2,706	43,833
CA5-8	0-20	1,663	2,716	38,767
	20-40	1,698	2,787	39,082
	40-60	1,733	2,654	34,719

Tabela A.73: Valores obtidos para o Factor de Enriquecimento nos sedimentos.

		Factor de Enriquecimento								
		As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
CA1-14	0-5	11,95	15,96	2,22	0,21	2,25	13,26	1,47	38,99	256,73
	5-10	9,20	11,02	1,21	0,11	2,02	12,97	1,08	39,61	228,31
	10-15	8,50	5,83	0,64	0,03	1,53	5,90	0,67	35,24	229,79
	15-20	7,71	12,15	0,30	0,04	1,70	5,87	0,78	39,67	235,65
	20-40	17,64	10,46	0,26	0,07	2,85	5,02	0,92	57,80	247,97
	40-60	3,38	36,10	0,76	0,35	1,72	2,27	2,00	26,00	194,07
	60-80	0,04	15,89	0,75	0,46	1,87	1,79	2,31	13,65	97,81
	80-100	0,97	12,18	0,53	0,32	2,47	1,89	1,55	24,76	130,75
CA1-14 Sed. Córrego Draga	0-20	0,05	47,88	0,51	0,66	1,38	0,79	2,79	1,98	30,10
CA1-14 [III]	0-20	3,66	34,18	1,41	0,59	6,19	10,79	2,54	37,46	141,68
	20-40	5,85	23,81	1,54	0,51	5,54	11,75	2,50	41,84	183,21
	40-60	6,11	17,32	1,14	0,49	5,00	10,00	2,39	45,98	188,93
	60-80	13,80	27,98	1,26	0,49	5,43	6,54	2,65	107,20	383,67
	80-100	3,14	27,75	0,92	0,44	4,46	3,85	2,07	55,90	160,55
	100-120	0,09	7,42	1,26	0,68	3,10	3,58	3,08	14,50	68,58
	1,30 m	8,64	45,19	1,97	0,43	5,76	7,63	2,40	82,18	293,76
	1,40 m	6,68	26,59	1,00	0,35	4,72	6,77	1,84	61,61	231,92
CA1-22	0-5	2,25	53,66	0,59	0,37	1,96	3,52	1,79	17,43	81,54
	5-10	3,98	47,86	1,09	0,49	1,53	3,65	1,54	11,29	62,23
	10-15	4,32	46,43	1,03	0,44	1,35	2,53	1,56	8,75	56,38
	15-20	7,88	65,79	2,18	0,44	1,56	2,98	2,02	21,48	62,72
	20-40	6,65	74,49	3,46	0,35	1,90	3,58	1,62	25,95	185,14
	40-60	5,50	52,88	2,69	0,40	1,58	2,74	1,68	16,41	68,43
	60-80	0,04	51,24	1,18	0,56	2,14	3,78	1,74	14,44	65,97
	80-100	5,67	103,29	2,45	0,51	4,08	5,13	1,98	24,28	92,58
CA1-22 [III]	0-20	0,06	78,82	2,29	0,68	3,77	5,40	2,57	14,93	86,00
	20-40	0,06	77,86	1,74	0,63	3,51	4,62	2,45	19,55	90,65
	40-60	0,05	94,75	1,84	0,66	3,63	4,68	2,53	24,37	106,19
	60-80	0,05	80,63	1,15	0,62	3,89	5,08	2,25	41,88	133,35
	80-100	4,26	84,55	1,80	0,84	8,01	3,85	2,30	90,06	246,77
CA1-24 Sed Sup [III]	0-10	4,26	60,36	1,63	0,59	4,77	9,04	2,67	66,73	230,75
CA1-26 [III]	0-5	5,33	0,42	0,84	0,09	2,56	0,75	1,33	132,68	176,62
	5-10	6,90	2,31	1,00	0,12	2,95	1,04	1,73	156,72	175,54
	10-15	9,34	0,97	0,99	0,09	3,03	1,46	1,35	196,90	228,19
	15-20	8,71	0,54	0,90	0,08	2,03	0,98	1,39	127,91	154,09
	20-25	0,25	14,67	0,81	0,37	2,53	1,74	2,25	124,74	167,22
	25-30	1,58	7,35	0,94	0,43	3,20	1,98	2,51	119,44	181,79
	30-35	1,93	5,55	0,95	0,39	2,57	1,91	2,39	144,70	183,40
CA1-26 Nível Verm. [III]	0-10	1,29	4,55	0,41	0,11	2,75	0,33	0,97	115,91	161,41
CA1-26 Sed.	0-20	0,97	12,51	0,61	0,33	1,46	3,68	1,16	21,38	125,43

CA1-27 Sed Sup [III]	0-5	0,07	0,05	0,84	1,09	1,43	0,89	4,02	0,40	4,89
CA1-27	0-5	0,05	28,23	1,02	0,82	2,69	1,15	3,04	5,84	35,66
	5-10	0,04	2,71	0,61	0,64	1,06	0,64	2,41	1,56	11,82
	10-15	0,04	0,02	0,58	0,54	1,08	0,75	2,08	0,59	4,71
	15-20	0,04	0,03	0,91	0,69	1,29	1,50	2,81	0,81	4,22
	20-25	0,05	3,82	0,89	0,80	1,41	1,11	3,36	2,70	11,03
	25-30	0,04	1,03	0,61	0,69	1,18	0,62	2,63	0,77	5,45
	30-35	0,04	0,03	0,70	0,75	1,28	1,29	2,94	0,97	6,09
	35-40	0,05	0,03	0,83	0,89	1,24	0,93	3,32	0,54	4,28
	40-43	0,06	3,93	0,85	1,03	1,37	1,04	3,83	0,29	3,01
CA1-27A Draga [III]	0-10	3,30	16,06	1,18	0,40	1,88	5,98	1,37	41,58	243,61
CA1-28 Draga [III]	0-5	7,21	41,03	1,30	0,31	1,77	3,20	2,58	84,29	132,86
CA1-28	0-5	0,08	0,05	1,34	0,95	1,44	2,09	3,72	0,68	9,36
	5-10	0,06	0,04	0,71	0,52	0,83	1,34	2,35	0,62	6,54
	10-15	0,07	4,71	1,30	1,00	1,77	2,00	4,24	1,93	19,23
	15-20	0,10	0,07	1,31	1,25	1,72	2,21	5,43	1,02	9,28
	20-25	0,12	9,80	1,32	1,43	1,45	1,91	5,69	0,46	3,18
	25-30	0,03	0,02	0,42	0,47	0,35	0,47	1,86	0,00	0,77
	30-35	0,03	0,02	0,50	0,33	0,79	0,85	1,30	0,49	0,92
	35-37	0,06	0,04	0,77	0,61	1,93	1,66	2,41	0,97	1,36
	37-40	0,03	0,02	0,45	0,43	0,62	0,57	1,79	0,28	1,60
CA1-29	0-5	0,43	55,95	1,73	0,81	3,90	8,42	2,78	50,72	293,19
	5-10	0,07	33,33	1,09	0,70	1,85	3,18	2,03	12,08	86,13
	10-15	0,05	29,28	2,35	0,49	1,28	3,79	1,78	9,48	54,07
	15-20	0,03	0,02	0,52	0,38	0,75	3,13	1,57	0,34	12,96
	20-25	0,06	35,25	1,00	0,68	1,12	4,27	2,85	0,55	9,61
	25-30	0,06	0,04	0,81	0,67	1,07	3,49	2,69	0,53	4,78
	30-35	0,06	0,04	0,83	0,67	1,05	3,31	2,63	0,64	2,68
	35-40	0,05	0,04	0,84	0,63	1,02	3,93	2,57	0,43	2,78
	40-43	0,04	481,79	1,01	0,73	2,40	4,72	3,37	35,25	13,54
	43-46	0,04	0,03	0,96	0,56	1,44	4,25	2,25	12,10	28,35
CA1-29 Sup [III]	0-10	0,05	43,07	1,30	0,68	2,00	4,63	2,60	23,87	133,31
CA1-29 [III]	0-5	0,05	55,58	1,21	0,65	1,90	4,85	2,69	9,14	38,00
	5-10	0,06	0,04	1,04	0,69	1,30	4,03	2,88	0,69	2,78
	10-15	0,06	0,04	1,05	0,69	1,42	6,20	3,02	0,38	2,89
	15-20	0,05	0,03	0,94	0,72	1,29	6,28	2,91	0,18	1,88
	20-25	0,05	0,04	1,04	0,73	1,30	6,42	3,15	0,37	1,93
	25-30	0,06	0,04	1,07	0,71	1,35	6,20	3,10	0,22	1,96
	30-35	0,05	0,03	0,88	0,62	1,17	4,94	2,62	0,21	1,95
	35-41	0,05	0,04	1,09	0,73	1,33	7,40	3,04	0,38	1,51
	41-46	0,08	0,05	1,06	0,88	1,41	5,24	3,31	0,56	1,45
	2,50 m	9,35	41,44	1,61	0,40	4,41	13,05	1,72	114,70	322,88
CA1-32 Sed [III]	0-20	5,97	80,75	1,07	0,52	4,07	5,77	2,20	51,36	276,33
CA1-32	0-10	0,09	46,27	0,69	0,35	1,70	3,14	1,21	30,06	134,67

