

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**DIAGNÓSTICO HIDROGEOQUÍMICO DO DISTRITO
AGROPECUÁRIO DA SUFRAMA, MUNICÍPIOS DE
MANAUS E RIO PRETO DA EVA (AM)**

JOSÉ LUIZ MARMOS

**MANAUS
2007**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

JOSÉ LUIZ MARMOS

**DIAGNÓSTICO HIDROGEOQUÍMICO DO DISTRITO
AGROPECUÁRIO DA SUFRAMA, MUNICÍPIOS DE
MANAUS E RIO PRETO DA EVA (AM)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Geociências, área de concentração Geologia Ambiental.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Adriana Maria Coimbra Horbe

**MANAUS
2007**

JOSÉ LUIZ MARMOS

**DIAGNÓSTICO HIDROGEOQUÍMICO DO DISTRITO
AGROPECUÁRIO DA SUFRAMA, MUNICÍPIOS DE
MANAUS E RIO PRETO DA EVA (AM)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Geociências, área de concentração Geologia Ambiental.

Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^ª. Adriana Maria Coimbra Horbe, Orientadora
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Dr. Sebastião Átila Fonseca Miranda
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia

Prof. Dr. Márcio Luiz da Silva
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia

MANAUS
2007

Aos meus pais, Elza e Félix, que
me permitiram chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

À Prof.^a. Dr.^a. Adriana Maria Coimbra Horbe, por ter acreditado na proposta apresentada, e pela orientação segura, precisa e exigente, que muito contribuiu para o sucesso deste trabalho.

À Superintendência da Zona Franca de Manaus – SUFRAMA, por ter permitido a utilização do acervo de dados que fazem parte do estudo intitulado “Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Agropecuário da SUFRAMA”.

À CPRM – Serviço Geológico do Brasil, em especial ao ex-superintendente regional de Manaus, Daniel Borges Nava, por ter me liberado de parte de minhas atividades profissionais para a execução desta dissertação, assim como pelo apoio financeiro e logístico, e aos colegas geólogos Carlos Aguiar, Marco Horbe, Marco Oliveira e Maria Adelaide Maia, pelo companheirismo e incentivo nos momentos de desânimo. Agradecimentos especiais também aos auxiliares Luiz Ramires e Olício Correa e aos técnicos Rômulo Magalhães e Francisco Sandoval, pelo eficiente apoio nos trabalhos de campo.

Ao Prof. Carlos Edwar de Freitas, do CCA-UFAM, pelas valiosas dicas e sugestões sobre os tratamentos estatísticos dos dados analíticos.

Ao Prof. Genilson Santana, do Departamento de Química da UFAM, pelas discussões técnicas que foram de grande auxílio no entendimento dos resultados obtidos.

Aos colegas de mestrado do DEGEO-UFAM, em especial à Benícia, pelo inestimável apoio que prestou numa das etapas de campo e laboratório, e à Mireide, pelo auxílio em parte das análises químicas.

À Embrapa – Manaus, pela gentil cessão de seus alojamentos e laboratórios na Base do Rio Urubu, no município de Rio Preto da Eva.

À minha companheira Marta e aos meus filhos Guilherme e Renata, pela compreensão e tolerância heróica com meus muitos momentos de mau humor durante a realização deste trabalho, e pelo suporte emocional nas horas mais difíceis.

À Amazônia, ainda tão desconhecida, por ter me permitido desvendar uma pequena parte de seus muitos mistérios.

*(...)o sorriso que tenho nos lábios é um sorriso geológico -
o sorriso de quem sabe, olha, vê e compreende (...)*

Monteiro Lobato, "O poço do Visconde"

RESUMO

A intensidade e extensão das mudanças nas características naturais dos ambientes aquáticos, provocadas por ações como desmatamento e lançamento de efluentes industriais, podem ser evidenciadas por análises físico-químicas das águas superficiais e sedimentos correlatos. O Distrito Agropecuário da SUFRAMA, área-objeto deste estudo, com extensão de 5.800 km², entre os municípios de Manaus e Rio Preto da Eva (AM), envolve parcialmente as bacias dos rios Urubu, Preto da Eva, Cuieiras e Tarumã-Açu. Apesar da proximidade com a capital do Estado, são muito poucos os estudos de geoquímica ambiental nessa região. Assim, com objetivo de elaborar diagnóstico hidrogeoquímico da área de estudo, foram feitas análises químicas multi-elementares em amostras de águas correntes e sedimentos de fundo, coletadas, em períodos hidrológicos distintos (águas baixas, águas altas e período seco), nas principais drenagens. Para uma melhor definição os pontos de amostragem foram pré-divididos em duas categorias: ambientes naturais e antrópicos. Foi avaliada, por bacia hidrográfica, período hidrológico e tipo de ambiente amostrado, a distribuição dos elementos analisados e dos parâmetros físico-químicos da água (pH, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica), com destaque para os metais pesados, o que permitiu estimar os fatores que controlam a variação sazonal da química das águas superficiais e sedimentos de fundo. As águas analisadas mostram-se muito pobres em sólidos dissolvidos, com predomínio de Cl, Na, Ca e K, e com baixos valores de pH e condutividade elétrica, características de igarapés de águas pretas. Mesmo os ambientes antrópicos possuem concentrações iônicas baixas, porém revelam pH mais elevado. Observa-se tendência de elevação da acidez e condutividade elétrica com águas altas, provavelmente em virtude da maior quantidade de ácidos orgânicos lixiviados para os vales durante a época chuvosa. Com águas baixas os ambientes antrópicos contêm, em média, quantidade maior de sólidos dissolvidos que os ambientes naturais. Com relação à variação sazonal dos íons analisados, os estudos indicam que sua distribuição não é influenciada pelos períodos hidrológicos. Os sedimentos de fundo são empobrecidos em alcalinos e alcalino-terrosos e enriquecidos em Fe e Al. Nos dois períodos hidrológicos observa-se, em termos de teores médios, a seguinte relação de abundância: Fe > Al > Ti. Com águas baixas, a grande maioria dos elementos mostra teores médios mais elevados nos sedimentos sob influência antrópica, com destaque para Al e V. Com águas altas essa relação se mantém somente para esses dois elementos. Os metais pesados apresentaram, independente do ambiente, teores significativamente maiores com águas altas, em virtude, provavelmente, do acúmulo de matéria orgânica, que possui facilidade de fixar elementos metálicos, no fundo dos canais dos igarapés barrados pelos rios principais. O período mais adequado para gerar distinções químicas entre os ambientes de amostragem é o de águas baixas. Os principais parâmetros comparativos utilizados (pH, concentração iônica total, teor de metais pesados nos sedimentos) indicam que a bacia do rio Preto da Eva é a que se apresenta mais impactada por atividades antrópicas, enquanto a bacia do rio Cuieiras é a menos degradada. De fato, é na bacia do rio Preto da Eva que se desenvolve a maior parte das atividades econômicas, além de ser a que apresenta a maior ocupação antrópica, em contraponto à bacia do Cuieiras, a menos ocupada, em virtude das dificuldades de acesso ao seu interior. De qualquer maneira, os níveis de degradação química detectados em todas as bacias são baixos, restritos às proximidades dos núcleos urbanos, ficando o alerta para os cuidados que se deve manter na sua conservação.

Palavras-chave: hidrogeoquímica, ambientes antrópicos, variação sazonal, metais pesados.

ABSTRACT

Intensity and extension of changes on natural characteristics of aquatic environments, brought about by forest clearing and industrial effluent disposal, may be evidenced by superficial water, and correlated sediment physicochemical analyses. The Distrito Agropecuario da SUFRAMA, the area being subjected to the present study, with an extension of 5,800 km², between Manaus and Rio Preto da Eva townships (AM), covers the Urubu, Preto da Eva, Cuieiras and Tarumã-Açu river basins, partially. Despite its proximity to the State capital, there is a paucity of environmental geochemical studies focusing this region. Thus, in order to prepare a hydrogeochemical diagnostic of the study area, multi-element chemical analyses were conducted on freshwater and bottom sediment samples collected, at distinct hydrological periods (low waters, high waters and dry period), in the main draining canals. In order to get a better definition, the sampling sites were pre-divided into two categories: natural and anthropic environments. Distribution of analyzed elements and water physicochemical parameters (pH, dissolved oxygen and electric conductivity), highlighting heavy metals, was assessed per hydrographic basin, hydrological period and type of sampled environment, which allowed estimating the factors controlling the superficial water and bottom sediment seasonal variation. The analyzed waters showed to be very poor on dissolved solids, with predominance of Cl, Na, Ca and K, and low pH and electric conductivity, values characteristic of black-water streams. Even anthropic environments present low ion concentrations, but reveal higher pH. A rising acidity and electric conductivity trend is observed during the period of high waters, probably due to the larger amount of organic acids being leached into the valleys during the rainy season. At low waters, anthropic environments hold, in average, a larger amount of dissolved solids than the natural environments do. As to the seasonal variation of the analyzed ions, the studies point out their distribution not to be influenced by hydrological periods. Bottom sediments are poor on alkali and alkaline earth metals, and rich on Fe and Al. The following abundance relation is observed in terms of mean contents in both hydrological periods: Fe > Al > Ti. At low waters, most elements present higher mean contents in sediments under anthropic influence, especially for Al and V. At high waters that relation remains so only for those two elements. Heavy metals presented, regardless the environment, significantly higher contents at high waters, probably on account of the accumulation of organic matter, that has the facility of fixing metal elements, on the bottom of the canals of streams barred by the main rivers. Low waters is the most suitable period for generating chemical distinctions between the sampling environments. The main comparative parameters (pH, total ion concentration, sediment heavy metal contents) point out Preto da Eva basin suffers the highest impact brought about by anthropic activities, while that of Cuieiras basin is the least degraded. Indeed, it's in Preto da Eva basin that most economical activities are being developed, besides being the one presenting the highest anthropic encroachment, as opposed to the Cuieiras basin, the one being less encroached due to the difficult access to its hinterland. Anyway, the chemical degradation levels detected in all basins are low, just restricted to urban settlement vicinities, leaving just the alert as to what must be done in order to maintain their conservation.

Keywords: hydrochemistry, anthropic environments, seasonal variation, heavy metals.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Atividades de diferentes espécies do sistema carbonato como função de pH	26
Figura 2 – Imagem de satélite Landsat com a localização da área de estudo e a divisão em bacias hidrográficas	32
Figura 3 – Mapa geológico simplificado da área de estudo	33
Figura 4 – Localização dos pontos de amostragem de águas e sedimentos	37
Figura 5 – Coleta de água no igarapé Tabuleta, ambiente natural na bacia do rio Urubu ..	40
Figura 6 – Balneário Municipal da cidade de Rio Preto da Eva	40
Figura 7 – Coleta de amostra de água, com seringa descartável, no igarapé Guaraná	41
Figura 8 – Filtragem de amostra de água coletada no igarapé da Embrapa, afluente do rio Urubu	41
Figura 9 – Coleta de sedimentos no igarapé do Cândido, a jusante de áreas de recreação (balneários do Manu e Gonzagão)	42
Figura 10 – Peneiramento de sedimentos coletados no igarapé Água Branca, afluente do rio Preto da Eva	42
Figura 11 – Peneiramento de sedimentos coletados com amostrador de fundo no canal do rio Preto da Eva	42
Figura 12 – Acondicionamento dos sedimentos coletados e peneirados no igarapé Água Verde, afluente do rio Urubu	42
Figura 13 – Aparelhos para medição de pH, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica dos corpos d'água amostrados	42
Figura 14 - Valores médios de pH das águas dos ambientes naturais da área de estudo, por bacia hidrográfica e por período hidrológico	51
Figura 15 - Valores médios de pH das águas superficiais da área de estudo, por bacia hidrográfica e por tipo de ambiente amostrado	52
Figura 16 - Concentrações médias de OD (mg/L) das águas dos ambientes naturais da área de estudo, por bacia hidrográfica e por período hidrológico	53
Figura 17 - Concentrações médias de OD (mg/L) das águas superficiais da área de estudo, por bacia hidrográfica e por tipo de ambiente amostrado	54
Figura 18 - Valores médios de CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) das águas dos igarapés naturais da área de estudo, por bacia hidrográfica e por período hidrológico	55
Figura 19 - Valores médios de CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) das águas superficiais da área de estudo, por bacia hidrográfica e por tipo de ambiente amostrado	55
Figura 20 - Correlação inversa entre os valores de pH e condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) das águas dos ambientes naturais nos dois períodos de amostragem	56
Figura 21 - Distribuição do Cl, Ca, Na e Mg nas águas superficiais, de acordo com o tipo de ambiente amostrado, no período de águas baixas	60
Figura 22 - Concentrações médias, por tipo de ambiente, das principais espécies dissolvidas no período de águas baixas	63
Figura 23 - Concentrações médias do total das espécies dissolvidas no período de águas baixas, por bacia hidrográfica e por tipo de ambiente amostrado	64
Figura 24 - Diagrama Ca-Mg-Na+K com a classificação catiônica das águas estudadas ..	65
Figura 25 – Diagramas de correlação do Ca e do Fe dissolvidos com OD nos igarapés de ambientes naturais no período de águas baixas	67
Figura 26 - Matriz de correlação dos cátions no período de águas baixas	67

Figura 27 - Mapa de distribuição do cálcio em água superficial no período de águas baixas	68
Figura 28 - Distribuição do Cl, Na, K e Ca nas águas superficiais, de acordo com o tipo de ambiente amostrado, no período de águas altas	72
Figura 29 - Concentrações médias, por tipo de ambiente, das principais espécies dissolvidas no período de águas altas	73
Figura 30 - Concentrações médias do total das espécies dissolvidas no período de águas altas, por bacia hidrográfica e por tipo de ambiente amostrado	74
Figura 31 - Diagramas de correlação do Fe dissolvido com pH e OD (mg/L) nos igarapés de ambientes naturais no período de águas altas	76
Figura 32 - Matriz de correlação dos cátions no período de águas altas	76
Figura 33 - Distribuição do Cl nas águas superficiais, de acordo com o tipo de ambiente amostrado, no período seco	79
Figura 34 - Distribuição da alcalinidade em bicarbonatos nas águas superficiais, de acordo com o tipo de ambiente amostrado, no período seco	80
Figura 35 - Concentrações médias de Cl^- e HCO_3^- nas águas da bacia do rio Urubu no período seco	80
Figura 36 - Variação das concentrações de Ca nas águas superficiais, para cada tipo de ambiente de amostragem, de acordo com o período hidrológico	82
Figura 37 - Variação das concentrações de Cl nas águas superficiais, para cada tipo de ambiente de amostragem, de acordo com o período hidrológico	83
Figura 38 - Variação das concentrações de Na nas águas superficiais, para cada tipo de ambiente de amostragem, de acordo com o período hidrológico	83
Figura 39 - Variação das concentrações de K nas águas superficiais, para cada tipo de ambiente de amostragem, de acordo com o período hidrológico	83
Figura 40 - Variação das concentrações de Fe nas águas superficiais, para cada tipo de ambiente de amostragem, de acordo com o período hidrológico	84
Figura 41 - Mapa de distribuição do cálcio em água superficial no período de águas altas	85
Figura 42 - Mapa de distribuição do ferro em água superficial no período de águas baixas	86
Figura 43 - Mapa de distribuição do ferro em água superficial no período de águas altas	87
Figura 44 - Igarapé Espraiado, a jusante da rodovia BR-174, com seu leito assoreado pelo material areno-argiloso proveniente das margens desmatadas da rodovia	89
Figura 45 - Distribuição do Fe, Al e Ti nas amostras de sedimentos de corrente no período de águas baixas de acordo com o tipo de ambiente	100
Figura 46 - Distribuição do Zr, As, Cr e Ni nas amostras de sedimentos de corrente no período de águas baixas de acordo com o tipo de ambiente	101
Figura 47 - Distribuição do Pb, Ba, V e Cu nas amostras de sedimentos de corrente no período de águas baixas de acordo com o tipo de ambiente	101
Figura 48 - Teores médios, por tipo de ambiente, dos principais elementos detectados nos sedimentos de corrente no período de águas baixas	102
Figura 49 - Teores médios do total de metais pesados em sedimentos de corrente, por bacia estudada e por tipo de ambiente amostrado, no período de águas baixas	103
Figura 50 - Matriz de correlação dos principais elementos detectados nos sedimentos de corrente no período de águas baixas	104
Figura 51 - Mapa de distribuição do alumínio em sedimentos de corrente no período de águas baixas	106
Figura 52 - Mapa de distribuição do ferro em sedimentos de corrente no período de águas baixas	107

Figura 53 - Distribuição do Fe, Al, Ti e Mn nas amostras de sedimentos de corrente no período de águas altas de acordo com o tipo de ambiente	115
Figura 54 - Distribuição do Zr, Cr, Cu e Ni nas amostras de sedimentos de corrente no período de águas altas de acordo com o tipo de ambiente	115
Figura 55 - Distribuição do Pb, Zn, Co e Cd nas amostras de sedimentos de corrente no período de águas altas de acordo com o tipo de ambiente	116
Figura 56 - Distribuição do V, Y, Ba e Mo nas amostras de sedimentos de corrente no período de águas altas de acordo com o tipo de ambiente	116
Figura 57 - Teores médios do total de metais pesados em sedimentos de corrente, por bacia e por tipo de ambiente amostrado, no período de águas altas	117
Figura 58 - Matriz de correlação dos principais elementos detectados nos sedimentos de corrente no período de águas altas	118
Figura 59 - Mapa de distribuição do alumínio em sedimentos de corrente no período de águas altas	121
Figura 60 - Mapa de distribuição do ferro em sedimentos de corrente no período de águas altas	122
Figura 61 - Variação dos teores de Fe nos sedimentos de corrente, para cada tipo de ambiente de amostragem, de acordo com o período hidrológico	124
Figura 62 - Variação dos teores de Cr nos sedimentos de corrente, para cada tipo de ambiente de amostragem, de acordo com o período hidrológico	125
Figura 63 - Variação dos teores de Cu nos sedimentos de corrente, para cada tipo de ambiente de amostragem, de acordo com o período hidrológico	125
Figura 64 - Variação dos teores de Ni nos sedimentos de corrente, para cada tipo de ambiente de amostragem, de acordo com o período hidrológico	125
Figura 65 - Variação dos teores de Al nos sedimentos de corrente, para cada tipo de ambiente de amostragem, de acordo com o período hidrológico	126
Figura 66 - Variação dos teores de V nos sedimentos de corrente, para cada tipo de ambiente de amostragem, de acordo com o período hidrológico	126
Figura 67 - Variação dos teores de Ba nos sedimentos de corrente, para cada tipo de ambiente de amostragem, de acordo com o período hidrológico	126
Figura 68 - Teores médios dos metais pesados nos sedimentos de corrente, por tipo de ambiente de amostragem, por bacia hidrográfica e por período hidrológico	127
Figura 69 - Mapa de distribuição do arsênio em sedimentos de corrente no período de águas baixas	133
Figura 70 - Mapa de distribuição do cádmio em sedimentos de corrente no período de águas altas	134
Figura 71 - Mapa de distribuição do cromo em sedimentos de corrente no período de águas altas	135
Figura 72 - Graus de contaminação, por bacia hidrográfica, nos dois períodos de amostragem .	139
Figura 73 - Gráfico de análise de correspondência com os pontos de amostragem	141
Figura 74 - Gráfico de análise de correspondência com os parâmetros utilizados para o agrupamento dos pontos de amostragem	142

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Análises químicas e parâmetros físico-químicos de águas do rio Negro e de igarapés e rios menores de água preta na área de estudo e suas proximidades segundo diversos autores (ambientes com influência antrópica nula ou pouco significativa)	24
Quadro 2 - Concentrações médias das principais espécies dissolvidas nas águas de grandes rios que atravessam regiões de latitudes desde periglacial até equatorial e litologias diversas	25
Quadro 3 - Análises químicas de metais pesados em sedimentos de fundo no rio Negro e no igarapé Barro Branco, afluente do rio Tarumã-Açu	29
Quadro 4 - Divisão dos pontos de coleta por tipo de ambiente e pelas bacias hidrográficas	36
Quadro 5 - Relação dos pontos de amostragem geoquímica	38
Quadro 6 - Elementos analisados nas amostras de água coletadas nas duas primeiras etapas, respectivos limites de detecção e métodos analíticos utilizados	43
Quadro 7 - Elementos analisados nas amostras de sedimentos de corrente, respectivos limites de detecção e abertura e métodos analíticos utilizados	44
Quadro 8 - Teores médios de alguns elementos em folhelhos (NRGG), em sedimentos em suspensão e na crosta terrestre (<i>clarke</i>)	94
Quadro 9 - Valores de referência para qualificação de sedimentos contaminados e amplitude de teores encontrados nos sedimentos analisados para este estudo	130

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros físico-químicos medidos nas águas superficiais da área de estudo .	48
Tabela 2 - Valores médios e amplitude dos parâmetros físico-químicos medidos nas águas superficiais por período hidrológico, bacia hidrográfica e ambiente de amostragem	50
Tabela 3 - Resultados das análises químicas efetuadas nas amostras de águas superficiais coletadas no período de águas baixas	58
Tabela 4 - Parâmetros estatísticos para os elementos dissolvidos nas águas superficiais no período de águas baixas	60
Tabela 5 - Anomalias de primeira e segunda ordem e quantidade de amostras anômalas, por tipo de ambiente, para os elementos dissolvidos no período de águas baixas	65
Tabela 6 - Resultados das análises químicas efetuadas nas amostras de águas superficiais coletadas no período de águas altas	70
Tabela 7 - Parâmetros estatísticos para os elementos dissolvidos nas águas superficiais no período de águas altas	72
Tabela 8 - Anomalias de primeira e segunda ordem e quantidade de amostras anômalas, por tipo de ambiente, para os elementos dissolvidos no período de águas altas	74
Tabela 9 - Resultados das análises químicas efetuadas nas águas no período seco	79
Tabela 10 - Comparação entre as médias e as amplitudes das concentrações dos elementos dissolvidos nas águas superficiais nas duas primeiras etapas de amostragem ...	81
Tabela 11 - Resultados das análises químicas efetuadas nas amostras de sedimentos de corrente no período de águas baixas	95
Tabela 12 - Parâmetros estatísticos para os principais elementos encontrados nos sedimentos de corrente no período de águas baixas	97
Tabela 13 - Anomalias de primeira e segunda ordem e quantidade de amostras anômalas, por tipo de ambiente, para os elementos encontrados nos sedimentos no período de águas baixas	100
Tabela 14 - Resultados das análises químicas efetuadas nas amostras de sedimentos de corrente no período de águas altas	109
Tabela 15 - Parâmetros estatísticos para os principais elementos encontrados nos sedimentos de corrente no período de águas altas	111
Tabela 16 - Anomalias de primeira e segunda ordem e quantidade de amostras anômalas, por tipo de ambiente, para os elementos encontrados nos sedimentos no período de águas altas	114
Tabela 17 - Comparação entre as médias e as amplitudes dos teores dos elementos detectados nos sedimentos de corrente nas duas campanhas	123
Tabela 18 - Teores de referência (T_N), teor médio de metais pesados nos sedimentos de ambientes com influência antrópica (T_A), fatores (F_C) e graus (G_C) de contaminação em cada bacia hidrográfica no período de águas baixas	137
Tabela 19 - Teores de referência (T_N), teor médio de metais pesados nos sedimentos de ambientes com influência antrópica (T_A), fatores (F_C) e graus (G_C) de contaminação em cada bacia hidrográfica no período de águas altas	138

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
1 JUSTIFICATIVAS E OBJETIVOS	16
2 EVOLUÇÃO DOS CONHECIMENTOS	18
2.1 Águas	18
2.1.1 Águas Pretas	21
2.1.2 Proveniência das principais espécies dissolvidas nas águas doces superficiais	25
2.1.3 A Relação pH versus alcalinidade	27
2.2 Sedimentos de Fundo	28
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	31
4 MATERIAIS E MÉTODOS	35
4.1 Fase de Campo	35
4.2 Fase de Laboratório	43
4.3 Tratamento dos Dados	44
5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	47
5.1 Parâmetros físico-químicos das águas superficiais	47
5.1.1 Potencial Hidrogeniônico	47
5.1.2 Oxigênio Dissolvido	52
5.1.3 Condutividade Elétrica	54
5.2 Análises químicas das águas superficiais	57
5.2.1 Águas Baixas	57
5.2.2 Águas Altas	69
5.2.3 Período Seco	77
5.2.4 Variação sazonal das concentrações dos íons	81
5.2.5 Comparação com valores de referência para águas superficiais	88
5.3 Análises químicas dos sedimentos de corrente	93
5.3.1 Águas Baixas	94
5.3.2 Águas Altas	108
5.3.3 Variação sazonal dos elementos químicos presentes nos sedimentos	123
5.3.4 Comparação com valores de referência para sedimentos	129
6 NÍVEIS DE DEGRADAÇÃO/CONTAMINAÇÃO	136
7 ANÁLISE MULTIVARIADA	140
8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	143
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	147
ANEXO I – MAPA DE AMOSTRAGEM GEOQUÍMICA	

INTRODUÇÃO

A Geoquímica Ambiental é um ramo das ciências naturais que busca as ferramentas capazes de discriminar, nos vários ambientes terrestres, as contribuições químicas de origem natural das de origem antrópica. Estuda os complexos mecanismos de transferência dos elementos químicos da geosfera (litosfera, hidrosfera e atmosfera) para a biosfera, com ênfase nos problemas de degradação ambiental, diretamente ligados à saúde humana, animal e vegetal.

Em paralelo com a Geoquímica Ambiental tem ganhado força nos últimos anos o que se convencionou chamar de Geologia Médica, que se constitui na conexão entre as Ciências da Terra e a Medicina. Ela procura diagnosticar as relações de causa e efeito entre os fatores ambientais e determinados problemas de saúde, uma vez que as relações entre o ambiente e a cadeia alimentar são condicionadas por fatores geológicos e pelos processos geoquímicos, controladores da transferência dos elementos ao solo, às plantas e, conseqüentemente, aos animais e seres humanos.

Além dos elementos básicos da química orgânica – C, H, O e N, essenciais para a existência da vida na Terra, os seres humanos necessitam, para o desenvolvimento de seu metabolismo, uma série de outros elementos que podem ser divididos em: **macronutrientes essenciais**, compostos por Ca, K, P, S, Cl, Na e Mg, e **micronutrientes essenciais** ou **oligoelementos**, representados por Fe, F, Zn, Co, Cu, I, Se, Mn, Mo, Cr, Ni, Si, V e W.

Diversos outros elementos, como Hg, Cd e Pb, não são essenciais aos seres vivos, mas são muito tóxicos quando presentes no ambiente, mesmo em baixas concentrações, porque são cumulativos nos organismos. Tais elementos são denominados **contaminantes** e fazem parte do grupo dos metais pesados. Mesmo alguns micronutrientes, como Co, Cr, Cu e Ni, estão incluídos nesse grupo e podem ser tóxicos aos organismos quando assimilados, por longos períodos, em quantidades acima das necessárias.

Recentemente, o termo metal pesado tem sido aplicado com uma conotação de toxicidade e, assim, a maior parte dos estudos relativos ao tema contempla uma definição menos rígida e mais ampla do grupo, utilizada no contexto ambiental, e incluindo metais mais leves, como Al e Be, além de metalóides, como As e Sb, e mesmo ametais, como Se.

As mudanças nas características naturais dos ambientes aquáticos, promovidas por ações como desmatamento e lançamento de efluentes domésticos ou industriais, atingem as comunidades vegetais e animais neles viventes. A intensidade e extensão dessas mudanças, assim como seu grau de impacto, podem ser evidenciadas por análises físico-químicas das águas superficiais e sedimentos correlatos.

Nesse sentido, para a execução deste estudo, foram feitas análises químicas multi-elementares em amostras de águas correntes e sedimentos de fundo, coletadas em períodos hidrológicos distintos, nas principais drenagens que compõem as bacias hidrográficas da área. Os resultados analíticos permitiram estimar os fatores que controlam a distribuição dos elementos químicos presentes nos meios amostrados, bem como verificar que a rede de drenagem local mostra-se pouco impactada por atividades antrópicas, com processos iniciais de degradação química restritos às proximidades dos núcleos urbanos.

1 JUSTIFICATIVAS E OBJETIVOS

No final da década de 60 do século passado, com objetivo de estimular o desenvolvimento econômico na região e facilitar sua integração com o restante do país, foi implantada a Zona Franca da cidade de Manaus, pólo industrial e comercial dotado de amplos incentivos fiscais, ficando sua administração a cargo da SUFRAMA – Superintendência da Zona Franca de Manaus, órgão subordinado ao Ministério da Indústria e Comércio.

A reboque da implantação da Zona Franca, ainda na década de 60, foi criado o Distrito Agropecuário da SUFRAMA – DAS, área-objeto deste estudo, com intuito de fomentar o desenvolvimento de atividades como colonização, agropecuária, mineração e turismo ecológico. Por uma série de fatores, como carência de estudos prévios de viabilidade técnica, ambiental e financeira, a produção agropecuária, que estaria voltada para o abastecimento da crescente população de Manaus, não vingou, e mesmo as demais atividades ainda se desenvolvem de modo incipiente.

No ano de 2003, visando fornecer subsídios para reduzir a estagnação econômica verificada no DAS, a CPRM – Serviço Geológico do Brasil iniciou a execução de um projeto de Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) que pudesse gerar propostas concretas para seu desenvolvimento sustentável. A geoquímica ambiental foi um dos temas contemplados por aquele estudo, concluído no ano de 2005 (CPRM, 2005), e as informações obtidas a partir dos trabalhos de campo e laboratório realizados para este tema, no âmbito do ZEE, foram a principal fonte de dados para a elaboração da presente dissertação.

Apesar da proximidade com a capital do Estado, são muito poucos os estudos de geoquímica ambiental abrangendo especificamente a área de estudo ou seu entorno imediato. Assim, os resultados obtidos neste trabalho conduziram à elaboração de um panorama hidrogeoquímico conciso da situação atual, antes da instalação de novas atividades econômicas na região, o qual poderá ser muito útil para futuras comparações.

Tendo em vista o exposto acima, os principais objetivos dos trabalhos desenvolvidos para este estudo encontram-se a seguir explicitados:

- a) determinar a composição química das águas superficiais e dos sedimentos de fundo da rede de drenagem;
- b) determinar importantes parâmetros físico-químicos dos corpos d'água amostrados: pH, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica;
- c) determinar, por bacia hidrográfica, a variação/distribuição sazonal dos parâmetros físico-químicos e das concentrações dos elementos/íons nos dois meios amostrados (águas e sedimentos de fundo);
- d) confrontar os resultados das análises químicas (especialmente metais pesados) com valores de referência para água e para sedimentos e estimar níveis comparativos de degradação ambiental nas bacias estudadas;
- e) fornecer subsídios para a elaboração de plano de sustentabilidade da área do Distrito Agropecuário da SUFRAMA.

2 EVOLUÇÃO DOS CONHECIMENTOS

A Bacia Amazônica drena uma área aproximada de 6.300.000 km² no norte da América do Sul. Seu principal curso d'água, o rio Solimões/Amazonas, é responsável por 18% do volume total de água despejado pelos rios nos oceanos (GIBBS, 1967). A vazão média e a descarga sólida total em sua foz são estimadas respectivamente em 210.000 m³/s e 6 x 10⁸ ton/ano (HIBAM, 2005). Esses dados fazem do Solimões/Amazonas o maior rio do mundo em área de drenagem e volume de descarga. A compreensão da dinâmica geoquímica desse impressionante sistema fluvial, assim como sua interação com as comunidades vegetais e animais, é de fundamental importância em qualquer ramo das ciências naturais.

2.1 Águas

As primeiras informações sobre o quimismo das águas superficiais da Amazônia datam do início do século passado (PAIVA, 1929 apud SANTOS et al., 1984, p.222). Porém, só a partir da década de 50, com o maior refinamento das técnicas analíticas, é que os estudos se tornaram mais sistemáticos, consistentes e abrangentes. Nesse sentido, destaca-se o trabalho de Gibbs (1967) que, por meio da amostragem de águas correntes e sedimentos nos 16 maiores tributários da Bacia Amazônica, avaliou os fatores que controlam o conteúdo e composição dos sólidos suspensos e dissolvidos carregados pelo rio Amazonas. O autor enfatizou o papel do relevo como o principal controlador da geoquímica do sistema e afirmou que mais de 80% de sua carga sólida e suspensa é proveniente da porção andina da bacia, que representa apenas 12% da área total da mesma.

Dos estudos de Gibbs (1967), aliados aos de outros pioneiros, como Sioli (1956, 1957 e 1968) e Ungemach (1967), é que se chegou à divisão dos rios amazônicos em três grandes sistemas aquáticos:

- a) **rios de águas brancas**, que nascem na região andina e pré-andina, onde os processos erosivos são mais intensos. São rios de águas ricas em nutrientes, com elevada carga de sedimentos em suspensão, pH próximo ao neutro, e apresentam concentrações de Ca + Mg dissolvidos superiores às de Na + K. Os principais representantes desta classe são os rios Solimões, Madeira e Juruá;

- b) **rios de águas pretas**, que nascem no Escudo das Guianas ou nos sedimentos neógenos a cretáceos da Bacia Sedimentar Amazônica, regiões onde o processo erosivo é menos intenso e atenuado pela floresta densa. São rios de cor escura, de tonalidade alaranjada, devido à grande concentração de matéria orgânica solúvel, que confere às águas pH ácido (<5,0). São águas muito pobres em sólidos dissolvidos e em suspensão, porém com maiores conteúdos de Na e K dissolvidos que as águas brancas. O rio Negro é seu principal representante;
- c) **rios de águas claras**, que nascem preferencialmente no Escudo Brasil-Central. São rios de águas transparentes, com muito pouco material em suspensão e com características de transição entre os dois tipos anteriores. Essas águas apresentam pH ácido a neutro (4,5 a 7,0) e a quantidade de sais dissolvidos é variável, dependendo das nascentes. O rio Tapajós se enquadra nesta categoria.

A grande maioria dos estudos disponíveis sobre a geoquímica das águas amazônicas se concentra nos cursos dos grandes rios. Assim, a classificação de rios menores e igarapés numa dessas categorias torna-se difícil. De qualquer modo, Seyler e Boaventura (2003) afirmam que, apesar da classificação ser mais embasada em parâmetros visuais, estudos subseqüentes mostraram que os três tipos de água realmente possuem características químicas diferentes.

Walker (1995) associa os tipos de água com processos pedogenéticos: a origem das águas claras estaria mais ligada à formação de Latossolos, com dissolução do quartzo e neoformação de caulinita e gibbsita; já as águas pretas estariam mais associadas à podzolização, com remoção das argilas e geração de macromoléculas de ácidos orgânicos que tingem as águas de tonalidades avermelhadas.

Stallard e Edmond (1983), ao tecerem considerações a respeito do comportamento geoquímico das espécies maiores nos grandes rios amazônicos, afirmam que o substrato litológico e os regimes de erosão exercem o principal controle na química das águas superficiais. Ainda com relação à classificação das águas dos rios, Fittkau (1971 apud FURCH, 1984, p.168) sugere a subdivisão da Bacia Amazônica em três grandes províncias geoquímicas:

- 1) região andina e pré-andina (com amplo predomínio das águas brancas);
- 2) áreas periféricas norte e sul (regiões relativamente pobres em nutrientes – águas pretas ou claras);
- 3) região da Amazônia Central (de pobreza geoquímica extrema – igarapés de terra firme – águas pretas).

Segundo Furch (1984), as diferenças mais marcantes entre as águas dessas três províncias são: o pH e o conteúdo total de íons, assim como as concentrações de Na, K, Mg, Ca e HCO_3^- , são bem maiores no grupo 1; as concentrações de Fe, Al e Mn são maiores nos grupos 2 e 3; no grupo 1 observa-se ainda a seguinte relação: $\text{Ca} + \text{Mg} \gg \text{Na} + \text{K}$, a qual se inverte nas águas dos grupos 2 e 3, que não possuem diferenças marcantes entre si. O mesmo autor, porém, adverte que todos os cursos d'água amazônicos possuem concentrações de íons abaixo da média mundial para as águas superficiais, são quimicamente pobres, e mesmo as águas brancas só são enriquecidas em sais dissolvidos se comparadas com as águas pretas.

Com auxílio de modelos de balanço de massa da química das águas fluviais, unidos a dados geológicos, Stallard e Edmond (1987) fornecem uma descrição consistente dos processos intempéricos atuantes na Bacia Amazônica. Sustentam que a intensidade de intemperismo dos minerais primários é, em grande parte, controlada pela disponibilidade de uma fonte de prótons (H^+) em solução, representada principalmente pelos ácidos orgânicos e carbônico: os íons H^+ deslocam os cátions trocáveis e hidrolisam as ligações Si-O, Al-O e Fe-O.

Os anos 90 marcam o início das atividades do Projeto HIBAM – Hidrologia e Geoquímica da Bacia Amazônica, uma parceria entre o IRD – Instituto Francês de Pesquisa para o Desenvolvimento e diversas instituições de pesquisa brasileiras. No âmbito desse projeto, Seyler e Boaventura (2003) concluíram que no rio Solimões os elementos-traço são transportados preferencialmente pela matéria particulada, ao contrário do rio Negro, onde predomina o transporte pela fase dissolvida. Pesquisa semelhante foi desenvolvida por Aucour et al. (2003), que avaliaram as mudanças nas concentrações de alguns elementos maiores no estágio inicial da mistura das águas do rio Negro com as águas brancas do Solimões. Eles constataram que o Negro é muito mais rico em Al e Fe dissolvido que o Solimões, onde esses elementos estão mais concentrados na fase particulada. Viers et al. (2004), ao estudarem a variação sazonal de alguns elementos químicos nas águas e plantas das

várzeas do rio Solimões, enfatizam a transferência de elementos maiores e traço, contidos na fase dissolvida, para as águas do canal principal do rio.

2.1.1 Águas Pretas

Como as drenagens amostradas neste trabalho se enquadram na categoria das águas pretas, apresenta-se, a seguir, cronologia sucinta da evolução dos conhecimentos relativos à química deste tipo de água na área de estudo e suas proximidades.

Schmidt (1972) verificou que os igarapés cortados pelo trecho inicial da rodovia BR-174 (Manaus – Boa Vista) eram ácidos e muito pobres em sólidos totais dissolvidos, classificando-os como de águas claras ou pretas, com transições entre os dois tipos.

Ao analisarem águas e sedimentos do rio Negro, a montante de Manaus, Leenheer e Santos (1980) concluíram que o alto conteúdo orgânico solúvel e o baixo pH desse rio são os principais responsáveis pela flocculação das caulinitas oriundas do rio Branco. Constataram também que a concentração iônica no rio Negro é 8 a 10 vezes inferior à do Solimões. Já Santos et al. (1984) estudaram as águas dos principais afluentes do rio Negro, desde seu alto curso até o rio Cuieiras, cuja bacia está parcialmente inserida no presente estudo. A exemplo de Furch (1984), verificaram que as concentrações de Na + K são bem maiores que de Ca + Mg e associaram essa relação à geologia da região.

Campos (1994) realizou análises físico-químicas em diversos cursos d'água cortados pela rodovia BR-174, com amostragens mensais durante um ano. Ao comparar os resultados com os de Schmidt (1972), a autora concluiu que, apesar dos projetos implantados no Distrito Agropecuário da Suframa (do km 30 ao km 98 da BR-174), não tinha, até aquele momento, havido impacto significativo na qualidade das águas dos igarapés estudados.

Estudo realizado nas bacias dos rios Cuieiras, Tarumã-Mirim e Tarumã-Açu, afluentes da margem esquerda do rio Negro, levou Walker (1995) a concluir que a cor dos mesmos

varia com a estação do ano, com as águas pretas tornando-se mais claras durante longos períodos secos devido à diminuição do influxo de matéria orgânica dissolvida.

Silva (1996) avaliou a composição físico-química das águas de dois igarapés poluídos, na zona urbana de Manaus, e de um de ambiente natural, na bacia do rio Tarumã-Açu, parcialmente inserida na área do presente estudo. Como Furch (1984) e Santos et al. (1984), a autora também encontrou, no igarapé natural, que os teores dissolvidos de Na + K são maiores que os de Ca + Mg.

Cunha et al. (2003) desenvolveram monitoramento hidroquímico, no decorrer de 36 meses, da bacia do rio Preto da Eva, parcialmente inserida neste estudo. Afirmam que os resultados obtidos em determinadas épocas do ano, como os teores de nitrato, sódio e cloreto, revelam influências resultantes da ação antrópica no meio aquoso. Os autores ressaltam, entretanto, que essa influência não é tão significativa, e que as modificações ocorridas nos parâmetros analisados se dão pontualmente, nos locais onde se observam concentrações urbanas ou balneários.

Por meio de estudos promovidos nas águas do rio Negro, a montante (ambiente pouco impactado) e jusante de Manaus, no pico da vazante e da cheia, Pinto et al. (2003) verificaram que os metais analisados (Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn) aumentam sua concentração no período de águas baixas em todos os locais amostrados.

Com base em análises de diversos elementos dissolvidos nas águas dos rios Urubu, Uatumã e afluentes menores do rio Amazonas, incluindo rio Preto da Eva, Oliveira (2004) afirma que podem ser feitas distinções químicas no grande grupo dos rios de água preta, sendo a geologia local um fator determinante nessas distinções. Como característica marcante, a autora encontrou valores elevados do íon HCO_3^- em várias amostras ($> 30 \text{ mg/L}$), fato incomum em águas pretas, que são reconhecidamente muito pobres nessa espécie dissolvida.

Horbe et al. (2005) realizaram análises físico-químicas de águas na bacia do rio Puraquequara, no limite sul da área deste estudo, em dois períodos hidrológicos distintos. Observaram que no período chuvoso o pH é mais ácido e a condutividade elétrica mais elevada. Encontraram também, nos dois períodos, a seguinte relação entre os elementos maiores dissolvidos: $\text{Na} > \text{K} > \text{Mg} > \text{Ca}$.

O Quadro 1 apresenta, para diversos autores citados acima, as análises físico-químicas de águas do rio Negro e rios menores de água preta na área de estudo e proximidades, selecionadas exclusivamente de ambientes com influência antrópica nula ou pouco significativa. Considerando-se cada parâmetro isoladamente, verifica-se, com poucas exceções, que as faixas de valores encontradas são muito similares. As exceções que merecem destaque são: os valores máximos registrados por Silva (1996) para Na e Cl são bem mais elevados e destoam dos demais; as maiores concentrações de HCO_3^- detectadas por Campos (1994) e Oliveira (2004) são muito altas quando comparadas com as de outros autores; a faixa de valores encontrada por Santos et al. (1984) para SO_4^{-2} e Al também destoa das demais. Porém, quando se avaliam essas distorções, devem ser levadas em conta as técnicas analíticas utilizadas por cada autor e a época da amostragem, dois fatores que influem decisivamente nos resultados analíticos e que podem prejudicar a efetividade das comparações.

	Leenheer e Santos (1980)	Furch (1984)	Santos et al (1984)	Campos (1994)	Silva (1996)	Cunha et al (2003)	Pinto et al (2003)	Seyler e Boaventura (2003)	Oliveira (2004)	Horbe et al (2005)
pH	4,2 – 4,9	4,5 – 5,1	3,6 – 5,1	3,8 – 5,9	3,7 -5,5	3,5 – 4,9	4,7 – 5,8	4,3 – 5,9	4,4 – 5,5	3,8 – 5,4
CE (µS/cm)	10,5 – 11,0	9,0 – 10,0	7,8 – 21,8	5,2 – 28,5	7,9 – 19,3	8,1 – 12,8	7,1 – 15,9	13,2 – 15,0	6,8 – 20,8	5,5 – 13,9
OD (mg/L)				3,4 – 9,1	5,5 – 7,5	2,2 – 5,8	5,2 – 9,0			
Eh (mV)							147 - 279		162 - 333	
Na	0,32 – 0,41	0,22 – 0,38	0,10 – 0,74		1,3 – 2,3	0,1 – 1,3		0,20 – 0,55	0,47 – 0,62	0,5 – 0,9
K	0,26 – 0,28	0,15 – 0,33	0,16 – 0,68		0,2 – 0,7	0,05 – 0,45		0,11 – 0,51	0,25 – 1,51	0,1 – 0,3
Mg	0,06 – 0,11	0,04 – 0,11	<0,02 – 0,54	<0,02 – 0,90	<0,02 – 1,3			0,05 – 0,15	<0,01 – 0,24	<0,02 – 0,14
Ca	0,17 – 0,25	0,04 – 0,21	<0,02	<0,02 – 1,24	<0,02			0,08 – 0,28	0,04 – 0,33	<0,02 – 0,06
HCO ₃ ⁻	0,01	1,1 – 1,7		<0,05 – 21,9				<0,02	8,72 – 32,7	<0,02 – 3,66
Cl ⁻	0,25 – 0,34	1,7 – 2,2	0,60 – 1,00	1,0 – 4,0	0,8 – 9,2	0,6 – 1,8		0,28 – 0,42	<0,05 – 2,18	0,8 – 1,2
SiO ₂	3,1 – 3,7	1,7 – 2,1	1,4 – 3,8						0,02 – 2,10	1,7 – 2,9
SO ₄ ⁻²	0,18 – 0,19		3,0 – 5,3		0,5 – 4,1			0,19		
PO ₄ ⁻³				<0,05 – 0,19					<0,001 – 0,006	<0,001 – 0,007
Al	90 - 120	90 – 119	90 – 1920							
Ba		6,9 – 8,1						6,2 – 6,3		
Cu		1,5 – 1,8					10 - 610	0,19 – 0,20		
Fe	110 - 130	98 - 178	110 - 390				300 -920		200 - 2100	40 - 480
Mn		3,2 – 9,0	< 20				40 - 120	7,5 – 10,6		
Ni							40 - 230			
Pb							< LD - 670			
Sr		1,1 – 3,6						2,8 – 4,3		
Zn		4,0 – 4,1					20 - 60	0,7 – 1,0		

Obs.: Al, Ba, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sr e Zn em µg/L; os demais em mg/L.

Quadro 1 - Análises químicas e parâmetros físico-químicos de águas do rio Negro e de igarapés e rios menores de água preta na área de estudo e suas proximidades segundo diversos autores (ambientes com influência antrópica nula ou pouco significativa)

2.1.2 Proveniência das principais espécies dissolvidas nas águas doces superficiais

Segundo Carvalho (1995), considerando valores médios mundiais, as espécies dissolvidas mais abundantes nas águas fluviais são, por ordem decrescente: bicarbonato, cálcio, sílica, sulfato, cloreto, sódio, magnésio, potássio, nitrato, ferro e alumínio (Quadro 2).

Espécie	HCO ₃ ⁻	Ca	SiO ₂	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	Na	Mg	K	NO ₃ ⁻	Fe	Al
Concentração (mg/L)	58,3	15,0	13,1	11,2	7,8	6,3	4,1	2,3	0,97	0,67	0,39

Quadro 2 – Concentrações médias das principais espécies dissolvidas nas águas de grandes rios que atravessam regiões de latitudes desde periglacial até equatorial e litologias diversas
Fonte: CARVALHO (1995)

- Ca, Mg, Na, K, SiO₂, Al e Fe

Os cátions maiores, Al, Fe e sílica dissolvidos nas águas dos rios são basicamente resultantes da hidrólise dos minerais silicatados. Stallard e Edmond (1983, 1987) observam que o intemperismo de rochas silicáticas, acelerado em locais com maior disponibilidade de H⁺ em solução, claramente controla a química dos cátions maiores nos rios amazônicos.

Outras possíveis fontes para essas espécies dissolvidas são:

- uma pequena parcela do Ca e Mg pode ser oriunda da decomposição de matéria orgânica vegetal (folhas, raízes, troncos) ou de produtos metabólicos da macro e microfauna (CAMPOS, 1994; STALLARD & EDMOND, 1983);
- o Na pode ser proveniente das águas de chuva (aerosóis marinhos), por vezes em teores significativos (CARVALHO, 1995; NEIVA & CUNHA, 2000);
- aportes antrópicos, como, por exemplo, áreas com agricultura intensiva, onde se faz uso de adubos químicos, à base de N, P e K, elementos que, em excesso nos solos, podem ser dissolvidos e carreados em solução para as águas superficiais.

- HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄⁻²

Na média mundial, o HCO₃⁻ é o ânion dominante nas águas fluviais. Sua proveniência está ligada a duas fontes:

- dissolução de rochas carbonatadas;
- reação do gás CO₂, de origem atmosférica ou de atividades de microorganismos, com água, produzindo ácido carbônico (H₂CO₃), que tende a se dissociar em H⁺ e HCO₃⁻.

Furch (1984) afirma que a composição química das águas brancas é similar à média mundial, com HCO₃⁻ e Ca²⁺ como íons predominantes. Nas águas pretas, o HCO₃⁻ está presente em quantidades muito reduzidas, normalmente abaixo de 5 mg/L.

As reações que envolvem o sistema carbonato (H_2CO_3 - HCO_3^- - CO_3^{2-}) são dependentes dos valores de pH das águas naturais. Drever (1997), por meio de uma seqüência de equações envolvendo as constantes de equilíbrio desse sistema, observa que com valores de $\text{pH} < 6,0$ todas as espécies de carbonato dissolvidas estão preferencialmente na forma de H_2CO_3 , ácido não dissociado; com $\text{pH} > 7,0$ e $< 10,0$ quase todas estão na forma de HCO_3^- , e com $\text{pH} > 10,0$ a forma que predomina é CO_3^{2-} .

O diagrama pH versus atividade do sistema carbonato indica que nas águas pretas ($\text{pH} < 5,0$) as concentrações de HCO_3^- serão insignificantes, predominando amplamente a forma H_2CO_3 (Figura 1). Quando há elevação do pH dessas águas, por processos como poluição ou, talvez, desmatamento das margens dos igarapés, o HCO_3^- aumenta sua concentração, passando a ser forma dominante a partir de pH em torno de 6,5. Portanto, na região de estudo, o íon HCO_3^- é um bom indicativo de ambientes impactados.

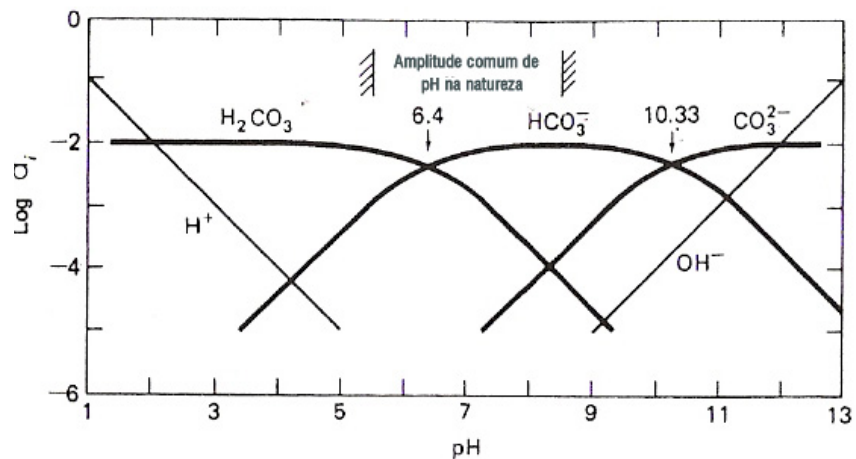


Figura 1 – Atividades de diferentes espécies do sistema carbonato como função de pH
Fonte: DREVER (1997)

O íon cloreto nas águas doces não contaminadas pode ser derivado da dissolução de rochas evaporíticas (contendo sais de Cl, como silvita) ou, mais comumente, de aerossóis produzidos pela evaporação oceânica, passando às águas fluviais pela precipitação direta das chuvas, pelo escoamento superficial ou pela lixiviação das águas de infiltração do solo (CARVALHO, 1995; SANTOS et al., 1984). No caso das águas pretas, dada a ausência de

evaporitos nas bacias hidrográficas correspondentes, a segunda fonte citada é a única origem possível do Cl, a não ser que haja aportes antrópicos.

A presença de sulfatos nas águas fluviais é resultante da oxidação de rochas sulfetadas ou da dissolução de sulfatos naturais, como anidrita e gipsita, presentes em camadas sedimentares (CARVALHO, 1995). Nas águas pretas amazônicas o sulfato está presente normalmente em concentrações reduzidas (Quadro 1), e valores acima de 10 mg/L são fortes indicativos de contaminações antrópicas.

2.1.3 A Relação pH versus alcalinidade

Segundo Krauskopf (1982) a origem da acidez nas águas superficiais é devida, basicamente, a dois fatores:

- a) à presença de CO₂ dissolvido nas águas, que conduz à formação de H₂CO₃, o qual se dissocia em H⁺ e HCO₃⁻;
- b) à presença de ácidos orgânicos formados pela decomposição da matéria orgânica, como é o caso da acidez das águas pretas.

A alcalinidade total de uma solução é definida pela quantidade de ácido necessária para transformar todos os ânions presentes em espécies neutras (sem carga elétrica), o que acontece pela reação com o H⁺ (ex.: H₃SiO₄⁻ + H⁺ = H₄SiO₄). Para a grande maioria das águas naturais, a relação que se convencionou adotar é:

$$\text{Alcalinidade total} = \text{alcalinidade de HCO}_3^- + \text{alcalinidade de CO}_3^{2-}$$

Em águas onde o HCO₃⁻ é o ânion dominante, a concentração de H⁺ é inversamente relacionada com a concentração de HCO₃⁻, ou seja, o valor de pH tem correlação positiva com a alcalinidade. Isso não acontece nas águas pretas, muito pobres em HCO₃⁻, e os raros valores mais elevados de alcalinidade nessas águas podem ser devidos à presença de outros ânions orgânicos que não o bicarbonato.

2.2 Sedimentos de Fundo

Os sedimentos fluviais são constituídos pelo material resultante do intemperismo e erosão das rochas, o qual é transportado, pelo escoamento superficial das águas, pelo vento e/ou gravidade, até os fundos dos vales e acumula-se nos leitos dos rios e igarapés, ou permanece em suspensão em suas águas até que encontre condições favoráveis para sua deposição. A qualidade desses sedimentos, sejam de fundo ou em suspensão, reflete a composição das rochas, a partir das quais se desenvolvem os processos pedogenéticos de terra-firme, e subseqüentes modificações físicas, químicas e biológicas que ocorrem no ambiente aquático.

Na avaliação dos recursos hídricos, os sedimentos de fundo das drenagens são um dos mais importantes indicadores do nível de contaminação dos ecossistemas aquáticos, pois se constituem num compartimento potencial para o acúmulo de metais pesados e outros contaminantes oriundos da atmosfera, solo e água, sejam de origem natural ou antrópica (NASCIMENTO, 2003). Contudo, a sua caracterização química nos rios e igarapés de água preta não contaminados é um tema muito pouco abordado pelos estudiosos da área e, por conseguinte, as informações disponíveis são escassas e muito localizadas.

Silva (1996), mediante análises químicas de sedimentos de fundo de dois igarapés poluídos e de um em estado natural (igarapé Barro Branco, na bacia do rio Tarumã-Açu), avalia a distribuição de metais pesados nesses ambientes, de acordo com o regime hidrológico e atividades antrópicas. A autora analisou a fração mais fina (argila + silte) dos sedimentos coletados utilizando a técnica de partição química, para identificar a forma na qual os metais se encontram agregados. Nessa técnica são feitas extrações seqüenciais, por ataques químicos diferentes, e determinados os teores dos metais nas seguintes fases:

- a) trocável (metais fracamente adsorvidos às superfícies dos argilominerais e dos óxidos e hidróxidos de Fe-Mn);
- b) oxidável (metais ligados à matéria orgânica e sulfetos);

- c) redutível (metais fortemente ligados aos óxidos e hidróxidos de Fe-Mn);
- d) residual (metais presos à rede cristalina dos minerais).

A soma dos teores de todas essas frações resulta no conteúdo total do metal na amostra analisada. Destaca-se que as fases trocável e oxidável são aquelas assimiláveis pela biota aquática, ou seja, são as frações *biodisponíveis*. Silva (1996) observa que no igarapé Barro Branco os maiores teores dos metais analisados encontram-se nas fases residual e redutível, portanto indisponíveis para a biota, ao contrário dos metais detectados nas amostras de sedimentos dos dois igarapés poluídos, que ocorrem preferencialmente nas fases trocável e oxidável.

Pinto et al. (2003) promoveram análises químicas de alguns metais pesados em sedimentos de fundo coletados no rio Negro na orla de Manaus, a montante (ambiente pouco impactado) e jusante (ambiente com clara influência antrópica) da zona urbana, no pico da vazante e da cheia. As autoras ressaltam que, considerando a extração total, Fe, Mn e Zn foram os metais que apresentaram maiores variações sazonais, revelando teores mais elevados na vazante, ao contrário de Ni, Cd e Cu, que se mostraram mais concentrados nos sedimentos de fundo na época das águas elevadas do rio Negro.

Para efeitos de comparação, o Quadro 3 apresenta, apenas para os ambientes com pouca ou nenhuma influência antrópica, os dados obtidos por Silva (1996) e Pinto et al. (2003).

Elemento	Pinto et al. (2003)	Silva (1996)
Cd	31 – 57	< LD – 9
Co	ND	11 – 34
Cu	73 – 207	< LD – 39
Cr	ND	40 – 89
Fe	6280 – 18410	12980 – 20840
Mn	2300 – 5580	46 – 64
Ni	166 – 424	82 – 176
Zn	8 – 150	136 – 194

ND – não determinado; LD – limite de detecção

Quadro 3 - Análises químicas ($\mu\text{g/g}$) de metais pesados em sedimentos de fundo no rio Negro (PINTO et al., 2003) e no igarapé Barro Branco, afluente do rio Tarumã-Açu (SILVA, 1996)

O estabelecimento de valores de referência que identifiquem normas de qualidade em sedimentos é uma tarefa complexa e objeto de inúmeras discussões envolvendo a interface toxicologia-geociências. Nascimento (2003) afirma que existem diversos métodos para definir a qualidade de sedimentos, embasados em critérios químicos e/ou biológicos, que têm o objetivo de avaliar o grau de efeitos adversos que eventuais contaminantes presentes podem causar na biota aquática, cada um deles com um nível de incerteza inerente à própria metodologia.

Uma das questões fundamentais é que, para que se obtenha uma comparação coerente, tanto a amostra-padrão (referência) como a amostra de estudo (a ser avaliada) devem ter sido preparadas e analisadas segundo os mesmos parâmetros: mesma fração granulométrica, mesmo tipo de abertura (ataque ácido para a dissolução dos elementos de interesse) e mesmo método de análise (equipamentos/padrões). Essa coincidência, em grande parte dos casos, não ocorre, distorcendo os resultados das comparações. Além disso, muitas vezes as diferenças geoquímicas regionais não são consideradas, correndo-se o risco de apontar falsamente uma área como contaminada se não se levar em conta que os teores encontrados podem representar valores naturais típicos dessa região.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo, correspondente ao Distrito Agropecuário da Suframa - DAS, ocupa uma extensão aproximada de 5.800 km², abrange parte dos municípios de Manaus e Rio Preto da Eva (AM) e envolve parcialmente as bacias hidrográficas dos rios Urubu, Preto da Eva, Cuieiras e Tarumã-Açu, os dois primeiros afluentes do rio Amazonas e os dois últimos do rio Negro. Suas principais vias de acesso são a rodovia federal BR-174 (Manaus – Boa Vista) e a rodovia estadual AM-010 (Manaus – Itacoatiara), ambas pavimentadas (Figura 2). Cerca de uma dezena de estradas vicinais não-pavimentadas completam a malha rodoviária da área e facilitam o acesso ao seu interior, também possibilitado por via fluvial.

Seu principal núcleo populacional é representado pela cidade de Rio Preto da Eva, no extremo sul-sudeste da área, com cerca de 8.000 habitantes (IBGE, 2006). A economia local está embasada no setor primário, com ênfase na agricultura (laranja, banana, coco e grama) e piscicultura. A norte da área de estudo está a cidade de Presidente Figueiredo, famosa pelas cachoeiras e corredeiras dos rios Urubu e Urubuí, muito freqüentadas pela população da capital do Estado. Diversas pequenas comunidades, sítios e fazendas, situados às margens das rodovias, das vicinais e dos principais rios, com no máximo duas a três centenas de habitantes, completam o quadro demográfico observado.

A área está assentada no domínio noroeste da Bacia Sedimentar do Amazonas, próximo ao limite sul do Escudo das Guianas, com um pacote de rochas sedimentares que varia de 700m de espessura na porção norte até 1.700m na porção sul (SOUZA, 1974). A coluna estratigráfica da bacia, que se estende do Paleozóico ao Cenozóico, foi estabelecida por Cunha et al. (1994). Segundo Horbe et al. (2006), das diversas unidades geológicas que a compõem, apenas a Formação Alter do Chão e o Grupo Trombetas, além de restritas aluviões, ocorrem em superfície na região deste estudo (Figura 3).

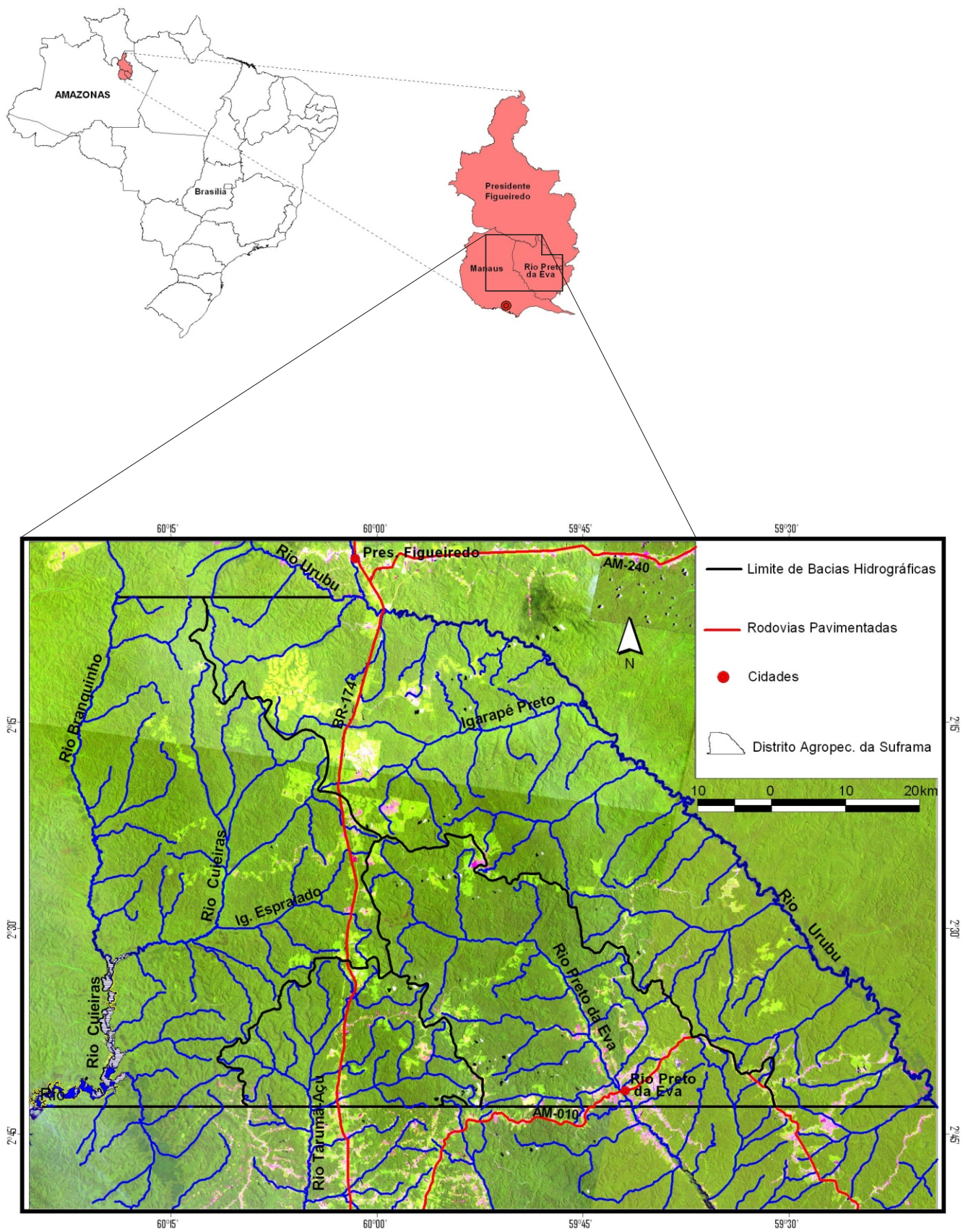


Figura 2 - Imagem de satélite LandSat com a localização da área de estudo e a divisão em bacias hidrográficas

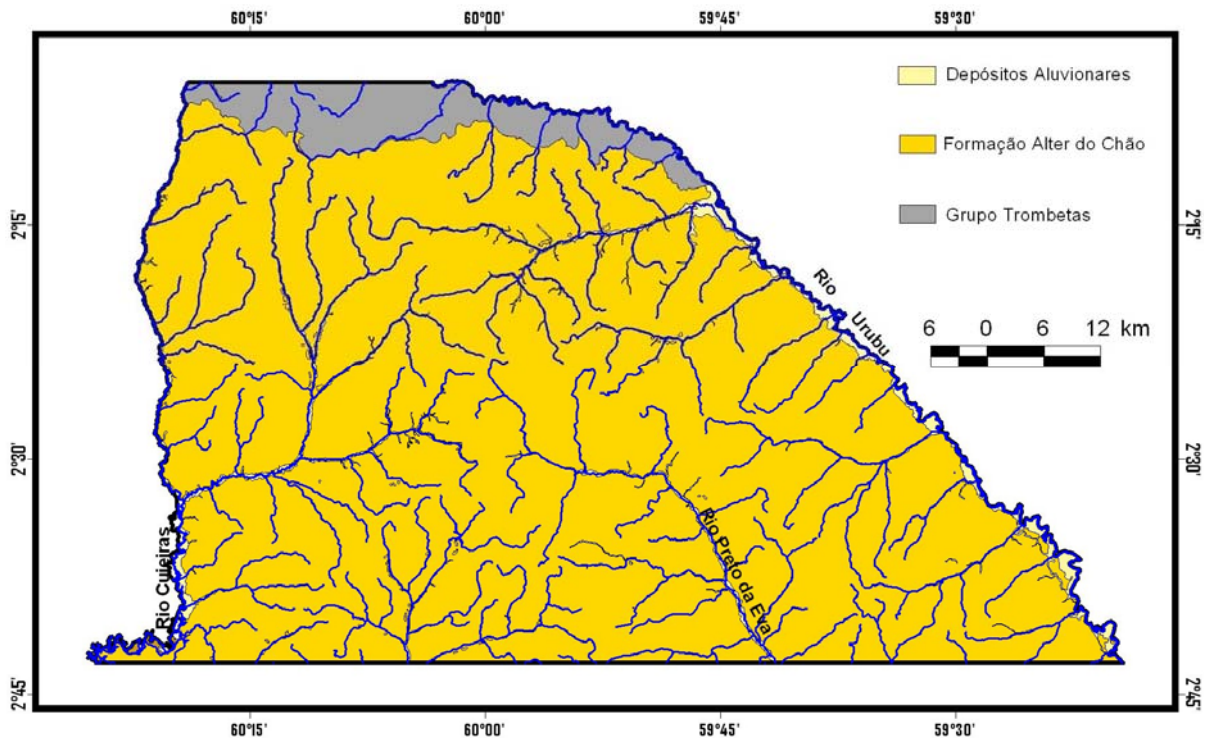


Figura 3 – Mapa geológico simplificado da área de estudo

A Formação Alter do Chão, de origem fluvial e idade cretácea a paleógena, representa a principal unidade geológica aflorante e abrange cerca de 90% da área. É constituída por sedimentos clásticos, imaturos, mal seleccionados, de coloração esbranquiçada a rósea, que incluem preferencialmente arenitos quartzosos, via de regra com matriz caulínica, com pelitos e conglomerados subordinados. Relacionados a esta unidade sedimentar ocorrem, na região, expressivos depósitos de caulim associados à lateritização cenozóica (HORBE et al., 2006).

O Grupo Trombetas, depositado no período siluro-devoniano em ambiente marinho, tem sua ocorrência limitada à porção norte da área, numa estreita faixa ao longo do vale do rio Urubu. É representado no local pelas formações Nhamundá e Manacapuru, constituídas por quartzo-arenitos esbranquiçados, finos a médios, bem seleccionados e consolidados, intercalados com folhelhos cinza-escuros fossilíferos.

Depósitos aluvionares em terraços e nos leitos ativos das drenagens representam as unidades sedimentares mais jovens da área (Pleistoceno-Holoceno), restritos a estreitas faixas nas calhas dos principais rios.

De acordo com Maia e Dantas (2006) o relevo local é representado por um extenso e monótono domínio de baixos platôs dissecados, com diferentes graus e intensidade de entalhamento, com cotas que variam de 100 a 160m e baixas amplitudes altimétricas (10 a 30m). A área de estudo foi compartimentada por esses autores em cinco unidades geomorfológicas: planícies de inundação, terraços fluviais, planos arenosos, superfícies tabulares e superfícies colinosas, estas últimas caracterizadas por dissecação mais expressiva.

Os Latossolos amarelos, de textura argilosa e muito argilosa, predominam amplamente e constituem o topo de espessos perfis de alteração que se desenvolveram sobre as rochas da Formação Alter do Chão e do Grupo Trombetas. Em proporções menores ocorrem Espodossolos (solos essencialmente arenosos, explorados como material para construção civil - areais), Neossolos Flúvicos e Gleissolos, especialmente nas margens dos rios Cuieiras e Urubu, na porção sul da área (MARTINS et al., 2005).

Cerca de 90% da cobertura vegetal original da área de estudo encontram-se preservados, com a fitofisionomia basicamente representada por duas unidades: Floresta de Platô Baixo (localizadas nas vertentes) e Floresta de Platô Alto (situadas nas maiores cotas). Locais de solos arenosos são ocupados por campinas e campinaranas (tipos de vegetação onde predominam espécies arbóreas de menor porte), que se distribuem em pequenas manchas na paisagem, com maior concentração na bacia do rio Cuieiras. As florestas de igapó, que se restringem às margens dos grandes rios de água preta, as quais ficam alagadas de 4 a 9 meses por ano, também constituem parte da cobertura original local (ANDRADE et al., 2005).

A precipitação pluviométrica média anual é de 2.370 mm, com distribuição uniforme por toda a área e com maior concentração no intervalo de dezembro a maio (período chuvoso), sendo março e abril os meses mais chuvosos e agosto e setembro os mais secos (CUNHA et al., 2006). O regime hidrológico dos rios atinge o nível máximo (águas altas) entre maio e julho e o nível mínimo (águas baixas) entre novembro e janeiro.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Previamente às amostragens foi elaborado um mapa-base da área de estudo na escala 1:200.000, tendo como fundo um mosaico de imagens de satélite, o qual serviu de orientação para os trabalhos de campo. Sobre esse mapa foram individualizadas as quatro grandes bacias hidrográficas que compõem a rede de drenagem local: rio Preto da Eva (1.080 km²), rio Urubu (2.390 km²), rio Cuieiras (1.850 km²) e rio Tarumã-Açu (480 km²).

Após análise da distribuição e extensão das principais drenagens, e considerando as facilidades de acesso (fluvial ou rodoviário), foram selecionados os pontos de coleta geoquímica, de maneira que todos os tributários com mais de 40 km² de área de captação fossem amostrados (Figura 4 e Anexo I).

4.1 Fase de Campo

Os trabalhos de campo foram desenvolvidos em três etapas, de acordo com o regime fluvial e pluviométrico da região:

- a) a primeira foi realizada no período do início das chuvas, correspondente ao nível de águas baixas a enchentes dos rios, sendo conduzida de dezembro de 2003 a fevereiro de 2004. A programação prévia de amostragem sofreu reajustes, suprimindo-se pontos que não puderam ser atingidos na época devido ao baixo nível das águas, que impossibilitou a navegação até alguns locais. Foram coletadas, nas drenagens selecionadas, 62 amostras de água corrente e, nos mesmos pontos, 62 amostras de sedimentos de fundo de canal (pontos 01 a 62);
- b) a segunda etapa, executada no período de final das chuvas e começo da estiagem (águas altas a vazantes nos rios da região), foi iniciada em maio e estendeu-se até agosto de 2004. Foram coletadas amostras de água e sedimentos nos mesmos locais da primeira fase, com vistas ao estudo da variação sazonal das concentrações dos elementos químicos. Além disso, foram acrescentados cinco novos pontos em função da maior facilidade de acesso a determinados locais (pontos 63 a 67);
- c) a terceira campanha foi desenvolvida no período de menor precipitação pluviométrica na região (período seco), em setembro de 2005. Constou somente da coleta de 30 amostras de água na bacia do rio Urubu: 25 nos mesmos igarapés onde havia sido efetuada amostragem nas duas etapas anteriores, e cinco no canal do próprio rio Urubu (pontos 68 a 72).

No tocante aos ambientes amostrados, com auxílio das observações feitas no campo e análises de imagens de satélite, os pontos de coleta foram divididos em duas categorias:

- a) **ambientais naturais ou preservados:** locais em que, a montante do ponto de coleta, inexistem ou são pouco impactantes as atividades antrópicas. Como exemplo pode-se citar igarapés com moradores isolados em suas cabeceiras (Figura 5);
- b) **ambientes sob influência antrópica:** locais em que, a montante do ponto de coleta, há atividades antrópicas em intensidade tal que possam ser consideradas modificadoras das características naturais do meio onde se desenvolvem. Dentre essas atividades, as mais comuns observadas na área são: piscicultura, agropecuária, extração de madeira para carvão, núcleos habitacionais, extração mineral (brita), balneários e abertura de vias de acesso (Figura 6).

Portanto, foram amostrados 72 pontos, sendo que em 23 deles foram coletadas amostras de água em três épocas distintas (Quadros 4 e 5 e Figura 4). No final dos trabalhos obteve-se um acervo de 288 amostras: 159 de água superficial e 129 de sedimentos de fundo.

Bacias	Pontos de Coleta	Ambientes Naturais	Ambientes com Influência Antrópica
Rio Preto da Eva	17	03	14
Rio Urubu	32	11	21
Rio Cuieiras	16	12	04
Rio Tarumã-Açu	07	02	05
Total	72	28	44

Quadro 4 - Divisão dos pontos de coleta por tipo de ambiente e pelas bacias hidrográficas

Apesar de situado fora dos limites da área de estudo, foram coletadas amostras no igarapé Urubuí, principal afluente da margem esquerda do alto rio Urubu. Esse curso d'água drena a zona urbana de Presidente Figueiredo, localizada a cerca de 5 km de sua foz, e recebe boa carga de dejetos domésticos. Uma eventual contaminação de suas águas e/ou sedimentos poderá comprometer a qualidade ambiental do próprio rio Urubu. No igarapé Urubuí foram tomadas amostras a jusante (ponto 41) e a montante (ponto 64) de Presidente Figueiredo, com o intuito de fazer uma estimativa das mudanças ocorridas nessa drenagem após sua passagem pela zona urbana.