	10-20	0,04	44,62	0,60	0,39	1,50	1,88	1,56	17,48	93,22
	20-30	0,03	56,69	0,79	0,38	1,67	3,43	1,41	19,97	108,83
	30-40	0,04	40,51	0,78	0,45	1,56	2,09	1,57	15,11	69,07
	40-50	0,05	49,51	0,77	0,54	2,04	2,71	1,98	22,44	82,71
	50-60	2,94	56,75	0,72	0,28	2,50	3,91	1,21	40,07	155,43
	60-70+	3,34	52,08	0,70	0,33	2,57	4,55	1,22	44,20	156,73
CA1-35	0-10	0,07	14,11	0,80	0,52	1,15	1,72	1,67	3,88	18,49
	10-20	0,09	12,71	0,94	0,62	1,18	1,41	2,08	3,15	14,11
	20-30	0,15	3,17	1,40	0,84	1,68	2,09	3,02	1,11	6,88
	30-40	0,13	2,53	1,31	0,89	1,71	2,15	3,09	1,27	6,54
	40-50	0,09	4,27	0,96	0,60	1,07	1,35	2,13	1,64	7,56
	50-60	0,09	2,80	0,81	0,56	0,98	0,99	2,07	0,82	4,49
	60-80	0,11	3,92	0,74	0,65	1,13	1,04	2,19	1,94	7,96
	80-100	0,09	1,55	0,74	0,61	1,06	1,01	2,19	1,15	5,76
CA1-35 [III]	0-20	0,13	3,14	1,58	0,82	1,78	2,33	3,00	1,68	12,48
	20-40	0,12	1,88	1,34	0,84	1,47	1,69	3,15	1,78	10,26
	40-60	0,13	8,63	1,58	0,93	1,83	2,34	3,00	3,51	20,91
	60-80	0,12	1,23	1,09	0,83	1,41	1,38	2,99	1,01	6,02
	80-100	0,12	5,33	1,02	0,79	1,49	1,32	2,87	0,97	5,35
CA1-47	0-5	0,04	36,16	0,98	0,75	1,33	3,98	2,98	2,03	4,69
	5-10	0,04	29,80	0,96	0,66	1,30	4,32	2,90	1,80	4,99
	10-15	0,05	18,62	0,86	0,74	1,28	4,18	2,95	3,20	6,01
	15-20	0,05	21,48	0,81	0,82	1,26	3,63	2,86	2,51	7,29
	20-25	0,04	7,45	0,80	0,61	1,14	4,80	2,61	0,76	1,88
	25-30	0,04	6,67	0,80	0,68	1,09	4,06	2,71	1,29	1,35
	30-35	0,06	18,89	0,82	0,68	1,15	3,21	3,07	2,56	2,22
	35-40	0,04	4,31	0,85	0,53	1,07	4,84	2,48	0,53	1,39
	40-42	0,04	4,78	0,77	0,58	1,09	3,80	2,43	1,20	2,97
	42-45	0,04	5,30	0,77	0,57	1,00	3,88	2,49	0,33	1,20
CA1-48 [III]	0-20	0,07	53,39	1,09	0,94	1,93	3,15	2,20	14,28	59,63
	20-40	0,07	106,01	1,67	0,74	3,31	8,58	2,50	22,83	96,71
	40-60	0,08	52,10	1,27	0,67	3,22	4,31	2,30	24,87	106,37
	60-80	12,09	40,00	1,19	0,54	4,55	2,42	2,44	40,99	125,92
	80-100	7,37	34,46	1,82	0,57	3,79	4,62	2,29	50,36	123,37
CA1-51 Sed [III]	0-20	8,56	58,35	0,91	0,47	3,16	6,43	1,26	88,90	255,89
CA1-52 Core Sup [III]	0-20	6,72	13,30	0,46	0,09	2,37	4,30	0,95	108,92	196,43
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	14,62	4,38	0,89	0,10	2,32	3,08	1,32	170,31	200,40
CA1-53 [III]	0-5	7,87	4,90	0,84	0,07	1,86	2,22	1,22	161,57	181,96
	5-10	11,90	1,56	1,10	0,07	1,62	2,27	1,49	154,34	214,24
	10-15	15,35	2,09	0,89	0,07	2,17	1,78	1,36	169,11	174,93
	15-20	10,46	1,21	0,61	0,05	1,53	1,96	1,07	128,29	139,50
	20-25	13,69	1,10	0,79	0,07	1,95	3,38	1,13	176,47	131,13
	25-30	5,47	9,11	0,98	0,27	3,23	4,29	1,95	176,87	165,69
	30-35	7,99	5,27	1,21	0,34	3,91	3,93	2,27	154,90	144,89

	35-40	9,34	4,35	1,11	0,17	3,76	2,10	1,71	159,91	133,95
	40-45	6,59	6,42	1,34	0,33	3,82	3,76	2,24	168,62	158,72
	45-50	5,34	4,87	1,46	0,32	2,59	3,32	2,28	178,88	164,65
	50-55	17,57	6,81	1,26	0,16	1,34	1,38	0,69	29,97	154,76
CA1-53 Core [III]	0-10	5,20	4,87	0,55	0,12	1,85	2,69	0,84	77,56	196,88
CA3-16 Sed	0-5	6,88	40,42	0,88	0,46	1,45	6,88	0,86	24,91	184,74
CA3-36 Sup	0-5	0,04	52,48	1,70	0,50	2,02	4,66	1,86	10,36	49,69
CA3-38	0-10	0,06	111,66	1,30	0,65	4,88	4,50	2,44	17,21	65,45
	10-20	0,05	62,13	1,13	0,59	2,04	4,24	2,10	13,23	59,77
	20-30	1,14	81,03	1,10	0,56	3,69	4,61	2,12	16,00	70,52
	30-40	0,05	70,66	1,16	0,52	3,31	3,72	2,10	11,57	44,73
	40-50	0,06	67,82	1,05	0,61	2,29	3,96	2,13	10,62	44,13
	50-60	0,09	38,98	0,78	0,65	1,26	2,23	2,06	6,80	31,98
	60-80	0,06	39,37	0,95	0,59	1,72	2,89	2,01	7,27	31,67
	80-100	0,07	46,20	0,89	0,57	1,88	2,84	1,98	8,94	36,04
CA3-38 [III]	0-20	0,14	31,13	1,69	1,01	1,96	3,39	3,06	3,92	19,54
	20-40	0,09	34,47	1,34	0,78	1,97	3,25	2,75	8,56	43,76
	40-60	0,13	47,56	1,97	0,88	1,82	3,91	3,38	7,99	40,89
	60-80	0,07	56,47	1,33	0,68	2,09	4,14	2,38	11,04	50,18
	80-100	0,10	42,43	1,44	0,86	1,96	4,38	2,65	10,15	44,44
	1,20 m	0,09	46,84	1,49	0,79	2,31	4,23	2,91	9,01	46,70
CA3-39 Esc. Grotta Seca	0-5	4,29	80,42	0,79	0,49	3,95	5,02	2,02	39,86	182,07
CA5-44	0-20	0,04	77,97	0,78	0,51	3,24	1,11	2,20	5,55	36,26
	20-40	0,05	121,44	1,06	0,58	5,24	1,31	2,42	6,32	40,03
	40-60	0,04	65,21	0,95	0,47	4,94	1,37	2,12	5,75	31,71
BG-45	0-20	0,05	3,40	0,57	0,64	1,50	1,40	2,27	0,96	10,15
	20-40	0,07	10,44	0,96	0,67	1,60	1,31	2,38	2,36	27,74
	40-60	0,07	7,29	1,01	0,67	1,76	1,85	2,52	2,31	26,81
	60-80	0,07	6,61	0,59	0,69	1,47	1,10	2,84	1,55	16,82
BG-46	0-20	0,04	1,10	1,30	0,96	1,16	1,74	1,38	1,65	2,30
	20-40	0,02	0,01	0,68	0,88	1,12	1,33	0,86	0,99	1,12

Categorias – Factor de Enriquecimento	
< 2	Depleção ou Enriquecimento Mínimo
2-5	Enriquecimento Moderado
5-20	Enriquecimento Significativo
20-40	Enriquecimento Muito Elevado
> 40	Enriquecimento Extremamente Elevado

Tabela A.74: Valores obtidos para o Factor de Enriquecimento nas aluviões.

		Factor de Enriquecimento								
		As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
CA1-13	0-20	6,95	399,16	1,03	0,87	4,55	1,27	1,15	9,28	48,93
	20-40	11,45	401,69	0,91	0,81	3,95	1,48	1,01	16,37	66,87
	40-60	15,59	345,57	0,82	0,76	3,49	2,49	0,90	15,78	63,50
	60-80	2,92	1203,21	0,62	0,85	10,22	1,21	0,96	34,79	124,18
	80-100	5,42	311,95	0,30	0,33	5,27	1,24	0,47	37,07	153,67
	2,50 m	6,30	37,67	0,43	0,16	5,77	1,03	0,43	30,51	157,75
CA1-20	0-20	0,15	83,10	1,76	0,74	0,84	0,85	0,93	3,31	6,25
	20-40	0,20	18,25	1,94	1,01	0,98	1,07	1,03	2,00	5,06
	40-60	0,18	17,31	1,17	0,96	0,89	1,12	1,02	1,53	3,79
CA1-21	0-20	1,01	117,71	2,02	0,93	1,28	1,31	1,00	3,75	13,68
	20-40	5,52	324,35	1,85	0,92	2,15	0,90	1,05	8,08	29,26
	40-60	1,41	397,74	0,97	0,94	3,84	0,58	1,06	16,73	43,39
	60-80	0,10	388,41	0,72	0,85	4,60	1,34	0,99	11,50	41,06
	80-100	0,15	660,79	1,14	1,65	8,50	2,64	1,65	20,02	82,15
CA1-21 (lixí)	0-20	0,21	5484,07	1,50	1,79	21,92	1,62	1,65	17,10	36,07
	20-40	0,12	617,37	0,76	1,21	6,33	0,76	1,33	14,24	50,59
	40-60	0,14	373,00	0,85	1,31	5,02	1,05	1,26	11,61	41,56
CA1-23	0-20	5,02	199,07	2,20	0,85	1,72	0,83	0,91	8,40	41,71
	20-40	11,74	264,92	1,30	0,88	1,80	1,10	1,03	6,73	23,80
	40-60	4,50	322,59	0,91	0,79	2,08	1,17	1,03	9,27	34,14
	60-80	0,12	279,88	0,82	1,08	4,25	1,29	1,08	11,75	46,52
	80-100	0,10	326,49	0,68	0,93	5,83	1,38	1,07	23,35	94,26
CA1-23 [III]	0-5	0,11	187,85	0,85	1,17	7,40	0,73	1,40	28,86	70,61
	5-10	0,14	198,45	1,17	1,42	6,52	1,54	1,64	9,35	37,69
	10-15	0,17	569,51	1,00	1,42	8,83	1,54	1,42	16,50	58,06
	15-20	0,16	320,38	0,78	1,22	7,24	1,21	1,25	19,09	67,73
	20-25	0,17	590,53	1,05	1,47	6,71	1,19	1,72	12,45	48,34
	25-30	0,17	281,02	0,96	1,24	7,18	1,01	1,41	21,20	70,43
	30-33	0,20	851,32	0,55	1,36	9,15	0,62	1,32	36,27	99,02
CA1-30	0-20	0,10	24,05	0,79	1,59	3,06	1,95	1,81	0,71	5,74
	20-40	0,10	0,22	0,71	1,41	2,53	1,51	1,71	0,48	3,00
CA1-31	0-20	0,11	23,29	0,62	1,54	2,88	0,86	1,79	4,09	9,12
	20-40	0,10	0,22	0,43	1,81	2,38	0,39	1,92	0,26	2,45
	40-60	0,07	0,15	0,37	1,08	1,45	0,34	1,19	0,20	1,46
CA1-34	0-20	15,84	272,16	0,79	0,92	9,48	2,68	1,24	49,54	149,44
	20-40	0,13	49,92	0,58	0,96	3,91	0,98	1,17	35,23	51,44
	40-60	0,13	60,55	0,62	0,88	3,97	1,23	1,17	36,42	59,05
	60-80	0,18	51,85	0,75	1,29	3,45	0,96	1,37	15,70	34,21
	80-100	0,17	34,48	0,61	1,13	3,45	0,85	1,36	16,46	35,63
CA2-10 Sulfatos	0-5	3,62	27322,49	111,55	0,01	26,14	249,84	132,21	230,93	14370,63