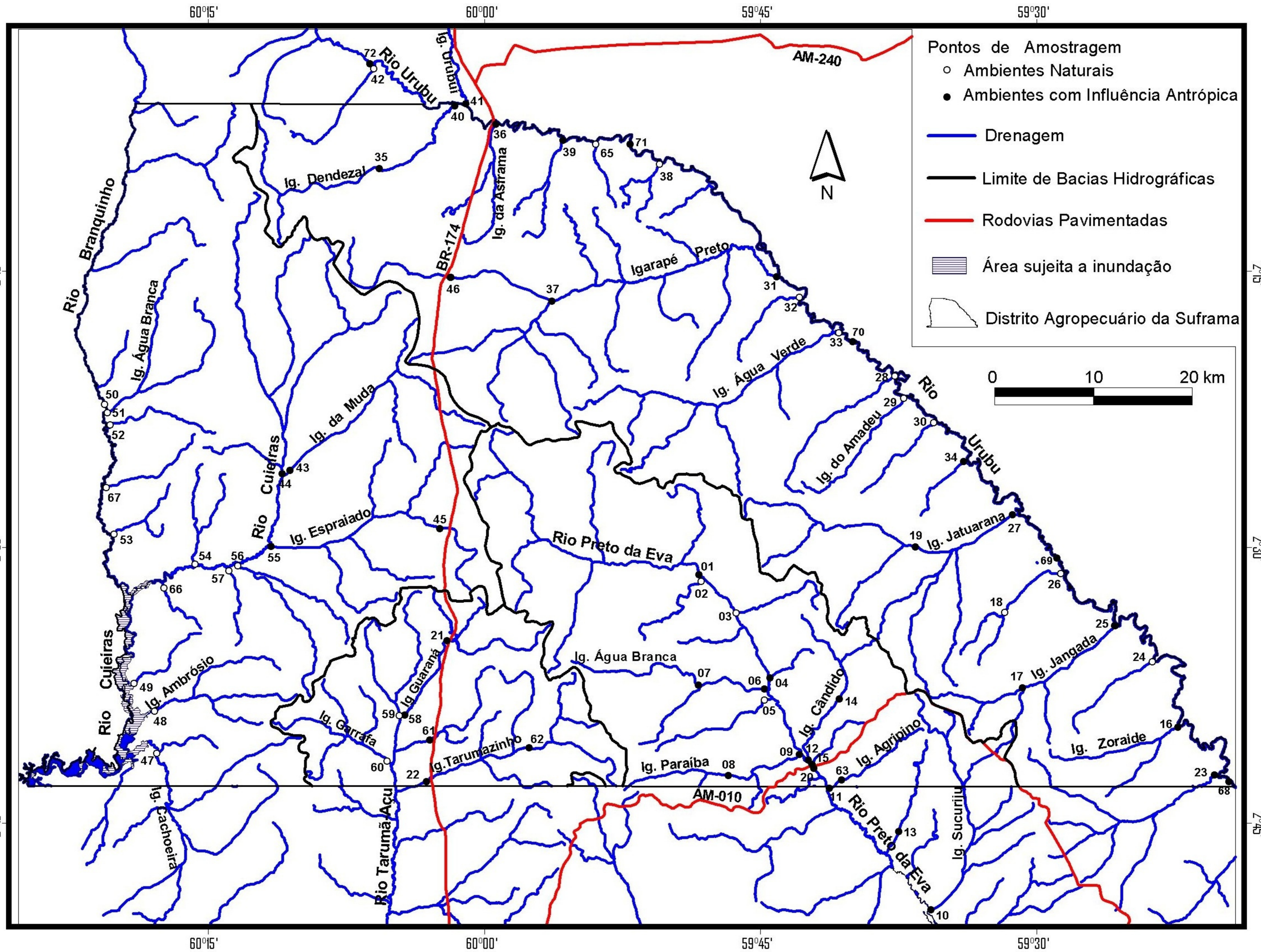


Figura 4 - Localização dos pontos de amostragem de águas e sedimentos

Pontos de Coleta	Coordenadas Geográficas		Igarapé/Rio	Bacia Hidrográfica	Tipo de Ambiente
	Latitude S	Longitude W			
01	2°31'29.4"	59°48'20.9"	Preto da Eva	Rio Preto da Eva	Infl. Antrópica
02	2°31'47.6"	59°48'02.8"	da Pinguela	Rio Preto da Eva	Natural
03	2°33'34.8"	59°46'19.5"	das Pedras	Rio Preto da Eva	Natural
04	2°37'06.8"	59°44'30.3"	Travoso	Rio Preto da Eva	Infl. Antrópica
05	2°38'18.5"	59°44'47.9"	Limão	Rio Preto da Eva	Natural
06	2°37'43.7"	59°44'48.3"	Água Branca	Rio Preto da Eva	Infl. Antrópica
07	2°37'17.8"	59°47'19.8"	Água Branca	Rio Preto da Eva	Infl. Antrópica
08	2°42'24.8"	59°46'45.3"	Paraíba	Rio Preto da Eva	Infl. Antrópica
09	2°41'13.8"	59°42'51.5"	Paraíba	Rio Preto da Eva	Infl. Antrópica
10	2°49'43.6"	59°35'45.6"	Sucuriju	Rio Preto da Eva	Infl. Antrópica
11	2°43'05.8"	59°41'15.4"	do Agripino	Rio Preto da Eva	Infl. Antrópica
12	2°41'34.4"	59°42'24.7"	do Cândido	Rio Preto da Eva	Infl. Antrópica
13	2°45'28.5"	59°37'30.5"	Castanhalzinho	Rio Preto da Eva	Infl. Antrópica
14	2°38'15.1"	59°40'44.3"	do Cândido	Rio Preto da Eva	Infl. Antrópica
15	2°41'49.2"	59°42'12.5"	Selvagem	Rio Preto da Eva	Infl. Antrópica
16	2°39'48.3"	59°22'19.9"	Zoraide	Rio Urubu	Infl. Antrópica
17	2°37'38.9"	59°30'46.1"	Jangada	Rio Urubu	Infl. Antrópica
18	2°33'32.8"	59°31'43.5"	Canseira	Rio Urubu	Natural
19	2°29'58.9"	59°36'35.4"	Jatuarana	Rio Urubu	Infl. Antrópica
20	2°42'01.7"	59°42'06.7"	Preto da Eva	Rio Preto da Eva	Infl. Antrópica
21	2°35'04.6"	60°02'02.0"	Guaraná	Rio Tarumã-Açu	Infl. Antrópica
22	2°42'44.5"	60°03'09.8"	Tarumazinho	Rio Tarumã-Açu	Infl. Antrópica
23	2°42'22.6"	59°20'19.9"	do Procópio	Rio Urubu	Infl. Antrópica
24	2°36'13.5"	59°23'43.3"	Tabuleta	Rio Urubu	Natural
25	2°34'16.8"	59°25'45.0"	Jangada	Rio Urubu	Infl. Antrópica
26	2°31'26.9"	59°28'42.1"	Canseira	Rio Urubu	Natural
27	2°28'14.2"	59°31'19.4"	Jatuarana	Rio Urubu	Infl. Antrópica
28	2°20'42.3"	59°37'42.1"	Santa Helena	Rio Urubu	Natural
29	2°21'54.2"	59°37'12.4"	do Amadeu	Rio Urubu	Natural
30	2°23'12.2"	59°35'31.7"	Buriti	Rio Urubu	Natural
31	2°15'18.3"	59°44'07.2"	Preto	Rio Urubu	Infl. Antrópica
32	2°16'25.7"	59°42'53.4"	da Minhoca	Rio Urubu	Natural
33	2°18'20.8"	59°40'45.5"	Água Verde	Rio Urubu	Natural
34	2°25'21.6"	59°33'58.7"	da Embrapa	Rio Urubu	Infl. Antrópica
35	2°09'26.4"	60°05'43.6"	Dendezal	Rio Urubu	Infl. Antrópica
36	2°07'00.7"	59°59'25.5"	da Asframa	Rio Urubu	Infl. Antrópica

Quadro 5 – Relação dos pontos de amostragem geoquímica

Pontos de Coleta	Coordenadas Geográficas		Igarapé/Rio	Bacia Hidrográfica	Tipo de Ambiente
	Latitude S	Longitude W			
37	2 ^o 16'37.7"	59 ^o 56'20.6"	Preto	Rio Urubu	Infl. Antrópica
38	2 ^o 09'10.5"	59 ^o 50'29.6"	do Rodolfo	Rio Urubu	Natural
39	2 ^o 07'54.0"	59 ^o 55'43.5"	Vitória-Régia	Rio Urubu	Infl. Antrópica
40	2 ^o 06'01.0"	60 ^o 01'36.4"	Dendezal	Rio Urubu	Infl. Antrópica
41	2 ^o 05'54.6"	60 ^o 01'01.5"	Urubuí	Rio Urubu	Infl. Antrópica
42	2 ^o 03'59.8"	60 ^o 06'01.1"	Dona Mariza	Rio Urubu	Natural
43	2 ^o 25'49.5"	60 ^o 10'35.4"	da Muda	Rio Cuieiras	Infl. Antrópica
44	2 ^o 26'00.7"	60 ^o 10'59.4"	Cuieiras	Rio Cuieiras	Infl. Antrópica
45	2 ^o 28'59.5"	60 ^o 02'25.4"	Espraiado	Rio Cuieiras	Infl. Antrópica
46	2 ^o 15'20.2"	60 ^o 02'03.9"	Preto	Rio Urubu	Infl. Antrópica
47	2 ^o 41'12.7"	60 ^o 17'49.2"	Cachoeira	Rio Cuieiras	Natural
48	2 ^o 38'56.1"	60 ^o 17'55.6"	Ambrósio	Rio Cuieiras	Natural
49	2 ^o 37'25.3"	60 ^o 19'02.2"	Campina	Rio Cuieiras	Natural
50	2 ^o 22'13.6"	60 ^o 20'39.4"	Branquinho	Rio Cuieiras	Natural
51	2 ^o 22'42.4"	60 ^o 20'29.6"	Água Branca	Rio Cuieiras	Natural
52	2 ^o 23'20.7"	60 ^o 20'20.6"	Caxias	Rio Cuieiras	Natural
53	2 ^o 29'18.4"	60 ^o 20'07.5"	Ararinha	Rio Cuieiras	Natural
54	2 ^o 30'55.3"	60 ^o 15'44.1"	Arumã	Rio Cuieiras	Natural
55	2 ^o 29'57.7"	60 ^o 11'36.4"	Espraiado	Rio Cuieiras	Infl. Antrópica
56	2 ^o 31'01.2"	60 ^o 13'25.3"	Mestre Ambrósio	Rio Cuieiras	Natural
57	2 ^o 31'16.8"	60 ^o 13'53.6"	São Pedro	Rio Cuieiras	Natural
58	2 ^o 39'08.0"	60 ^o 04'20.8"	Guaraná	Rio Tarumã-Açu	Infl. Antrópica
59	2 ^o 39'09.0"	60 ^o 04'38.7"	Jequitaia	Rio Tarumã-Açu	Natural
60	2 ^o 41'37.7"	60 ^o 05'17.1"	Garrafa	Rio Tarumã-Açu	Natural
61	2 ^o 40'29.2"	60 ^o 02'58.2"	Preguiça	Rio Tarumã-Açu	Infl. Antrópica
62	2 ^o 40'55.2"	59 ^o 57'34.3"	Tarumazinho	Rio Tarumã-Açu	Infl. Antrópica
63	2 ^o 42'40.1"	59 ^o 40'36.1"	do Agripino	Rio Preto da Eva	Infl. Antrópica
64	1 ^o 54'29.2"	60 ^o 08'08.5"	Urubuí	Rio Urubu	Infl. Antrópica
65	2 ^o 08'06.6"	59 ^o 53'56.8"	São João	Rio Urubu	Natural
66	2 ^o 32'12.6"	60 ^o 17'25.1"	do Varal	Rio Cuieiras	Natural
67	2 ^o 26'46.3"	60 ^o 20'33.8"	do Gatinho	Rio Cuieiras	Natural
68	2 ^o 42'43.3"	59 ^o 19'30.9"	Urubu	Rio Urubu	Infl. Antrópica
69	2 ^o 30'34.7"	59 ^o 28'51.4"	Urubu	Rio Urubu	Infl. Antrópica
70	2 ^o 18'49.5"	59 ^o 39'57.6"	Urubu	Rio Urubu	Infl. Antrópica
71	2 ^o 08'04.9"	59 ^o 52'01.9"	Urubu	Rio Urubu	Infl. Antrópica
72	2 ^o 03'41.3"	60 ^o 06'12.2"	Urubu	Rio Urubu	Infl. Antrópica

Quadro 5 – Relação dos pontos de amostragem geoquímica (continuação)

Outros dois pontos de coleta merecem um comentário adicional. O ponto 15 situa-se no igarapé Selvagem, que, apesar de ter uma área de captação reduzida (cerca de 20 km²), corta a zona urbana de Rio Preto da Eva e recebe expressiva carga poluente, representada principalmente por esgotos domésticos. O igarapé Selvagem deságua no rio Preto da Eva poucas centenas de metros a montante do balneário municipal (Figura 6). Desse modo, é importante que se conheçam as características físico-químicas desse balneário, expressas pelas amostras coletadas no ponto 20.



Figura 5 – Coleta de água no igarapé Tabuleta, ambiente natural na bacia do rio Urubu (ponto 24 – período seco)

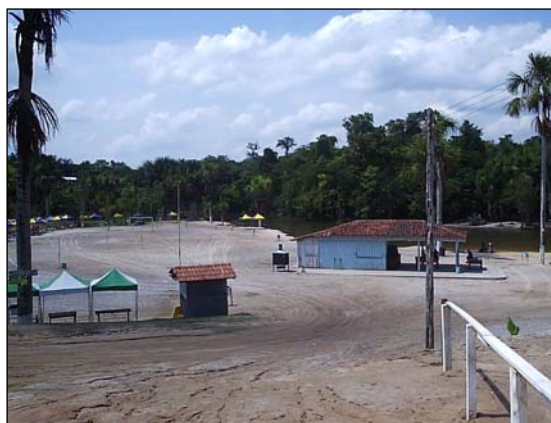


Figura 6 – Balneário Municipal da cidade de Rio Preto da Eva (ponto 20)

O método adotado nas amostragens está no roteiro abaixo:

- a) depois de acessado o ponto previamente definido, são coletadas, com auxílio de seringas descartáveis, amostras de água do canal principal do igarapé/rio, as quais passam por um processo de filtração, com uso de unidades filtrantes descartáveis com membrana de 0,45µm de poros, e separação em dois frascos de polipropileno esterilizados, com capacidade de 50 ml cada, um destinado à análise dos cátions e outro à análise dos ânions presentes (Figuras 7 e 8). Na terceira campanha, as amostras foram coletadas em garrafas plásticas, previamente limpas (imersão por 24 horas em uma solução contendo HCl 10% e água destilada), com capacidade de um litro. A profundidade das amostragens variou de 20 a 50 cm abaixo do nível da água;
- b) para preservação dos cátions solúveis nas amostras, as alíquotas correspondentes são acidificadas, com ácido nítrico bi-destilado, antes de sua identificação e lacração final. Todas as amostras são mantidas sob refrigeração (cerca de 4°C) até o momento da análise;
- c) após a coleta de água é realizada, no mesmo local, a amostragem dos sedimentos de corrente, em diversos pontos do leito da drenagem, estabelecendo uma amostra composta. Esses sedimentos são peneirados, utilizando-se a própria água do

igarapé, a menos 42 mesh (peneira com malha de nylon), até atingir um conteúdo de cerca de 2,0 a 2,5 kg. Esse procedimento visa à obtenção, no laboratório, de uma quantidade mínima de “finos” (argila e silte), que seja suficiente para as análises químicas. Na primeira campanha quase todos igarapés amostrados apresentavam lâminas d’água de no máximo 1,5 metro, o que facilitou a coleta de fundo, feita manualmente (Figuras 9 e 10). Na campanha de águas altas, muitos igarapés mostravam-se barrados pelo rio principal, atingindo profundidades de até 5 metros. Tal fato ensejou a confecção de um amostrador de sedimentos (tubo de aço de 6 polegadas de diâmetro com um saco de pano em uma das extremidades), o qual era arrastado no fundo dos canais, por um barco em movimento, e recolhia o material que seria peneirado (Figura 11). Todas as amostras, após sua descrição, foram acondicionadas em embalagens plásticas, fechadas e devidamente etiquetadas (Figura 12);

- d) enquanto se desenvolvia a preparação das amostras de água e sedimentos era efetuada a medição de alguns parâmetros físico-químicos no corpo d’água amostrado: pH, oxigênio dissolvido (OD) e condutividade elétrica (CE). O pH foi determinado com potenciômetro digital, de marca Schott Handylab1, com auxílio de eletrodos de vidro calibrados com solução tampão de pH 4,0 e 7,0; a CE foi medida com condutivímetro digital marca Leitfähigkeit LF37 calibrado com solução de KCl 1M, e o OD com oxímetro digital marca WTW 315i (Figura 13). Na terceira etapa de amostragem houve problemas com o condutivímetro e as medidas de CE não foram efetuadas;
- e) cada ponto de coleta foi identificado com aplicação de tinta spray em alguma árvore das proximidades, e descrita por uma ficha de campo de amostragem geoquímica, onde consta suas coordenadas geográficas e principais características do ambiente adjacente.



Figura 7 – Coleta de amostra de água, com seringa descartável, no canal do igarapé Guaraná (ponto 21).



Figura 8 – Filtragem de amostra de água coletada no igarapé da Embrapa, afluente do rio Urubu (ponto 34).



Figura 9 – Coleta de sedimentos no igarapé do Cândido (ponto 12), a jusante de áreas de recreação (balneários do Manu e Gonzagão)



Figura 10 – Peneiramento de sedimentos coletados no igarapé Água Branca (ponto 07), afluente do rio Preto da Eva



Figura 11 – Peneiramento de sedimentos coletados com amostrador de fundo no canal do rio Preto da Eva (ponto 20)



Figura 12 – Acondicionamento dos sedimentos coletados e peneirados no igarapé Água Verde (ponto 33), afluente do rio Urubu



Figura 13 – Aparelhos para medição de pH, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica dos corpos d'água amostrados

4.2 Fase de Laboratório

As amostras de água das duas primeiras etapas foram analisadas no Laboratório da Embrapa Solos, no Rio de Janeiro, via ICP-AES (Espectrometria de Emissão Atômica com Fonte de Plasma), que dosou as concentrações de 19 elementos químicos, e no Laboratório de Análises Mineraias – LAMIN, da CPRM, que determinou as concentrações de Na e K, por absorção atômica, e de cinco ânions via cromatografia (Quadro 6).

Elementos/Íons	Limite de Detecção ($\mu\text{g/L}$)	Métodos
Al	100	ICP-AES (Espectrometria de Emissão Atômica com Fonte de Plasma)
As, Ca, Cu, Mg	10	
B, Ba, Co	2	
Cd, Li, Mn, Sr, Zn	1	
Cr, Se, V	20	
Fe, Ni	4	
Pb	5	
K, Na	100	Absorção Atômica
F ⁻	10	Cromatografia
SO ₄ ⁻	100	
PO ₄ ⁻³	200	
Br ⁻ , Cl ⁻	50	

Quadro 6 - Elementos analisados nas amostras de água coletadas nas duas primeiras etapas, respectivos limites de detecção e métodos analíticos utilizados

Nas amostras de água coletadas na terceira campanha foram determinadas por titulometria, ao final de cada dia de amostragem, em um mini-laboratório adaptado às condições de campo, as concentrações de cloreto, com limite de detecção (LD) de 100 $\mu\text{g/L}$, e a alcalinidade em bicarbonatos, com LD de 20 $\mu\text{g/L}$. Posteriormente, no Laboratório de Geoquímica da Universidade Federal do Amazonas - UFAM, foram determinados, por espectrofotometria, os teores de fosfato (LD de 20 $\mu\text{g/L}$) e sulfato (LD de 100 $\mu\text{g/L}$).

As amostras de sedimentos de corrente foram analisadas nos laboratórios da Lakefield Geosol, em Belo Horizonte, de acordo com os seguintes procedimentos:

- a) secagem em estufa a 50° C, desagregação e peneiramento a -80 mesh;
- b) homogeneização e quarteamento da fração passante;
- c) pulverização de 300g a -150 mesh;

- d) determinação de 33 elementos, via ICP, após digestão com água-régia;
- e) determinação de Hg por Absorção Atômica com Geração de Vapor Frio (AAGV);
- f) determinação de Se por Absorção Atômica com Geração de Hidretos (AAGH).

O Quadro 7 discrimina os elementos analisados nas amostras de sedimentos de corrente, os métodos utilizados, o tipo de abertura (ataque ácido) e os limites de detecção.

Elementos	Limite de Detecção (ppm)	Abertura	Método
Ag, Ba, Be, Cd, Cr, Cu, Li, Mo, Ni, Sc, Sr, Y, Zn, Zr	1	Água Régia (3HCl + 1HNO ₃)	ICP-AES
Co, Pb, V	3		
As, Sb	5		
B, Bi, Sn, W, La	10		
Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, Ti	100 (0,01 %)		
Hg	0,05 (50 ppb)	H ₂ SO ₄ + HNO ₃	AAGV
Se	1	H ₃ PO ₄ + HNO ₃	AAGH

Quadro 7 - Elementos analisados nas amostras de sedimentos de corrente, respectivos limites de detecção e abertura e métodos analíticos utilizados

Deve-se ressaltar que as aberturas utilizadas visaram tão-somente à extração parcial dos elementos, pois o objetivo da análise era determinar a fração biodisponível e não o conteúdo total dos elementos nos sedimentos, o qual inclui as frações não assimiláveis pela biota.

4.3 Tratamento dos Dados

O primeiro tratamento estatístico realizado foi a determinação, por bacia hidrográfica, por período hidrológico, e por tipo de ambiente amostrado, da amplitude e valores médios de pH, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido nas águas, o que permitiu a análise da distribuição temporal e espacial desses parâmetros na área de estudo.

O segundo passo foi o cálculo de parâmetros estatísticos (média aritmética, desvio-padrão e anomalias de primeira e segunda ordem) para cada elemento analisado nas amostras de águas e sedimentos. As anomalias de primeira ordem são as mais significativas e correspondem aos valores maiores que a somatória da média aritmética (\bar{X}) com três vezes o

desvio padrão (S), ou seja, valores anômalos de primeira ordem são aqueles maiores que $X+3S$. Para a obtenção dos valores anômalos, por elemento, foram levados em consideração somente a média e desvio-padrão relativos às amostras coletadas em ambiente natural.

Uma outra determinação no tratamento dos dados correspondeu à obtenção das matrizes de correlação dos elementos químicos analisados, a partir das quais foram definidas as associações geoquímicas (afinidades no comportamento químico entre elementos). Essas associações, aliadas aos parâmetros estatísticos, serviram de base para a confecção de mapas de distribuição regional dos elementos (mapas geoquímicos), elaborados com o auxílio do *software* Oasis Montaj 5.1.

Os parâmetros estatísticos também permitiram que fosse feita uma avaliação da distribuição dos metais pesados nos sedimentos, por bacias hidrográficas, por período hidrológico e por tipo de ambiente amostrado.

Uma análise complementar dos dados, com vistas à avaliação da variação sazonal dos elementos químicos, foi feita por meio do *software* Statistica 6.0 em seu módulo teste t. Além disso, com a utilização de técnicas estatísticas de ordenação e agrupamento (análise multivariada do *software* Statistica 6.0), procurou-se estabelecer padrões de similaridade entre os pontos de amostragem. Para aplicação dessas técnicas é necessário montar uma matriz com os pontos (amostras) que se quer agrupar (denominados objetos) e os parâmetros utilizados para o agrupamento (denominados descritores), neste caso os resultados das análises químicas e físico-químicas obtidos nos dois meios amostrais - águas e sedimentos.

Para estimar a qualidade dos corpos d'água foi utilizada a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), que estabelece valores máximos para diversos parâmetros físico-químicos e enquadra os corpos de água doce em 5 categorias: classe especial, classe 1, 2, 3 e 4. Neste estudo foram tomados, para comparações, os valores referentes à classe 2 e 3.

Como referência preliminar para avaliar o nível de contaminação dos sedimentos foram tomados os padrões máximos definidos pela Resolução CONAMA nº 344/2004 (BRASIL, 2004) e, para elementos não contemplados por essa resolução, pelos trabalhos elaborados por Buchmann (1999) e por Ingersoll et al. (2000). Também foram estabelecidas comparações com os teores de elementos referentes ao Nível de Referência Geológico Global (NRGG), que representam valores médios mundiais em folhelhos, rochas sedimentares constituídas essencialmente de argilominerais (TUREKIAN & WEDEPOHL, 1961).

5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Inicialmente são apresentados e discutidos os dados relativos aos parâmetros medidos diretamente nos corpos d'água: pH, oxigênio dissolvido (OD) e condutividade elétrica (CE). Em seguida é feita a discussão dos resultados das análises químicas de acordo com o tipo de material amostrado, sedimentos e água.

Deve-se ressaltar que as amostras de água coletadas na primeira etapa (águas baixas) nos pontos 28, 29, 30, 35, 60 e 62 foram suprimidas dos tratamentos estatísticos devido às amostragens terem sido efetuadas logo após episódios de chuvas intensas, fato que claramente distorceu os resultados obtidos para cada uma delas, conforme se verá adiante. As amostras correspondentes ao ponto 64, no igarapé Urubuí, distante cerca de 20 km do limite norte da área de estudo, foram coletadas apenas como referência.

5.1 Parâmetros físico-químicos das águas superficiais

Os valores de pH, OD e CE medidos nas águas superficiais estão expressos na Tabela 1. A amplitude e os valores médios desses parâmetros, por período de amostragem, por bacia hidrográfica, e por tipo de ambiente encontram-se na Tabela 2.

5.1.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

No período de águas baixas a amostra que revelou o menor pH (4,4) foi aquela coletada no igarapé da Cachoeira (ponto 47), ambiente natural na bacia do rio Cuieiras, enquanto que o maior valor (5,6) foi encontrado no igarapé Paraíba (ponto 08), ambiente antropizado na bacia do rio Preto da Eva. No período de águas altas, a amplitude observada para o pH foi similar: os valores variaram de 4,1, novamente no igarapé da Cachoeira, a 5,7, encontrado no igarapé Selvagem (ponto 15), o qual corta a zona urbana de Rio Preto da Eva (Tabelas 1 e 2). Na terceira etapa de amostragem, que corresponde ao período mais seco, realizada somente na bacia do rio Urubu, houve menor variação nos valores de pH (4,5 a 5,1).

Pontos de Amostragem	Tipo de Ambiente	1ª Etapa (águas baixas)			2ª Etapa (águas altas)			3ª Etapa (per. seco)	
		pH	OD (mg/L)	CE (µS/cm)	pH	OD (mg/L)	CE (µS/cm)	pH	OD (mg/L)
01	A	5,4	8,0	8,5	4,4	4,1	15,7	-	-
02	N	4,7	6,7	9,2	4,5	3,0	14,3	-	-
03	N	4,9	7,1	10,8	4,6	5,6	11,3	-	-
04	A	5,3	6,1	11,2	5,0	4,7	7,8	-	-
05	N	4,9	5,9	15,9	4,3	4,8	15,1	-	-
06	A	5,2	6,0	18,5	4,6	5,3	9,4	-	-
07	A	5,2	6,3	18,1	4,7	5,5	8,4	-	-
08	A	5,6	5,5	15,3	5,2	4,5	9,2	-	-
09	A	5,5	5,7	14,8	5,2	4,6	9,4	-	-
10	A	5,2	5,7	9,8	5,1	3,3	11,4	-	-
11	A	5,5	6,8	11,2	5,4	4,8	7,7	-	-
12	A	5,4	6,2	7,7	4,7	5,1	9,8	-	-
13	A	5,2	6,7	7,8	4,8	4,6	9,7	-	-
14	A	5,0	6,5	7,9	4,6	4,4	11,9	-	-
15	A	5,5	5,8	14,0	5,7	4,4	16,2	-	-
16	A	4,8	6,9	11,8	4,4	4,9	14,4	4,9	7,1
17	A	4,9	6,9	13,3	4,7	5,1	10,8	4,9	6,5
18	N	4,9	5,9	8,9	4,7	5,9	7,6	4,8	7,1
19	A	4,9	7,5	13,3	4,6	5,4	9,2	4,7	-
20	A	5,2	7,7	9,0	4,7	4,2	10,1	-	-
21	A	5,1	5,8	9,4	4,9	5,8	7,5	-	-
22	A	4,9	6,1	8,9	4,5	5,2	11,0	-	-
23	A	5,1	9,3	8,2	4,9	6,3	10,6	4,8	7,4
24	N	4,8	9,2	10,5	4,3	5,7	12,9	5,1	7,0
25	A	5,0	8,7	13,4	4,7	5,4	10,6	4,9	7,0
26	N	5,1	9,0	7,5	4,5	4,0	12,8	4,9	7,2
27	A	4,6	8,5	14,9	4,7	5,4	13,7	4,8	6,9
28	N	4,5	7,9	16,6	4,6	5,4	9,4	4,9	7,3
29	N	4,6	8,2	14,7	4,7	5,5	8,2	4,9	7,3
30	N	4,6	7,0	14,8	4,4	3,3	13,6	4,9	7,2
31	A	4,7	8,5	14,5	4,7	6,1	11,0	5,0	6,7
32	N	5,1	8,9	9,4	4,7	4,9	9,0	4,9	7,5
33	N	4,9	8,9	9,3	4,7	5,3	8,6	5,0	7,1
34	A	4,8	9,2	9,8	4,7	5,8	9,7	4,7	7,6
35	A	4,2	3,8	25,2	4,7	5,1	8,3	-	-
36	A	4,7	5,5	13,9	4,9	6,4	8,7	4,8	8,0

A – Influência Antrópica; N - Natural

Tabela 1 – Parâmetros físico-químicos medidos nas águas superficiais da área de estudo

Pontos de Amostragem	Tipo de Ambiente	1ª Etapa (águas baixas)			2ª Etapa (águas altas)			3ª Etapa (per. seco)	
		pH	OD (mg/L)	CE (µS/cm)	pH	OD (mg/L)	CE (µS/cm)	pH	OD (mg/L)
37	A	4,9	5,6	9,9	4,6	5,5	9,3	-	-
38	N	4,7	5,9	12,1	4,8	6,4	8,2	4,9	8,5
39	A	4,9	5,7	9,0	5,0	5,4	7,6	5,1	7,4
40	A	4,7	5,6	10,4	4,4	6,9	10,5	4,8	9,6
41	A	5,2	5,6	12,6	4,5	5,6	12,3	4,9	7,1
42	N	4,8	5,5	9,0	4,6	6,0	7,1	4,8	6,4
43	A	5,4	5,1	7,1	5,1	5,9	9,0	-	-
44	A	5,1	5,4	10,0	4,8	5,5	8,9	-	-
45	A	4,9	5,4	10,6	4,7	5,5	8,2	-	-
46	A	5,1	5,2	7,1	4,8	5,1	10,6	4,9	5,2
47	N	4,4	5,5	18,3	4,1	6,4	23,6	-	-
48	N	5,0	5,4	11,1	4,5	3,3	11,6	-	-
49	N	4,9	4,8	10,0	4,5	4,0	11,0	-	-
50	N	4,7	4,6	9,6	4,6	4,3	10,9	-	-
51	N	5,2	4,6	7,1	4,9	6,1	8,7	-	-
52	N	5,4	5,2	10,5	5,0	6,4	8,9	-	-
53	N	4,8	5,5	11,6	4,7	5,8	8,3	-	-
54	N	5,0	5,4	8,3	4,9	4,7	8,2	-	-
55	A	5,0	4,5	11,2	4,9	4,5	10,3	-	-
56	N	4,9	5,8	9,6	4,8	5,3	9,2	-	-
57	N	4,8	4,5	12,1	4,7	5,5	9,2	-	-
58	A	4,7	4,5	11,4	4,8	6,4	10,1	-	-
59	N	4,5	5,2	13,2	4,4	6,8	16,5	-	-
60	N	4,2	4,6	24,5	4,3	6,1	15,5	-	-
61	A	4,6	5,6	12,9	4,8	5,3	8,8	-	-
62	A	4,3	4,7	20,0	4,7	5,1	12,2	-	-
63	A	-	-	-	5,1	4,6	12,2	-	-
64	A	-	-	-	3,9	5,9	24,8	4,4	-
65	N	-	-	-	4,5	5,6	10,6	4,9	7,8
66	N	-	-	-	4,9	5,3	8,0	-	-
67	N	-	-	-	4,7	5,2	9,1	-	-
68	A	-	-	-	-	-	-	4,9	6,4
69	A	-	-	-	-	-	-	4,7	7,5
70	A	-	-	-	-	-	-	4,9	7,7
71	A	-	-	-	-	-	-	4,7	8,4
72	A	-	-	-	-	-	-	4,5	-

A – Influência Antrópica; N - Natural

Tabela 1 – Parâmetros físico-químicos medidos nas águas superficiais da área de estudo (continuação)

Águas Baixas												
Bacias	pH				Oxigênio Dissolvido (mg/L)				Condutividade Elétrica (µS/cm)			
	Ambientes Naturais		Amb. Infl. Antrópica		Ambientes Naturais		Amb. Infl. Antrópica		Ambientes Naturais		Amb. Infl. Antrópica	
	Média	Amplitude	Média	Amplitude	Média	Amplitude	Média	Amplitude	Média	Amplitude	Média	Amplitude
Rio Preto da Eva	4,8	4,7 – 4,9	5,3	5,0 – 5,6	6,6	5,9 – 7,1	6,3	5,5 – 8,0	12,0	9,2 – 15,9	12,1	7,7 – 18,5
Rio Urubu	4,9	4,7 – 5,1	4,9	4,6 – 5,2	7,7	5,5 – 9,3	6,0	5,2 – 9,3	9,5	7,5 – 12,1	11,6	7,1 – 14,9
Rio Cuieiras	4,9	4,4 – 5,4	5,1	4,9 – 5,4	5,1	4,5 – 5,8	5,1	4,5 – 5,4	10,8	7,1 – 18,3	9,7	7,1 – 11,2
Rio Tarumã-Açu	4,5	-	4,8	4,6 – 5,1	5,2	-	5,5	4,5 – 6,1	13,2	-	10,7	8,9 – 12,9
Águas Altas												
Bacias	pH				Oxigênio Dissolvido (mg/L)				Condutividade Elétrica (µS/cm)			
	Ambientes Naturais		Amb. Infl. Antrópica		Ambientes Naturais		Amb. Infl. Antrópica		Ambientes Naturais		Amb. Infl. Antrópica	
	Média	Amplitude	Média	Amplitude	Média	Amplitude	Média	Amplitude	Média	Amplitude	Média	Amplitude
Rio Preto da Eva	4,5	4,3 – 4,6	5,0	4,6 – 5,7	4,5	3,0 – 5,6	4,7	3,3 – 5,5	13,6	11,3 – 15,1	10,1	7,7 – 16,2
Rio Urubu	4,6	4,3 – 4,8	4,7	4,4 – 5,0	5,3	3,3 – 6,4	5,6	4,9 – 6,9	9,8	7,1 – 13,6	10,5	7,6 – 14,4
Rio Cuieiras	4,7	4,1 – 5,0	4,9	4,7 – 5,1	5,2	3,3 – 6,4	5,3	4,5 – 5,9	10,6	8,0 – 23,6	9,1	8,2 – 10,3
Rio Tarumã-Açu	4,3	4,3 – 4,4	4,7	4,5 – 4,9	6,4	6,1 – 6,8	5,6	5,1 – 6,4	16,0	15,5 – 16,5	9,9	7,5 – 12,2
Período Seco												
Bacia	pH				Oxigênio Dissolvido (mg/L)				Condutividade Elétrica (µS/cm)			
	Ambientes Naturais		Amb. Infl. Antrópica		Ambientes Naturais		Amb. Infl. Antrópica		Ambientes Naturais		Amb. Infl. Antrópica	
	Média	Amplitude	Média	Amplitude	Média	Amplitude	Média	Amplitude	Média	Amplitude	Média	Amplitude
Rio Urubu	4,9	4,8 – 5,1	4,8	4,5 – 5,1	7,3	6,4 – 8,5	7,3	5,2 – 9,6	-	-	-	-

Tabela 2 – Valores médios e amplitude dos parâmetros físico-químicos medidos nas águas superficiais por período hidrológico, bacia hidrográfica e ambiente de amostragem.

A maior acidez das águas do igarapé da Cachoeira é explicada provavelmente pelo fato do mesmo drenar uma grande extensão de Espodosolos (solos de caráter muito ácido) situados no extremo sudoeste da área de estudo (vide Anexo I).

A faixa de valores de pH observada é compatível com as encontradas por diversos autores que realizaram trabalhos nas águas pretas da região (Quadro 1).

Quando se considera somente os ambientes naturais, verifica-se tendência de elevação da acidez no período de águas altas (Figura 14), a exemplo do constatado por Leenheer e Santos (1980), Seyler e Boaventura (2003) e Pinto et al. (2003) no rio Negro e por Horbe et al. (2005) na bacia do rio Puraquequara. Tal fato deve estar ligado a uma lixiviação mais intensa dos ácidos orgânicos para os vales durante a época chuvosa.

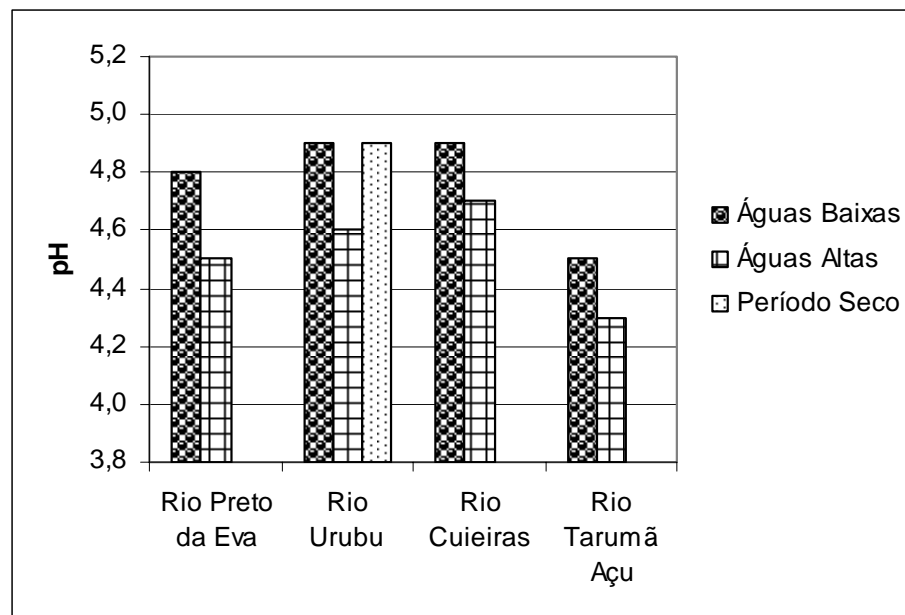


Figura 14 - Valores médios de pH das águas dos ambientes naturais da área de estudo, por bacia hidrográfica e por período hidrológico

Os valores médios de pH encontrados nos dois primeiros períodos de amostragem, por bacia hidrográfica e por ambiente, estão ilustrados na Figura 15. Observa-se que os valores mais básicos estão associados aos ambientes sob influência antrópica, especialmente na bacia do rio Preto da Eva (igarapés Paraíba, Selvagem e Agripino - pontos 8, 9 11 e 15), o que

sugere introdução de substâncias alcalinas no meio aquoso, fato que já havia sido observado por Silva (1996) em igarapés da bacia do rio Negro que cortam a zona urbana de Manaus.

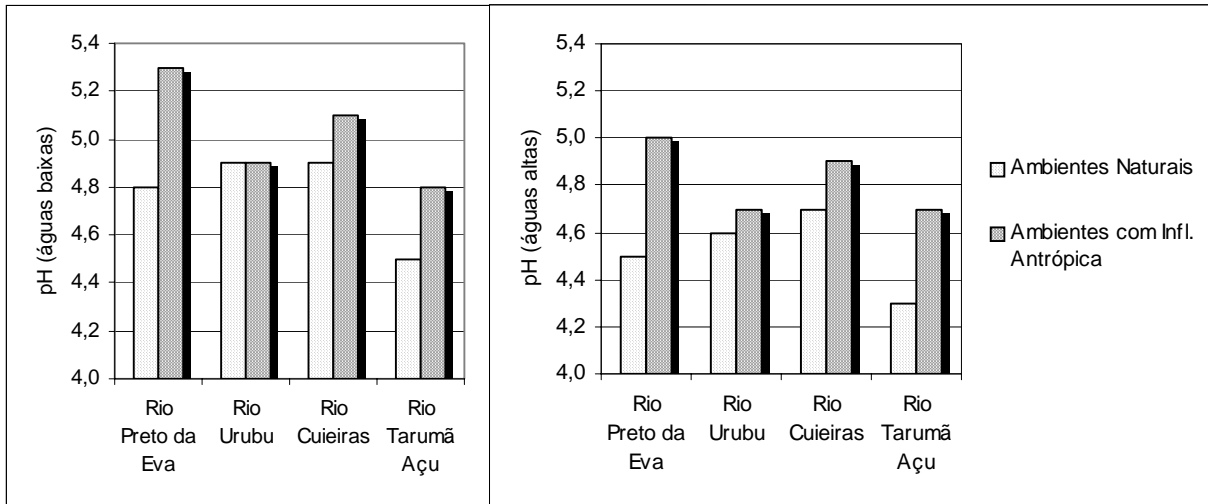


Figura 15 - Valores médios de pH das águas superficiais da área de estudo, por bacia hidrográfica e por tipo de ambiente amostrado

5.1.2 Oxigênio Dissolvido (OD)

O menor valor de OD no período de águas baixas foi de 4,5 mg/L, nos igarapés Guaraná (ponto 58), na bacia do rio Tarumã-Açu, Espreado (ponto 55) e São Pedro (ponto 57), afluentes do rio Cuieiras, dos quais apenas este último corresponde a ambiente natural. As águas mais oxigenadas foram encontradas nos igarapés Procópio (ponto 23) e Água Verde (ponto 33), afluentes do rio Urubu, com 9,3 mg/L de OD. Com águas altas, os valores extremos foram menores: a concentração de OD variou de 3,0 mg/L, no igarapé Pinguela (ponto 02), ambiente natural na bacia do rio Preto da Eva, a 6,9 mg/L, no igarapé Dendezal (ponto 40), tributário do rio Urubu, em ambiente sob influência antrópica. No período mais seco (terceira etapa) os valores apresentaram variação similar à encontrada com águas baixas: 5,2 mg/L no igarapé Preto (ponto 46) a 9,6 mg/L no igarapé Dendezal (ponto 40), ambos sob influência antrópica (Tabelas 1 e 2).

A bacia do rio Cuieiras é a que mostra, em média, as menores taxas de OD, reflexo da barragem do seu canal principal pelas águas do rio Negro, que ocorre durante todo o ano. A concentração média de OD nesta bacia, a que apresenta menor ocupação antrópica, é a que

revelou menor influência da variação do nível das águas e do tipo de ambiente amostrado (Figuras 16 e 17).

Quando se consideram valores médios (Tabela 2), o OD menor nas águas altas nas bacias dos rios Urubu e Preto da Eva se deve, provavelmente, aos barramentos de boa parte dos igarapés amostrados pelas águas do canal principal, conforme Walker (1995) encontrou na bacia do rio Tarumã-Mirim, próximo à área deste estudo (Figuras 16 e 17). Essa relação não se verifica na bacia do rio Tarumã-Açu pois todos os pontos de medição estão situados no alto curso desse sistema fluvial, fora da influência do barramento.

Os valores médios de OD indicam que este parâmetro não permite diferenciar os ambientes naturais dos com influência antrópica, ou seja, não há uma relação direta da ocupação antrópica com variações na taxa de OD das águas superficiais (Figura 17). Em média, os igarapés com maior oxigenação no período de águas baixas situam-se na bacia do rio Urubu, e com águas altas na bacia do rio Tarumã-Açu (Figura 17).

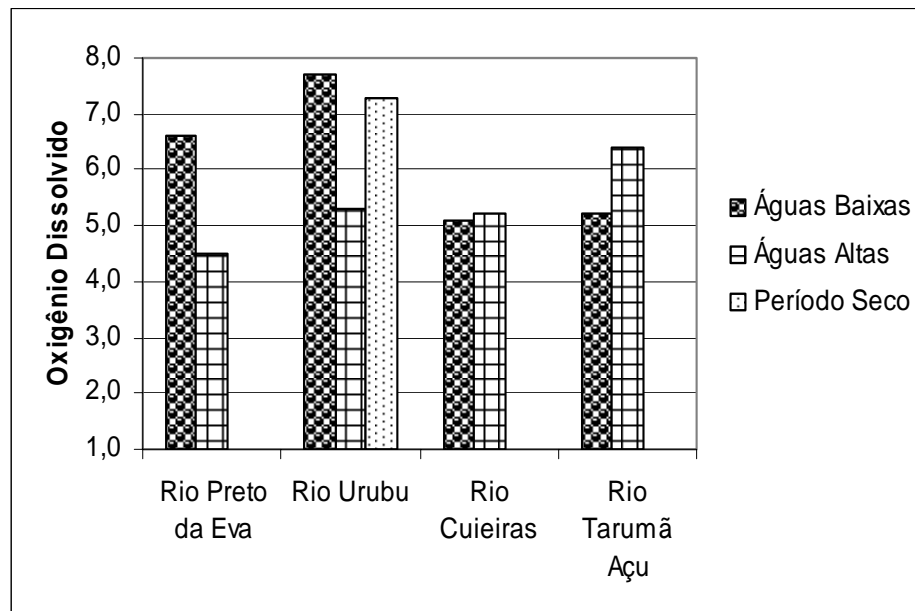


Figura 16 – Concentrações médias de OD (mg/L) das águas dos ambientes naturais da área de estudo, por bacia hidrográfica e por período hidrológico

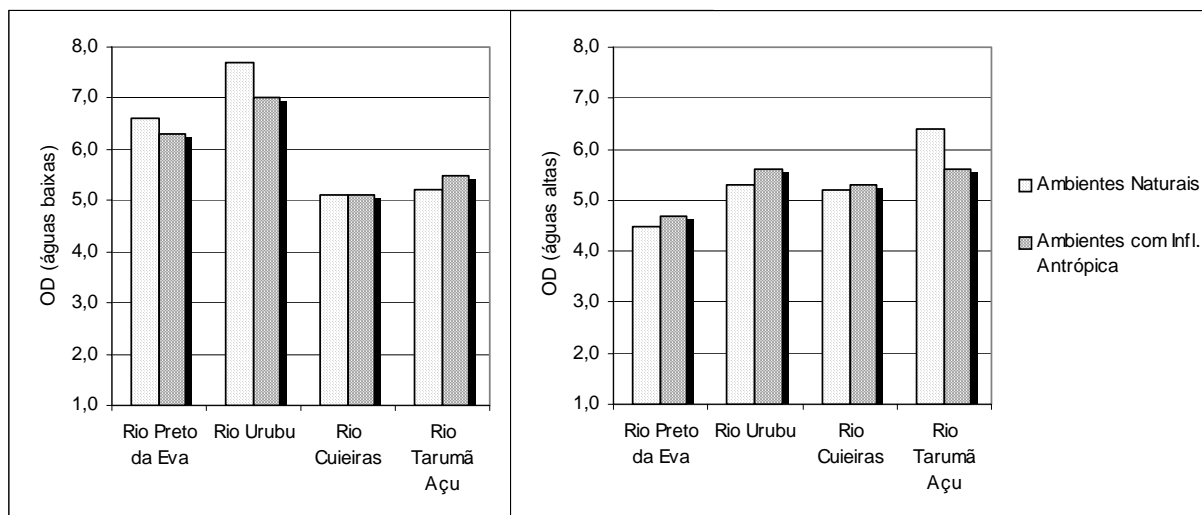


Figura 17 - Concentrações médias de OD (mg/L) das águas superficiais da área de estudo, por bacia hidrográfica e por tipo de ambiente amostrado

Os valores de OD encontrados neste estudo são similares àqueles relatados por Campos (1994), Silva (1996), Cunha et al. (2003) e Pinto et al. (2003) em investigações realizadas em águas pretas da região (Quadro 1).

5.1.3 Condutividade Elétrica (CE)

A CE das águas está diretamente relacionada com o conteúdo total de sólidos dissolvidos (MATTHESS, 1982). Os seus valores, muito baixos em todos os períodos e ambientes estudados, variaram entre 7,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (igarapés da Muda – ponto 43; Preto – ponto 46 e Água Branca do Cuieiras – ponto 51) a 18,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (igarapé Água Branca do rio Preto da Eva – ponto 6) nas águas baixas, e entre 7,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (igarapé Dona Marisa – ponto 42) a 23,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (igarapé da Cachoeira - ponto 47) nas águas altas (Tabelas 1 e 2). Quando se considera somente os ambientes naturais há tendência, com exceção da bacia do Cuieiras, dos valores serem um pouco mais altos com a elevação do volume de água das drenagens (Figura 18), a exemplo do constatado por Silva (1996) e Horbe et al. (2005) em igarapés próximos à área deste estudo. Essa elevação deve estar relacionada com o maior afluxo de ácidos orgânicos durante o período chuvoso.

Entre as bacias, em média, as águas menos condutivas foram as dos rios Cuieiras e Urubu, as mais preservadas. Não há, porém, variação clara de CE entre os ambientes naturais e os sob influência antrópica, o que sugere, a exemplo do OD, que este parâmetro ainda não está afetado de modo significativo pelas atividades instaladas na região (Figura 19).

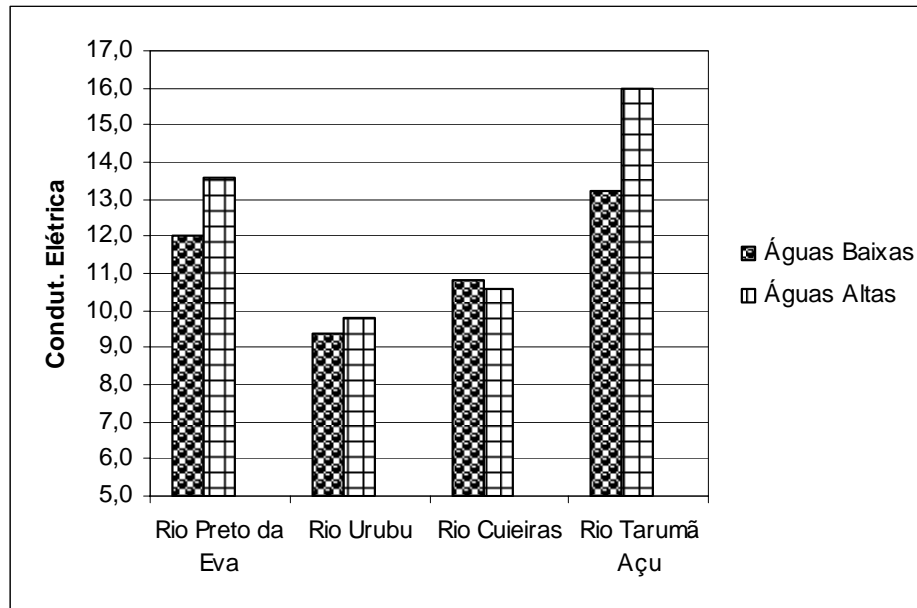


Figura 18 - Valores médios de CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) das águas dos igarapés naturais da área de estudo, por bacia hidrográfica e por período hidrológico

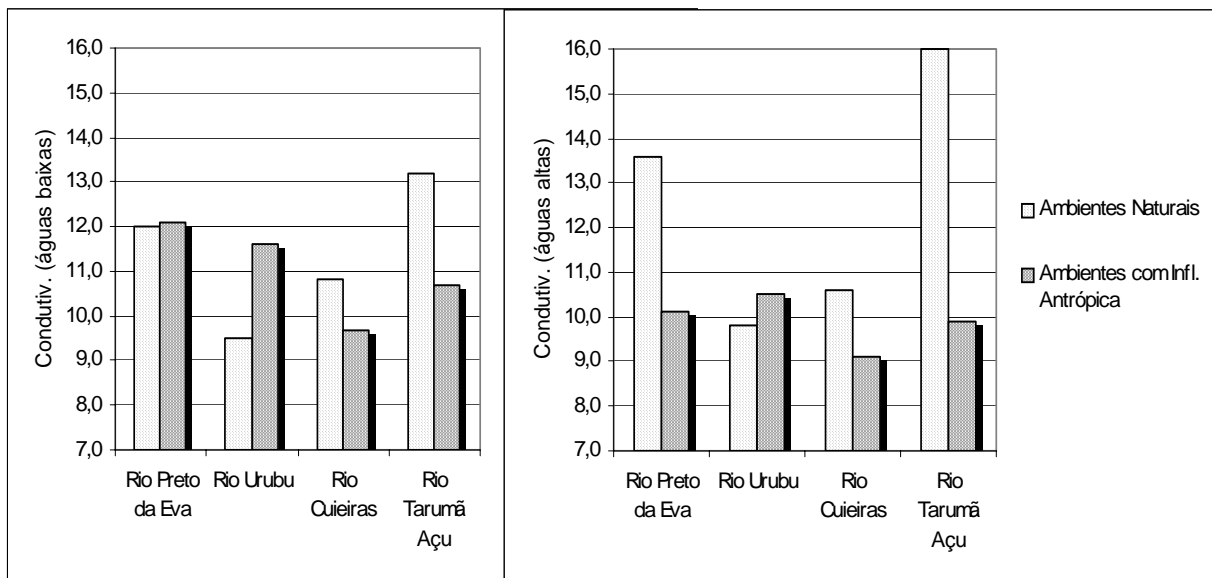


Figura 19 - Valores médios de CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) das águas superficiais da área de estudo, por bacia hidrográfica e por tipo de ambiente amostrado

A amplitude dos valores de CE registrada neste estudo é compatível com aquelas relatadas por Campos (1994), Silva (1996), Cunha et al. (2003) e Oliveira (2004) em trabalhos realizados em águas pretas na região (Quadro 1). Confirma também que os rios amazônicos de águas pretas carregam uma quantidade muito pequena de sais dissolvidos, mesmo considerando que eles contêm teores significativos de ácidos orgânicos (SZIKSZAY, 1993), os quais contribuem para elevar os valores de CE. Leenheer & Santos (1980) demonstraram que os ânions orgânicos são 4 a 5 vezes mais abundantes que os inorgânicos no rio Negro.

A Figura 20 indica a existência de forte correlação inversa entre os valores de pH e CE das águas dos ambientes naturais, a qual é controlada, muito provavelmente, pela presença de ácidos orgânicos em solução. Essa mesma relação foi observada por Leenheer & Santos (1980) e Furch (1984), que destacam o papel dos íons H^+ na elevação da CE das águas pretas. Santos et al. (1984) fazem menção à alta correlação positiva entre os valores de CE e a porcentagem de materiais húmicos e à correlação inversa entre pH e o material húmico em estudos realizados no rio Negro. Portanto, de modo geral, quanto mais ácidas as águas dos igarapés naturais maior será sua CE, independente do período hidrológico (Figura 20).

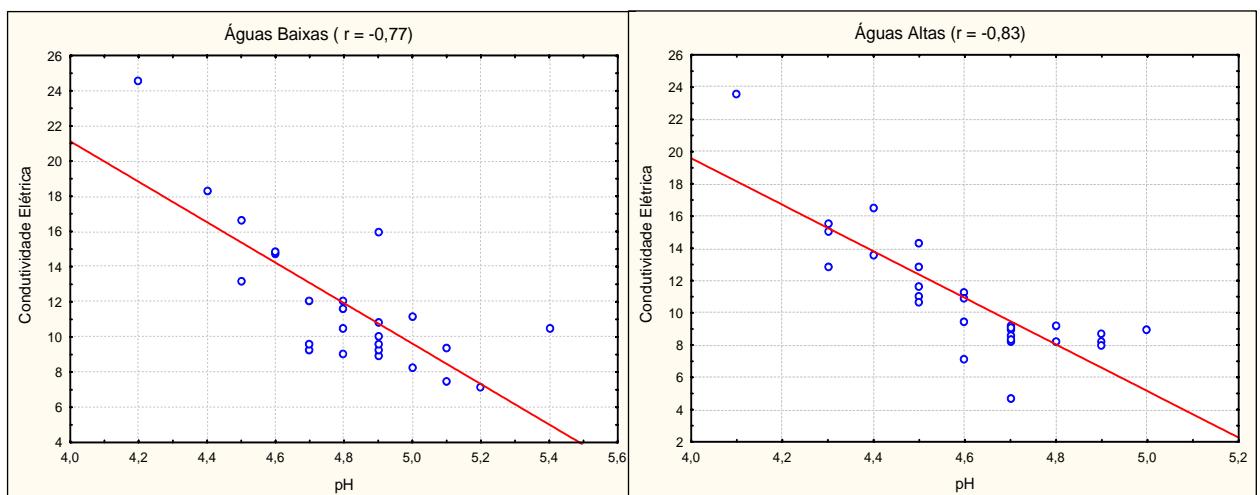


Figura 20 - Correlação inversa entre os valores de pH e condutividade elétrica ($\mu S/cm$) das águas dos ambientes naturais nos dois períodos de amostragem

5.2 Análises químicas das águas superficiais

Como já mencionado, inúmeros trabalhos demonstram que os rios amazônicos de águas pretas contêm uma quantidade muito baixa de sólidos dissolvidos. De acordo com Gibbs (1967), a salinidade média dos rios de águas pretas é de 5,4 mg/L na época da cheia e de 6,8 mg/L na seca, enquanto a do rio Madeira (águas brancas) varia de 50 a 68 mg/L. Szikszay (1993) apresenta resultados semelhantes aos de Gibbs (1967). Os dados obtidos neste estudo confirmam as informações acima, conforme será exposto a seguir.

5.2.1 Águas Baixas

Dos 26 íons analisados no período de águas baixas, apenas Cl, Ca, Na, Mg, K, Fe, Zn, B, Ba e Mn apresentaram um conjunto de resultados consistentes, com a maior parte dos valores acima do limite de detecção (Tabelas 3 e 4). A Figura 21 ilustra a distribuição pontual dos principais íons detectados, por tipo de ambiente, neste período.

Nas *águas naturais* da área de estudo, dos ânions analisados, o cloreto é em média o mais abundante (0,37 mg/L), seguido pelo sulfato, o qual se apresenta como ânion dominante apenas nos pontos 2 (igarapé Pinguela) e 52 (igarapé Caxias) (Tabela 3). Para os cátions principais observa-se a seguinte relação quando se considera as concentrações médias: Ca^{2+} (0,25 mg/L) \geq Na^+ (0,24 mg/L) $>$ Mg^{2+} (0,18 mg/L) $>$ K^+ (0,14 mg/L) $>$ Fe^{2+} (0,066 mg/L) (Tabela 4). Porém, levando-se em conta a distribuição pontual, verifica-se que a variação não é homogênea: na maior parte dos pontos o Na supera o Ca (Figura 21). Este, por seu turno, registra concentrações destacadas ($> 0,7$ mg/L) em três pontos – 18 e 26 (ambos no igarapé Canseira) e 24 (igarapé Tabuleta), todos no setor sudeste da área de estudo, na bacia do rio Urubu. As concentrações de Mg são sempre inferiores às de Ca e Na, exceto nos três pontos acima citados, onde acompanha o comportamento do Ca, e no ponto 33 (igarapé Água Verde), onde é o íon predominante (Figura 21).

Pontos	Ambiente	Ca	Na	Mg	K	Al	Fe	Zn	B	Ba	Mn	Pb	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	Br ⁻	STD
01	A	0,18	0,3	0,06	0,2	<LD	43	8	45	4	5	<LD	0,40	0,4	0,06	1,76
02	N	0,31	0,2	0,06	0,2	<LD	36	9	35	6	5	<LD	0,39	0,7	<LD	2,03
03	N	0,20	0,2	0,08	0,1	<LD	39	18	37	4	6	<LD	0,39	0,2	0,06	1,39
04	A	0,30	0,3	0,15	0,1	<LD	72	51	41	4	7	<LD	0,41	0,1	0,06	1,65
05	N	0,35	0,3	0,19	0,2	<LD	50	72	32	3	6	<LD	0,47	0,1	0,06	1,88
06	A	1,02	0,2	0,57	0,2	0,1	64	203	51	7	8	<LD	0,38	0,1	<LD	2,93
07	A	0,29	0,3	0,16	0,2	<LD	46	66	38	4	6	<LD	0,42	0,1	<LD	1,71
08	A	0,47	0,4	0,29	0,1	0,1	103	107	58	3	7	<LD	0,48	0,1	<LD	2,25
09	A	0,82	0,4	0,53	0,3	0,1	131	203	83	9	8	<LD	0,44	0,1	0,06	3,19
10	A	0,92	0,3	0,70	0,3	0,1	137	301	80	12	8	<LD	0,41	0,1	0,06	3,43
11	A	0,79	0,5	0,48	0,2	0,1	233	226	115	10	9	7	0,50	0,1	0,06	3,33
12	A	0,57	0,4	0,35	0,2	0,1	117	163	63	5	8	<LD	0,60	0,1	0,06	2,74
13	A	0,93	0,4	0,74	0,3	0,1	165	343	100	15	9	<LD	0,48	0,1	<LD	3,71
14	A	0,60	0,3	0,44	0,1	0,1	82	207	52	4	8	<LD	0,43	0,1	0,06	2,49
15	A	0,76	1,0	0,46	0,1	<LD	122	210	62	5	9	<LD	0,85	0,2	0,07	3,90
16	A	0,69	0,4	0,51	0,3	0,1	161	240	79	10	8	<LD	0,45	<LD	<LD	3,03
17	A	1,31	0,3	1,10	0,1	0,2	154	516	97	14	9	<LD	0,43	0,1	0,06	4,39
18	N	0,91	0,3	0,72	0,1	0,1	104	366	80	11	9	<LD	0,40	0,1	0,06	3,26
19	A	0,25	0,3	0,14	0,1	0,1	72	61	39	8	7	<LD	0,43	0,4	<LD	1,93
20	A	0,34	0,3	0,13	0,3	<LD	69	56	41	6	7	<LD	0,42	0,7	<LD	2,45
21	A	0,33	0,4	0,25	0,3	0,1	139	139	63	8	7	14	0,51	0,1	0,06	2,42
22	A	0,35	0,3	0,26	0,2	0,1	66	146	40	6	7	<LD	0,38	0,1	0,07	2,03
23	A	0,99	ND	0,98	ND	0,2	227	456	126	17	9	<LD	ND	ND	ND	-
24	N	0,71	0,3	0,68	0,1	0,1	115	335	71	13	8	<LD	0,43	0,1	<LD	2,99
25	A	0,99	0,5	0,79	0,4	0,1	139	388	81	18	8	6	0,70	0,7	<LD	4,85
26	N	0,90	0,2	0,85	0,1	0,2	130	435	80	15	9	<LD	0,40	0,1	<LD	3,45
27	A	1,10	0,3	0,93	0,2	0,2	137	448	81	21	10	<D	0,51	1,0	0,06	5,00
28	N	1,27	0,3	1,23	0,1	0,3	181	625	102	20	10	<LD	0,51	0,1	0,05	4,80
29	N	1,25	0,3	1,19	0,1	0,3	170	606	95	20	11	16	0,49	0,1	<LD	4,67
30	N	1,68	0,3	1,55	0,2	0,3	211	822	121	27	12	19	0,50	0,2	0,06	6,00
31	A	0,31	0,3	0,15	0,1	0,1	74	35	39	5	8	<LD	0,51	0,2	<LD	1,86
Águas Classe 2	-	-	-	-	-	0,1	300	180	500	700	100	10	250	250	-	-
Águas Classe 3	-	-	-	-	-	0,2	5000	5000	750	1000	500	33	250	250	-	-

N – Ambiente natural; A – Ambiente com influência antrópica; STD – Sólidos totais dissolvidos; ND – não determinado; B, Ba, Fe, Mn, Pb e Zn em µg/L, os demais em mg/L
 Obs.: Destaca-se em negrito os valores em desacordo com a Resolução CONAMA 357/2005 para as águas de classe 2 e/ou 3

Tabela 3 – Resultados das análises químicas efetuadas nas amostras de águas superficiais coletadas no período de águas baixas

Pontos	Ambiente	Ca	Na	Mg	K	Al	Fe	Zn	B	Ba	Mn	Pb	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	Br ⁻	STD
32	N	0,42	0,2	0,17	0,1	0,1	62	53	34	5	7	<LD	0,46	0,1	0,06	1,77
33	N	0,20	0,3	0,61	0,1	0,1	91	308	48	9	8	<LD	0,45	0,1	<LD	2,35
34	A	0,62	0,3	0,59	0,1	0,1	122	302	70	14	8	20	0,45	0,1	0,06	2,86
35	A	0,55	0,3	0,03	0,3	0,3	55	588	50	3	7	<LD	0,45	0,1	0,06	2,80
36	A	0,05	0,4	0,03	0,2	0,1	148	6	55	<LD	5	<LD	0,40	<LD	<LD	1,47
37	A	0,06	0,4	0,03	0,3	<LD	74	37	19	2	5	<LD	0,43	0,1	0,06	1,57
38	N	0,05	0,3	0,03	0,1	<LD	127	26	54	<LD	5	<LD	0,38	0,1	0,06	1,29
39	A	0,06	0,3	0,04	0,1	<LD	101	106	36	<LD	5	<LD	0,40	0,1	0,06	1,36
40	A	0,03	0,2	0,02	0,1	0,1	46	204	23	<LD	5	<LD	0,38	<LD	0,06	1,22
41	A	0,10	0,5	0,03	0,1	<LD	292	38	120	3	6	<LD	0,62	0,1	<LD	1,99
42	N	0,03	0,3	0,02	0,1	<LD	88	37	29	<LD	5	<LD	0,40	0,1	<LD	1,19
43	A	0,14	0,6	0,04	0,3	<LD	71	39	20	4	4	<LD	0,50	0,1	<LD	1,90
44	A	0,14	0,2	0,04	0,1	<LD	32	65	21	2	4	<LD	0,34	0,1	0,06	1,16
45	A	0,07	0,3	0,03	0,1	0,1	310	89	127	<LD	5	<LD	0,38	0,1	<LD	1,64
46	A	0,06	0,4	0,03	0,1	<LD	116	64	49	<LD	5	<LD	0,44	0,1	0,06	1,48
47	N	0,29	0,2	0,02	0,2	0,1	103	90	42	3	4	<LD	0,30	<LD	<LD	1,43
48	N	0,04	0,2	0,01	0,3	0,1	45	93	9	3	4	<LD	0,30	0,1	<LD	1,23
49	N	0,04	0,2	0,01	0,1	<LD	66	95	9	<LD	4	<LD	0,31	0,1	<LD	1,01
50	N	0,04	0,2	0,02	0,1	0,1	39	103	12	<LD	5	<LD	0,36	<LD	0,06	1,09
51	N	0,18	0,3	0,03	0,1	0,1	31	102	14	2	4	<LD	0,37	0,1	<LD	1,36
52	N	0,33	0,3	0,08	0,2	0,1	44	116	17	3	5	<LD	0,37	0,8	0,06	2,43
53	N	0,07	0,1	0,02	0,1	<LD	51	119	20	2	4	<LD	0,33	0,1	<LD	0,99
54	N	0,05	0,3	0,02	0,2	<LD	38	144	17	3	4	<LD	0,38	0,1	0,06	1,37
55	A	0,35	0,3	0,05	0,2	0,1	102	186	45	5	4	<LD	0,35	1,2	<LD	2,92
56	N	0,05	0,2	0,02	0,2	0,1	33	202	6	3	5	<LD	0,36	0,1	0,06	1,34
57	N	0,03	0,2	0,02	0,1	0,1	58	219	24	4	5	<LD	0,31	0,1	<LD	1,20
58	A	0,15	0,3	0,03	0,2	0,1	141	326	66	5	6	<LD	0,33	<LD	0,06	1,77
59	N	0,07	0,2	0,02	0,1	0,1	27	591	16	3	6	<LD	0,30	0,1	<LD	1,56
60	N	0,08	0,3	0,04	0,1	0,3	47	449	59	3	7	<LD	0,25	<LD	0,06	1,80
61	A	0,14	0,4	0,05	0,1	0,2	172	459	86	2	7	<LD	0,38	0,2	0,06	2,25
62	A	0,07	0,4	0,05	0,4	0,3	56	515	49	4	8	<LD	0,36	0,1	<LD	2,34
Águas Classe 2	-	-	-	-	-	0,1	300	180	500	700	100	10	250	250	-	-
Águas Classe 3	-	-	-	-	-	0,2	5000	5000	750	1000	500	33	250	250	-	-

N – Ambiente natural; A – Ambiente com influência antrópica; STD – Sólidos totais dissolvidos; B, Ba, Fe, Mn, Pb e Zn em µg/L, os demais em mg/L

Obs.: Destaca-se em negrito os valores em desacordo com a Resolução CONAMA 357/2005 para as águas de classe 2 e/ou 3

Tabela 3 - Resultados das análises químicas efetuadas nas amostras de águas superficiais coletadas no período de águas baixas (contin.)

Elemento	Ambientes Naturais			Amb. com Influência Antrópica	
	Amplitude	Média (X)	Desvio Padrão (S)	Amplitude	Média
Ca	0,03 – 0,91	0,25	0,28	0,03 – 1,31	0,46
Na	0,10 – 0,30	0,24	0,06	0,20 – 1,00	0,37
Mg	0,01 – 0,85	0,18	0,28	0,02 - 1,10	0,32
K	0,10 – 0,30	0,14	0,06	0,10 – 0,40	0,19
Fe	27 - 130	66	34	32 - 310	122
Zn	9 - 591	168	155	6 - 516	185
B	6 - 80	33	23	19 - 127	63
Mn	4 - 9	6	2	4 - 10	7
Ba	< LD - 15	5	4	<LD - 21	7
Cl	0,30 – 0,47	0,37	0,05	0,33 – 0,85	0,46
TID	0,99 – 3,45	1,74	0,74	1,16 – 5,00	2,51

TID – Total de íons dissolvidos. Cl, Ca, Na, Mg, K e TID em mg/L; os demais em µg/L

Tabela 4 – Parâmetros estatísticos para os elementos dissolvidos nas águas superficiais no período de águas baixas

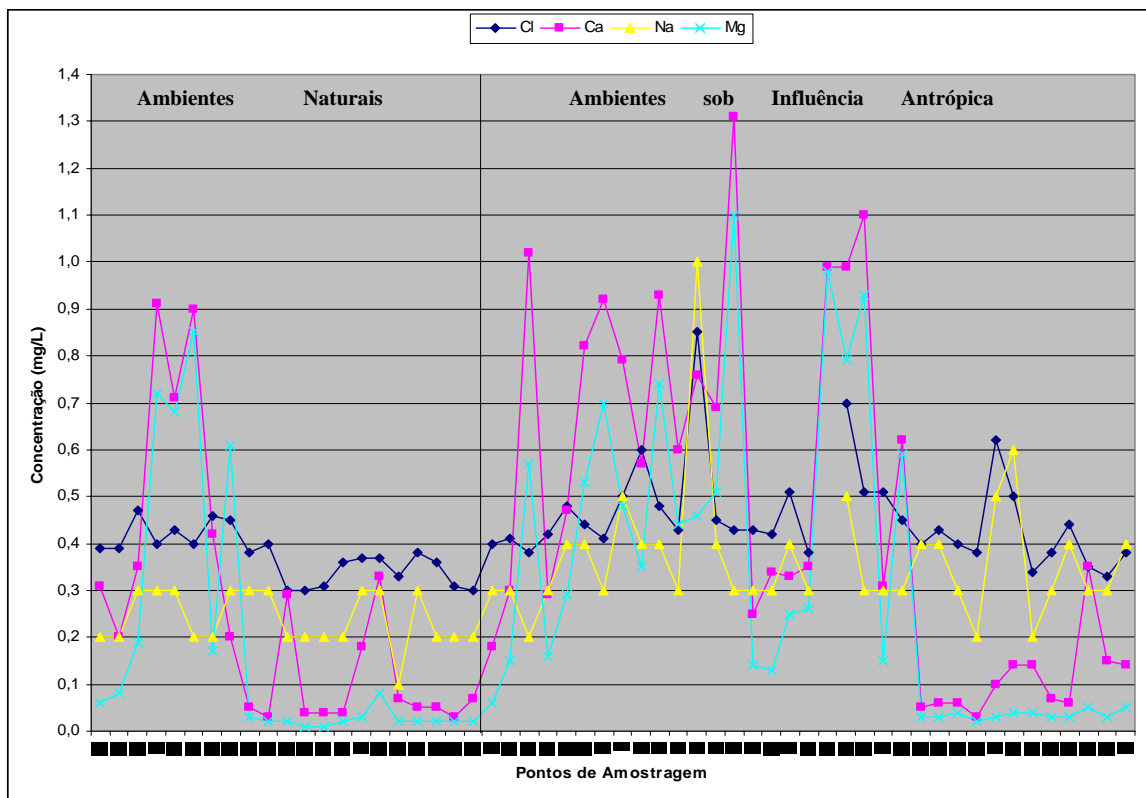


Figura 21 - Distribuição do Cl, Ca, Na e Mg nas águas superficiais, de acordo com o tipo de ambiente amostrado, no período de águas baixas.

A presença dos cátions maiores é derivada dos intensos processos intempéricos que atuam sobre os minerais silicatados das rochas da Formação Alter do Chão e que conduzem ao desenvolvimento dos Latossolos e Espodosolos que ocorrem na região (HORBE et al., 2003). O Ca e Mg, em pequena parcela, podem ser provenientes da decomposição de

matéria orgânica vegetal ou da microfauna, ao passo que aerossóis marinhos (conduzidos pelas chuvas) devem contribuir com parte do Na e a totalidade do Cl dissolvido nas águas naturais estudadas (STALLARD & EDMOND, 1983; CARVALHO, 1995).

Dos elementos menores e traço encontrados nas águas dos ambientes naturais, Ba (<2 a 15 µg/L) e Mn (4 a 9 µg/L) apresentam valores compatíveis com os registrados por Furch (1984) e Seyler e Boaventura (2003) no rio Negro próximo a Manaus (Quadro 1). Nesse grupo, chamam atenção as concentrações elevadas de Zn, de até 600 µg/L (Tabela 3), bem acima dos valores relatados para águas pretas (Quadro 1), o que merece uma investigação mais detalhada, tendo em vista que não há estudos sobre o conteúdo desse elemento na Formação Alter do Chão. Fato semelhante ocorre com o B (6 – 80 µg/L), que normalmente encontra-se na forma de borato (BO_3^{-3}), espécie iônica que possui solubilidade muito baixa (CARVALHO, 1995).

Em ambientes preservados, a composição química das águas superficiais, e a abundância relativa entre os elementos dissolvidos, dependem basicamente de três fatores: o tipo do substrato geológico, as condições físico-químicas e biológicas (pH, Eh, temperatura, pluviosidade, microorganismos, etc) reinantes no ambiente supérgeno e a solubilidade de cada elemento químico, que é função de seu potencial iônico. De acordo com Rose, Hawkes e Webb (1979) o K e o Fe, sob quaisquer condições de pH e Eh, têm uma mobilidade geoquímica menor do que Ca, Na e Mg, o que, aliado à própria composição mineralógica da Formação Alter do Chão, pode explicar a relação de abundância entre esses elementos detectada no período de águas baixas.

As concentrações obtidas neste estudo, para as espécies dissolvidas mais abundantes – Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , Fe^{2+} e Al^{3+} , considerando-se somente ambientes naturais, estão muito aquém das concentrações médias mundiais (Quadro 2), como era de se esperar para

águas pretas, pobres em sólidos dissolvidos. Porém, são muito similares às aquelas relatadas em diversos trabalhos desenvolvidos na região (Quadro 1).

Uma observação interessante diz respeito às amostras coletadas nos pontos 28, 29 e 30 (igarapés de ambientes naturais), logo após episódio de chuva intensa. As mesmas representam, para o período de amostragem, as maiores concentrações de Al, Ba, Ca, Mg, Mn e Zn, o que atesta a influência que o escoamento superficial em seguida a chuvas fortes exerce sobre o conteúdo da carga dissolvida nas águas dos igarapés, mesmo em ambientes com cobertura vegetal preservada, caso dos três pontos citados.

Quando se considera somente as amostras coletadas em ambiente sob influência antrópica, verifica-se que as relações de abundância para ânions e cátions maiores, em termos de valores médios, são as mesmas encontradas nos ambientes naturais - o cloreto é o ânion dominante (média de 0,46 mg/L), sendo superado pelo sulfato apenas nos pontos 20 (rio Preto da Eva), 27 (igarapé Jatuarana) e 55 (igarapé Espreado) (Tabela 3); entre os cátions, mantém-se a seqüência $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Fe}^{2+}$. No entanto, para todos, as concentrações médias são mais elevadas nos ambientes antropizados, em alguns casos, como para Ca e Fe, da ordem de mais de 80% (Tabela 4 e Figura 22). Na distribuição pontual dos cátions a variação também não é homogênea: há diversos locais em que a concentração de Na é maior do que a de Ca, com destaque para os pontos 15 (igarapé Selvagem), 41 (igarapé Urubuí) e 43 (igarapé da Muda); já o Mg supera as concentrações de Na em uma dezena de pontos, notadamente nos igarapés Jangada (ponto 17) e Jatuarana (ponto 27); as concentrações de Ca são sempre maiores que as de Mg, com comportamentos similares (Figura 21).

Os aportes antrópicos dos elementos maiores para o meio aquoso podem ter diversas fontes: Ca, Mg, K, Na e Cl, quando em excesso, são eliminados pelo metabolismo humano (dejetos orgânicos) e servem como bons indicativos de poluição de origem orgânica. Além disso, o Na e o Cl podem ser provenientes de produtos de limpeza e o Ca de entulhos de

construção, corretivos agrícolas, cascas de ovos, restos de alimentos, etc. Já o ferro dissolvido tem sua principal fonte antrópica na decomposição de materiais como latas, eletrônicos e inúmeros equipamentos que possuem esse metal em sua composição (SILVA, 2002).