CA2-10	0-20	9,27	1025,56	0,49	0,67	4,53	0,46	1,32	42,02	373,44
	20-40	17,12	18,52	0,24	0,16	1,23	0,11	0,38	56,03	258,06
	40-60	19,07	20,47	0,28	0,17	1,13	0,15	0,48	56,60	273,14
	60-80	4,98	50,10	0,20	0,24	3,53	0,22	0,38	36,60	149,51
	80-100	6,99	63,41	0,27	0,18	2,99	0,18	0,40	44,76	167,05
	2,40 m	8,27	285,38	0,15	0,24	3,69	0,16	0,47	34,93	196,40
CA2-10 (lix)	0-20	3,90	299,57	0,43	0,65	4,92	0,36	0,65	49,66	178,44
	20-40	5,79	24,63	0,16	0,34	3,26	0,16	0,37	31,15	163,00
	40-60	11,17	49,85	0,29	0,14	3,45	0,16	0,37	45,20	164,73
	60-80	0,08	2301,15	0,42	0,74	3,83	0,34	1,37	88,01	163,27
	80-100	0,07	817,54	0,48	0,56	4,89	0,38	1,12	73,47	155,20
CA2-10A [III]	0-20	0,10	583,54	0,92	1,51	8,79	4,04	0,99	60,23	140,22
	20-40	0,13	822,48	3,01	1,12	9,54	5,11	1,31	82,31	199,67
	40-60	6,15	482,69	1,08	1,19	7,36	2,51	1,06	66,72	184,27
CA2-11	0-20	18,15	111,82	0,57	0,31	3,32	0,65	0,75	55,61	211,86
	20-40	3,71	129,75	0,49	0,74	0,75	0,51	1,00	1,41	12,30
	40-60	0,15	100,54	0,49	0,76	0,75	0,50	1,03	0,70	10,68
CA2-12	0-20	20,49	332,31	0,26	0,27	5,76	0,28	0,66	59,13	160,78
	20-40	30,03	471,96	0,47	0,37	9,94	0,39	0,84	62,53	168,34
	40-60	870,08	796,85	2,25	0,51	77,07	12,02	1,56	265,03	262,30
	60-80	341,34	445,50	1,33	0,79	62,51	7,22	1,83	210,09	199,07
	80-100	565,58	851,64	1,93	0,72	77,01	10,27	1,87	273,73	215,44
	2,70 m	0,15	73,97	1,50	1,65	3,12	0,37	2,59	9,26	22,87
CA3-18	0-20	33,24	475,83	0,60	0,77	6,32	2,61	1,02	39,83	210,89
	20-40	19,55	547,95	0,70	0,78	6,29	3,49	1,05	39,45	214,67
	40-60	20,22	579,92	0,63	0,71	5,92	2,44	1,03	41,11	187,65
	60-80	11,65	541,00	1,58	0,94	10,44	4,40	1,15	49,62	146,80
	80-100	13,14	656,11	1,41	0,98	10,51	4,45	1,18	49,11	160,10
	1,20-1,50 m	62,58	494,18	1,49	1,16	23,87	4,05	1,85	138,10	261,02
CA3-37	0-10	0,10	485,08	0,84	1,03	5,32	1,38	1,16	9,88	56,58
	10-20	0,07	484,22	2,72	1,12	5,57	5,16	1,07	31,49	67,29
	20-40	0,08	249,47	0,92	1,29	3,42	1,41	1,13	3,78	13,86
	40-50	0,07	141,40	2,14	1,22	2,95	3,20	0,96	3,04	8,95
CA5-6	0-20	13,31	1044,04	0,42	0,69	4,17	0,27	1,08	18,73	312,29
	20-40	2,22	437,28	0,80	0,69	6,64	0,85	1,28	5,43	200,97
	40-60	0,15	65,20	1,09	0,76	1,31	0,51	1,18	1,32	6,05
CA5-8	0-20	0,16	19,42	0,84	0,75	0,87	1,05	1,01	1,48	3,25
	20-40	0,18	35,76	0,84	0,83	0,92	0,99	0,95	1,49	5,09
	40-60	0,17	97,56	0,86	1,01	0,91	0,75	0,91	1,89	7,79

Categorias – Factor de Enriquecimento	
< 2	Depleção ou Enriquecimento Mínimo
2-5	Enriquecimento Moderado
5-20	Enriquecimento Significativo
20-40	Enriquecimento Muito Elevado
> 40	Enriquecimento Extremamente Elevado

Tabela A.75: Valores obtidos para o Índice de Geoacumulação nos sedimentos.

		Índice de Geoacumulação									
		As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
CA1-14	0-5	4,25	4,67	1,82	-1,59	1,84	0,67	4,40	1,22	5,95	8,67
	5-10	4,44	4,71	1,52	-1,96	2,26	1,24	4,94	1,35	6,55	9,08
	10-15	4,60	4,06	0,86	-3,32	2,13	1,51	4,07	0,94	6,65	9,36
	15-20	4,41	5,07	-0,27	-3,01	2,23	1,46	4,02	1,11	6,77	9,34
	20-40	5,36	4,61	-0,73	-2,61	2,73	1,22	3,55	1,10	7,07	9,17
	40-60	2,13	5,55	-0,02	-1,14	1,15	0,37	1,55	1,37	5,07	7,97
	60-80	-4,09	4,72	0,32	-0,40	1,64	0,73	1,57	1,94	4,50	7,34
	80-100	0,74	4,38	-0,14	-0,84	2,08	0,78	1,70	1,41	5,41	7,81
CA1-14 Sed. Córrego Draga	0-20	-4,09	5,94	-0,63	-0,24	0,83	0,36	0,02	1,84	1,35	5,27
CA1-14 [III]	0-20	1,63	4,85	0,25	-1,01	2,38	-0,25	3,19	1,10	4,98	6,90
	20-40	2,57	4,59	0,64	-0,97	2,49	0,02	3,57	1,34	5,41	7,54
	40-60	2,55	4,05	0,12	-1,10	2,26	-0,06	3,26	1,19	5,46	7,50
	60-80	3,59	4,61	0,14	-1,22	2,25	-0,19	2,52	1,21	6,55	8,39
	80-100	1,73	4,87	-0,04	-1,11	2,23	0,08	2,02	1,12	5,88	7,40
	100-120	-4,09	2,36	-0,20	-1,08	1,10	-0,53	1,31	1,09	3,33	5,57
	1,30 m	3,67	6,06	1,54	-0,66	3,09	0,56	3,49	1,82	6,92	8,76
	1,40 m	3,26	5,26	0,53	-0,99	2,76	0,52	3,28	1,40	6,47	8,38
CA1-22	0-5	1,51	6,09	-0,41	-1,09	1,32	0,34	2,16	1,18	4,47	6,69
	5-10	2,27	5,85	0,40	-0,77	0,88	0,27	2,14	0,89	3,77	6,23
	10-15	2,11	5,54	0,04	-1,18	0,44	0,00	1,34	0,64	3,13	5,82
	15-20	3,42	6,49	1,57	-0,72	1,09	0,45	2,02	1,46	4,87	6,42
	20-40	3,37	6,86	2,43	-0,89	1,56	0,64	2,48	1,33	5,33	8,17
	40-60	2,54	5,80	1,50	-1,25	0,74	0,08	1,53	0,83	4,11	6,17
	60-80	-4,09	6,11	0,67	-0,41	1,53	0,43	2,35	1,23	4,28	6,48
	80-100	2,54	6,73	1,33	-0,92	2,07	0,04	2,40	1,03	4,64	6,57
CA1-22 [III]	0-20	-4,09	6,16	1,06	-0,70	1,78	-0,14	2,29	1,22	3,76	6,29
	20-40	-4,09	6,29	0,81	-0,65	1,82	0,01	2,22	1,30	4,30	6,51
	40-60	-4,09	6,68	0,99	-0,49	1,97	0,11	2,33	1,45	4,72	6,84
	60-80	-4,09	6,52	0,38	-0,50	2,14	0,18	2,53	1,36	5,57	7,24
	80-100	2,06	6,37	0,82	-0,28	2,97	-0,03	1,91	1,17	6,46	7,91
CA1-24 Sed Sup [III]	0-10	2,46	6,29	1,07	-0,39	2,63	0,37	3,55	1,79	6,43	8,22
CA1-26 [III]	0-5	4,45	0,77	1,78	-1,47	3,39	2,04	1,61	2,45	9,09	9,50
	5-10	4,47	2,89	1,69	-1,38	3,25	1,69	1,74	2,47	8,98	9,14
	10-15	5,31	2,04	2,07	-1,47	3,68	2,08	2,63	2,52	9,70	9,92
	15-20	5,28	1,26	2,00	-1,45	3,18	2,15	2,12	2,63	9,15	9,42
	20-25	-1,25	4,62	0,45	-0,71	2,08	0,74	1,54	1,91	7,71	8,13
	25-30	0,96	3,18	0,22	-0,92	1,98	0,30	1,29	1,63	7,20	7,81
	30-35	1,67	3,20	0,64	-0,64	2,09	0,73	1,66	1,98	7,90	8,24
CA1-26 Nível Verm. [III]	0-10	2,37	4,19	0,71	-1,23	3,46	2,01	0,41	1,96	8,86	9,34
CA1-26 Sed.	0-20	1,64	5,32	0,98	0,07	2,22	1,68	3,56	1,89	6,10	8,65

CA1-27 Sed Sup [III]	0-5	-4,09	-4,65	-0,50	-0,12	0,27	-0,25	-0,42	1,76	-1,55	2,04
CA1-27	0-5	-4,09	5,00	0,21	-0,11	1,61	0,18	0,38	1,79	2,73	5,34
	5-10	-4,09	1,98	-0,18	-0,11	0,62	0,54	-0,11	1,80	1,18	4,10
	10-15	-4,09	-4,65	-0,04	-0,14	0,86	0,74	0,32	1,80	-0,02	2,98
	15-20	-4,09	-4,65	0,40	-0,01	0,90	0,53	1,11	2,02	0,23	2,61
	20-25	-4,09	2,27	0,17	0,02	0,83	0,34	0,48	2,09	1,77	3,80
	25-30	-4,09	0,52	-0,24	-0,07	0,71	0,47	-0,21	1,86	0,10	2,91
	30-35	-4,09	-4,65	-0,08	0,02	0,79	0,44	0,81	1,99	0,39	3,04
	35-40	-4,09	-4,65	-0,07	0,02	0,50	0,19	0,08	1,92	-0,71	2,29
	40-43	-4,09	1,98	-0,22	0,05	0,46	0,01	0,06	1,95	-1,77	1,59
CA1-27A Draga [III]	0-10	2,44	4,72	0,96	-0,62	1,62	0,71	3,30	1,17	6,09	8,64
CA1-28 Draga [III]	0-5	3,82	6,33	1,35	-0,72	1,79	0,97	2,64	2,33	7,36	8,02
CA1-28	0-5	-4,09	-4,65	0,02	-0,48	0,12	-0,40	0,66	1,49	-0,97	2,82
	5-10	-4,09	-4,65	-0,41	-0,84	-0,18	0,09	0,51	1,33	-0,60	2,80
	10-15	-4,09	1,99	0,14	-0,24	0,58	-0,24	0,76	1,84	0,71	4,02
	15-20	-4,09	-4,65	-0,39	-0,47	0,00	-0,79	0,36	1,65	-0,75	2,43
	20-25	-4,09	2,29	-0,60	-0,49	-0,47	-1,00	-0,06	1,51	-2,13	0,67
	25-30	-4,09	-4,65	-0,48	-0,33	-0,73	0,77	-0,32	1,67	-9,19	0,39
	30-35	-4,09	-4,65	-0,22	-0,81	0,43	0,77	0,53	1,16	-0,26	0,66
	35-37	-4,09	-4,65	-0,51	-0,84	0,82	-0,13	0,60	1,14	-0,17	0,31
	37-40	-4,09	-4,65	-0,41	-0,46	0,05	0,75	-0,06	1,59	-1,06	1,43
CA1-29	0-5	-1,44	5,57	0,55	-0,54	1,73	-0,24	2,84	1,24	5,43	7,96
	5-10	-4,09	4,85	-0,08	-0,73	0,68	-0,21	1,46	0,81	3,39	6,22
	10-15	-4,09	5,21	1,57	-0,70	0,70	0,34	2,26	1,17	3,58	6,09
	15-20	-4,09	-4,65	-0,04	-0,50	0,48	0,89	2,54	1,55	-0,66	4,59
	20-25	-4,09	5,07	-0,07	-0,63	0,09	-0,07	2,03	1,44	-0,93	3,20
	25-30	-4,09	-4,65	-0,24	-0,51	0,16	0,06	1,86	1,48	-0,86	2,32
	30-35	-4,09	-4,65	-0,18	-0,50	0,15	0,09	1,82	1,48	-0,57	1,51
	35-40	-4,09	-4,65	-0,15	-0,56	0,12	0,10	2,07	1,46	-1,13	1,58
	40-43	-4,09	9,37	0,47	-0,01	1,72	0,46	2,70	2,21	5,60	4,22
	43-46	-4,09	-4,65	0,33	-0,45	0,92	0,40	2,48	1,57	3,99	5,22
CA1-29 Sup [III]	0-10	-4,09	5,66	0,61	-0,32	1,23	0,23	2,44	1,61	4,81	7,29
CA1-29 [III]	0-5	-4,09	5,93	0,41	-0,49	1,06	0,14	2,41	1,56	3,33	5,38
	5-10	-4,09	-4,65	0,12	-0,46	0,44	0,07	2,08	1,59	-0,48	1,54
	10-15	-4,09	-4,65	0,05	-0,56	0,48	-0,03	2,61	1,57	-1,44	1,51
	15-20	-4,09	-4,65	0,14	-0,24	0,60	0,23	2,88	1,77	-2,26	1,14
	20-25	-4,09	-4,65	0,16	-0,34	0,49	0,11	2,79	1,76	-1,33	1,06
	25-30	-4,09	-4,65	0,19	-0,41	0,52	0,09	2,73	1,73	-2,07	1,07
	30-35	-4,09	-4,65	0,19	-0,32	0,61	0,38	2,68	1,77	-1,85	1,35
	35-41	-4,09	-4,65	0,29	-0,28	0,57	0,17	3,05	1,77	-1,24	0,76
	41-46	-4,09	-4,65	-0,36	-0,62	0,05	-0,45	1,94	1,28	-1,29	0,09
	2,50 m	4,07	6,22	1,53	-0,47	2,98	0,84	4,55	1,63	7,69	9,18
CA1-32 Sed [III]	0-20	3,22	6,97	0,74	-0,30	2,66	0,64	3,17	1,78	6,32	8,75