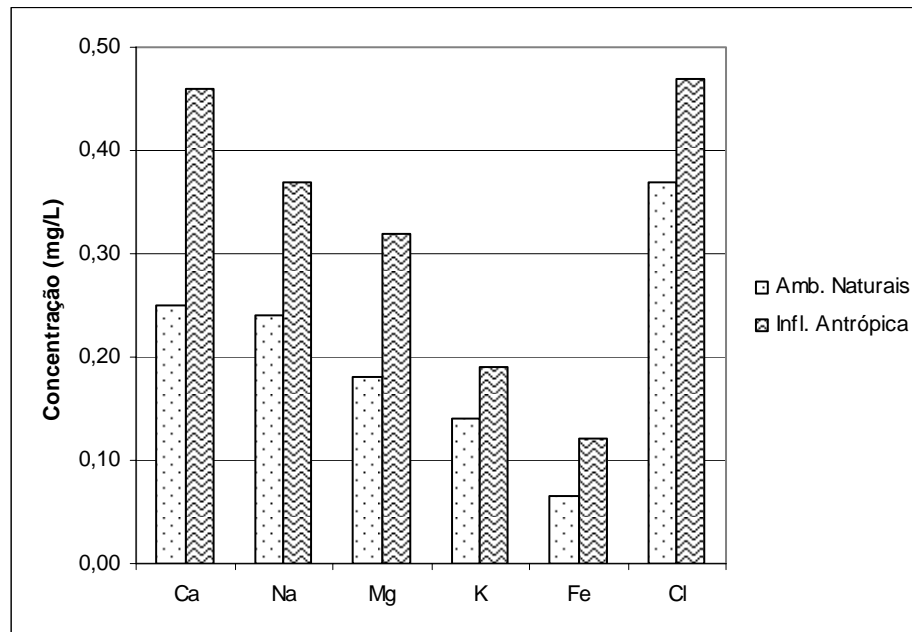


Figura 22 – Concentrações médias, por tipo de ambiente, das principais espécies dissolvidas no período de águas baixas

Um parâmetro que permite estabelecer a distinção entre os dois tipos de ambiente amostrados é o conteúdo de sólidos totais dissolvidos (STD) nas águas dos igarapés. Depois de calculada, para cada amostra, a somatória dos valores correspondentes aos íons analisados (STD - Tabela 3), foi possível elaborar a Figura 23, que discrimina, por bacia e por tipo de ambiente, as concentrações médias do total das espécies dissolvidas nas águas superficiais da área de estudo. Nota-se que os ambientes com influência antrópica, em todas as bacias, contêm uma quantidade maior de STD quando comparados com os naturais. Além disso, levando-se em conta a homogeneidade do substrato geológico da região, percebe-se que a bacia do rio Cuieiras, a menos impactada, é a que apresenta o menor conteúdo de íons totais presentes, ao passo que a bacia do rio Preto da Eva, a mais impactada, é a que registra a maior diferença entre os dois tipos de ambiente.

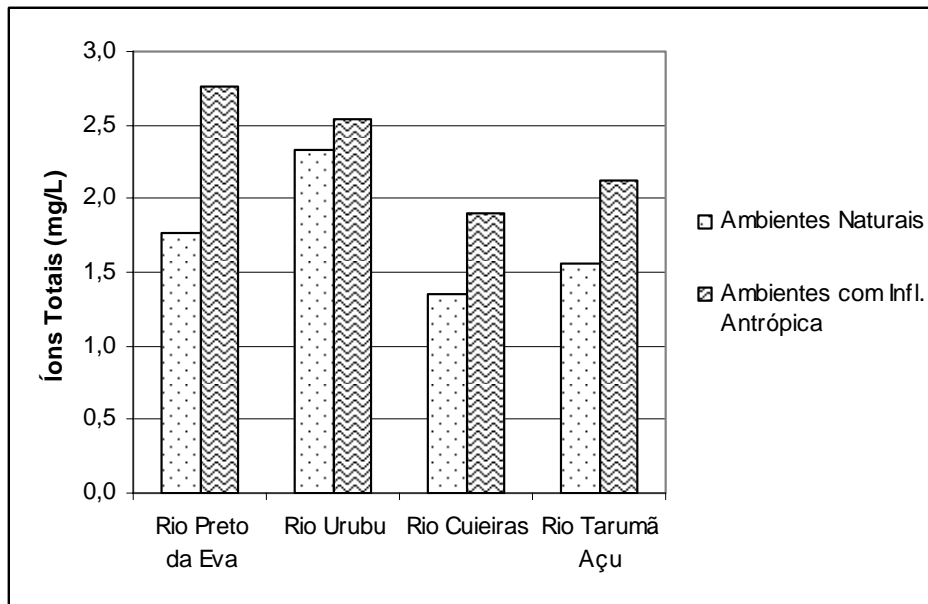


Figura 23 - Concentrações médias do total das espécies dissolvidas no período de águas baixas, por bacia hidrográfica e por tipo de ambiente amostrado

No que se refere aos valores anômalos, nas amostras coletadas em ambiente natural foram registradas dez anomalias de segunda ordem e nenhuma de primeira ordem, enquanto que aquelas coletadas em ambientes com influência antrópica revelam 24 anomalias de primeira ordem e 61 de segunda ordem (Tabela 5), o que ilustra o contraste entre os dois tipos de ambiente. Tal fato sugere que a grande maioria dos valores anômalos está associada às atividades antrópicas desenvolvidas na região, as quais contribuem para a elevação do conteúdo da carga dissolvida nas águas superficiais.

Os dez valores anômalos encontrados em ambientes naturais, com destaque para o igarapé Canseira (ponto 18 – anomalias de B e Ca; ponto 26 – anomalias de B, Ba, Ca e Mg), devem estar ligados a variações locais na mineralogia da Formação Alter do Chão, como enriquecimento em argilominerais derivados de plagioclásios cálcicos, e/ou a pequenas mudanças naturais nas condições físico-químicas e biológicas que controlam a solubilidade dos elementos químicos (Tabelas 3 e 5).

Elemento	Valores anômalos de 1ª ordem (>X+3S)	Valores anômalos de 2ª ordem (X+2S a X+3S)	Quantidade de amostras anômalas			
			Ambiente Natural		Influência Antrópica	
			1ª ordem	2ª ordem	1ª ordem	2ª ordem
Cl	> 0,52	0,47 – 0,52	-	1	4	7
Ca	> 1,09	0,81 - 1,09	-	2	2	6
Na	> 0,42	0,36 – 0,42	-	-	5	11
Mg	> 1,02	0,74 – 1,02	-	1	1	4
K	> 0,32	0,26 – 0,32	-	1	1	8
Fe	> 168	134 - 168	-	-	5	9
Zn	> 633	478 – 633	-	1	-	3
B	> 102	79 – 102	-	2	4	8
Mn	> 12	10 – 12	-	-	-	1
Ba	> 17	13 – 17	-	2	2	4

Cl, Ca, Na, Mg e K em mg/L; os demais em µg/L. X – média e S – desvio-padrão

Tabela 5 - Anomalias de primeira e segunda ordem e quantidade de amostras anômalas, por tipo de ambiente, para os elementos dissolvidos no período de águas baixas

Com relação à classificação química das águas, utilizando-se uma simplificação do diagrama de Piper, de modo a se obter um diagrama catiônico Ca-Mg-Na+K, verifica-se que as águas superficiais da região são, independente do tipo de ambiente amostrado, preferencialmente do tipo mistas a sódicas (Figura 24), o que confirma os resultados apresentados por Oliveira (2004) em estudos desenvolvidos em igarapés e rios de água preta na área deste estudo e em seu entorno.

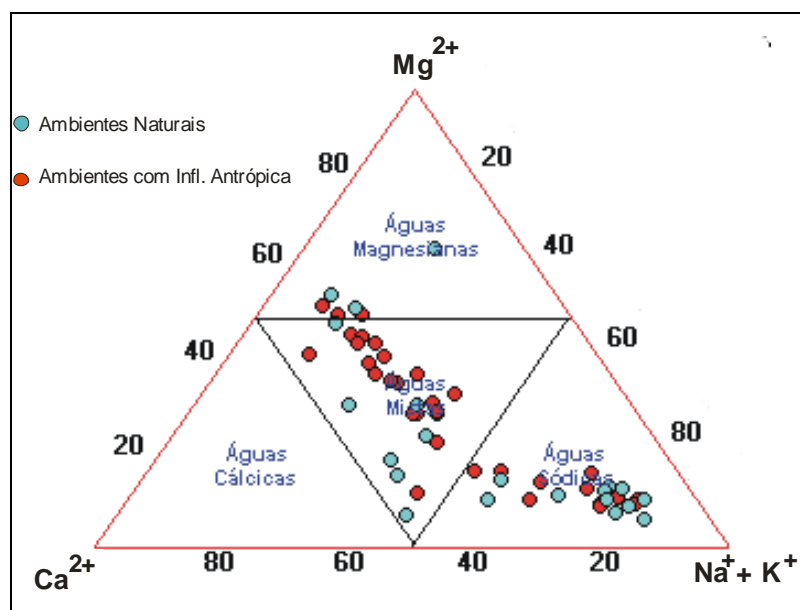


Figura 24 – Diagrama Ca-Mg-Na+K com a classificação catiônica das águas estudadas

Por meio de um estudo de regressão múltipla (*software Statistica 6.0*) foi analisada a correlação dos parâmetros físico-químicos medidos diretamente nos corpos d'água (pH, OD e CE) com a concentração dos principais elementos dissolvidos. Quando se leva em conta somente as amostras coletadas em ambiente natural obtêm-se os seguintes resultados:

- nenhum dos elementos analisados mostra correlação com os valores de pH ou CE. Até mesmo os valores de STD não apresentam correlação com a CE, o que indica que este parâmetro, nas águas da área de estudo, deve ser controlado principalmente pela quantidade de íons orgânicos em solução. A forte correlação inversa do pH com a CE, já mencionada anteriormente (Figura 20), reforça essa hipótese;

- Ca, Mg, Fe, Ba, Cl, Mn e B mostram correlação positiva moderada a forte (coeficiente de correlação r entre 0,50 e 0,76) com os valores de OD, o que sugere a tendência de ambientes mais oxigenados favorecerem a solubilidade desses elementos (Figura 25). Para o Fe é importante mencionar que sua forma solúvel nas águas doces superficiais é principalmente como espécies orgânicas complexas que se mantêm estáveis para a faixa de pH entre 4,5 e 7,0 e boas condições de oxigenação (CARVALHO, 1995).

Na análise de regressão múltipla, quando se considera somente as amostras de ambientes sob influência antrópica entra em cena um componente aleatório (atividades antrópicas) sobre o qual não se tem controle e o panorama geoquímico resulta diferente:

- elementos que não possuem qualquer correlação com os valores dos parâmetros físico-químicos: K, Fe e B;

- elementos com correlação positiva fraca (r entre 0,28 e 0,42) com pH: Ca, Na e Cl;

- elementos com correlação positiva fraca (r igual a 0,25) com CE: Ca e Mn

- elementos com correlação positiva fraca a moderada (r entre 0,34 e 0,68) com OD: Ba, Ca, Mg, Zn, Mn e Cl.

A elaboração da matriz de correlação dos resultados analíticos correspondentes aos cátions principais, para a totalidade dos pontos de amostragem, conduz à definição de uma forte associação geoquímica: Ba-Ca-Mg, a qual caracteriza o grupo dos alcalino-terrosos (Figura 26). Essa mesma associação se apresenta na matriz de correlação relativa exclusivamente dos ambientes naturais. Para ilustrar sua distribuição espacial nas águas superficiais da região foi elaborado o mapa geoquímico do Ca (Figura 27), onde se visualiza uma zona de concentração desse elemento no extremo sudeste, local em que a ocupação antrópica, estimulada pela

existência de três vicinais, é mais intensa, sobretudo na margem direita do igarapé Jangada, o qual apresentou, nos pontos 17 e 25, anomalias para Ca, Mg, Na, K, Ba e Cl (Tabelas 3 e 5).

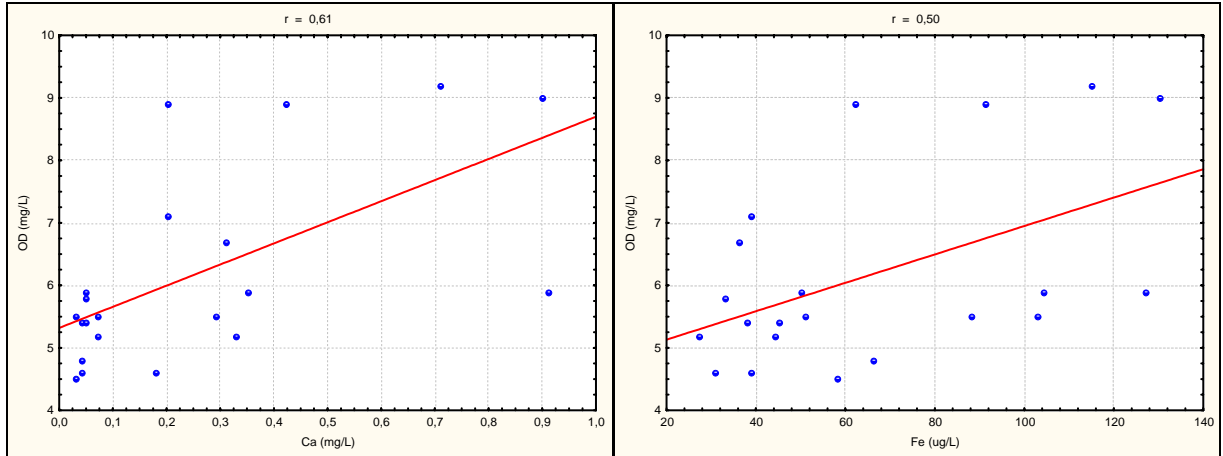


Figura 25 – Diagramas de correlação do Ca e do Fe dissolvidos com OD nos igarapés de ambientes naturais no período de águas baixas

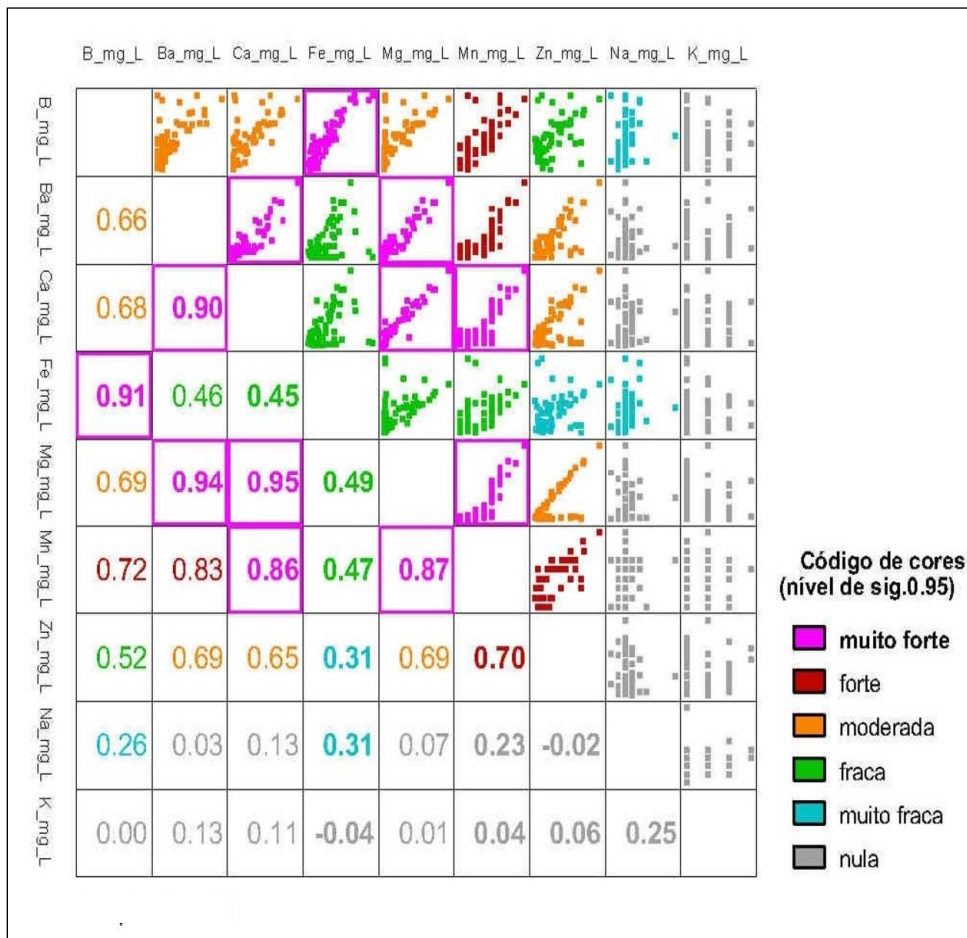
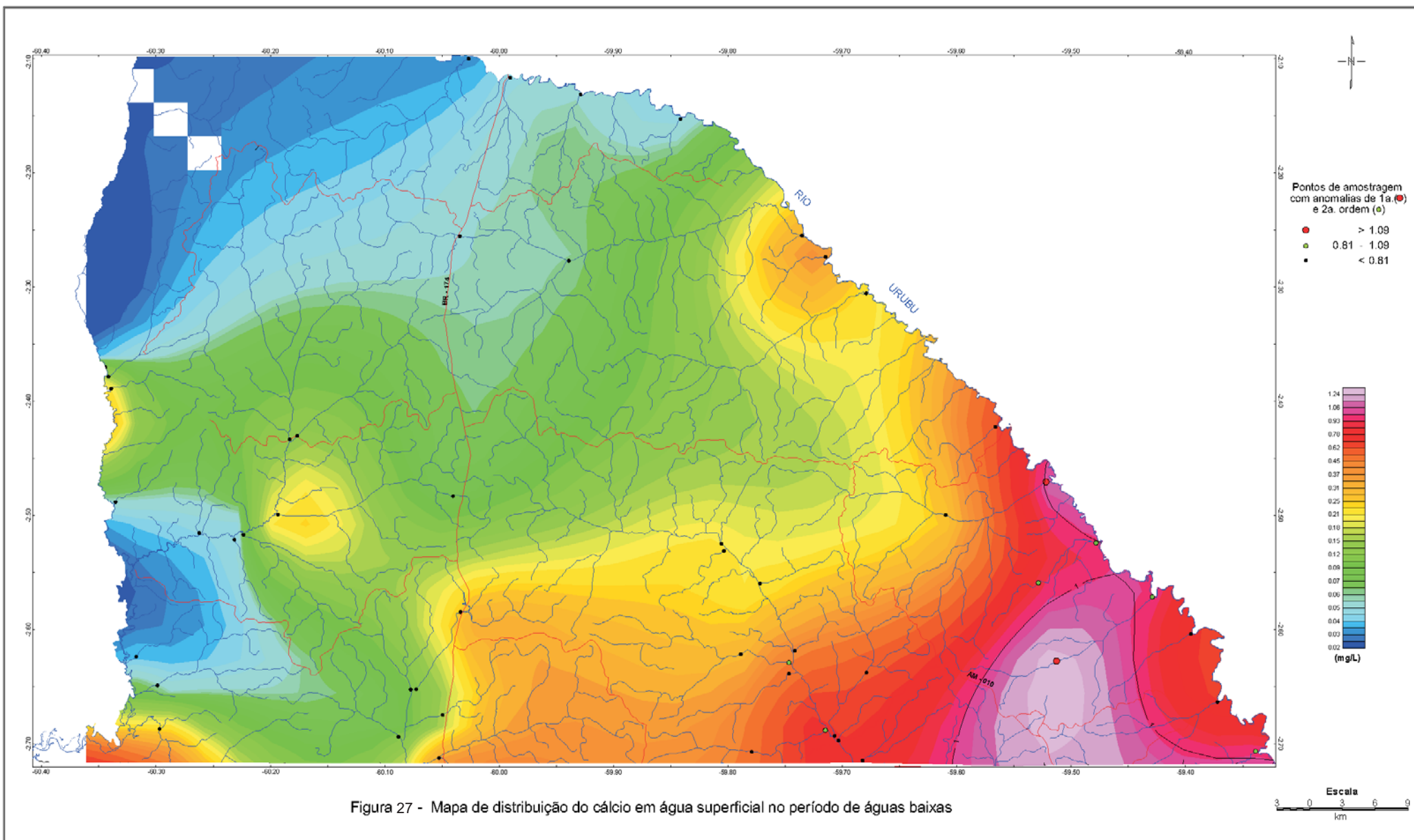


Figura 26 - Matriz de correlação dos cátions no período de águas baixas



5.2.2 Águas Altas

Nesta etapa, por problemas analíticos, não foi efetuada a determinação de Mg e Zn. Dos demais elementos, apenas Cl, Na, K, Ca, Fe, Mn e Ba apresentaram a maior parte dos valores de concentração acima do LD (Tabelas 6 e 7). A Figura 28 ilustra, por ponto e por tipo de ambiente, a distribuição dos principais íons detectados.

Na comparação com o período de águas baixas, verifica-se que, para os igarapés de ambientes naturais, dentre os ânions analisados, o cloreto é novamente o mais abundante em todos os locais amostrados, com a única exceção do ponto 52 (igarapé Caxias), onde prevalece o sulfato (Tabela 6). O cloreto apresenta o mesmo valor médio (0,37 mg/L), mas maior amplitude de variação (0,16 a 0,50 mg/L) que nas águas baixas (0,30 a 0,47 mg/L) (Tabelas 4 e 7). Para os cátions principais, a relação de dominância se modifica um pouco, com a concentração média de Na superando a de Ca, que era o cátion predominante na etapa anterior. Dentre eles, Na e K tiveram ampliação no limite de variação, com concentrações máximas mais elevadas em relação às águas baixas (de 0,30 para 0,90 e 0,80 mg/L respectivamente). A seguinte seqüência é observada em termos de valores médios: Na^+ (0,23 mg/L) > K^+ (0,15 mg/L) \geq Ca^{2+} (0,14 mg/L) > Fe^{2+} (0,072 mg/L) (Tabela 7). Quando se analisa a distribuição pontual nota-se que a variação é mais homogênea do que nas águas baixas: o Na é superado pelo K apenas no ponto 49 (igarapé da Campina) e pelo Ca nos pontos 32 (igarapé da Minhoca), 49 e 52 (igarapé Caxias) (Figura 28).

As constatações acima sugerem que o nível das águas tem influência na distribuição relativa dos cátions principais, o que pode ser explicado pelas mudanças nos parâmetros físico-químicos (pH, Eh, OD, temperatura, teor de matéria orgânica, tipo dos argilominerais transportados em suspensão, etc) que acompanham as oscilações no regime fluvial, os quais controlam, em maior ou menor grau, a solubilidade dos elementos químicos.

Pontos	Ambiente	Ca	Na	K	Al	Fe	B	Ba	Mn	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	STD
01	A	0,09	0,2	0,1	< LD	61	< LD	4	4	0,35	0,2	1,06
02	N	0,11	0,2	0,2	0,1	68	110	5	4	0,38	0,1	1,28
03	N	0,08	0,2	0,1	< LD	47	< LD	4	3	0,33	0,2	1,39
04	A	0,06	0,3	0,1	0,1	63	< LD	3	4	0,37	< LD	1,05
05	N	0,04	0,2	0,1	0,2	81	< LD	4	3	0,31	< LD	0,95
06	A	0,04	0,5	0,2	0,1	57	< LD	4	4	0,70	0,1	1,70
07	A	0,03	0,2	0,1	0,1	43	< LD	2	3	0,38	< LD	0,91
08	A	0,18	0,4	0,2	< LD	133	< LD	< LD	5	0,43	0,1	1,49
09	A	0,19	0,4	0,3	0,1	209	< LD	6	5	0,47	0,1	1,78
10	A	0,14	0,3	0,2	0,1	138	< LD	6	4	0,40	0,1	1,39
11	A	0,27	0,5	0,2	< LD	127	70	2	6	0,43	< LD	1,70
12	A	0,21	0,4	0,2	0,2	139	< LD	4	5	0,42	< LD	1,63
13	A	0,08	0,3	0,3	0,1	121	< LD	8	5	0,37	< LD	1,33
14	A	0,11	0,4	0,1	< LD	72	< LD	< LD	4	0,39	< LD	1,18
15	A	0,48	0,9	0,5	0,1	192	< LD	< LD	5	0,71	0,6	3,48
16	A	0,16	0,4	0,1	0,2	182	< LD	3	5	0,41	< LD	1,51
17	A	0,05	0,2	0,1	0,1	101	< LD	2	5	0,39	< LD	1,00
18	N	0,04	0,4	0,2	0,1	55	< LD	2	4	0,38	< LD	1,23
19	A	0,09	0,2	0,1	< LD	72	< LD	4	4	0,43	0,1	1,05
20	A	0,13	0,3	0,2	0,1	103	< LD	5	5	0,43	0,2	1,47
21	A	0,08	0,3	0,2	0,1	145	< LD	4	5	0,37	< LD	1,25
22	A	0,07	0,2	0,1	< LD	67	< LD	2	5	0,37	0,1	0,96
23	A	0,06	0,3	0,2	< LD	172	< LD	5	6	0,39	< LD	1,23
24	N	0,05	0,2	0,1	0,1	107	< LD	3	4	0,33	< LD	0,94
25	A	0,12	0,2	0,2	0,1	134	< LD	4	4	0,39	0,2	1,35
26	N	0,07	0,3	0,1	< LD	183	< LD	2	5	0,36	< LD	1,12
27	A	0,10	0,2	0,1	0,1	86	< LD	4	5	0,48	0,1	1,17
28	N	0,07	0,2	0,1	< LD	75	< LD	< LD	6	0,38	< LD	0,93
29	N	0,04	0,2	0,1	< LD	55	< LD	2	4	0,38	< LD	0,88
30	N	0,11	0,3	0,1	0,1	267	< LD	3	6	0,41	< LD	1,25
31	A	0,14	0,2	0,1	0,1	72	< LD	2	6	0,44	< LD	1,11
32	N	0,29	0,2	< LD	< LD	53	< LD	< LD	5	0,37	< LD	1,06
33	N	0,13	0,2	0,1	0,1	63	< LD	3	4	0,39	< LD	1,04
34	A	0,05	0,2	< LD	< LD	56	< LD	< LD	5	0,43	< LD	0,89
Águas Classe 2	-	-	-	-	0,1	300	500	700	100	250	250	-
Águas Classe 3	-	-	-	-	0,2	5000	750	1000	500	250	250	-

N – Ambiente natural; A – Ambiente com influência antrópica; B, Ba, Fe e Mn em µg/L, os demais em mg/L

Também foram analisados As, Br, Cd, Co, Cr, Cu, F, Li, Ni, Pb, Se, Sr e V, porém os teores, em todas as amostras, resultaram em valores abaixo do LD

Obs.: Destaca-se em negrito os valores em desacordo com a Resolução CONAMA 357/2005 para as águas de classe 2 e/ou 3

Tabela 6 – Resultados das análises químicas efetuadas nas amostras de águas superficiais coletadas no período de águas altas

Pontos	Ambiente	Ca	Na	K	Al	Fe	Ba	Mn	Pb	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	STD
35	A	0,04	0,1	0,1	0,1	22	<LD	4	<LD	0,38	<LD	0,80
36	A	0,05	0,2	0,1	<LD	216	<LD	5	<LD	0,36	<LD	1,03
37	A	0,05	0,3	0,1	<LD	104	<LD	7	<LD	0,40	0,1	1,11
38	N	0,04	0,2	<LD	0,1	85	<LD	5	<LD	0,50	<LD	1,03
39	A	0,06	0,3	0,1	0,1	87	<LD	4	<LD	0,36	<LD	1,06
40	A	0,03	0,2	<LD	<LD	52	<LD	5	<LD	0,34	<LD	0,77
41	A	0,06	0,4	<LD	0,1	220	2	6	<LD	0,41	<LD	1,30
42	N	0,03	0,1	<LD	<LD	56	<LD	5	<LD	0,34	<LD	0,68
43	A	0,10	0,3	0,2	0,1	81	3	4	<LD	0,37	<LD	1,20
44	A	0,11	0,2	<LD	0,1	44	<LD	4	<LD	0,54	0,1	1,15
45	A	0,07	0,3	0,1	<LD	234	<LD	6	<LD	0,39	<LD	1,20
46	A	0,07	0,4	0,1	0,1	92	<LD	5	<LD	0,47	<LD	1,29
47	N	ND	ND	ND	0,1	63	3	4	ND	ND	ND	-
48	N	0,18	0,2	0,2	<LD	58	3	5	<LD	0,42	0,1	1,12
49	N	0,73	0,3	0,8	<LD	77	3	5	5	0,50	0,1	2,57
50	N	0,05	0,1	0,1	0,1	45	2	5	<LD	0,34	<LD	0,79
51	N	0,16	0,1	0,1	0,1	36	2	4	<LD	0,32	0,1	0,92
52	N	0,32	0,2	0,2	<LD	49	3	4	<LD	0,36	0,6	1,79
53	N	0,10	0,1	0,1	0,1	63	2	4	<LD	0,33	0,1	0,90
54	N	0,13	0,1	0,1	<LD	41	3	4	<LD	0,16	0,1	0,69
55	A	ND	ND	ND	0,1	93	ND	ND	ND	ND	ND	-
56	N	ND	ND	ND	0,1	69	ND	ND	ND	ND	ND	-
57	N	0,13	0,9	0,2	<LD	48	2	3	<LD	ND	ND	-
58	A	0,19	0,2	0,3	0,1	177	9	5	11	0,45	0,1	1,54
59	N	0,18	0,3	0,3	0,2	65	6	7	<LD	0,49	0,2	1,75
60	N	0,17	0,2	0,1	0,2	48	<LD	5	<LD	0,40	<LD	1,17
61	A	0,14	0,3	0,2	<LD	181	2	5	<LD	0,54	0,1	1,52
62	A	0,07	0,2	0,1	0,1	23	<LD	5	<LD	0,39	0,1	0,99
63	A	0,29	0,4	0,30	0,1	130	2	6	<LD	0,40	0,2	1,83
64	A	0,10	0,2	<LD	0,2	131	<LD	5	<LD	0,30	<LD	1,03
65	N	0,09	0,2	<LD	0,1	108	2	7	<LD	0,30	<LD	0,91
66	N	ND	ND	ND	<LD	18	3	1	<LD	ND	ND	-
67	N	0,05	0,1	0,1	0,1	38	2	4	<LD	0,34	<LD	0,78
Águas Classe 2	-	-	-	-	0,1	300	700	100	10	250	250	-
Águas Classe 3	-	-	-	-	0,2	5000	1000	500	33	250	250	-

ND – não determinado; Ba, Fe, Mn e Pb em µg/L, os demais em mg/L

Também foram analisados As, B, Br, Cd, Co, Cr, Cu, F, Li, Ni, Se, Sr e V, porém os teores, em todas as amostras, resultaram em valores abaixo do LD

Obs.: Destaca-se em negrito os valores em desacordo com a Resolução CONAMA 357/2005 para as águas de classe 2 e/ou 3

Tabela 6 – Resultados das análises químicas efetuadas nas amostras de águas superficiais coletadas no período de águas altas (continuação)

Elemento	Ambientes Naturais			Amb. com Influência Antrópica	
	Amplitude	Média (X)	Desvio Padrão (S)	Amplitude	Média
Ca	0,03 – 0,73	0,14	0,14	0,03 – 0,48	0,12
Na	0,10 – 0,90	0,23	0,16	0,10 – 0,90	0,31
K	< LD – 0,80	0,15	0,15	< LD – 0,50	0,16
Fe	18 - 267	72	49	22 - 234	113
Mn	1 - 7	4	1	3 - 7	5
Ba	< LD - 6	3	1	< LD - 9	3
Cl	0,16 – 0,50	0,37	0,07	0,34 – 0,71	0,42
TID	0,68 – 2,57	1,13	0,42	0,77 – 3,48	1,31

TID – Total de íons dissolvidos; Ca, Na, K, Cl e TID em mg/L; os demais em µg/L

Tabela 7 – Parâmetros estatísticos para os elementos dissolvidos nas águas superficiais no período de águas altas

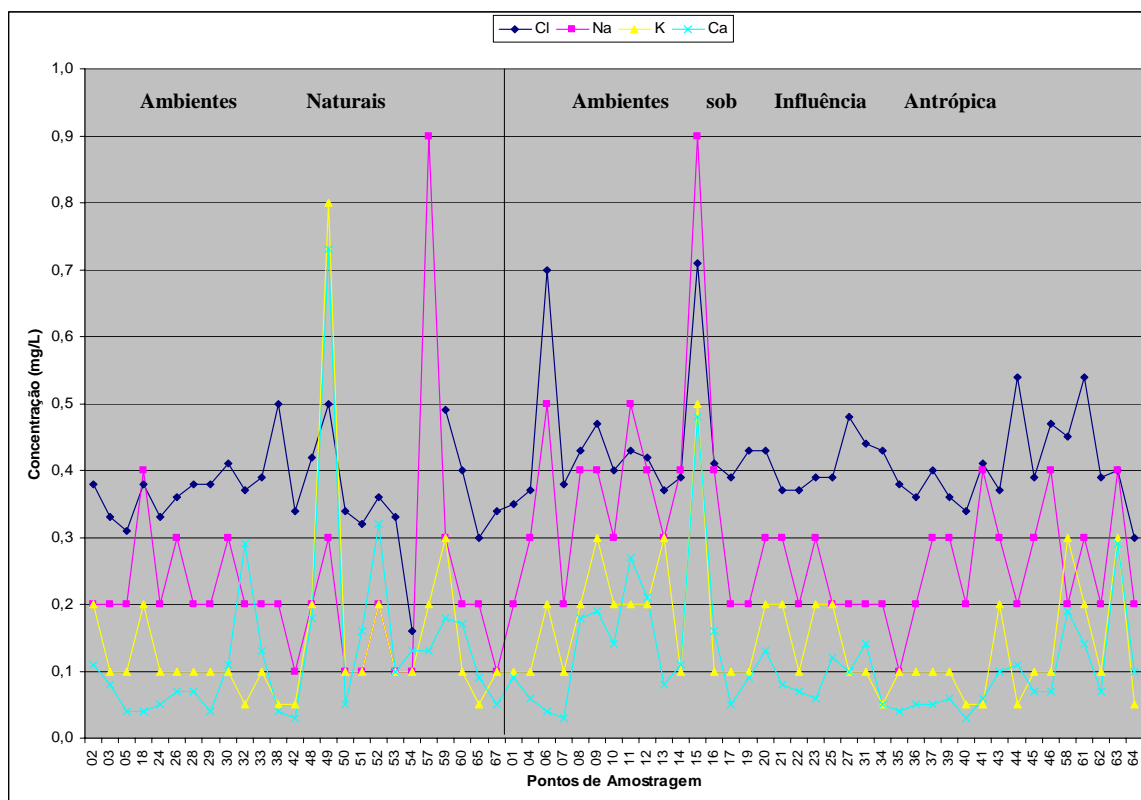


Figura 28 - Distribuição do Cl, Na, K e Ca nas águas superficiais, de acordo com o tipo de ambiente amostrado, no período de águas altas.

Nos pontos sob influência antrópica, as relações de dominância para ânions e cátions, em termos de valores médios, são as mesmas dos ambientes naturais (Tabela 7). Na distribuição pontual, a variação é homogênea: o Na é o cátion mais abundante em todos os locais, com exceção do ponto 58 (igarapé Guaraná), onde prevalece o K (Figura 28).

Diferente do período de águas baixas, porém, as concentrações médias são mais elevadas nos ambientes antropizados apenas para Fe e, em menor proporção, para Na e Cl (Tabela 7 e Figura 29). Isso deriva da menor amplitude de variação na concentração dos elementos dissolvidos, especialmente para o Ca (Tabela 7), e indica que a elevação do nível das águas fluviais dilui e dificulta um pouco as distinções entre os dois tipos de ambiente.

Como consequência do exposto acima, a distribuição das concentrações médias do total dos íons dissolvidos (STD) nas águas superficiais, por bacia e por tipo de ambiente (Figura 30), também mostra significativa mudança em relação ao período de águas baixas. Apenas na bacia do rio Preto da Eva os ambientes com influência antrópica contêm, em média, uma quantidade maior de STD quando comparados com os naturais.

A determinação de valores de concentração anômalos por elemento, contudo, ainda é um parâmetro que ilustra as diferenças entre os ambientes: as amostras coletadas em ambiente natural registram apenas quatro valores anômalos de primeira ordem e sete de segunda ordem, ao passo que aquelas coletadas sob influência antrópica revelam sete anomalias de primeira ordem e 22 de segunda ordem (Tabela 8).

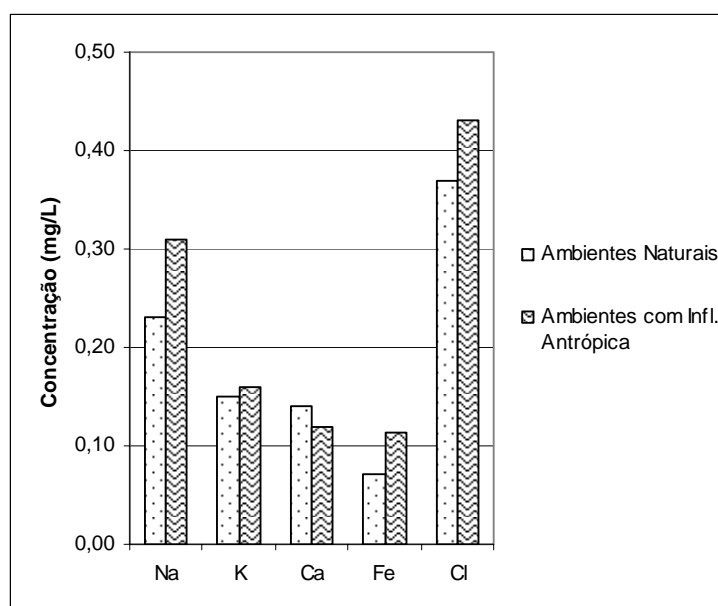


Figura 29 – Concentrações médias, por tipo de ambiente, das principais espécies dissolvidas no período de águas altas

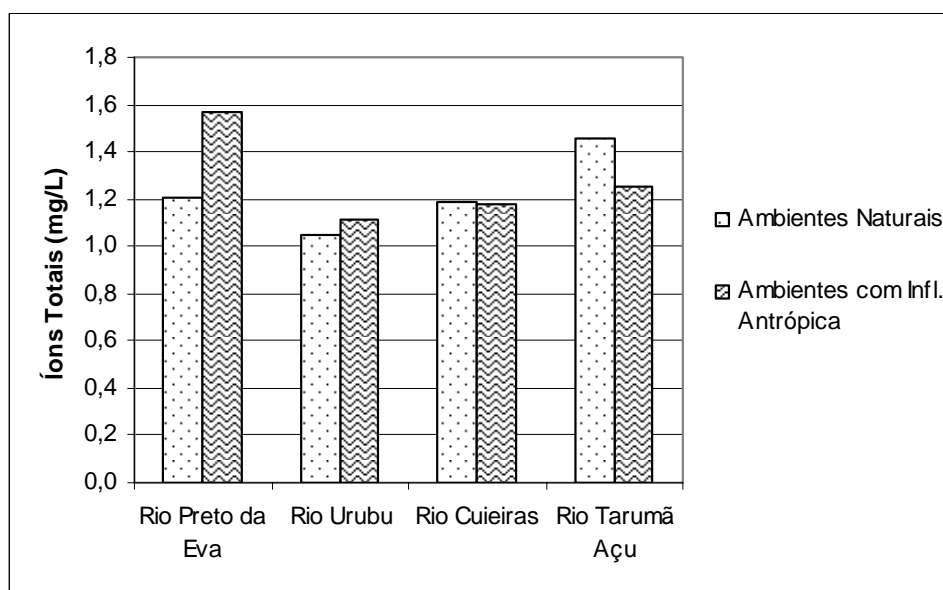


Figura 30 - Concentrações médias do total das espécies dissolvidas no período de águas altas, por bacia hidrográfica e por tipo de ambiente amostrado

Elemento	Valores anômalos de 1ª ordem (>X+3S)	Valores anômalos de 2ª ordem (X+2S a X+3S)	Quantidade de amostras anômalas			
			Ambiente Natural		Influência Antrópica	
			1ª ordem	2ª ordem	1ª ordem	2ª ordem
Cl	> 0,58	0,51 – 0,58	-	-	2	2
Na	> 0,71	0,55 – 0,71	1	-	1	-
K	> 0,60	0,45 – 0,60	1	-	-	1
Ca	> 0,56	0,42 – 0,56	1	-	-	1
Fe	> 219	170 – 219	1	1	2	7
Mn	> 7	6 – 7	-	4	-	7
Ba	> 6	5 – 6	-	2	2	4

Cl, Na, K e Ca em mg/L; os demais em µg/L

Tabela 8 - Anomalias de primeira e segunda ordem e quantidade de amostras anômalas, por tipo de ambiente, para os elementos dissolvidos no período de águas altas

A análise de regressão múltipla, para estabelecimento das possíveis correlações das concentrações dos elementos dissolvidos com os parâmetros físico-químicos (pH, OD e CE), conduz a um quadro diferente daquele encontrado no período de águas baixas. Para as amostras coletadas em ambiente natural observam-se os seguintes resultados:

- Ca, K, Na e Cl não mostram qualquer correlação com nenhum dos parâmetros físico-químicos medidos no campo;

- Fe e Mn apresentam correlação inversa fraca com os valores de pH, ou seja, verifica-se tendência de ambientes mais ácidos favorecerem a dissolução desses elementos. O Fe, diferente do período de águas baixas, mostra correlação inversa ($r = -0,42$) com OD, o que sugere que, com águas altas, ambientes mais redutores e ácidos favorecem sua solubilidade (Figura 31).

- Ba e STD têm correlação positiva fraca com a CE. Portanto, a exemplo do verificado com águas baixas, a CE deve ser influenciada principalmente pelos íons orgânicos.

Para as amostras de ambientes sob influência antrópica, como era de se esperar, o panorama é diverso: enquanto Ba e Mn não mostram correlação com nenhum parâmetro físico-químico, Fe, K, Na, Cl e Ca possuem somente correlação positiva fraca a moderada com pH; além disso, Na e Ca mostram correlação positiva fraca com a CE.

A matriz de correlação dos resultados analíticos correspondentes aos cátions principais, para a totalidade dos pontos de amostragem, define apenas uma associação geoquímica forte, entre o Ca e o K (Figura 32), diferente, portanto, do período de águas baixas. De fato, como se observa na Tabela 7, Ca e K apresentam, para os dois tipos de ambiente, concentrações médias e faixa de variação de valores muito próximas. Essa mesma associação se mantém quando se analisa a matriz de correlação relativa exclusivamente dos ambientes naturais.

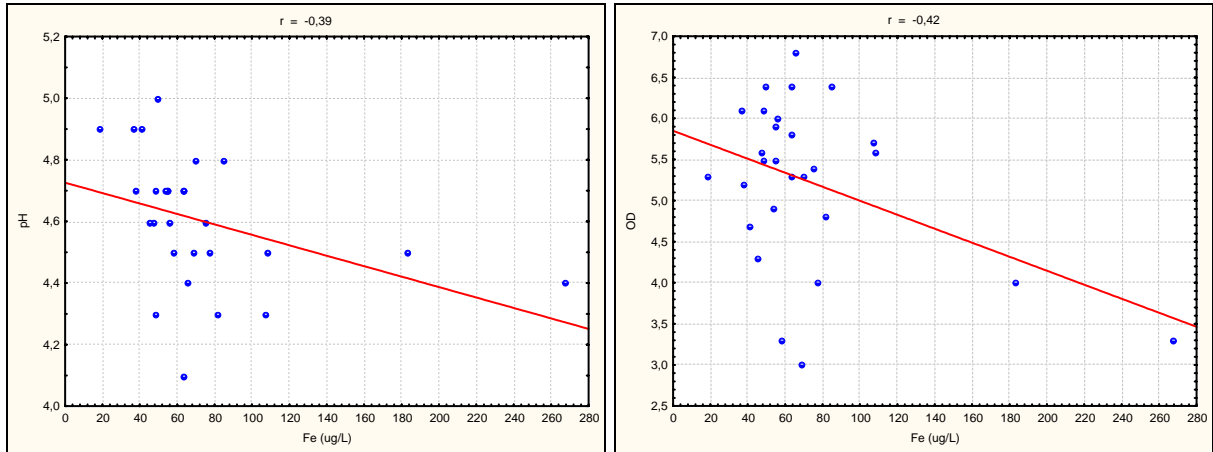


Figura 31 - Diagramas de correlação do Fe dissolvido com pH e OD (mg/L) nos igarapés de ambientes naturais no período de águas altas

	Ca	Na	K	Fe	Ba	Mn
Ca		0.35	0.82	0.12	0.08	0.14
Na	0.35		0.43	0.35	-0.01	0.06
K	0.82	0.43		0.20	0.37	0.09
Fe	0.12	0.35	0.20		0.21	0.44
Ba	0.08	-0.01	0.37	0.21		-0.06
Mn	0.14	0.06	0.09	0.44	-0.06	

Código de cores
nível de significancia 95%

- muito forte
- forte
- moderada
- fraca
- muito fraca
- nula

Figura 32 – Matriz de correlação dos cátions no período de águas altas

5.2.3 Período Seco

A amostragem realizada no período seco desenvolveu-se exclusivamente na bacia do rio Urubu. Foram dosadas as concentrações de SO_4^{-2} , PO_4^{-3} , Cl^- e alcalinidade em bicarbonatos (HCO_3^-), resultando que apenas os dois últimos parâmetros apresentaram um conjunto de dados consistente, com a maior parte dos pontos com valores acima do LD (Tabela 9 e Figuras 33 e 34).

As concentrações de Cl nos ambientes naturais variaram de 0,10 mg/L, no igarapé Dona Mariza (ponto 42), a 0,30 mg/L, no igarapé Buriti (ponto 30) (Figura 33). Esses valores mínimo e máximo são inferiores aos encontrados no mesmo tipo de ambiente da bacia do rio Urubu tanto no período de águas baixas (0,38 – 0,46 mg/L) como altas (0,30 – 0,50 mg/L). Deve-se ressaltar, contudo, que os métodos de análise foram diferentes – enquanto nas duas primeiras etapas foi utilizada a cromatografia no período seco o método foi o da titulometria. Nos ambientes sob influência antrópica as concentrações oscilaram entre 0,15 mg/L, encontrada em oito pontos (17, 27, 31, 34, 36, 40, 46 e 64), e 0,60 mg/L, detectada em dois locais no próprio rio Urubu (pontos 68 e 71). A faixa de variação encontrada para este tipo de ambiente na bacia do rio Urubu é mais ampla do que as observadas com águas baixas (0,38 – 0,70 mg/L) e altas (0,34 – 0,48 mg/L). Ao longo do canal principal do rio (ponto 68 – jusante a ponto 72 – montante) as variações na concentração de Cl não mostram nenhum padrão específico (Figura 33).

Os valores médios, calculados por ambiente, indicam que o conteúdo de Cl se eleva ligeiramente dos igarapés naturais (0,18 mg/L) para os igarapés com influência antrópica (0,23 mg/L), e que as maiores concentrações (média de 0,54 mg/L) estão associadas com o canal principal do rio Urubu, contribuindo para isso, talvez, os tributários da margem esquerda, não incluídos neste estudo (Figura 35). As concentrações médias de Cl, tanto para os igarapés naturais como para os antropizados, são inferiores às determinadas no período de águas baixas

(0,42 e 0,47 mg/L respectivamente) e no de águas altas (0,38 e 0,41 mg/L) para a bacia do Urubu. Ressalva-se novamente, porém, a diferença nos métodos de análises químicas.

A faixa de valores detectada para a alcalinidade nos ambientes naturais variou de concentrações abaixo do LD (<0,02 mg/L) até 3,81 mg/L, encontrada nos igarapés Canseira (pontos 18 e 26) e Santa Helena (ponto 28). Naqueles sob influência antrópica variou de valores abaixo do LD a 12,7 mg/L, registrado no alto curso do rio Urubu (ponto 72) (Figura 34). Esta concentração máxima, destoante dos demais resultados (Tabela 9), talvez esteja associada a maior quantidade de ânions orgânicos no local (vide item 2.1.3). As concentrações médias por ambiente mostram que, a exemplo do Cl, a alcalinidade mais elevada está presente nas águas do canal principal da bacia, com valor de 4,8 mg/L (Figura 35). Ao longo do rio Urubu há uma tendência de decréscimo nos valores de montante (ponto 72) para jusante (ponto 69) (Figura 34).

Horbe et al. (2005), em estudos nas águas pretas da bacia do rio Puraquequara, logo a sul da área desta dissertação, encontraram valores de alcalinidade e Cl similares aos aqui relatados, e constataram que a alcalinidade é mais elevada no período seco.

A análise por regressão múltipla indica que nem Cl nem HCO_3^- mostram correlação, qualquer que seja o ambiente considerado, com os parâmetros físico-químicos medidos nos corpos d'água no período seco (pH e OD).

Pontos	Ambiente	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻³	SO ₄ ⁻²
16	A	0,40	7,62	< LD	< LD
17	A	0,15	< LD	< LD	< LD
18	N	0,15	3,81	0,037	< LD
19	A	0,25	< LD	< LD	< LD
23	A	0,35	3,81	< LD	< LD
24	N	0,20	2,54	< LD	< LD
25	A	0,20	2,54	< LD	< LD
26	N	0,15	3,81	< LD	< LD
27	A	0,15	< LD	< LD	< LD
28	N	0,20	3,81	< LD	< LD
29	N	0,25	< LD	< LD	< LD
30	N	0,30	< LD	< LD	< LD
31	A	0,15	< LD	< LD	< LD
32	N	0,15	1,27	< LD	< LD
33	N	0,15	< LD	< LD	< LD
34	A	0,15	2,54	< LD	< LD
36	A	0,15	< LD	< LD	< LD
38	N	0,15	2,54	< LD	< LD
39	A	0,20	< LD	< LD	< LD
40	A	0,15	2,54	< LD	< LD
41	A	0,50	1,27	< LD	< LD
42	N	0,10	< LD	< LD	< LD
46	A	0,15	< LD	< LD	< LD
64	A	0,15	2,54	< LD	< LD
65	N	0,20	2,54	< LD	< LD
68	A	0,60	3,81	< LD	< LD
69	A	0,50	1,27	< LD	< LD
70	A	0,50	1,27	< LD	< LD
71	A	0,60	5,08	< LD	< LD
72	A	0,50	12,70	< LD	< LD

N – Ambiente natural; A – Ambiente com influência antrópica

Tabela 9 – Resultados das análises químicas (mg/L) efetuadas nas águas no período seco

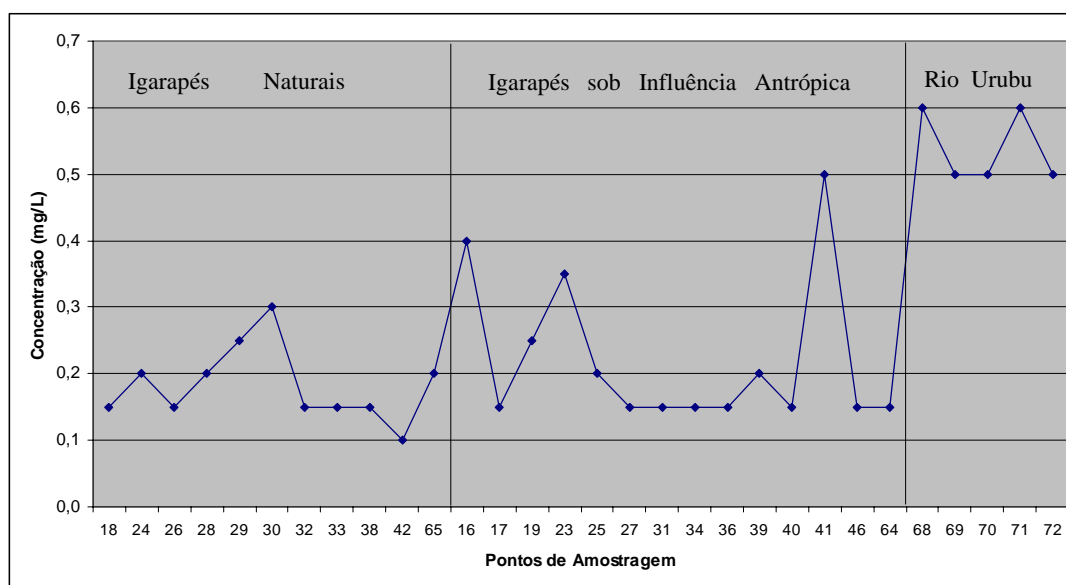


Figura 33 - Distribuição do Cl nas águas superficiais, de acordo com o tipo de ambiente amostrado, no período seco

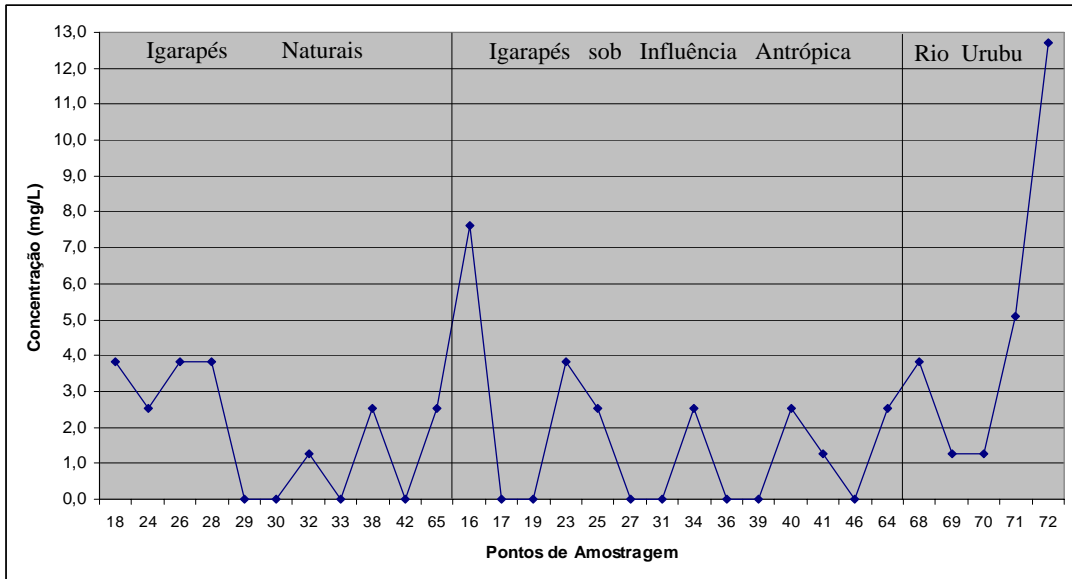


Figura 34 – Distribuição da alcalinidade em bicarbonatos nas águas superficiais, de acordo com o tipo de ambiente amostrado, no período seco

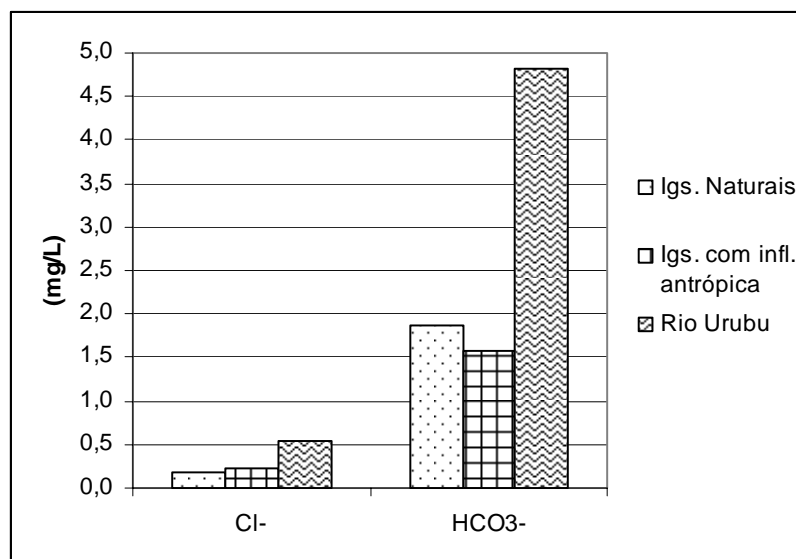


Figura 35 - Concentrações médias de Cl^- e HCO_3^- nas águas da bacia do rio Urubu no período seco

5.2.4 Variação sazonal das concentrações dos íons

É senso comum que as concentrações dos íons presentes nas águas correntes variam de acordo com o clima e a estação de ano e que, normalmente, o mesmo rio possui uma menor quantidade de uma determinada espécie no período de cheias, em virtude do efeito diluidor provocado pela elevação do nível das águas (SZIKSZAY, 1993).

Para avaliação da variação sazonal das espécies dissolvidas nas águas superficiais da área de estudo foram selecionados apenas os íons maiores cujas análises químicas mostraram resultados consistentes (maior parte dos valores acima do LD) nos dois primeiros períodos de amostragem: Cl, Na, Ca, K e Fe. Foi feita uma comparação entre as médias e as amplitudes das concentrações desses elementos, separadas por tipo de ambiente, nos dois períodos citados (Tabela 10).

Elementos	Média das Concentrações*				Amplitude das Concentrações*			
	Amb. Naturais		Amb. Infl. Antrópica		Amb. Naturais		Amb. Infl. Antrópica	
	AB	AA	AB	AA	AB	AA	AB	AA
Cl	0,37	0,37	0,46	0,42	0,30 - 0,47	0,16 - 0,50	0,33 - 0,85	0,34 - 0,71
Ca	0,25	0,14	0,46	0,12	0,03 - 0,91	0,03 - 0,73	0,03 - 1,31	0,03 - 0,48
Na	0,24	0,23	0,37	0,31	0,10 - 0,30	0,10 - 0,90	0,20 - 1,00	0,10 - 0,90
K	0,14	0,15	0,19	0,16	0,10 - 0,30	0,10 - 0,80	0,10 - 0,40	0,10 - 0,50
Fe	66	72	122	113	27 - 130	18 - 267	32 - 310	22 - 234

* Fe em µg/L, os demais em mg/L. AB - Águas Baixas; AA - Águas Altas.

Tabela 10 - Comparação entre as médias e as amplitudes das concentrações dos elementos dissolvidos nas águas superficiais nas duas primeiras etapas de amostragem.

Uma análise preliminar da Tabela 10 indica que para o Ca realmente as concentrações médias e as amplitudes são menores no período de águas altas, provavelmente pelo efeito diluidor gerado pelo maior volume de água. Quando se analisam as variações sazonais por meio estatístico, com auxílio do software *Statistica* 6.0 nos módulos teste t de *Student* ou testes não-paramétricos (*Mann-Whitney U test*), observa-se que:

1. O comportamento do Ca depende do tipo de ambiente considerado: nos ambientes naturais os testes indicam que as médias amostrais, nas águas baixas e altas, são *estatisticamente* iguais (o valor do coeficiente p é $> 0,05$), ou seja, a distribuição temporal do Ca não é influenciada de

modo significativo pelos períodos hidrológicos, não obstante a tendência de diminuição das concentrações nas águas altas; nos ambientes sob influência antrópica as médias amostrais são *estatisticamente* diferentes (Figura 36). Há que se ressaltar que nos pontos de amostragem com influência antrópica a montante torna-se muito difícil distinguir, no âmbito das variações sazonais, as contribuições naturais daquelas de origem antrópica. Por exemplo, se um agricultor da região começasse a fazer uso de agrotóxicos, fertilizantes e/ou corretivos de solo em suas plantações logo depois da primeira etapa de amostragem, os resultados da segunda etapa, nas drenagens que cortam as plantações, provavelmente estariam enriquecidos nos elementos químicos constituintes daqueles insumos agrícolas, como Ca e K.

2. Para Cl, Na, K e Fe os testes revelam que, para cada um desses elementos, independente do tipo de ambiente, realmente as médias amostrais são *estatisticamente* iguais, isto é, a distribuição temporal dos mesmos não é influenciada pelos períodos hidrológicos (Figuras 37, 38, 39 e 40). A pequena elevação da concentração média de Fe com águas altas nos ambientes naturais talvez esteja ligada à elevação da acidez nesse período, já que soluções mais ácidas facilitam a liberação do Fe retido nos sedimentos e/ou na matéria orgânica.

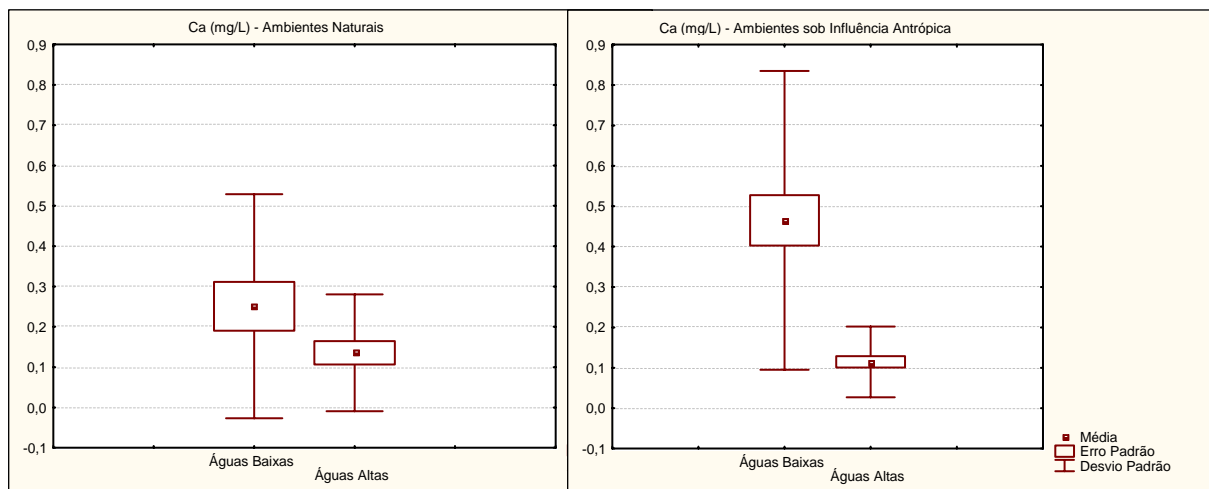


Figura 36 - Variação das concentrações de Ca nas águas superficiais, para cada tipo de ambiente de amostragem, de acordo com o período hidrológico.

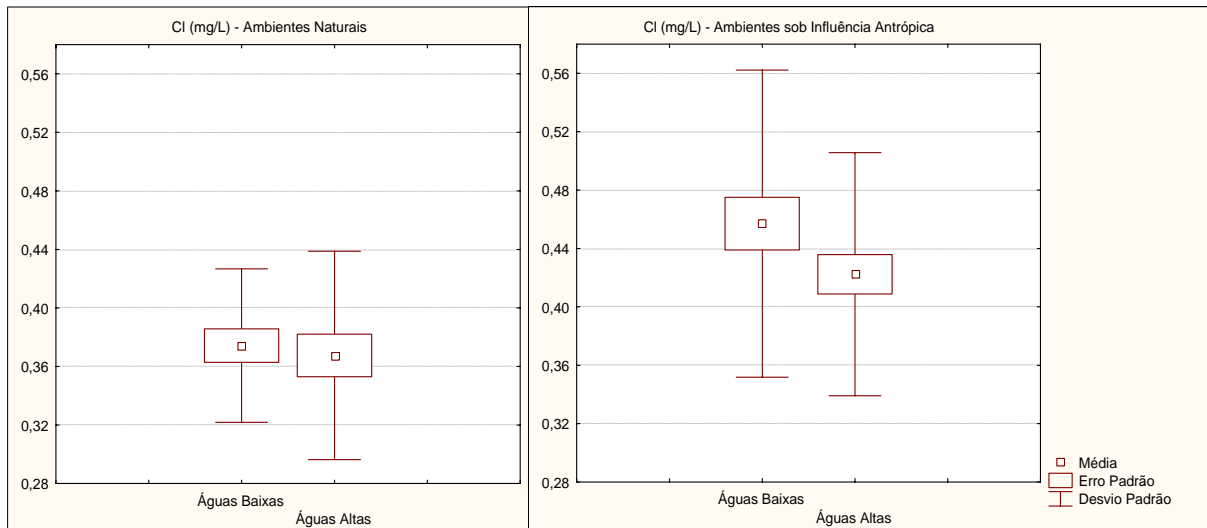


Figura 37 - Variação das concentrações de Cl nas águas superficiais, para cada tipo de ambiente de amostragem, de acordo com o período hidrológico.

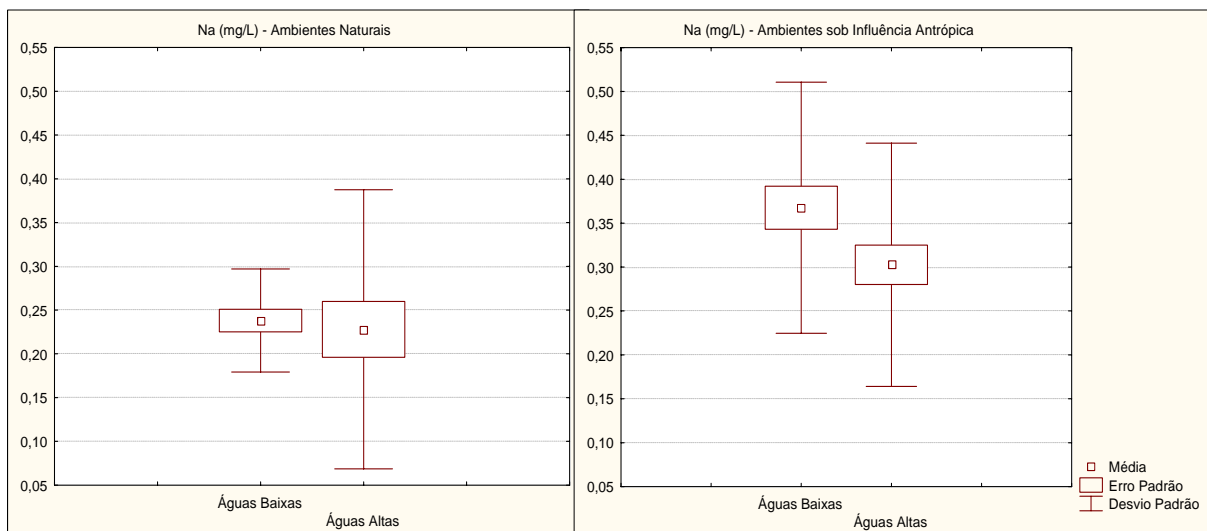


Figura 38 – Variação das concentrações de Na nas águas superficiais, para cada tipo de ambiente de amostragem, de acordo com o período hidrológico.

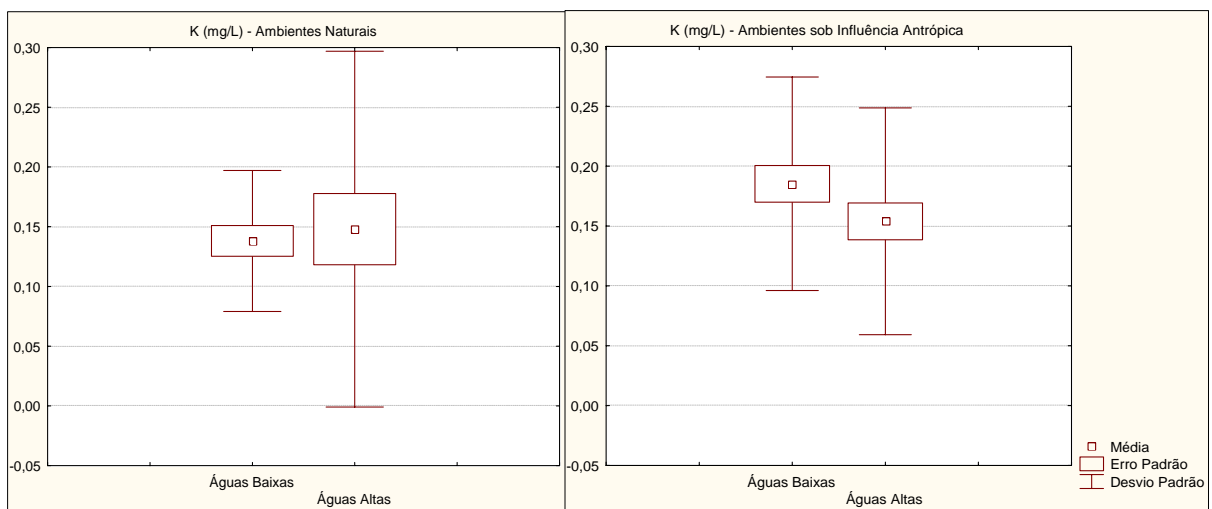


Figura 39 – Variação das concentrações de K nas águas superficiais, para cada tipo de ambiente de amostragem, de acordo com o período hidrológico.

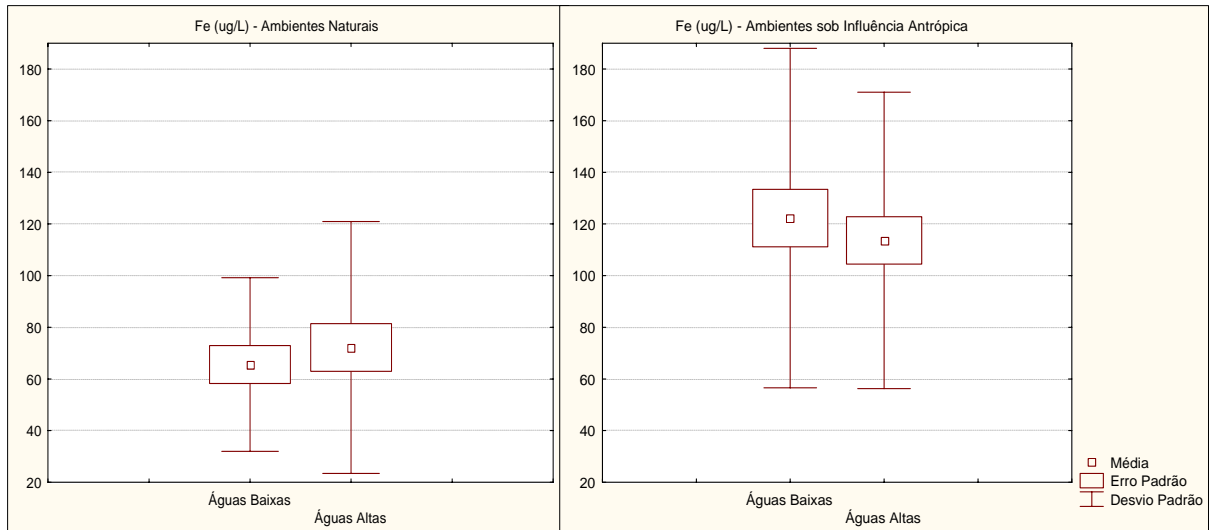


Figura 40 – Variação das concentrações de Fe nas águas superficiais, para cada tipo de ambiente de amostragem, de acordo com o período hidrológico.

As variações sazonais na distribuição espacial do Ca e Fe, considerando todo universo amostral, podem ser visualizadas nos mapas geoquímicos dos mesmos, por período hidrológico (Figuras 27, 41, 42 e 43):

- o Ca apresenta significativa variação em sua distribuição espacial. Enquanto no período de águas baixas observam-se concentrações no extremo sudeste e zonas de depleção no noroeste, com águas altas tanto as concentrações como as depleções tornam-se difusas (Figuras 27 e 41);

- o Fe mostra muito pouca variação na sua distribuição espacial com a mudança do período hidrológico. As zonas de maiores concentrações encontram-se ao longo de um trecho da rodovia BR-174 e na região mais antropizada da área de estudo (proximidades da cidade de Rio Preto da Eva), ao passo que as depleções estão principalmente no setor oeste-noroeste - bacia do rio Cuieiras (Figuras 42 e 43).

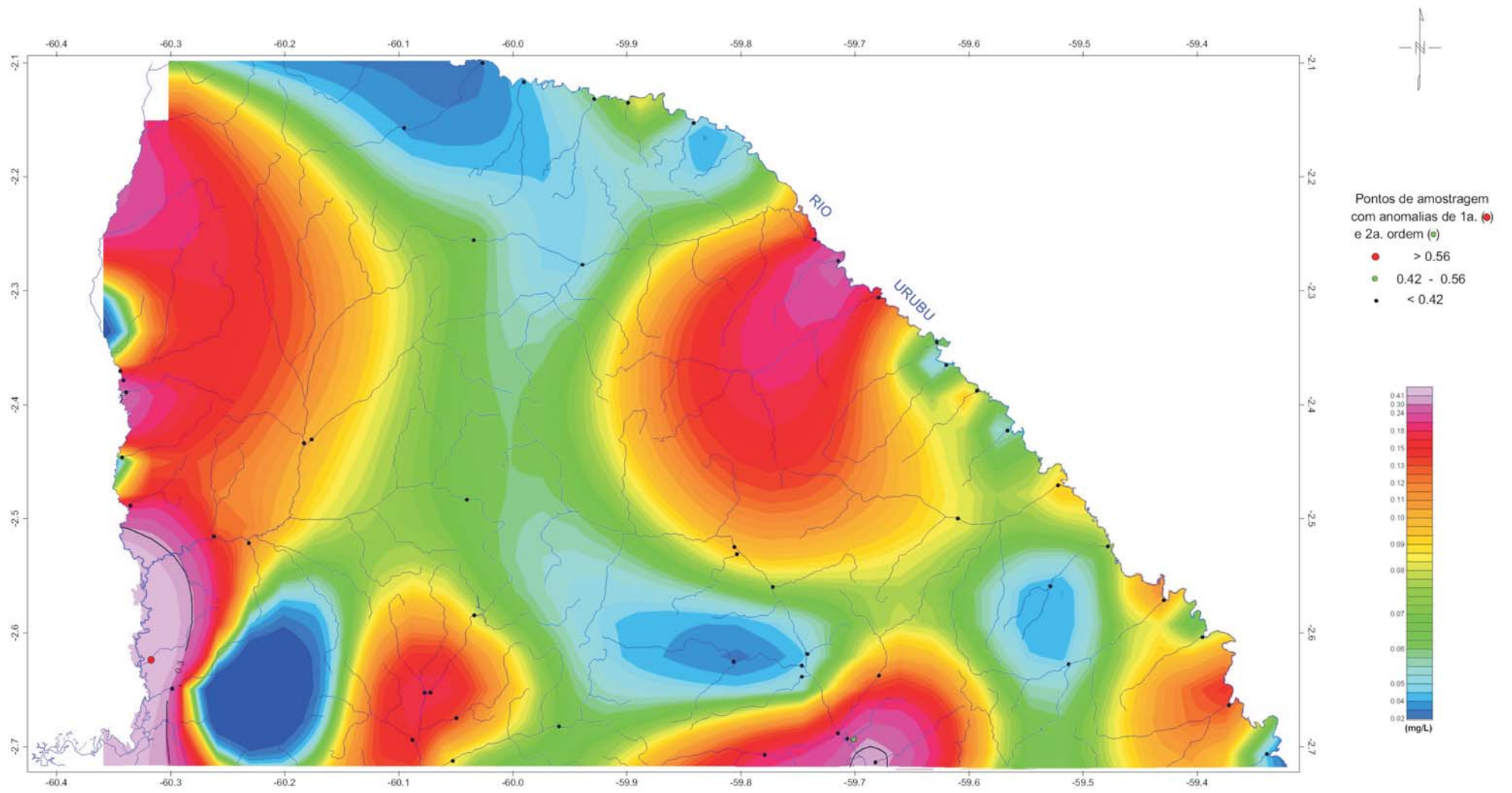


Figura 41 - Mapa de distribuição do cálcio em água superficial no período de águas altas

Escala
3 0 3 6 9
km

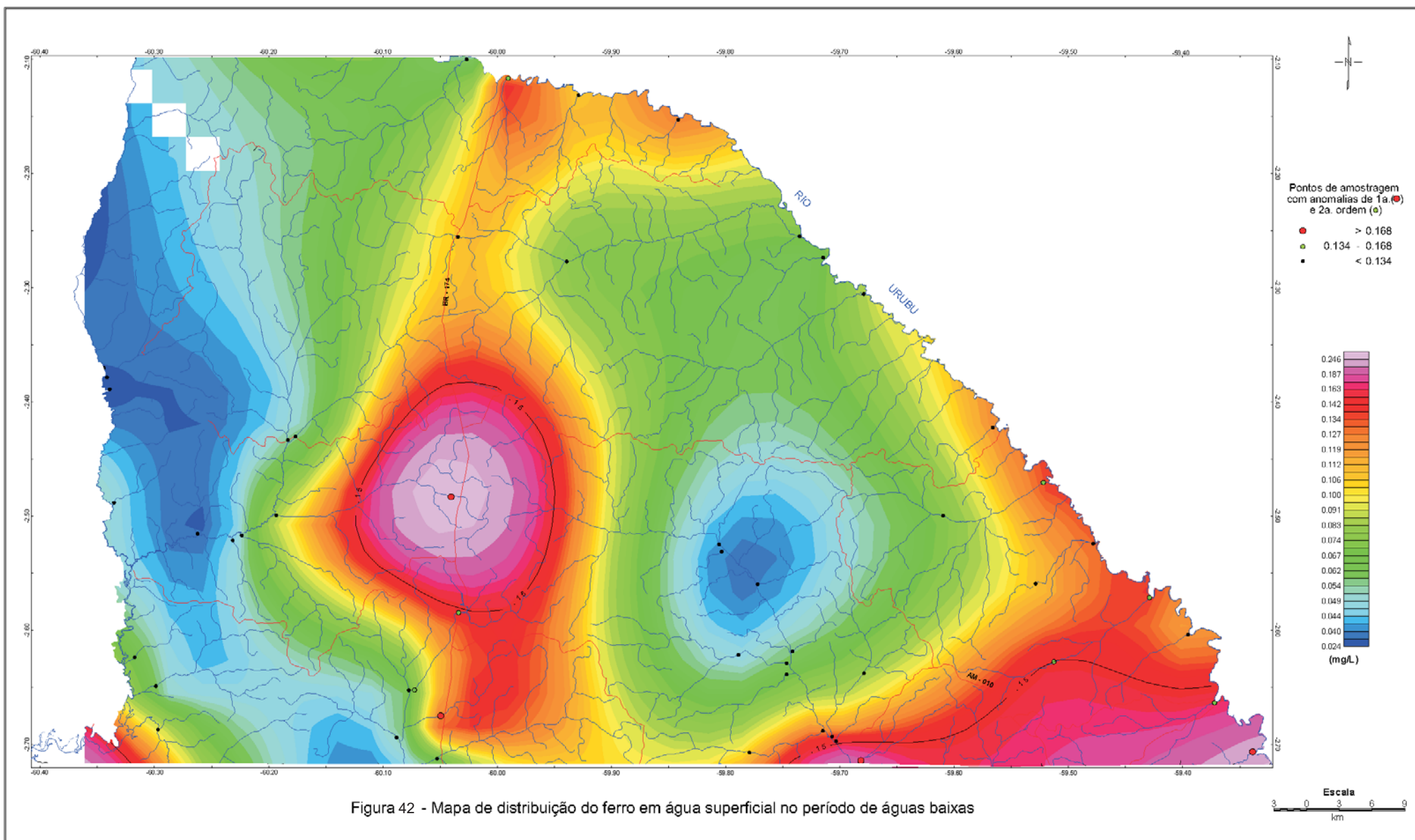
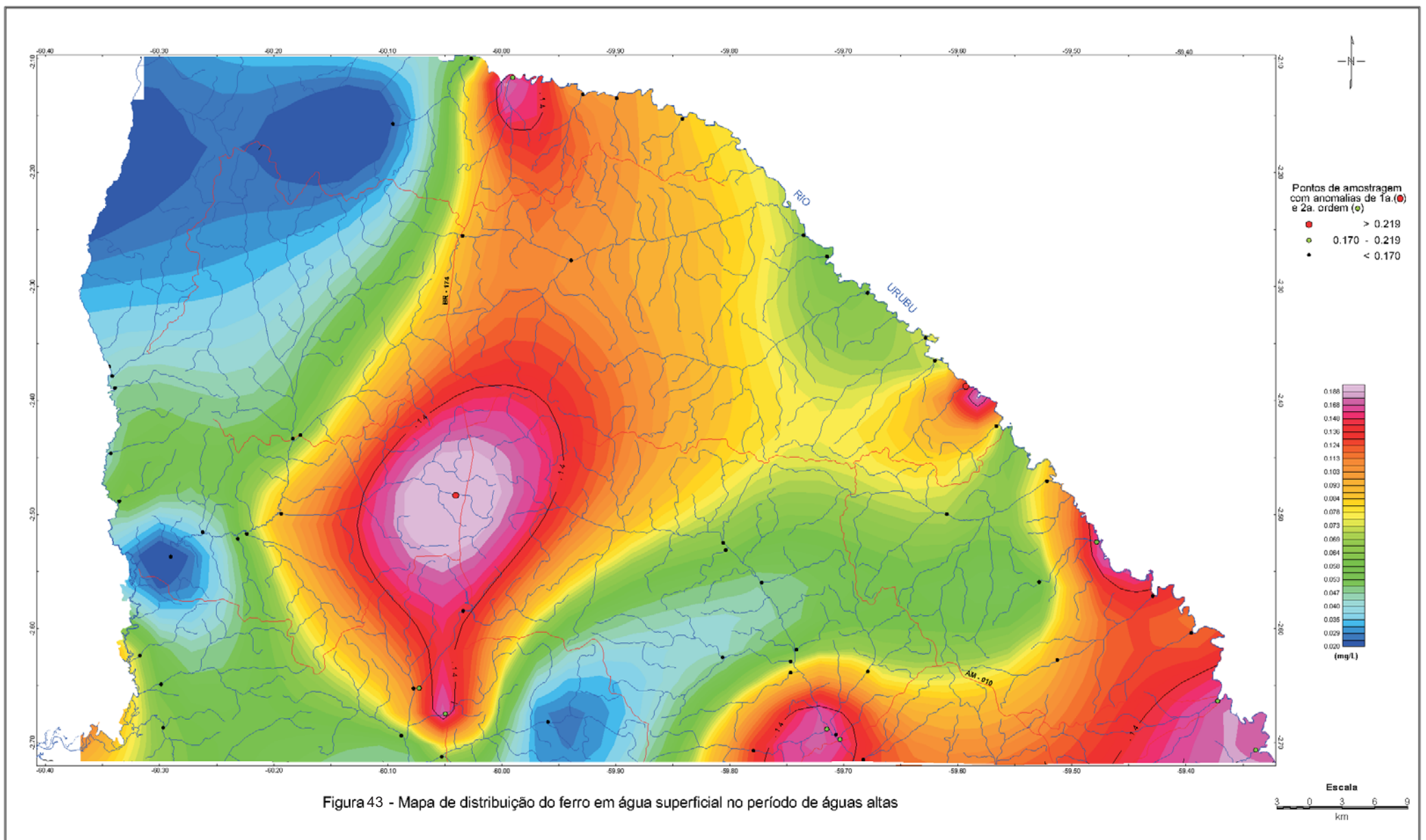


Figura 42 - Mapa de distribuição do ferro em água superficial no período de águas baixas



5.2.5 Comparação com valores de referência para águas superficiais

Para estimar a qualidade dos igarapés amostrados foi utilizada a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), a qual estabelece, com base em valores de referência para diversos parâmetros, a classificação dos corpos de água doce em cinco categorias. Neste estudo foram tomados, para comparações, os valores máximos permitidos (VMPs) para as classes 2 e 3, aquelas com níveis de exigências intermediários (Tabelas 3 e 6).