CA1-32	0-10	-2,62	6,34	0,27	-0,70	1,57	0,81	2,46	1,08	5,72	7,88
	10-20	-4,09	6,21	0,00	-0,64	1,32	0,73	1,64	1,37	4,86	7,27
	20-30	-4,09	6,68	0,52	-0,55	1,59	0,85	2,63	1,34	5,17	7,62
	30-40	-4,09	5,97	0,26	-0,52	1,27	0,63	1,69	1,28	4,55	6,74
	40-50	-4,09	6,00	-0,01	-0,53	1,39	0,37	1,81	1,35	4,86	6,74
	50-60	2,67	6,94	0,64	-0,71	2,43	1,11	3,08	1,39	6,44	8,39
	60-70+	2,82	6,78	0,57	-0,52	2,44	1,08	3,26	1,37	6,55	8,37
CA1-35	0-10	-4,09	3,54	-0,59	-1,22	-0,08	-0,28	0,50	0,46	1,67	3,93
	10-20	-4,09	3,02	-0,74	-1,34	-0,42	-0,65	-0,16	0,41	1,00	3,17
	20-30	-4,09	0,36	-0,82	-1,56	-0,56	-1,31	-0,25	0,29	-1,15	1,47
	30-40	-4,09	0,24	-0,71	-1,26	-0,32	-1,10	0,01	0,53	-0,75	1,61
	40-50	-4,09	1,44	-0,71	-1,41	-0,56	-0,66	-0,23	0,43	0,06	2,26
	50-60	-4,09	0,82	-0,96	-1,50	-0,70	-0,66	-0,68	0,39	-0,94	1,50
	60-80	-4,09	1,12	-1,29	-1,48	-0,68	-0,85	-0,80	0,28	0,11	2,14
	80-100	-4,09	0,04	-1,02	-1,31	-0,49	-0,58	-0,57	0,55	-0,38	1,94
CA1-35 [III]	0-20	-4,09	0,56	-0,42	-1,37	-0,26	-1,09	0,13	0,50	-0,34	2,55
	20-40	-4,09	-0,17	-0,65	-1,33	-0,51	-1,08	-0,32	0,58	-0,24	2,28
	40-60	-4,09	1,94	-0,51	-1,28	-0,30	-1,17	0,05	0,41	0,64	3,21
	60-80	-4,09	-0,73	-0,91	-1,31	-0,54	-1,04	-0,57	0,55	-1,02	1,55
	80-100	-4,09	1,43	-0,96	-1,33	-0,41	-0,99	-0,58	0,53	-1,03	1,44
CA1-47	0-5	-4,09	5,69	0,49	0,10	0,92	0,51	2,50	2,09	1,54	2,74
	5-10	-4,09	5,58	0,63	0,10	1,06	0,69	2,80	2,22	1,53	3,00
	10-15	-4,09	4,38	-0,06	-0,28	0,53	0,17	2,23	1,73	1,84	2,75
	15-20	-4,09	4,57	-0,16	-0,15	0,48	0,15	2,00	1,66	1,47	3,01
	20-25	-4,09	3,40	0,18	-0,22	0,69	0,50	2,76	1,88	0,10	1,41
	25-30	-4,09	3,21	0,16	-0,09	0,59	0,47	2,49	1,91	0,84	0,91
	30-35	-4,09	4,21	-0,32	-0,59	0,17	-0,03	1,66	1,59	1,33	1,12
	35-40	-4,09	2,71	0,36	-0,31	0,70	0,60	2,88	1,91	-0,33	1,08
	40-42	-4,09	2,82	0,19	-0,22	0,69	0,57	2,49	1,85	0,83	2,14
	42-45	-4,09	3,03	0,25	-0,18	0,63	0,63	2,58	1,94	-0,96	0,89
CA1-48 [III]	0-20	-4,09	5,50	-0,12	-0,34	0,70	-0,24	1,41	0,89	3,59	5,66
	20-40	-4,09	6,40	0,41	-0,76	1,40	-0,33	2,77	0,99	4,18	6,27
	40-60	-4,09	5,34	-0,01	-0,93	1,32	-0,36	1,75	0,84	4,27	6,37
	60-80	3,38	5,11	0,03	-1,09	1,98	-0,21	1,06	1,07	5,15	6,77
	80-100	2,26	4,48	0,24	-1,45	1,30	-0,62	1,58	0,57	5,03	6,32
CA1-51 Sed [III]	0-20	4,61	7,38	1,38	0,41	3,18	1,52	4,20	1,85	7,99	9,52
CA1-52 Core Sup [III]	0-20	4,61	5,60	0,76	-1,55	3,11	1,87	3,97	1,79	8,63	9,48
CA1-53 Sed Sup [III]	0-20	5,64	3,90	1,61	-1,49	2,98	1,77	3,39	2,17	9,18	9,42
CA1-53 [III]	0-5	5,03	4,34	1,79	-1,78	2,94	2,05	3,20	2,34	9,39	9,56
	5-10	5,59	2,66	2,15	-1,79	2,71	2,02	3,20	2,60	9,29	9,76
	10-15	5,98	3,11	1,88	-1,72	3,16	2,04	2,88	2,49	9,45	9,49
	15-20	5,82	2,71	1,72	-1,84	3,04	2,43	3,40	2,53	9,43	9,55
	20-25	5,78	2,14	1,66	-1,79	2,96	2,00	3,76	2,19	9,47	9,04
	25-30	3,56	4,29	1,08	-0,77	2,80	1,11	3,21	2,07	8,57	8,48

	30-35	3,76	3,16	1,03	-0,80	2,73	0,76	2,73	1,94	8,03	7,94
	35-40	4,68	3,58	1,61	-1,09	3,37	1,46	2,53	2,23	8,78	8,52
	40-45	3,51	3,47	1,21	-0,79	2,72	0,79	2,70	1,95	8,19	8,10
	45-50	3,19	3,06	1,32	-0,86	2,15	0,78	2,51	1,97	8,26	8,14
	50-55	5,88	4,51	2,08	-0,90	2,16	1,74	2,21	1,20	6,65	9,02
CA1-53 Core [III]	0-10	4,25	4,16	1,01	-1,17	2,76	1,87	3,30	1,63	8,15	9,49
CA3-16 Sed	0-5	3,90	6,46	0,93	-0,01	1,66	1,12	3,90	0,90	5,76	8,65
CA3-36 Sup	0-5	-4,09	6,38	1,43	-0,34	1,68	0,67	2,89	1,56	4,04	6,30
CA3-38	0-10	-4,09	6,76	0,34	-0,67	2,25	-0,04	2,13	1,25	4,07	5,99
	10-20	-4,09	6,11	0,33	-0,61	1,19	0,16	2,24	1,23	3,88	6,06
	20-30	0,12	6,27	0,08	-0,91	1,82	-0,07	2,14	1,02	3,93	6,07
	30-40	-4,09	6,24	0,31	-0,83	1,83	0,10	1,99	1,17	3,63	5,58
	40-50	-4,09	5,98	-0,03	-0,83	1,09	-0,11	1,88	0,99	3,30	5,36
	50-60	-4,09	4,75	-0,89	-1,16	-0,20	-0,54	0,62	0,51	2,23	4,46
	60-80	-4,09	5,20	-0,17	-0,87	0,69	-0,10	1,43	0,91	2,76	4,89
80-100	-4,09	5,23	-0,47	-1,10	0,61	-0,30	1,21	0,68	2,86	4,87	
CA3-38 [III]	0-20	-4,09	3,69	-0,52	-1,26	-0,30	-1,27	0,49	0,34	0,70	3,02
	20-40	-4,09	4,54	-0,15	-0,92	0,41	-0,57	1,13	0,89	2,53	4,88
	40-60	-4,09	4,47	-0,12	-1,28	-0,24	-1,10	0,87	0,66	1,90	4,26
	60-80	-4,09	5,54	0,14	-0,84	0,78	-0,28	1,77	0,97	3,19	5,37
	80-100	-4,09	4,71	-0,17	-0,92	0,27	-0,69	1,44	0,71	2,65	4,78
	1,20 m	-4,09	4,89	-0,08	-0,99	0,54	-0,66	1,42	0,88	2,51	4,88
CA3-39 Esc. Grota Seca	0-5	2,93	7,16	0,49	-0,21	2,81	0,83	3,16	1,84	6,15	8,34
CA5-44	0-20	-4,09	6,91	0,27	-0,33	2,32	0,63	0,77	1,76	3,10	5,81
	20-40	-4,09	7,07	0,23	-0,63	2,53	0,14	0,53	1,42	2,80	5,47
	40-60	-4,09	6,61	0,50	-0,50	2,89	0,58	1,04	1,66	3,10	5,57
BG-45	0-20	-4,09	2,01	-0,57	-0,40	0,83	0,24	0,73	1,42	0,18	3,59
	20-40	-4,09	3,13	-0,31	-0,83	0,43	-0,26	0,14	0,99	0,98	4,54
	40-60	-4,09	2,53	-0,32	-0,91	0,48	-0,33	0,56	1,00	0,88	4,41
	60-80	-4,09	2,39	-1,10	-0,87	0,22	-0,34	-0,19	1,17	0,30	3,74
BG-46	0-20	-4,09	0,82	1,07	0,62	0,90	0,69	1,48	1,15	1,41	1,88
	20-40	-4,09	-4,65	0,97	1,35	1,70	1,54	1,94	1,32	1,52	1,70

Categorias Índice de Geoacumulação	
< 0	Não Contaminado
0-1	Não Contaminado a Moderadamente Contaminado
1-2	Moderadamente Contaminado
2-3	Moderadamente a Altamente Contaminado
3-4	Altamente Contaminado
4-5	Altamente a Extremamente Contaminado
> 5	Extremamente Contaminado

Tabela A.76: Valores obtidos para o Índice de Geoacumulação nas aluviões.