As águas da classe 2 podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, como natação e mergulho; à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas, parques, jardins e campos de esporte; à aquicultura e à atividade de pesca; já as da classe 3 podem ser utilizadas para abastecimento humano após tratamento convencional ou avançado; para irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; para pesca amadora; para recreação de contato secundário e para dessedentação de animais.

Quando se consideram todos os resultados analíticos apenas Al, Fe, Pb e Zn apresentaram concentrações, em um ou mais pontos, em níveis que superam os VMPs para as águas de classe 2 e/ou 3 da Resolução CONAMA 357/2005 (Tabelas 3 e 6).

Com relação ao Al, há um considerável debate no círculo médico relatando o papel desse metal na incidência do mal de Alzheimer, doença cerebral degenerativa, e de problemas neurológicos e renais (FREITAS et al., 2001). Quatro pontos na bacia do rio Urubu (28, 29, 30 e 35) e dois na bacia do rio Tarumã-Açu (60 e 62) apresentaram, nas águas baixas, concentrações de Al dissolvido de 0,3 mg/L, acima dos VMPs para as águas de classe 2 e 3, respectivamente 0,1 e 0,2 mg/L (Tabela 3). Ocorre que nesses pontos as amostras foram coletadas logo após episódios de chuva intensa, o que potencializou, entre outros, os teores de Al. À parte esse fato, concentrações de 0,2 mg/L de Al, maior que o VMP para águas de classe 2, foram detectadas em dez pontos, nas bacias dos rios Urubu (16, 17, 23, 26

e 27), Tarumã-Açu (59, 60 e 61) e Preto da Eva (5 e 12) (Tabelas 3 e 6), quatro deles de ambiente natural, o que indica que valores de até duas vezes esse VMP são normais nas águas da região, talvez pelo seu caráter ácido, que facilita a mobilização de metais.

O ponto 45 (igarapé Espraiado) revelou, no período de águas baixas, concentração de Fe dissolvido de 310 $\mu\text{g/L}$, único valor acima do VMP para esse metal em águas de classe 2, que é de 300 $\mu\text{g/L}$ (Tabela 3 e Figura 42). No mesmo período, conteúdo elevado de Pb na água - 14 $\mu\text{g/L}$, maior que o valor de referência para classe 2 (10 $\mu\text{g/L}$), além de valores anômalos de Fe, Na e Cl, foram detectados no igarapé Guaraná (pontos 21 e 58) (Tabela 3 e Figura 42). Com águas altas, este mesmo igarapé apresentou, no ponto 58, concentração de Pb (11 $\mu\text{g/L}$) acima do VMP para águas de classe 2, além de anomalia de Fe, enquanto o igarapé Espraiado (ponto 45) revelou o segundo maior teor de Fe (234 $\mu\text{g/L}$) (Tabela 6 e Figura 43). Todos esses pontos situam-se logo a jusante da rodovia BR-174 e os valores citados são reflexos, provavelmente, da influência antrópica representada pela ocupação ao longo da rodovia, a qual, entre outros aspectos, altera a própria dinâmica fluvial – a montante da BR-174 os dois igarapés apresentam-se barrados, enquanto que a jusante seus vales estão assoreados pelo material areno-argiloso proveniente das margens desmatadas (Figura 44).



Figura 44 - Igarapé Espraiado, logo a jusante da rodovia BR-174, com seu leito assoreado pelo material areno-argiloso proveniente das margens desmatadas da rodovia.

A maior concentração de Pb ($20 \mu\text{g/L}$), duas vezes acima do VMP para águas de classe 2, foi registrada no ponto 34, nas águas baixas, no igarapé da Embrapa, que drena uma extensa plantação de dendê (Tabela 3). Apesar do valor não se confirmar nas águas altas, o local necessita de uma investigação mais acurada, principalmente quanto se leva em conta a toxicidade desse metal. Deve-se averiguar em detalhe, por exemplo, a correlação do conteúdo de Pb com a eventual utilização de agrotóxicos, relatada por trabalhadores locais. Os pontos 29 (igarapé Amadeu) e 30 (igarapé Buriti) revelaram, em águas baixas, valores altos de Pb (respectivamente 16 e $19 \mu\text{g/L}$), porém as amostras foram coletadas logo após chuvas intensas, conforme já mencionado.

Cerca de 50% dos pontos da primeira campanha, diversos em ambiente natural, apresentaram concentrações de Zn acima do VMP para águas da classe 2, que é de $180 \mu\text{g/L}$ (Tabela 3). Como esse metal não foi dosado nas amostras referentes à segunda campanha, inferências mais precisas não podem ser feitas. De qualquer modo, recomenda-se, na região, um estudo de detalhe na Formação Alter do Chão, em seus produtos de alteração e em outros corpos hídricos, de modo que análises químicas adicionais possam esclarecer a origem das elevadas concentrações de Zn encontradas nas águas superficiais.

Um último comentário com relação a valores de referência diz respeito ao pH. Segundo a Resolução CONAMA 357/2005 os valores de pH, para todas as classes de águas naturais, devem situar-se na faixa de 6,0 a 9,0. Todavia, essa classificação desconsidera as especificidades regionais, como o caso da águas pretas amazônicas, de caráter naturalmente ácido pelo excesso de material húmico dissolvido. De fato, neste estudo, o pH dos igarapés naturais variou de 4,1 a 5,4. Mesmo aqueles sob influência antrópica mostraram pH máximo de 5,8; nenhum, portanto, se adequou à faixa de valores recomendada. Disso se depreende que os valores de referência, a exemplo do Al dissolvido, devem ser sempre elaborados de forma a respeitar as características naturais regionais.

A avaliação mais detalhada dos resultados obtidos nas duas primeiras etapas de amostragem também permite que sejam feitas as observações expostas a seguir.

1. No período de águas baixas, os valores mais elevados de Na e Cl foram detectados no igarapé Selvagem (ponto 15), que drena a zona urbana de Rio Preto da Eva (Tabela 3). Nas águas altas, além de Na e Cl, esse igarapé também apresentou as maiores concentrações de sulfato (Tabela 6), todas espécies indicadoras de poluição orgânica. Apesar desses valores não serem preocupantes quando confrontados com a legislação, sugerem início da degradação química desse curso d'água.
2. As baixas concentrações iônicas no ponto 20 (rio Preto da Eva), nos dois períodos, indicam que as águas do Balneário Municipal têm boa qualidade química, comprovando o poder diluidor do rio Preto da Eva sobre as águas despejadas em seu leito pelo igarapé Selvagem.
3. Os resultados analíticos para o ponto 12, correspondente ao igarapé do Cândido, a jusante de dois balneários existentes nas proximidades da zona urbana de Rio Preto da Eva, não revelam alterações significativas quando comparados com aqueles obtidos para o ponto 14, no mesmo igarapé cerca de 6 km a montante, indicando que os balneários não afetam a boa qualidade química das águas desse igarapé (Tabelas 3 e 6).
4. Com águas baixas, o igarapé Paraíba (pontos 08 e 09), na bacia do rio Preto da Eva, e o igarapé Procópio (ponto 23), na bacia do rio Urubu, apresentaram anomalias para Na, Cl e Ca, e Ba, Ca, Fe e Mg respectivamente (Figuras 27 e 42). Não são valores que ensejem preocupação imediata, mas sugerem que as águas desses igarapés refletem as atividades desenvolvidas em suas bacias de drenagem, com a ocupação antrópica estimulada pela existência da rodovia AM-010 e suas vicinais. Com a elevação do nível das águas fluviais a maior parte dessas anomalias diluiu-se (Tabelas 3 e 6).

5. O ponto 41, no igarapé Urubuí 5 km a jusante da cidade de Presidente Figueiredo, mostrou, nas águas altas, concentrações anômalas de Fe e Mn, além de valores de Na e Cl acima daqueles encontrados no ponto 64, no mesmo igarapé cerca de 25 km a montante. Este último ponto, amostrado somente com águas altas, não revelou nenhuma anomalia química. O ponto 41 registrou, com águas baixas, anomalias de primeira ordem para Fe, Na, Cl e B; já no período seco foi o que apresentou a maior concentração de Cl entre todos os igarapés amostrados. Assim, pode-se inferir que o igarapé Urubuí tem a qualidade de suas águas afetada após sua passagem pela zona urbana de Presidente Figueiredo, com concentrações de alguns elementos que sinalizam início de processo de degradação ambiental.

5.3 Análises químicas dos sedimentos de corrente

Os sedimentos de corrente das drenagens refletem a composição média geológica de uma bacia de captação (LICHT, 1998). Além dos minerais derivados da decomposição das rochas, os sedimentos contêm proporções variáveis de matéria orgânica de diversas espécies. Os elementos químicos, de origem antropogênica ou natural, ocorrem preferencialmente associados às frações mais finas dos sedimentos, via de regra por ligações fracas, devido à grande superfície específica e ao poder de adsorção dos argilominerais, e às partículas de matéria orgânica.

Os sedimentos de fundo, assim como o material em suspensão, estão em constante interação com a água que os circunda, havendo, de acordo com as mudanças das condições físico-químicas do ambiente, freqüentes trocas iônicas. Isto pode conduzir à sorção ou à liberação de contaminantes para o meio aquoso, tendo em vista a fraqueza das ligações dos elementos metálicos (notadamente os de origem antropogênica) com as frações mais finas.

O conteúdo de metais nos sedimentos fluviais de fundo é muito variável e, em algumas regiões não impactadas por atividades antrópicas, pode alcançar níveis que caracterizam contaminações naturais. Para fins de comparação, Turekian & Wedepohl (1961) estabeleceram o que se conhece por Nível de Referência Geológico Global (NRGG) para diversos elementos, que são teores médios mundiais em folhelhos. Esses valores são os mais utilizados para estudos comparativos sedimentológicos, dada a variedade de fontes utilizadas para sua elaboração. Entretanto, Nascimento (2003) adverte que a comparação pura e simples com os valores de NRGG não é satisfatória, devido à presença de anomalias geológicas regionais que muitas vezes não são levadas em consideração.

O Quadro 8 apresenta, para diversos elementos analisados neste estudo, os valores correspondentes ao NRGG, à média na crosta terrestre, conhecida como *clarke* (CARVALHO, 1995), e teores médios no material em suspensão no rio Amazonas de acordo com Martin & Meybeck (1979).

Elemento	NRGG	Material em suspensão no rio Amazonas	Média na crosta terrestre (<i>clarke</i>)
Ti	4600	7000	5450
Mn	850	-	940
Ba	600	-	430
Zr	180	-	156
V	130	232	149
Zn	95	426	74
Cr	90	193	149
Ni	68	105	80
Cu	45	266	57
Y	35	-	30
Pb	20	105	82
Co	19	41	27
As	13	5	2
Se	0,6	-	0,06
Hg	0,4	-	0,07
Cd	0,3	-	0,2

Quadro 8 - Teores médios (ppm) de alguns elementos em folhelhos (NRGG), em sedimentos em suspensão e na crosta terrestre (*clarke*).

5.3.1 Águas Baixas

Dos 35 elementos analisados em sedimentos no período de águas baixas, apenas Fe, Al, Ti, Zr, As, Cr, Ni, Pb, Ba, V, Cu e Y apresentaram um conjunto de resultados consistentes, com a maior parte das amostras revelando teores acima do LD (Tabelas 11 e 12).

Os sedimentos de corrente da área de estudo são pobres em Ca, Mg, Na e K, conseqüência da composição química do substrato geológico regional, constituído pelos arenitos caulínicos, por vezes ferruginosos, da Formação Alter do Chão, e, em pequena escala, pelos arenitos quartzosos do Grupo Trombetas (HORBE et al., 2006). Na maior parte das amostras coletadas predomina a fração arenosa, resultado do intemperismo dessas rochas, transporte e acúmulo dos minerais residuais no leito dos igarapés. Os processos intempéricos atuando sobre essas rochas sedimentares promovem profundas alterações químicas, com contínua eliminação dos alcalinos e alcalino-terrosos e conseqüente enriquecimento relativo em Fe e Al. Quando boa parte da sílica também é eliminada do perfil de alteração o processo culmina com a formação de espessos Latossolos argilosos a argilo-arenosos.

Pontos	Ambiente	Fe	Al	Ti	Mn	Zr	As	Cr	Ni	Pb	Ba	V	Cu	Zn	Y	Mo	Sr
01	A	1,30	0,85	< LD	0,02	6	< LD	16,0	16,0	10,0	9,3	5,9	2,8	< LD	2,9	< LD	< LD
02	N	1,20	0,48	0,01	0,02	7	< LD	11,0	10,0	3,4	8,7	4,8	2,8	< LD	2,7	< LD	1,1
03	N	1,30	0,60	0,02	0,02	18	16	14,0	10,0	6,7	6,4	5,5	2,6	< LD	3,3	< LD	< LD
04	A	1,20	1,10	< LD	0,01	4	9	12,0	6,7	8,2	6,7	10,0	2,7	1,4	3,1	< LD	< LD
05	N	0,82	0,31	0,01	0,01	7	6	7,2	5,9	< LD	3,5	3,0	1,8	< LD	1,6	< LD	< LD
06	A	1,00	0,24	0,01	0,01	16	< LD	8,5	7,5	3,6	8,1	3,2	2,0	< LD	2,0	1,1	< LD
07	A	0,79	0,39	< LD	< LD	13	6	8,2	6,1	6,6	4,5	3,6	1,7	< LD	2,9	< LD	< LD
08	A	0,57	0,32	< LD	< LD	6	< LD	5,2	3,7	3,3	1,8	< LD	1,5	< LD	1,2	< LD	< LD
09	A	2,30	0,45	0,02	0,15	24	34	19,0	17,0	8,0	14,0	6,7	5,3	4,1	3,9	1,1	3,1
10	A	2,30	0,89	0,03	0,03	15	< LD	20,0	16,0	8,7	17,0	7,3	4,5	4,9	2,9	1,1	1,3
11	A	1,20	0,59	0,08	0,03	96	6	13,0	8,7	11,0	4,9	8,2	3,6	2,7	8,4	< LD	< LD
12	A	1,20	0,77	0,01	< LD	11	< LD	10,0	5,9	6,5	4,2	9,0	2,5	1,4	2,3	< LD	< LD
13	A	2,60	1,50	0,01	0,02	17	< LD	24,0	13,0	8,6	7,7	25,0	4,3	3,5	1,8	< LD	< LD
14	A	1,40	0,41	0,02	0,02	17	12	12,0	9,3	7,0	3,1	5,3	2,6	< LD	1,8	< LD	< LD
15	A	1,60	1,10	0,03	0,02	36	< LD	15,0	9,4	6,5	4,3	13,0	3,7	7,6	3,5	< LD	< LD
16	A	1,10	0,37	0,01	0,01	15	< LD	9,5	7,9	6,5	9,5	4,6	4,3	1,2	2,5	< LD	< LD
17	A	0,90	0,44	0,02	0,02	23	< LD	9,3	7,1	5,4	3,5	4,5	2,2	< LD	2,5	< LD	< LD
18	N	1,40	0,57	0,04	0,02	27	28	16,0	12,0	7,9	3,7	6,7	3,2	< LD	3,3	< LD	< LD
19	A	1,50	0,33	0,02	0,02	17	< LD	14,0	13,0	5,7	5,4	5,1	2,9	1,2	2,5	< LD	< LD
20	A	1,00	0,61	0,04	0,01	21	< LD	10,0	6,9	6,4	5,4	5,1	3,5	1,4	3,3	1,1	< LD
21	A	1,60	1,20	0,02	0,01	14	6	13,0	7,7	11,0	13,0	16,0	2,8	1,8	3,3	< LD	1,4
22	A	1,30	0,54	0,02	0,02	24	< LD	14,0	11,0	7,9	4,4	5,8	2,5	< LD	2,7	< LD	< LD
23	A	1,10	0,22	0,02	0,01	16	< LD	9,0	7,5	4,9	9,2	3,5	2,2	< LD	1,8	< LD	< LD
24	N	1,00	0,17	0,03	0,01	21	15	9,4	7,9	4,4	7,2	3,6	2,2	< LD	2,0	< LD	< LD
25	A	1,30	0,38	0,03	0,02	23	18	13,0	11,0	6,9	11,0	5,5	2,7	1,2	3,3	1,6	< LD
26	N	1,30	0,30	0,02	0,02	21	< LD	11,0	9,0	4,9	3,3	4,2	2,6	< LD	2,0	< LD	< LD
27	A	0,70	0,26	< LD	< LD	5	10	7,1	6,0	5,3	3,9	< LD	1,6	< LD	1,6	1,1	< LD
28	N	0,69	0,13	0,02	< LD	17	9	5,6	4,6	4,3	1,8	< LD	3,2	< LD	1,8	< LD	< LD
29	N	0,69	0,29	0,04	0,01	12	25	6,8	4,9	5,7	4,6	3,0	2,2	< LD	1,6	< LD	< LD
30	N	0,98	0,30	0,03	0,01	11	7	9,3	7,3	4,0	5,1	3,5	2,2	< LD	1,4	< LD	< LD
31	A	0,84	0,13	0,02	0,01	15	< LD	7,2	5,5	5,3	2,2	< LD	1,9	< LD	1,4	< LD	< LD

A – Ambiente com Influência Antrópica; N – Ambiente Natural. Al, Fe, Mn e Ti em %, os demais em ppm.

Também foram analisados Ag, B, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Hg, K, La, Li, Mg, Na, P, Sb, Sc, Se, Sn e W, porém os teores, em todas as amostras, resultaram em valores abaixo do LD.

Tabela 11 – Resultados das análises químicas efetuadas nas amostras de sedimentos de corrente no período de águas baixas.

Pontos	Ambiente	Fe	Al	Ti	Mn	Zr	As	Cr	Ni	Pb	Ba	V	Cu	Zn	Y	Mo	Sr
32	N	0,90	0,29	0,02	0,01	7	16	8,8	6,9	4,3	2,1	< LD	1,9	< LD	1,0	< LD	< LD
33	N	0,59	0,21	0,01	< LD	8	< LD	4,7	3,8	< LD	2,3	< LD	1,8	< LD	1,4	1,1	< LD
34	A	1,10	0,34	0,05	0,02	26	< LD	11,0	7,8	11,0	1,4	5,2	1,4	< LD	2,0	1,1	< LD
35	A	0,82	0,20	< LD	0,01	9	< LD	6,8	5,7	4,3	1,1	< LD	2,5	< LD	1,0	< LD	< LD
36	A	1,80	1,20	< LD	0,01	14	12	19,0	8,4	9,2	8,9	23,0	1,7	4,1	1,2	< LD	1,2
37	A	0,68	0,28	< LD	< LD	4	9	6,6	5,1	4,0	2,9	< LD	3,1	< LD	1,0	< LD	< LD
38	N	1,00	0,26	0,01	0,01	11	< LD	11,0	22,0	5,0	3,8	3,8	3,1	1,6	1,0	< LD	< LD
39	A	1,10	0,26	0,03	0,02	13	< LD	8,9	7,1	7,4	5,9	4,3	2,2	< LD	1,4	< LD	1,1
40	A	0,93	0,21	0,02	0,01	19	21	9,2	7,2	< LD	7,0	3,4	2,4	< LD	1,4	< LD	< LD
41	A	0,65	0,39	< LD	< LD	5	< LD	6,7	4,2	< LD	7,9	4,1	1,8	< LD	< LD	1,1	1,0
42	N	0,68	0,27	0,01	< LD	16	< LD	6,7	4,4	< LD	5,0	3,1	1,5	< LD	1,2	< LD	< LD
43	A	0,75	0,20	< LD	< LD	7	6	7,7	6,0	5,1	3,2	< LD	1,7	< LD	1,0	< LD	< LD
44	A	0,55	0,16	< LD	< LD	4	< LD	4,5	3,8	7,2	1,4	< LD	1,6	< LD	1,0	1,1	< LD
45	A	0,79	0,50	0,02	< LD	14	< LD	8,4	5,2	11,0	1,1	6,3	1,2	< LD	1,8	< LD	< LD
46	A	0,77	0,32	0,01	< LD	13	< LD	6,5	4,6	4,3	1,1	4,5	1,6	< LD	1,8	< LD	< LD
47	N	1,00	0,13	0,05	0,01	26	12	9,0	7,2	< LD	4,7	3,4	1,6	< LD	1,8	< LD	< LD
48	N	0,69	0,10	0,02	< LD	9	13	5,9	4,7	6,2	3,1	< LD	2,3	< LD	1,2	< LD	< LD
49	N	1,70	0,18	0,06	0,02	33	< LD	17,0	14,0	14,0	9,2	5,4	1,7	2,5	2,7	1,6	1,6
50	N	0,54	0,25	0,01	< LD	11	< LD	4,7	3,7	3,3	2,1	< LD	4,4	< LD	1,0	1,1	< LD
51	N	0,59	0,25	0,02	< LD	10	< LD	5,9	4,7	5,8	2,6	< LD	1,4	< LD	1,2	< LD	< LD
52	N	0,70	0,15	0,02	< LD	11	7	5,6	4,3	3,6	2,4	< LD	1,4	< LD	1,6	< LD	< LD
53	N	0,64	0,21	0,03	< LD	10	< LD	7,0	4,7	8,2	2,5	< LD	2,9	< LD	1,6	1,1	< LD
54	N	1,00	0,19	0,05	0,02	33	< LD	9,8	6,9	6,6	1,7	3,6	1,8	< LD	3,5	1,1	< LD
55	A	0,54	0,17	0,02	< LD	10	7	5,8	4,0	< LD	3,8	< LD	2,5	< LD	1,4	< LD	< LD
56	N	0,52	0,16	0,02	< LD	8	< LD	4,6	3,5	3,7	4,0	< LD	1,4	< LD	1,6	1,4	< LD
57	N	0,59	0,24	0,05	0,01	15	9	6,5	4,6	5,3	3,9	3,3	1,5	< LD	3,1	< LD	< LD
58	A	0,69	0,28	0,02	< LD	9	12	6,1	4,4	3,6	3,8	< LD	2,0	< LD	1,8	1,4	< LD
59	N	0,67	0,12	0,03	< LD	15	< LD	6,7	5,1	18,0	2,7	< LD	1,7	< LD	1,8	< LD	< LD
60	N	0,60	0,19	0,02	< LD	11	19	5,5	4,4	4,2	1,9	< LD	1,7	< LD	1,2	< LD	< LD
61	A	1,00	2,10	0,02	< LD	21	15	20,0	7,2	22,0	8,7	18,0	1,6	3,1	1,6	3,3	1,7
62	A	0,74	0,30	0,03	0,01	13	< LD	7,4	5,3	4,7	2,9	< LD	2,7	< LD	1,6	< LD	< LD

A – Ambiente com Influência Antrópica; N – Ambiente Natural. Fe, Al, Mn e Ti em %, os demais em ppm.

Também foram analisados Ag, B, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Hg, K, La, Li, Mg, Na, P, Sb, Sc, Se, Sn e W, porém os teores, em todas as amostras, resultaram em valores abaixo do LD.

Tabela 11 – Resultados das análises químicas efetuadas nas amostras de sedimentos de corrente no período de águas baixas (continuação).

Elemento	Ambientes Naturais			Amb. com Infl. Antrópica		F. E. (X ₂ - X ₁)/X ₁
	Amplitude	Média (X ₁)	Desvio Padrão (S)	Amplitude	Média (X ₂)	
Fe	0,52 – 1,70	0,87	0,31	0,54 – 2,60	1,13	0,30
Al	0,10 – 0,60	0,25	0,13	0,13 – 2,10	0,54	1,16
Ti	< LD – 0,06	0,03	0,015	< LD – 0,08	0,02	-0,33
Zr	7,0 – 33,0	15,0	7,8	4,0 – 96,0	17,0	0,11
As	< LD – 28,0	8,5	7,6	< LD – 34,0	6,4	-0,25
Cr	4,6 – 17,0	8,4	3,4	4,5 – 24,0	10,9	0,30
Ni	3,5 – 22,0	7,1	4,1	3,7 – 17,0	7,8	0,10
Pb	< LD – 18,0	5,4	3,7	< LD – 22,0	6,8	0,26
Ba	1,7 – 9,2	3,9	2,1	1,1 – 17,0	5,8	0,49
V	< LD – 6,7	2,9	1,5	< LD – 25,0	6,2	1,14
Cu	1,4 – 4,4	2,2	0,7	1,2 – 5,3	2,5	0,14
Y	1,0 – 3,5	1,9	0,8	< LD – 8,4	2,2	0,16

Fe, Al e Ti em %, os demais em ppm. F. E. – Fator de enriquecimento

Tabela 12 – Parâmetros estatísticos para os principais elementos encontrados nos sedimentos de corrente no período de águas baixas

Neste período, dos elementos analisados nos sedimentos de ambientes naturais predominam, em ordem de abundância, Fe (média de 0,87%), Al (0,25%) e Ti (0,03%). Nos ambientes sob influência antrópica essa relação de abundância se mantém, com teor médio mais elevado para Fe e Al, respectivamente 1,13 e 0,54%, e mais reduzido para Ti (0,02%) (Tabela 12). Quando se analisa a distribuição pontual (Figura 45), verifica-se que a variação de dominância entre esses elementos é quase homogênea: apenas no ponto 61 (igarapé Preguiça) o teor de Al (2,10%) supera o de Fe (1,00%). Nos sedimentos coletados nesse local, muito assoreado pelo material proveniente das margens desmatadas da rodovia BR-174, predomina amplamente a fração argilosa, em boa parte provavelmente constituída por caulinita, argilomineral rico em Al, comum nessa região da BR-174, conforme se verá adiante. Na distribuição do Fe destacam-se três locais com teores acima de 2,00% - os pontos 9 (igarapé Paraíba), 10 (igarapé Sucuriju) e 13 (igarapé Castanhalzinho), todos na bacia do rio Preto da Eva, a mais desmatada e impactada por atividades antrópicas (Figura 45). Nos ambientes naturais destaca-se o ponto 49 (igarapé da Campina), o único com teor de Fe acima de 1,5%.

Com relação à distribuição dos elementos-traço, que constituem a fase mais solúvel (adsorvidos nos argilominerais e matéria orgânica e/ou ligados aos oxi-hidróxidos de Fe e Mn),

nos ambientes naturais da área de estudo, quando se leva em conta os teores médios, Zr é o mais abundante nos sedimentos, seguido pelo As, Cr, Ni, Pb, Ba, V, Cu e Y. Nos ambientes sob influência antrópica há pouca mudança em termos de relação de abundância, observando-se a seqüência $Zr > Cr > Ni > Pb > As > V > Ba > Cu > Y$ (Tabela 12). Ao analisar a distribuição pontual dos elementos-traço verifica-se que a variação não é tão homogênea: o Zr realmente é o mais abundante na maior parte dos locais de amostragem, com destaque nos ambientes naturais para os pontos 49 (igarapé da Campina) e 54 (igarapé Arumã), ambos com 33 ppm; porém, em diversos pontos os teores de Zr são superados – nos ambientes naturais por As, Cr e/ou Ni, e nos antropizados por Cr, As, V, Pb, Ba e/ou Ni (Figuras 46 e 47). Para As, destacam-se os pontos 18 (igarapé Canseira) e 9 (igarapé Paraíba), ambos com valores acima de 25 ppm (Figura 46); para Pb os pontos 59 (igarapé Jequitaia) e 61 (igarapé Preguiça), respectivamente com 18 e 22 ppm; e para V os pontos 13 (igarapé Castanhalzinho) e 36 (igarapé Asframa), ambos com teores acima de 20 ppm (Figura 47).

Quando se confrontam os teores médios pelo tipo de ambiente de amostragem (Figura 48), verifica-se que, grosso modo, podem ser estabelecidos três grupos de elementos, de acordo com o fator de enriquecimento/empobrecimento, calculado em termos percentuais, dos ambientes antrópicos em relação aos naturais (Tabela 12):

- a) os muito enriquecidos (>100%): Al e V;
- b) os pouco enriquecidos (até 50%): Fe, Zr, Cr, Ni, Pb, Ba, Cu e Y;
- c) os empobrecidos: Ti e As.

Do agrupamento acima se depreende que Al e V, no período de águas baixas, são os melhores elementos para detectar alterações antrópicas na qualidade dos sedimentos de fundo das drenagens da área de estudo. Já o As e Ti têm um comportamento diferenciado: seus teores médios menores nos ambientes antropizados indicam que ambos não se prestam como parâmetros distintivos de degradação química nos igarapés da região. No que diz respeito aos valores anômalos, verifica-se que os elementos cujos teores melhor ilustram o contraste entre

os dois tipos de ambiente são Al, V, Ba e Fe, ou seja, aqueles com maior quantidade de amostras com valores anômalos nos ambientes sob influência antrópica (Tabela 13).

Com relação ao Al há que se fazer um comentário. Ele é o metal mais abundante, por vezes único, na estrutura da grande maioria dos argilominerais e tem uma mobilidade química muito reduzida. Apesar do ataque ácido, utilizado no método de solubilização dos sedimentos para as análises químicas (ver item 4.2), visar apenas à extração parcial dos elementos, ou seja, apenas daqueles elementos com ligações mais fracas, uma pequena parcela dos argilominerais, provavelmente aqueles com imperfeições na sua estrutura cristalina, pode ser corroída ou mesmo dissolvida pelo ataque ácido, liberando o Al para a solução a ser analisada. Como diversos igarapés sob influência antrópica apresentam-se assoreados (ex: igarapés Preguiça, Paraíba e Castanhalzinho), devido ao desmatamento de suas margens, em seus leitos há uma quantidade maior de sedimentos argilosos do que nos igarapés de ambientes naturais. Portanto, a tendência é que na análise dos sedimentos de fundo dos igarapés naturais os teores de Al sejam “diluídos” pela presença de maior quantidade de material essencialmente silicoso (silte e areia fina), o que pode explicar os maiores teores desse metal nos sedimentos dos igarapés antropizados, com maior porcentagem de argila. Lembra-se que a fração granulométrica analisada neste estudo (<80 mesh) inclui areia fina, silte e argila.

Elemento	Valores anômalos de 1ª ordem (> X_1+3S)	Valores anômalos de 2ª ordem (X_1+2S a X_1+3S)	Quantidade de amostras anômalas			
			Ambiente Natural		Influência Antrópica	
			1ª ordem	2ª ordem	1ª ordem	2ª ordem
Fe	> 1,80	1,49 – 1,80	-	1	3	4
Al	> 0,64	0,51 – 0,64	-	2	9	3
Ti	> 0,071	0,056 – 0,071	-	1	1	-
Zr	> 38,4	30,6 – 38,4	-	2	1	1
As	> 31,3	23,7 – 31,3	-	2	1	-
Cr	> 18,6	15,2 – 18,6	-	2	5	1
Ni	> 19,4	15,3 – 19,4	1	-	-	3
Pb	> 16,5	12,8 – 16,5	1	1	1	-
Ba	> 10,2	8,1 – 10,2	-	2	4	6
V	> 7,4	5,9 – 7,4	-	1	8	4
Cu	> 4,3	3,6 – 4,3	1	-	2	3
Y	> 4,3	3,5 – 4,3	-	1	1	2

Fe, Al e Ti em %, os demais em ppm.

Tabela 13 - Anomalias de primeira e segunda ordem e quantidade de amostras anômalas, por tipo de ambiente, para os elementos encontrados nos sedimentos no período de águas baixas.

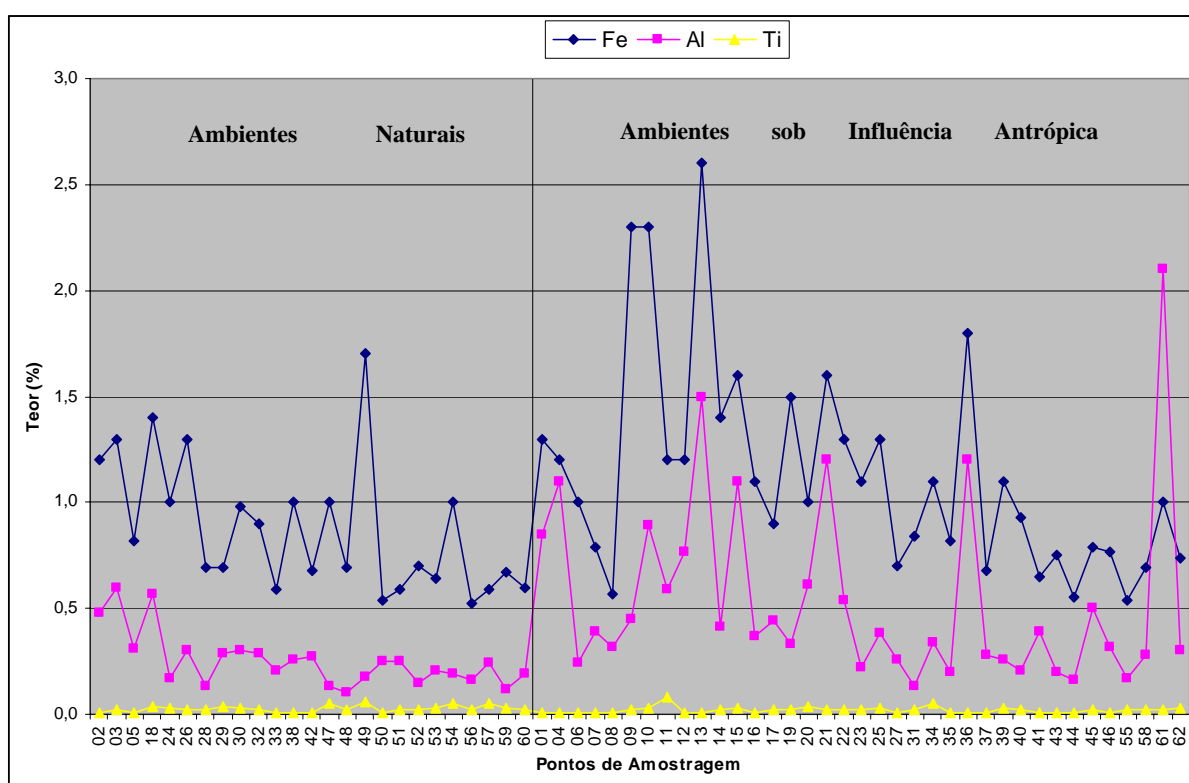


Figura 45 – Distribuição do Fe, Al e Ti nas amostras de sedimentos de corrente no período de águas baixas de acordo com o tipo de ambiente.