		Índice de Geoacumulação									
		As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
CA1-13	0-20	3,83	9,67	1,08	0,84	3,22	1,03	1,37	1,23	4,25	6,65
	20-40	4,36	9,49	0,70	0,53	2,82	0,84	1,41	0,85	4,87	6,90
	40-60	5,02	9,49	0,77	0,66	2,86	1,05	2,37	0,90	5,03	7,04
	60-80	3,13	11,82	0,89	1,35	4,94	1,59	1,86	1,52	6,71	8,54
	80-100	5,16	11,01	0,97	1,11	5,12	2,72	3,03	1,64	7,93	9,99
	2,50 m	5,94	8,52	2,06	0,65	5,81	3,29	3,33	2,07	8,22	10,59
CA1-20	0-20	-1,65	7,49	1,93	0,68	0,87	1,11	0,88	1,00	2,84	3,75
	20-40	-1,65	4,87	1,63	0,69	0,66	0,68	0,78	0,73	1,68	3,02
	40-60	-1,65	4,97	1,09	0,79	0,70	0,86	1,03	0,89	1,48	2,78
CA1-21	0-20	0,77	7,63	1,77	0,64	1,11	0,75	1,13	0,76	2,65	4,52
	20-40	3,46	9,34	1,88	0,87	2,10	1,00	0,84	1,07	4,01	5,87
	40-60	1,74	9,88	1,19	1,15	3,18	1,24	0,46	1,32	5,30	6,68
	60-80	-1,65	10,30	1,23	1,47	3,90	1,70	2,13	1,69	5,23	7,06
	80-100	-1,65	10,45	1,27	1,80	4,17	1,08	2,48	1,80	5,40	7,44
CA1-21 (lixivi)	0-20	-1,65	13,00	1,16	1,41	5,03	0,57	1,27	1,30	4,67	5,75
	20-40	-1,65	10,67	1,00	1,67	4,06	1,40	1,00	1,81	5,23	7,06
	40-60	-1,65	9,76	0,98	1,60	3,54	1,21	1,29	1,54	4,75	6,59
CA1-23	0-20	3,47	8,78	2,28	0,91	1,93	1,14	0,87	1,01	4,21	6,53
	20-40	4,99	9,48	1,82	1,26	2,28	1,43	1,58	1,48	4,19	6,01
	40-60	3,34	9,51	1,04	0,83	2,23	1,17	1,39	1,22	4,39	6,27
	60-80	-1,65	9,59	1,17	1,57	3,55	1,46	1,82	1,57	5,01	7,00
	80-100	-1,65	10,00	1,09	1,55	4,19	1,65	2,11	1,75	6,20	8,21
CA1-23 [III]	0-5	-1,65	9,14	1,36	1,81	4,48	1,59	1,13	2,08	6,44	7,73
	5-10	-1,65	8,86	1,46	1,74	3,94	1,23	1,85	1,94	4,46	6,47
	10-15	-1,65	10,09	0,94	1,44	4,08	0,94	1,56	1,45	4,98	6,80
	15-20	-1,65	9,30	0,61	1,25	3,83	0,97	1,25	1,29	5,23	7,05
	20-25	-1,65	10,11	0,97	1,46	3,65	0,90	1,15	1,68	4,54	6,50
	25-30	-1,65	9,07	0,88	1,25	3,78	0,94	0,96	1,43	5,34	7,08
	30-33	-1,65	10,39	-0,20	1,10	3,85	0,66	-0,03	1,05	5,84	7,28
CA1-30	0-20	-1,65	6,21	1,27	2,29	3,23	1,62	2,58	2,48	1,12	4,14
	20-40	-1,65	-0,55	1,14	2,12	2,96	1,63	2,22	2,40	0,56	3,21
CA1-31	0-20	-1,65	6,09	0,87	2,18	3,08	1,55	1,33	2,39	3,58	4,74
	20-40	-1,65	-0,55	0,44	2,50	2,89	1,64	0,29	2,58	-0,30	2,93
	40-60	-1,65	-0,55	0,71	2,25	2,67	2,14	0,57	2,39	-0,21	2,69
CA1-34	0-20	5,53	9,63	1,20	1,42	4,79	1,54	2,96	1,85	7,17	8,77
	20-40	-1,65	6,92	0,48	1,22	3,25	1,28	1,25	1,50	6,42	6,96
	40-60	-1,65	7,19	0,57	1,08	3,26	1,27	1,56	1,49	6,45	7,15
	60-80	-1,65	6,48	0,38	1,15	2,57	0,79	0,73	1,24	4,76	5,88
	80-100	-1,65	6,01	0,18	1,08	2,69	0,90	0,67	1,35	4,94	6,06
CA2-10 Sulfatos	0-5	-1,65	11,23	3,30	-9,96	1,21	-3,50	4,46	3,54	4,35	10,31

CA2-10	0-20	4,86	11,65	0,63	1,07	3,83	1,65	0,54	2,05	7,04	10,19
	20-40	7,29	7,41	1,14	0,51	3,50	3,20	0,00	1,79	9,00	11,21
	40-60	7,54	7,64	1,47	0,72	3,46	3,28	0,58	2,23	9,11	11,38
	60-80	5,98	9,31	1,37	1,63	5,48	3,66	1,48	2,25	8,86	10,89
	80-100	6,44	9,62	1,76	1,19	5,22	3,64	1,18	2,32	9,12	11,02
	2,40 m	5,95	11,06	0,20	0,86	4,78	2,90	0,26	1,82	8,03	10,52
CA2-10 (lix)	0-20	4,86	11,12	1,68	2,28	5,20	2,90	1,41	2,27	8,53	10,38
	20-40	6,33	8,41	1,17	2,22	5,50	3,79	1,16	2,35	8,75	11,14
	40-60	7,18	9,33	1,89	0,89	5,48	3,69	1,03	2,24	9,19	11,06
	60-80	-1,65	13,09	0,67	1,48	3,85	1,92	0,36	2,37	8,38	9,27
	80-100	-1,65	11,82	1,07	1,30	4,43	2,14	0,73	2,31	8,34	9,42
CA2-10A [III]	0-20	-1,65	10,93	1,62	2,33	4,88	1,74	3,76	1,73	7,65	8,87
	20-40	-1,65	11,03	2,94	1,51	4,60	1,35	3,70	1,74	7,71	8,99
	40-60	4,43	10,72	1,91	2,06	4,69	1,81	3,13	1,89	7,87	9,33
CA2-11	0-20	5,88	8,51	0,89	0,03	3,43	1,70	1,08	1,28	7,50	9,43
	20-40	3,04	8,17	0,12	0,70	0,74	1,15	0,17	1,15	1,64	4,77
	40-60	-1,65	7,73	0,06	0,69	0,67	1,08	0,08	1,12	0,57	4,49
CA2-12	0-20	6,73	10,75	0,46	0,49	4,90	2,37	0,52	1,78	8,26	9,70
	20-40	7,32	11,30	1,32	0,97	5,73	2,42	1,04	2,16	8,38	9,81
	40-60	11,88	11,76	3,29	1,14	8,39	2,12	5,71	2,76	10,17	10,15
	60-80	10,58	10,96	2,57	1,83	8,13	2,16	5,01	3,03	9,88	9,80
	80-100	11,31	11,90	3,12	1,70	8,44	2,17	5,53	3,07	10,27	9,92
	2,70 m	-1,65	7,27	1,65	1,78	2,70	1,06	-0,36	2,43	4,27	5,58
CA3-18	0-20	6,32	10,16	0,53	0,90	3,92	1,26	2,65	1,29	6,58	8,98
	20-40	5,61	10,42	0,80	0,96	3,97	1,32	3,12	1,38	6,62	9,06
	40-60	5,73	10,57	0,72	0,90	3,96	1,39	2,68	1,44	6,75	8,94
	60-80	5,33	10,87	2,45	1,69	5,17	1,79	3,93	2,00	7,42	8,99
	80-100	5,27	10,91	2,06	1,53	4,95	1,56	3,71	1,80	7,17	8,88
	1,20-1,50 m	7,22	10,20	1,83	1,46	5,83	1,25	3,27	2,14	8,36	9,28
CA3-37	0-10	-1,65	10,57	1,39	1,68	4,06	1,65	2,11	1,86	4,95	7,47
	10-20	-1,65	11,12	3,64	2,36	4,67	2,20	4,56	2,30	7,17	8,27
	20-40	-1,65	9,90	1,81	2,31	3,71	1,94	2,43	2,12	3,86	5,73
	40-50	-1,65	9,43	3,39	2,58	3,85	2,29	3,97	2,22	3,89	5,45
CA5-6	0-20	5,19	11,48	0,18	0,91	3,51	1,45	-0,41	1,56	5,68	9,74
	20-40	2,47	10,09	1,00	0,78	4,05	1,32	1,07	1,67	3,76	8,97
	40-60	-1,65	7,13	1,22	0,71	1,49	1,10	0,14	1,35	1,50	3,70
CA5-8	0-20	-1,65	5,28	0,75	0,59	0,80	1,00	1,07	1,01	1,56	2,70
	20-40	-1,65	5,97	0,56	0,55	0,70	0,81	0,79	0,73	1,38	3,16
	40-60	-1,65	7,54	0,72	0,94	0,80	0,93	0,51	0,79	1,85	3,89

Categorias Índice de Geoacumulação	
< 0	Não Contaminado
0-1	Não Contaminado a Moderadamente Contaminado
1-2	Moderadamente Contaminado
2-3	Moderadamente a Altamente Contaminado
3-4	Altamente Contaminado
4-5	Altamente a Extremamente Contaminado
> 5	Extremamente Contaminado

Anexo 2: Mapas

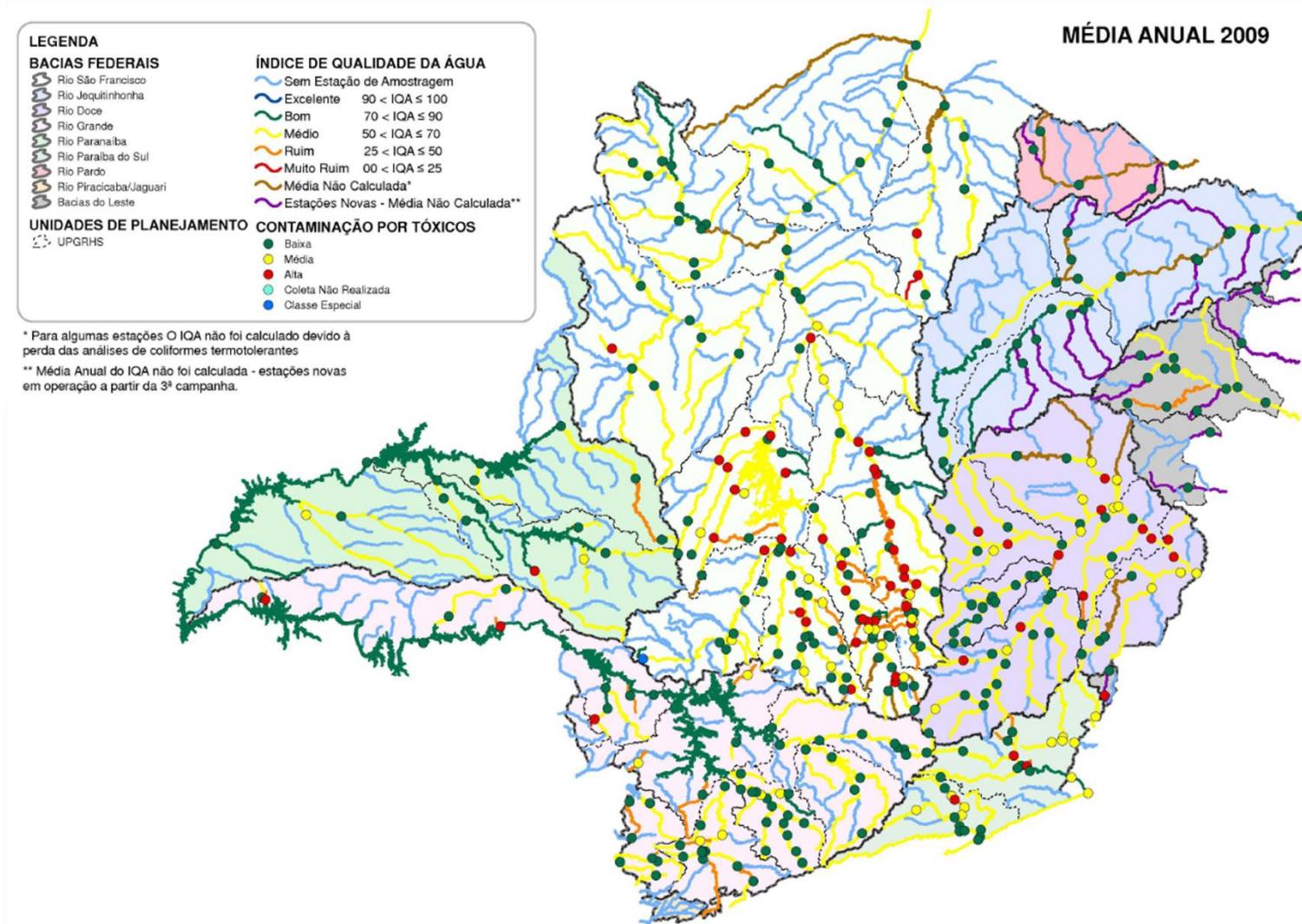


Figura A.1: Média anual de 2009 para o Índice de Qualidade da água e Contaminação por Tóxicos no estado de Minas Gerais. Adaptado de IGAM.

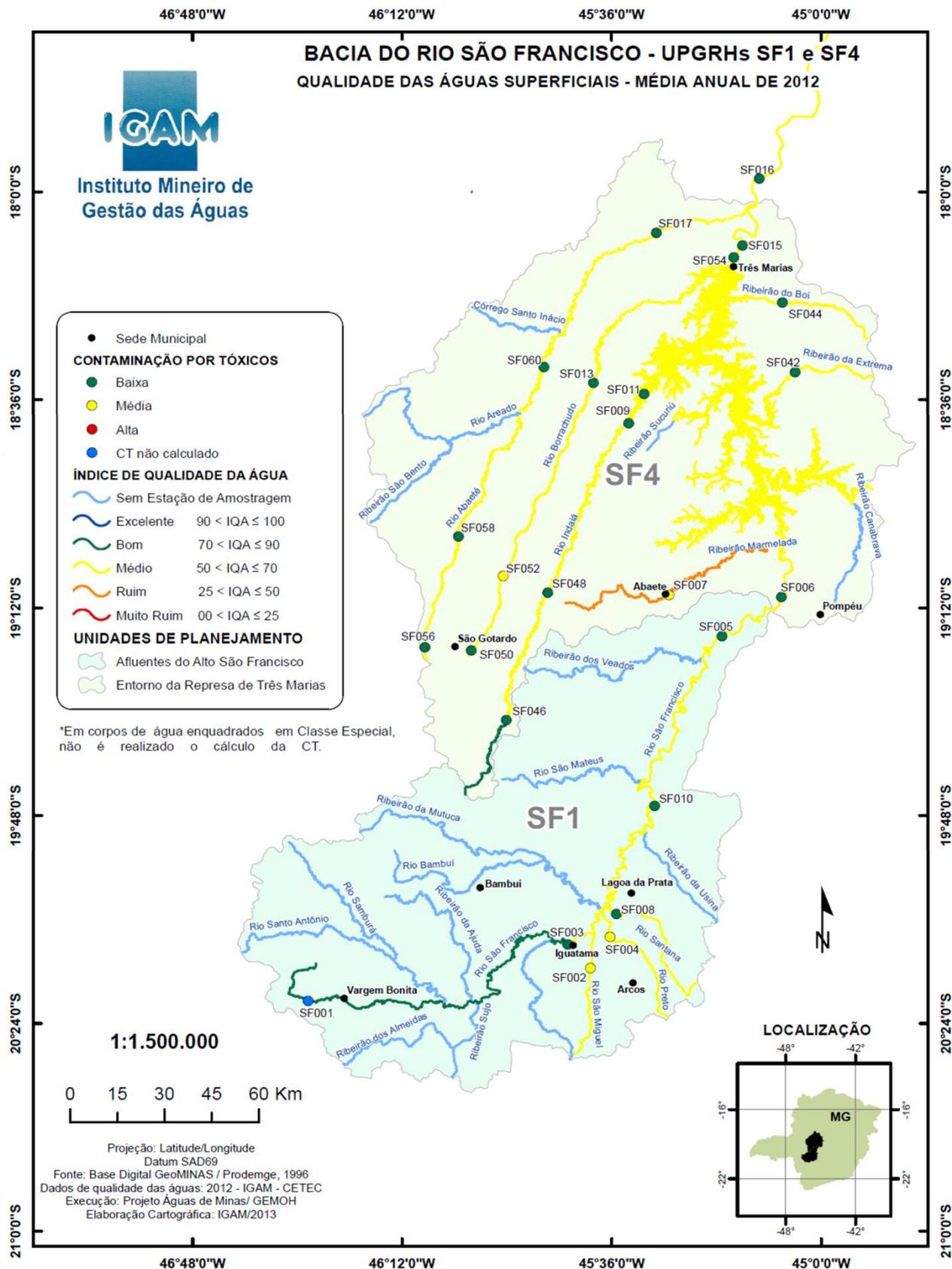


Figura A.2: Média anual de 2012 para o Índice de Qualidade da Água e Contaminação por Tóxicos para a zona Sul da Bacia do Alto São Francisco. Adaptado de IGAM.

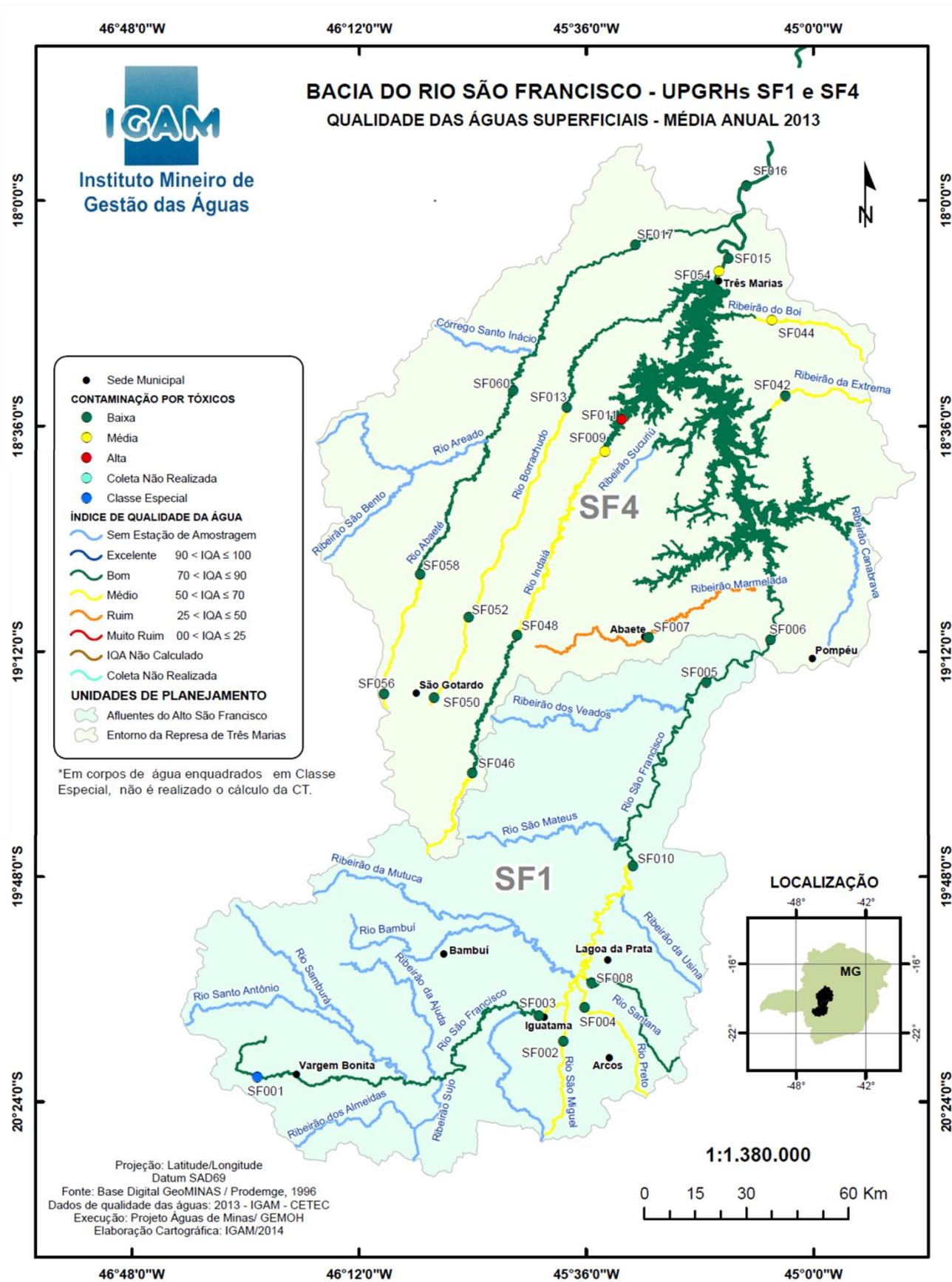


Figura A.3: Média anual de 2013 para o Índice de Qualidade de Águas e Contaminação por Tóxicos para a zona Sul da Bacia do Alto São Francisco. Adaptado de IGAM.

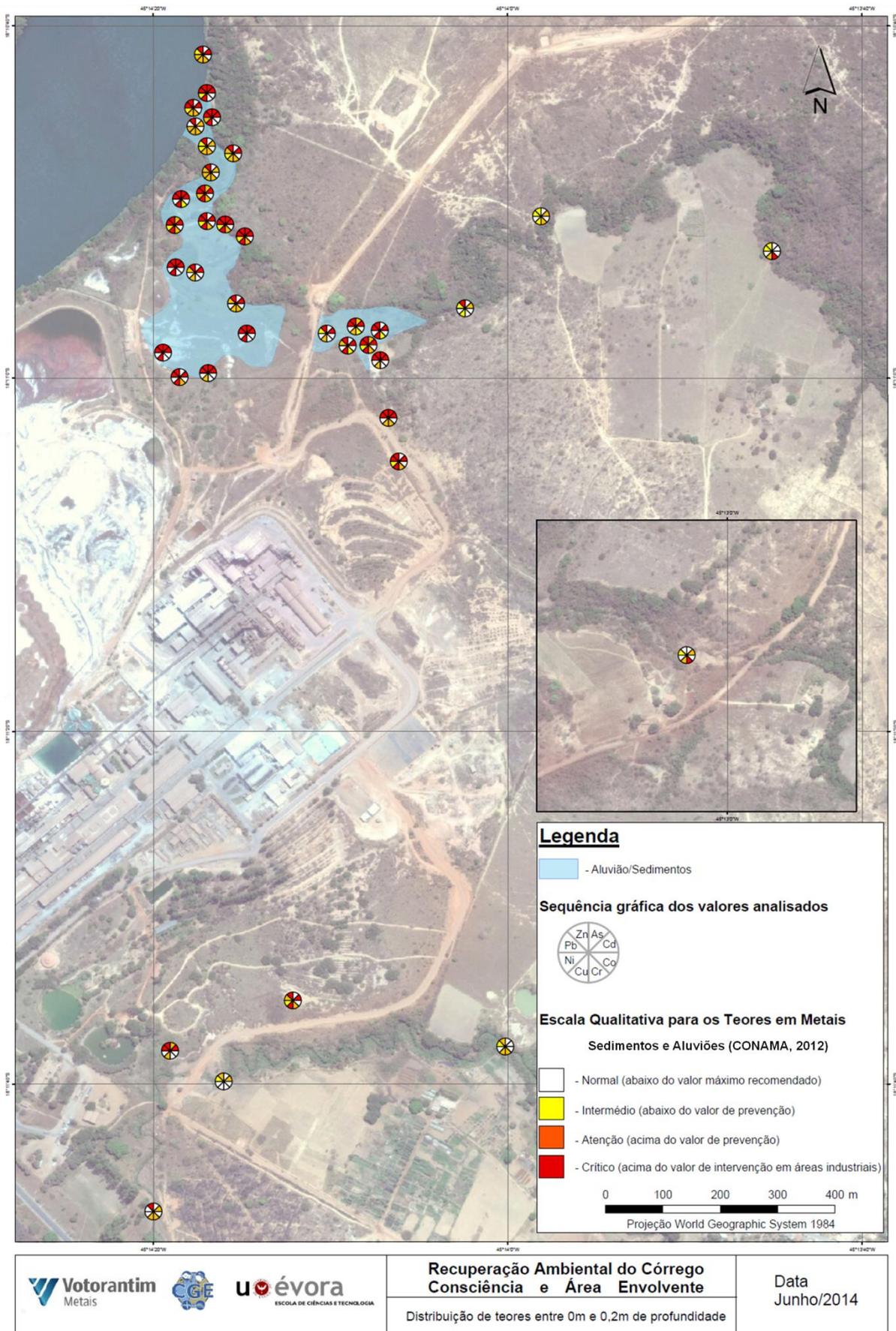


Figura A.4: Distribuição dos teores nos principais metalóides e metais pesados analisados, para profundidades entre os 0 e os 20 cm.

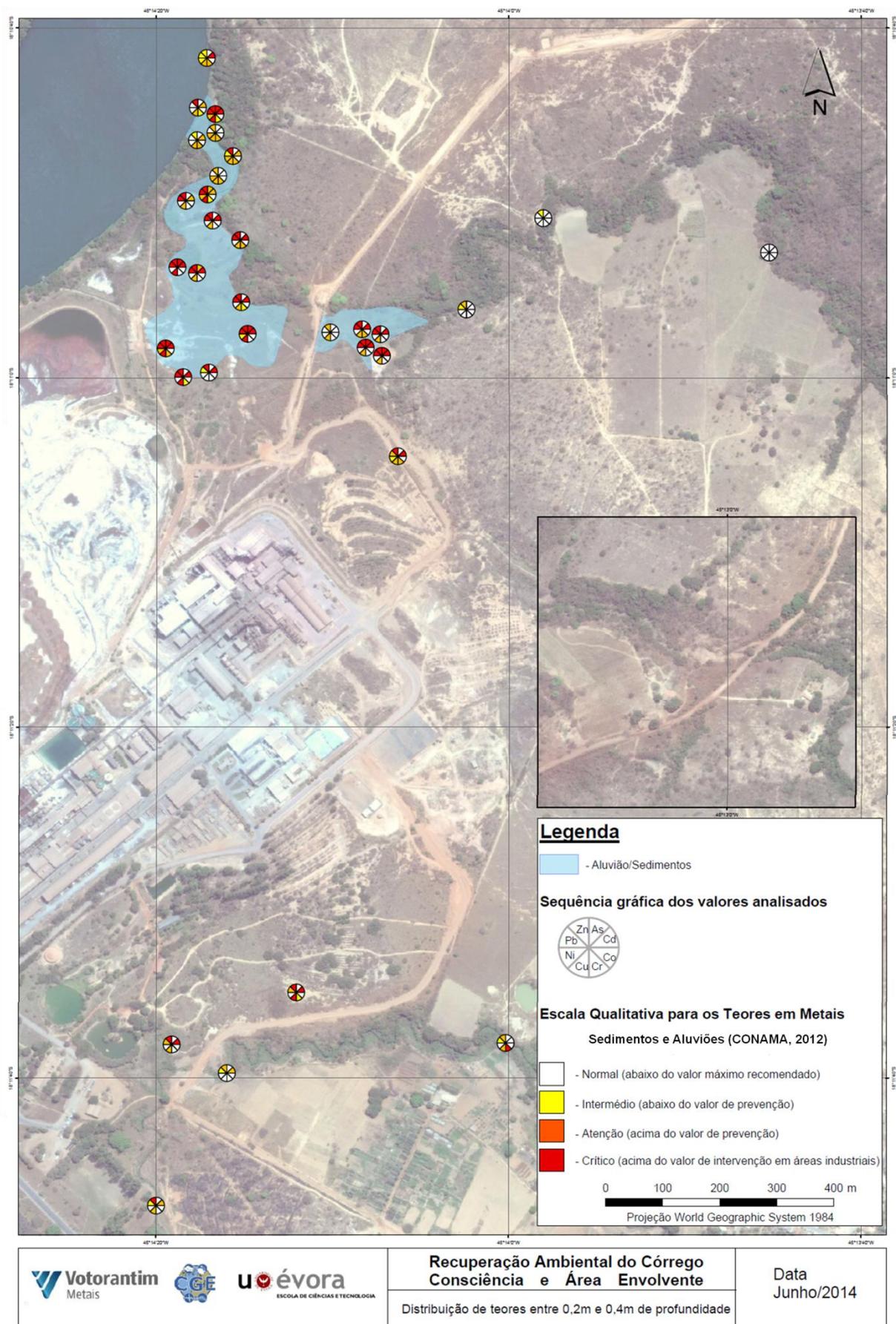


Figura A.5: Distribuição dos teores nos principais metalóides e metais pesados analisados, para profundidades entre os 20 e os 40 cm.

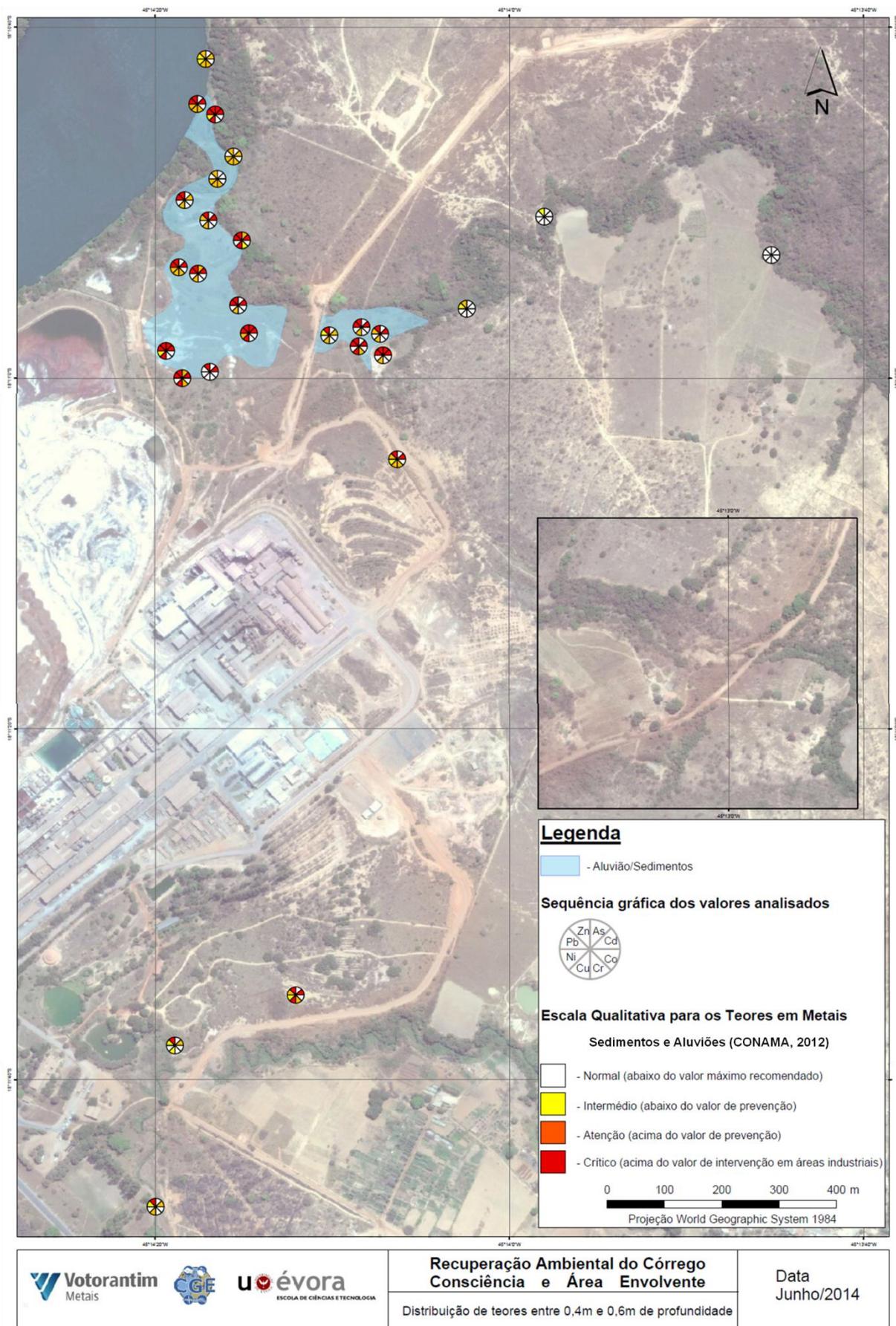


Figura A.6: Distribuição dos teores nos principais metalóides e metais pesados analisados, para profundidades entre os 40 e os 60 cm.

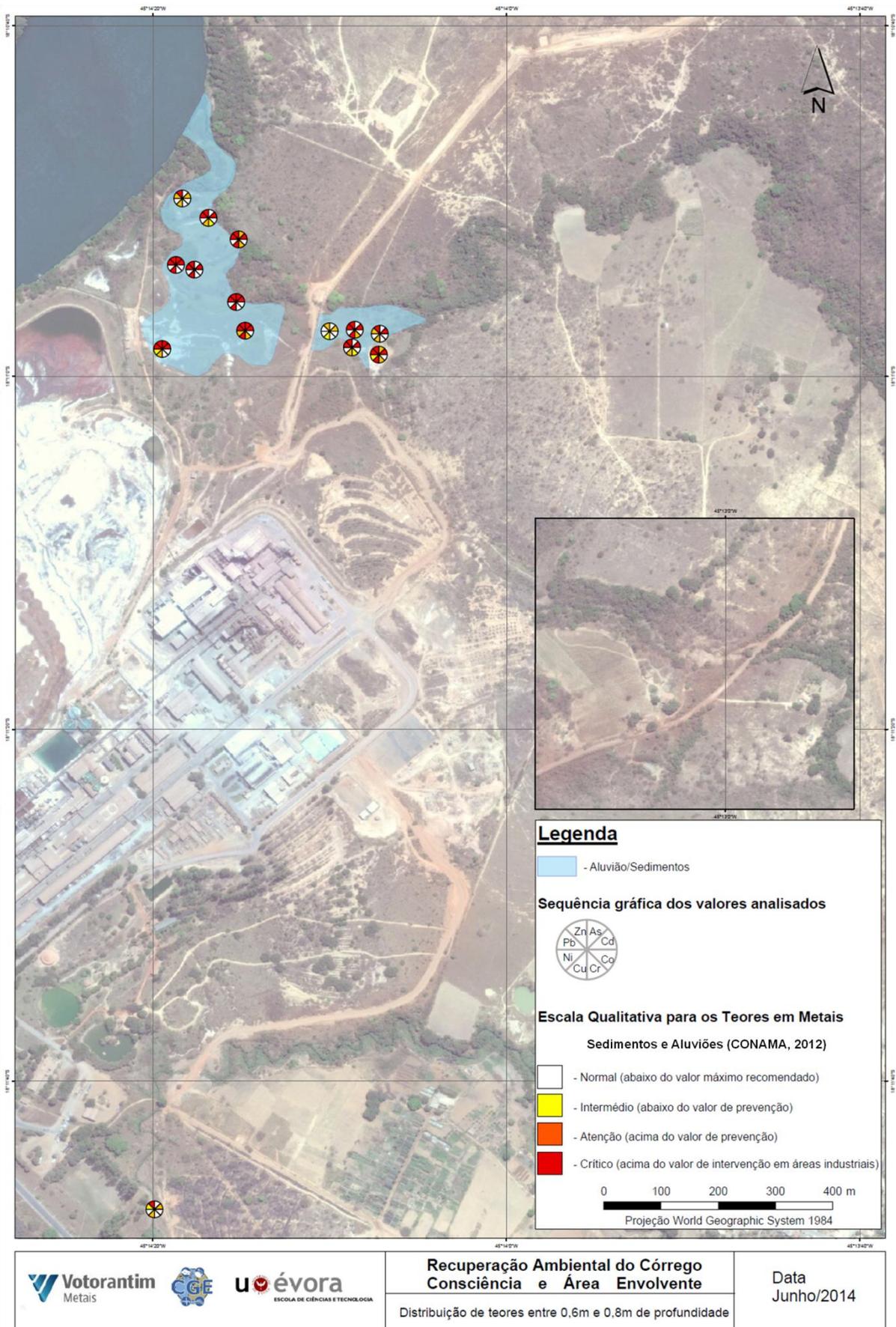


Figura A.7: Distribuição dos teores nos principais metalóides e metais pesados analisados, para profundidades entre os 60 e os 80 cm.

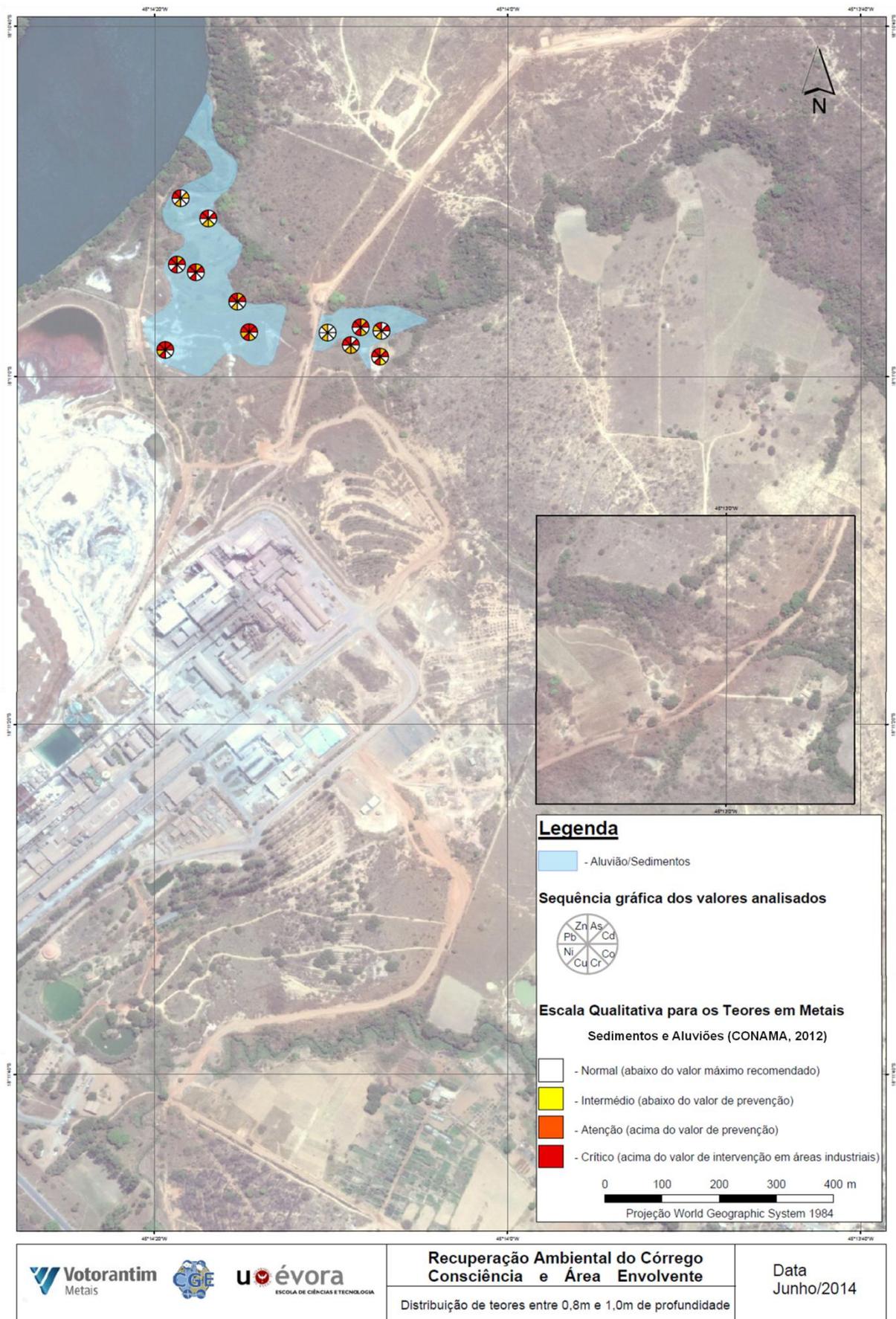


Figura A.8: Distribuição dos teores nos principais metalóides e metais pesados analisados, para profundidades entre os 80 e os 100 cm.

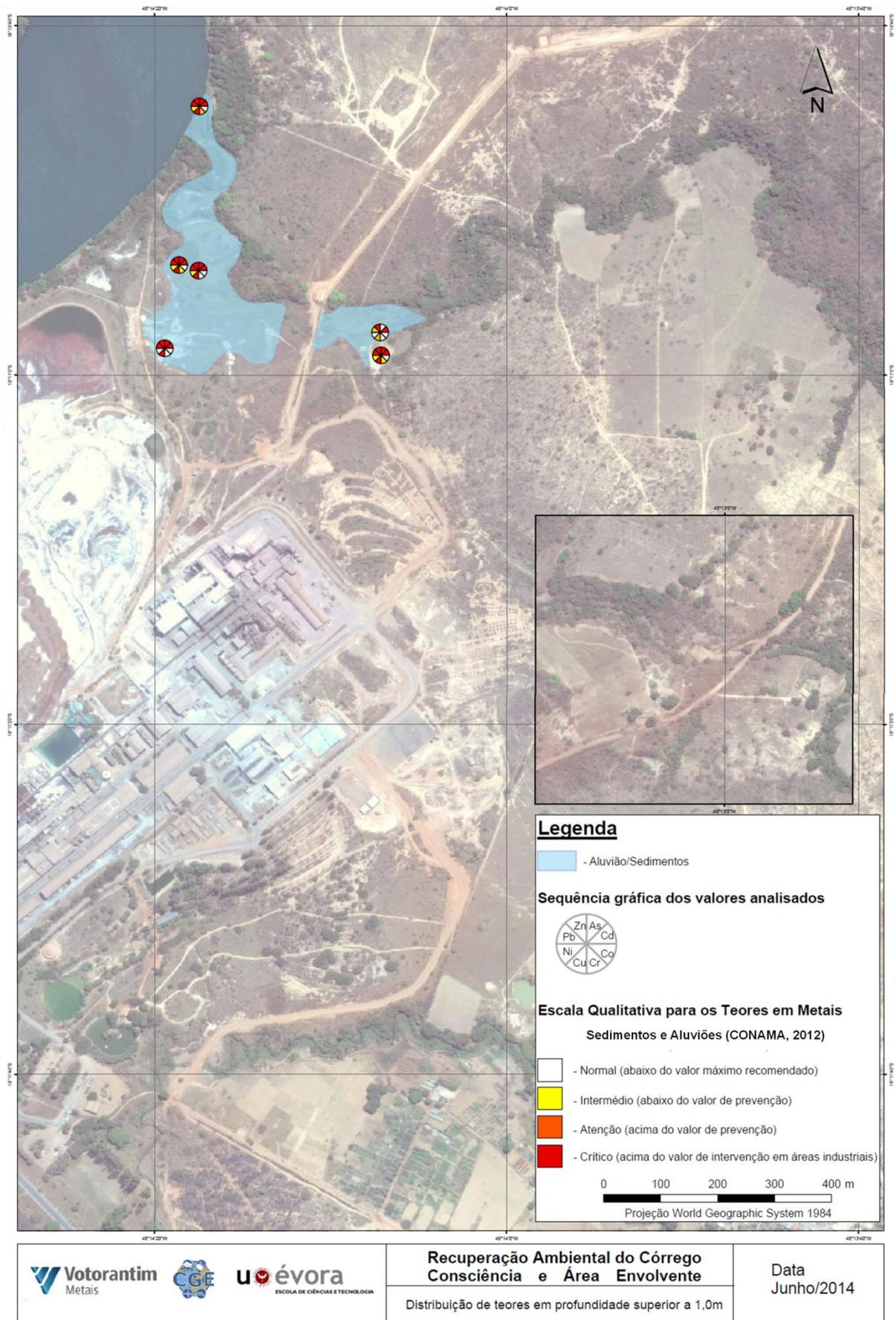


Figura A.9: Distribuição dos teores nos principais metalóides e metais pesados analisados, para profundidades superiores a 100 cm.