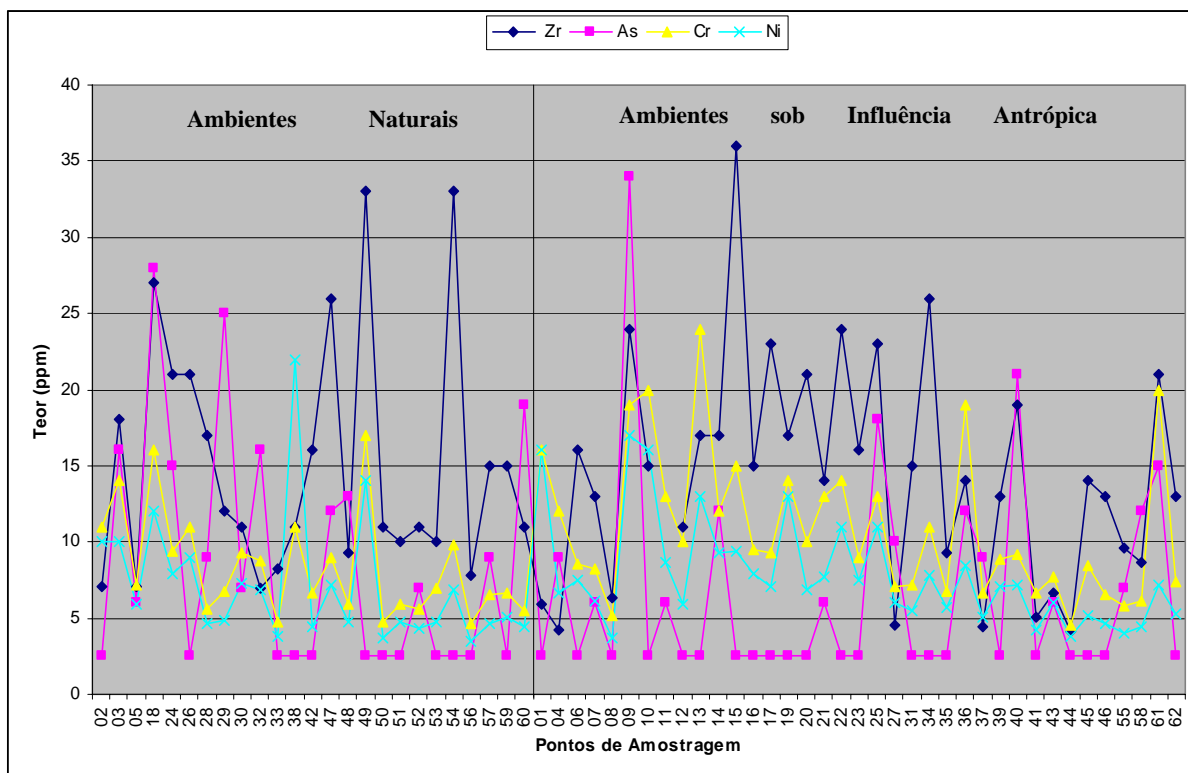


Figura 46 – Distribuição do Zr, As, Cr e Ni nas amostras de sedimentos de corrente no período de águas baixas de acordo com o tipo de ambiente.

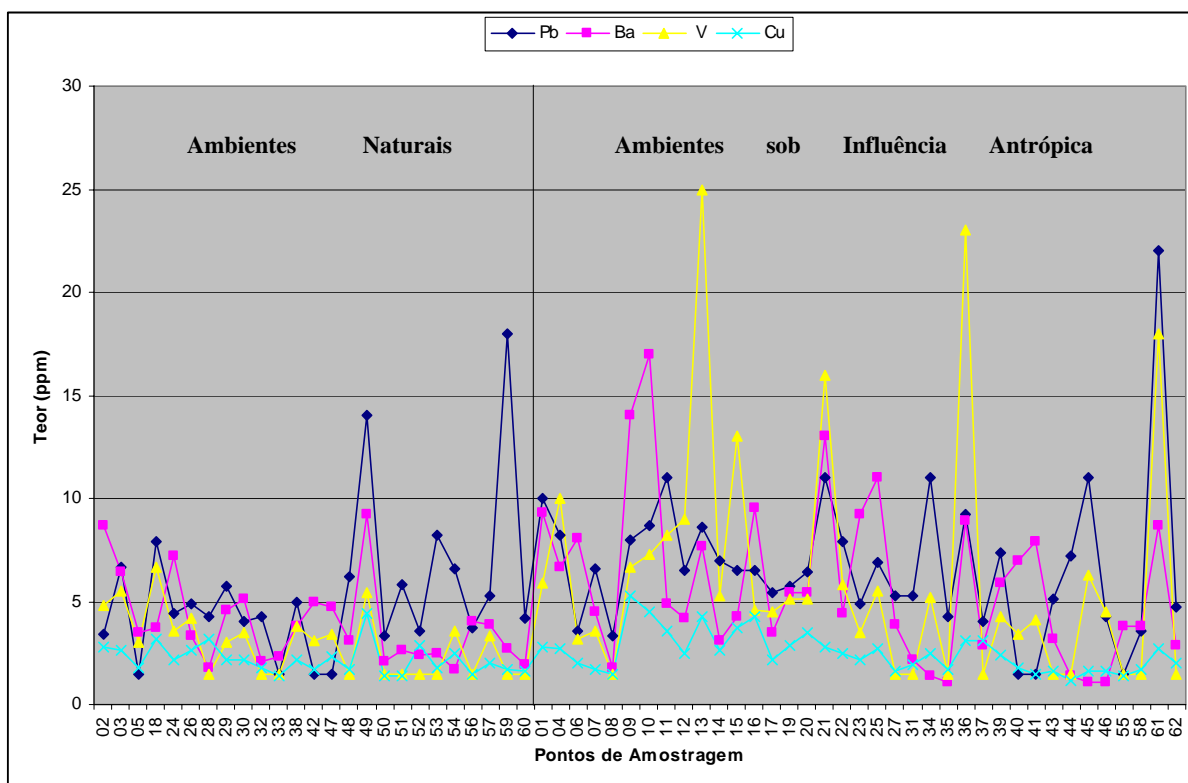


Figura 47 – Distribuição do Pb, Ba, V e Cu nas amostras de sedimentos de corrente no período de águas baixas de acordo com o tipo de ambiente.

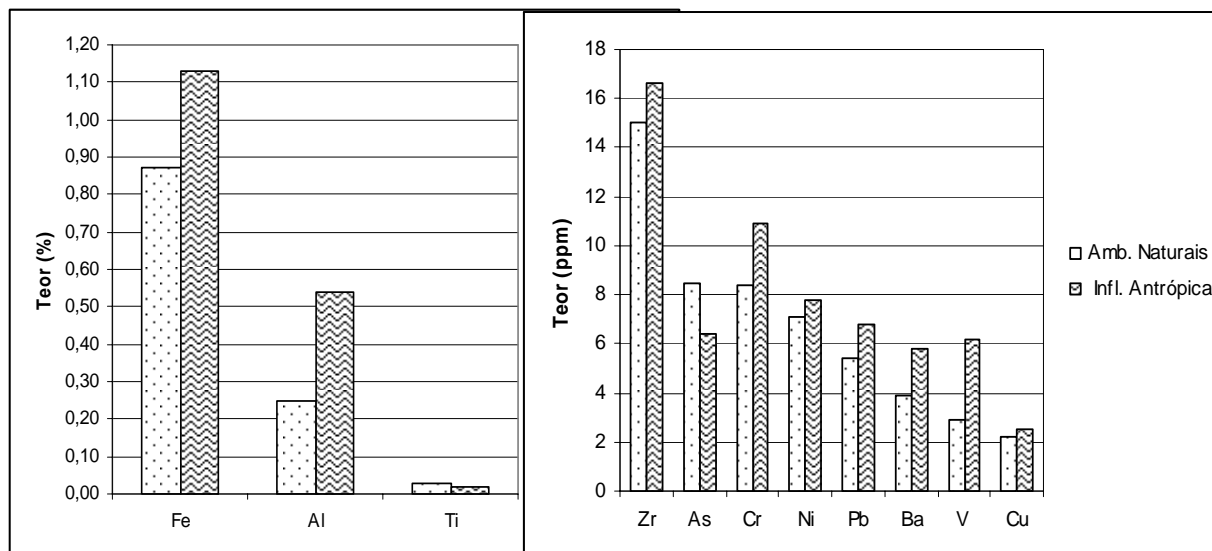


Figura 48 – Teores médios, por tipo de ambiente, dos principais elementos detectados nos sedimentos de corrente no período de águas baixas.

Um parâmetro importante que também foi avaliado diz respeito ao conteúdo total de metais pesados em cada amostra de sedimento. Para esse cálculo foram utilizados os seguintes elementos-traço: As, Ba, Cr, Cu, Ni, Pb, V e Zn. Os demais têm teores, na totalidade ou na grande maioria das amostras, abaixo do LD (Tabela 11). Destaca-se que a amostra que apresentou a menor quantidade de metais pesados (18 ppm) foi coletada no igarapé Água Verde (ponto 33), ambiente natural no rio Urubu, enquanto que aquela que revelou o maior conteúdo (108 ppm) encontra-se no igarapé Paraíba (ponto 09), ambiente sob influência antrópica na bacia do rio Preto da Eva. Depois de calculada, para cada amostra, a somatória dos teores correspondentes aos elementos selecionados, foi possível discriminar, por bacia e por tipo de ambiente, os valores médios dos metais pesados nos sedimentos de corrente da área de estudo (Figura 49).

Para as bacias do rio Preto da Eva e do rio Tarumã-Açu os conteúdos médios de metais pesados representam um fator auxiliar na distinção entre os ambientes naturais e aqueles com influência antrópica, estes últimos mostrando teores mais elevados. Nas bacias dos rios Urubu e Cuieiras não se verifica tal tendência, fato que será discutido logo adiante. A bacia do rio Cuieiras, a menos impactada, é a que apresenta, independente do tipo de

ambiente, o menor teor de metais em contraposição à bacia do rio Preto da Eva, a mais impactada, que registra o maior (Figura 49).

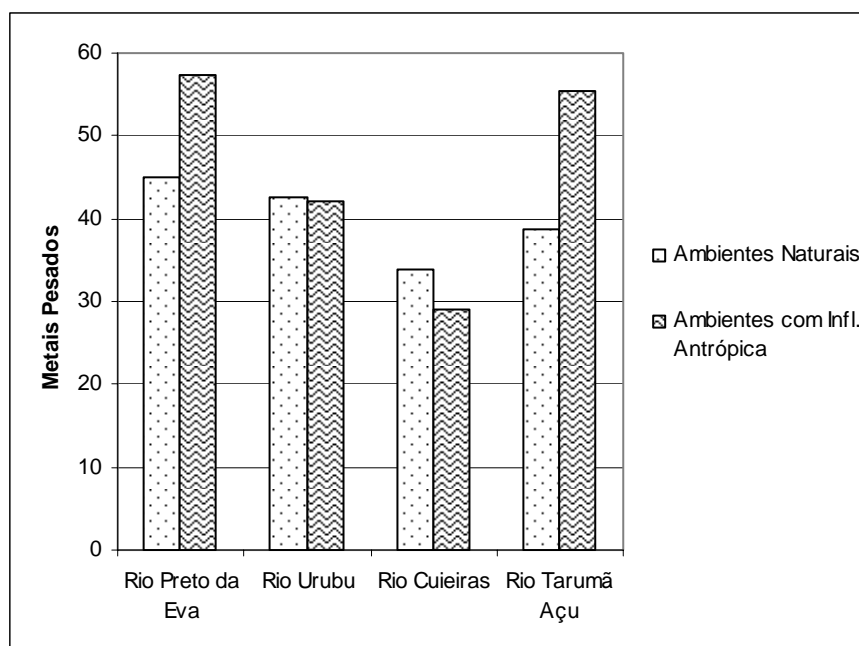


Figura 49 - Teores médios do total de metais pesados em sedimentos de corrente (ppm), por bacia estudada e por tipo de ambiente amostrado, no período de águas baixas.

A matriz de correlação dos resultados analíticos dos principais elementos detectados nos sedimentos leva à definição de três associações geoquímicas: Al-V, Cr-Fe-Cu-Ni e Y-Zr-(Ti), com a correlação mais forte observada para o par Fe-Cr, com valor de 0,92 (Figura 50). Essas associações são controladas pelas afinidades geoquímicas entre os elementos – Al e V, por exemplo, são espécies que normalmente se concentram em solos residuais e sedimentos, e seus íons mais comuns (Al^{+3} e V^{+5}) têm potencial iônico semelhante.

As distribuições espaciais do Al e do Fe nos sedimentos fluviais da área de estudo podem ser visualizadas nos seus correspondentes mapas geoquímicos (Figuras 51 e 52). O Al apresenta concentrações máximas nas porções centro-sul (alto rio Preto da Eva e alto rio Tarumã-Açu), sul-sudeste e extremo norte, e zonas de depleção no setor oeste (bacia do rio Cuieiras). Sua zona de mais ampla concentração está situada ao longo de um trecho da rodovia BR-174, entre os igarapés Preguiça e Guaraná, e se estende até as cabeceiras do rio Preto da Eva (Figura 51). É justamente nessa região que os arenitos da Formação Alter do

Chão apresentam os maiores conteúdos de caulim, argilomineral rico em Al que pode ser explorado para diversos fins. Como já explicado, o assoreamento dos igarapés Guaraná e Preguiça, induzido pelo desmatamento das margens da rodovia, aliado à existência de boas reservas de caulim, potencializou os teores de Al nesses locais. Já a associação Cr-Fe-Cu-Ni, representada pelo mapa geoquímico do Fe, mostra, dispersas pela área, 3 a 4 zonas de concentração máxima e também 3 a 4 zonas de depleção (Figura 52).

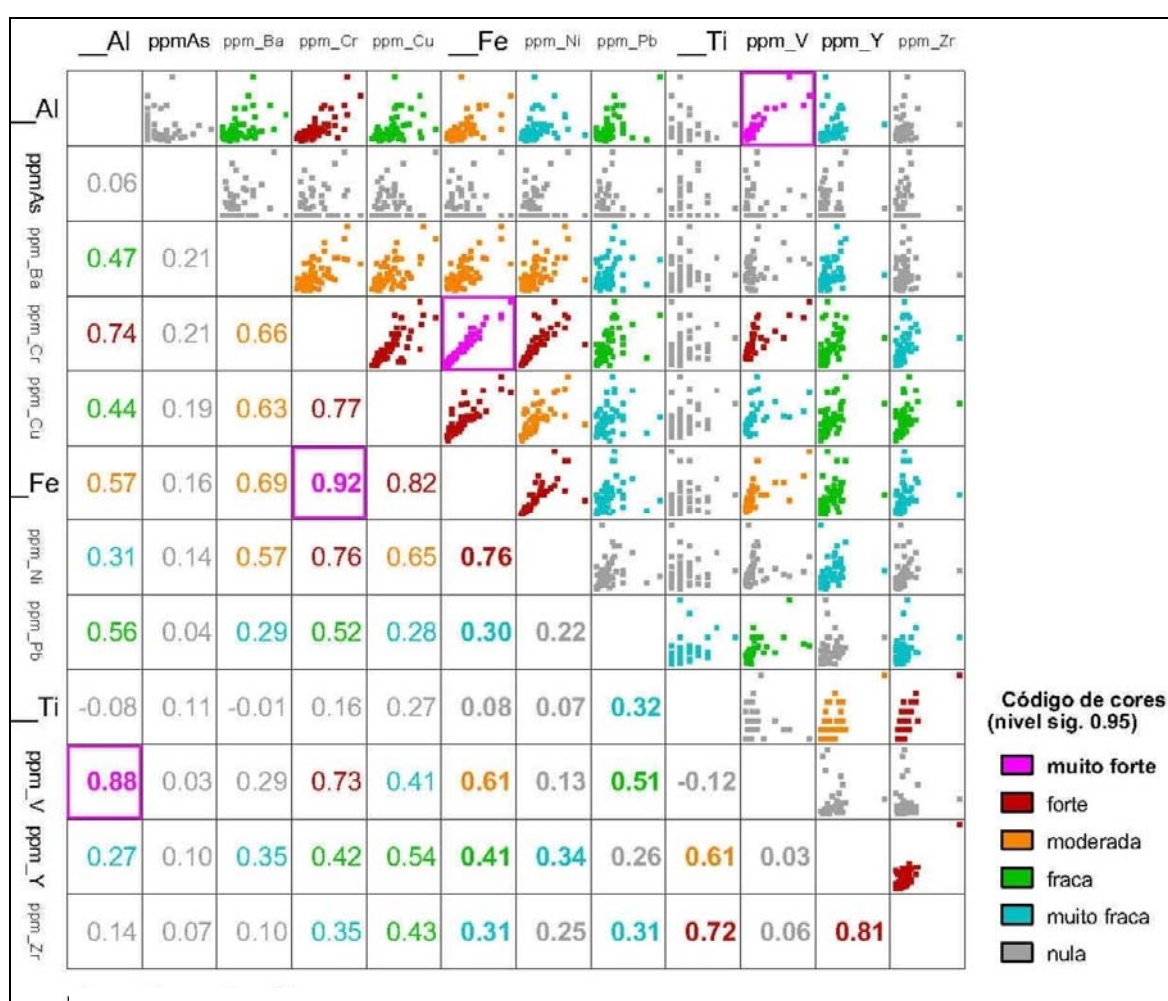
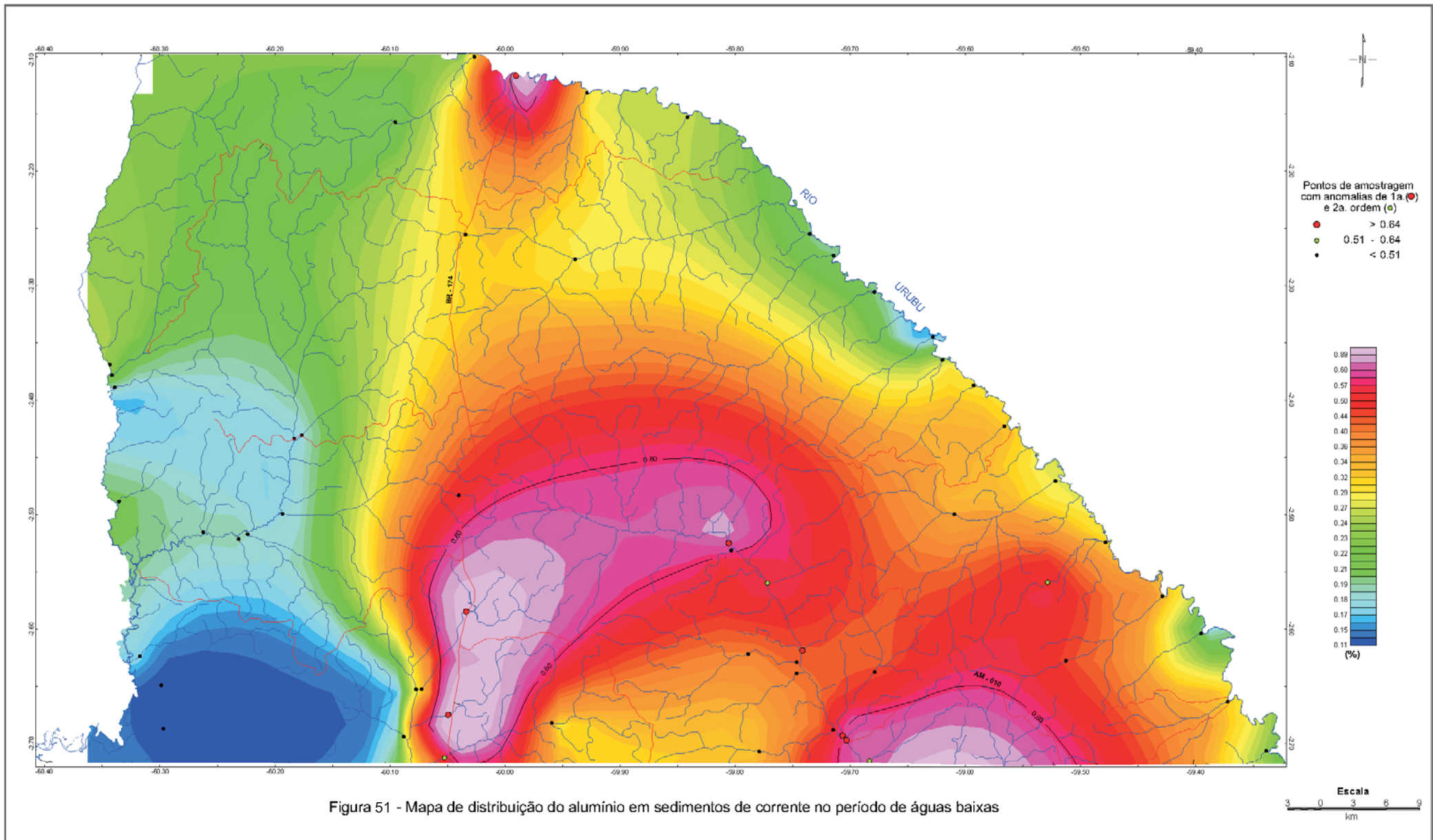


Figura 50 - Matriz de correlação dos principais elementos detectados nos sedimentos de corrente no período de águas baixas.

Os teores dos elementos-traço detectados nos sedimentos coletados com águas baixas, com exceção do As, estão muito aquém daqueles correspondentes ao NRGG e ao Clarke (Tabelas 11 e 12 e Quadro 8) e também são inferiores aos encontrados por Silva (1996), em

sedimentos de igarapé afluyente do rio Tarumã-Açu, e por Pinto et al. (2003) em sedimentos de fundo do rio Negro, ambos em condições de ambiente natural (Quadro 3). Ocorre que nesses estudos foram utilizadas, para as análises químicas, frações bem mais finas, abaixo de 250 mesh, o que demonstra a importância da fração granulométrica escolhida quando se comparam resultados analíticos em sedimentos.



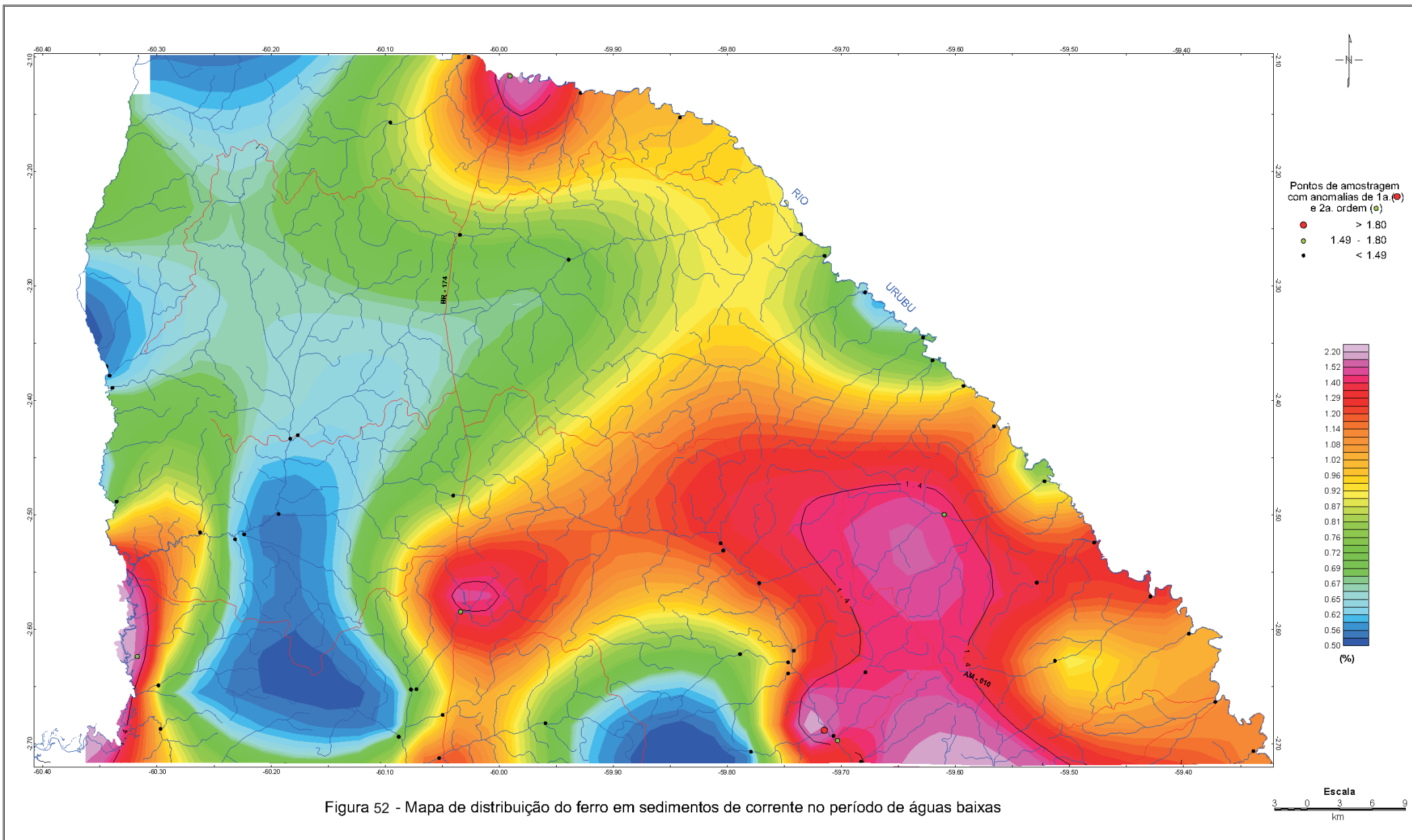


Figura 52 - Mapa de distribuição do ferro em sedimentos de corrente no período de águas baixas

5.3.2 Águas Altas

Nesta etapa, além de Fe, Al, Ti, Zr, Cr, Ni, Pb, Ba, V, Cu e Y, também Mn, Zn, Co, Cd e Mo apresentaram resultados consistentes na maior parte das amostras (Tabelas 14 e 15). Somente o As aumentou o número de amostras com teores < LD em relação à etapa anterior.

Na comparação com o período de águas baixas verifica-se que, dentre os principais elementos detectados nos ambientes naturais, mantém-se a relação Fe (média de 3,3%) > Al (0,26%) > Ti (0,11%). Nos ambientes antropizados a ordem de abundância é a mesma, porém com teor médio menor para Fe e Ti, respectivamente 2,6 e 0,09%, e maior para Al (0,58%) (Tabela 15). Ao considerar a distribuição pontual nota-se que a variação de dominância entre os elementos maiores é quase homogênea: apenas no ponto 61 (igarapé Preguiça), a exemplo do período de águas baixas, o teor de Al (3,40%) é superior ao de Fe (2,10%); já os teores de Ti são maiores que os de Al em seis locais, três de ambientes naturais (pontos 24, 28 e 33, todos na bacia do rio Urubu) e três antropizados (pontos 10, 25 e 31) (Tabela 14 e Figura 53). Na distribuição do Fe destacam-se, entre os ambientes naturais, três locais com teores acima de 5,0% - os pontos 47 (igarapé da Cachoeira), 48 (igarapé Ambrósio) e 49 (igarapé da Campina), todos na bacia do rio Cuieiras, fato que será discutido logo adiante; dentre os ambientes antrópicos ressaltam-se os pontos 10 (igarapé Sucuriçu) e 41 (igarapé Urubuí), respectivamente com teores de Fe de 7,6 e 5,0%. O Al, do mesmo modo que na etapa anterior, apresenta teores superiores a 1% somente em ambientes sob influência antrópica: pontos 04 (igarapé Travoso), 12 (igarapé Cândido), 13 (igarapé Castanhalzinho), 15 (igarapé Selvagem), 21 (igarapé Guaraná), 36 (igarapé da Asframa), 45 (igarapé Espreado) e o já mencionado ponto 61 (Tabela 14 e Figura 53), o que reforça a hipótese, discutida no item anterior, do papel do Al nos sedimentos de fundo como indicador de áreas antropizadas.

Ponto	Amb.	Fe	Al	Ti	Mn	Zr	Cr	Ni	Pb	Ba	V	Cu	Zn	Y	Mo	Co	Cd	La	Sc	Sr
01	A	1,30	0,36	0,04	0,01	12	21	12,0	7,2	1,2	<LD	13	4,4	1,4	<LD	<LD	1,7	<LD	<LD	<LD
02	N	1,80	0,20	0,06	0,02	18	18	15,0	10,0	<LD	<LD	16	2,5	1,7	1,2	<LD	2,3	<LD	<LD	<LD
03	N	1,30	0,30	0,06	0,02	24	13	11,0	7,1	<LD	<LD	11	1,4	2,2	<LD	<LD	1,7	<LD	<LD	<LD
04	A	2,10	1,20	0,07	0,02	22	37	18,0	11,0	<LD	5,2	24	3,9	2,4	1,1	3,5	2,7	<LD	1,4	<LD
05	N	1,30	0,18	0,08	0,02	27	13	10,0	8,7	<LD	<LD	10	4,6	2,3	<LD	<LD	1,7	<LD	1,0	<LD
06	A	1,30	0,34	0,04	0,02	14	23	10,0	5,9	<LD	<LD	14	4,3	1,5	<LD	<LD	1,7	<LD	<LD	<LD
07	A	1,60	0,24	0,06	0,02	62	16	12,0	8,0	1,4	<LD	14	4,3	4,7	<LD	<LD	2,2	14	1,6	<LD
08	A	3,30	0,16	0,06	0,04	30	57	23,0	6,7	<LD	<LD	39	5,0	1,5	1,8	4,5	4,8	<LD	1,0	<LD
09	A	2,10	0,37	0,09	0,03	46	19	15,0	8,0	<LD	3,0	18	3,3	2,7	1,5	3,1	2,7	<LD	1,1	<LD
10	A	7,60	0,18	0,26	0,11	106	153	56,0	20,0	5,4	7,6	113	13,0	5,2	3,8	13,0	13,0	<LD	1,9	<LD
11	A	1,90	0,42	0,07	0,03	23	18	14,0	8,0	<LD	3,0	16	2,2	1,6	1,2	<LD	2,7	<LD	<LD	<LD
12	A	1,70	1,40	0,05	0,02	23	24	12,0	8,6	1,9	7,7	15	4,3	2,5	<LD	<LD	2,1	<LD	1,4	1,3
13	A	2,30	1,80	0,05	0,02	23	20	12,0	7,2	2,0	18,0	12	4,8	1,3	1,6	<LD	3,0	<LD	1,2	<LD
14	A	3,00	0,22	0,16	0,04	133	51	20,0	12,0	<LD	4,9	35	4,5	6,8	1,7	6,1	4,2	12	2,7	<LD
15	A	2,10	1,10	0,09	0,03	53	20	14,0	6,6	<LD	7,6	17	4,9	2,9	1,7	3,1	2,7	<LD	1,5	1,1
16	A	1,80	0,70	0,06	0,02	28	29	14,0	7,4	2,6	3,2	22	3,0	2,9	1,7	3,3	2,4	<LD	<LD	1,2
17	A	2,10	0,52	0,14	0,03	70	21	16,0	11,0	<LD	4,8	18	3,3	3,5	<LD	4,4	2,8	<LD	1,6	<LD
18	N	2,60	0,22	0,24	0,05	139	44	18,0	17,0	<LD	6,7	29	4,6	6,4	1,0	6,8	3,6	<LD	2,8	<LD
19	A	1,40	0,21	0,05	0,02	17	12	10,0	6,4	<LD	<LD	10	2,7	1,3	1,0	<LD	2,0	<LD	<LD	<LD
20	A	3,10	0,15	0,16	0,04	127	29	21,0	13,0	1,4	4,9	28	4,0	7,2	1,5	5,2	4,4	16	2,4	<LD
21	A	2,90	1,60	0,05	0,02	28	44	21,0	7,2	15,0	11,0	32	4,3	3,0	1,7	4,1	4,2	<LD	1,6	2,5
22	A	2,40	0,26	0,08	0,03	84	18	15,0	7,4	<LD	3,3	16	2,8	4,3	<LD	3,9	3,3	<LD	1,6	<LD
23	A	2,70	0,20	0,16	0,04	74	42	22,0	13,0	8,4	3,9	32	5,5	3,6	1,5	5,6	3,7	<LD	1,1	1,0
24	N	2,00	0,08	0,14	0,03	63	17	15,0	9,3	1,6	3,2	16	2,9	2,8	1,3	3,9	2,8	<LD	<LD	<LD
25	A	3,30	0,18	0,21	0,05	144	54	22,0	15,0	2,1	5,4	39	7,0	6,9	1,6	7,2	4,5	13	2,0	<LD
26	N	2,90	0,28	0,27	0,06	179	21	17,0	12,0	1,1	6,3	20	7,4	7,3	<LD	8,0	3,8	<LD	2,4	<LD
27	A	3,30	0,16	0,11	0,04	75	53	23,0	8,2	<LD	3,5	40	5,7	3,7	2,4	<LD	4,7	<LD	1,3	<LD
28	N	4,30	0,12	0,20	0,06	125	38	28,0	11,0	<LD	5,4	41	7,0	4,8	2,7	<LD	6,5	<LD	2,0	<LD
29	N	4,50	0,34	0,18	0,06	125	77	33,0	12,0	<LD	5,7	59	7,8	4,9	2,6	<LD	6,7	<LD	1,9	<LD
30	N	3,30	0,96	0,12	0,04	62	23	20,0	6,9	1,6	4,3	24	4,7	3,0	2,0	3,5	4,4	<LD	1,2	1,0
31	A	4,30	0,07	0,18	0,06	372	75	31,0	13,0	<LD	5,5	54	7,5	16,0	2,1	<LD	6,5	21	4,3	<LD
32	N	2,10	0,20	0,14	0,04	144	18	14,0	6,9	<LD	3,9	17	2,4	5,9	1,6	<LD	2,7	<LD	1,9	<LD
33	N	4,20	0,23	0,27	0,07	817	73	30,0	21,0	1,7	8,2	53	8,0	36,0	2,0	<LD	6,2	65	8,0	<LD
34	A	2,10	0,32	0,18	0,04	71	15	12,0	9,8	<LD	5,0	13	3,8	2,8	1,0	4,5	2,9	<LD	1,2	<LD

A – Ambiente com Influência Antrópica; N – Ambiente Natural. Al, Fe, Mn e Ti em %, os demais em ppm.

Também foram analisados Ag, As, B, Be, Bi, Ca, Hg, K, Li, Mg, Na, P, Sb, Se, Sn e W, porém os teores, em todas as amostras, resultaram em valores abaixo do LD.

Tabela 14 – Resultados das análises químicas efetuadas nas amostras de sedimentos de corrente no período de águas altas.

Ponto	Amb.	Fe	Al	Ti	Mn	Zr	Cr	Ni	Pb	Ba	V	Cu	Zn	Y	Mo	Co	Cd	La	Sc	Sr
35	A	2,40	0,32	0,04	0,03	74	23	17,0	7,9	<LD	<LD	21	2,1	2,6	2,0	<LD	3,4	<LD	1,0	<LD
36	A	3,00	2,40	0,07	0,03	140	49	22,0	7,8	11,0	16,0	32	5,1	5,2	2,4	3,9	4,1	<LD	2,0	5,8
37	A	1,80	0,13	0,05	0,02	44	16	13,0	6,0	<LD	<LD	15	1,3	2,3	1,4	<LD	2,2	<LD	<LD	<LD
38	N	2,90	0,36	0,09	0,04	66	44	24,0	7,9	5,6	4,1	36	3,9	2,8	2,3	4,8	4,2	<LD	<LD	2,5
39	A	3,00	0,26	0,08	0,03	66	49	23,0	8,0	3,4	3,1	37	3,5	2,5	2,2	4,6	4,0	<LD	1,2	1,5
40	A	1,50	0,08	0,04	0,02	30	13	10,0	3,9	4,7	<LD	12	<LD	1,2	1,1	<LD	1,8	<LD	<LD	<LD
41	A	5,00	0,26	0,03	0,05	34	87	35,0	9,4	5,6	<LD	64	16,0	1,3	5,0	5,7	7,9	<LD	<LD	2,7
42	N	0,98	0,26	0,03	0,01	32	11	8,7	4,8	2,6	<LD	8	<LD	1,6	<LD	<LD	1,2	<LD	<LD	1,2
43	A	2,60	0,18	0,04	0,03	31	41	21,0	5,6	<LD	<LD	33	10,0	1,7	2,4	3,8	3,5	<LD	<LD	<LD
44	A	1,50	0,07	0,05	0,02	38	14	12,0	5,2	<LD	<LD	13	5,9	2,4	1,4	<LD	1,9	<LD	<LD	<LD
45	A	2,00	1,20	0,10	0,02	88	34	15,0	7,7	<LD	7,5	22	5,5	7,6	1,1	3,9	2,7	10	3,3	<LD
46	A	1,60	0,40	0,04	0,02	58	15	11,0	7,4	<LD	4,5	13	2,7	5,4	1,1	<LD	2,3	19	1,8	<LD
47	N	5,50	0,25	0,18	0,06	303	96	38,0	15,0	9,2	5,3	72	24,0	7,2	2,2	8,8	9,2	<LD	2,0	<LD
48	N	5,10	0,12	0,09	0,06	46	43	35,0	9,5	2,5	<LD	50	8,6	1,6	4,1	6,0	8,1	<LD	<LD	<LD
49	N	6,70	0,39	0,09	0,07	83	117	53,0	9,5	<LD	3,7	97	14,0	3,1	5,6	9,1	11,0	<LD	1,0	<LD
50	N	1,60	0,25	0,04	0,02	37	15	11,0	4,2	1,1	<LD	14	1,2	1,9	1,4	<LD	2,1	<LD	<LD	1,0
51	N	2,50	0,24	0,05	0,02	47	39	21,0	7,3	<LD	<LD	31	2,5	2,1	1,7	3,4	3,3	<LD	<LD	<LD
52	N	2,70	0,19	0,06	0,03	60	22	18,0	7,5	<LD	<LD	23	6,2	3,1	1,9	3,5	3,7	<LD	<LD	<LD
53	N	5,00	0,24	0,10	0,06	48	86	34,0	10,0	<LD	3,8	66	8,5	2,5	2,5	6,9	7,7	<LD	1,1	<LD
54	N	2,80	0,24	0,09	0,04	63	24	20,0	7,8	<LD	3,0	24	3,5	4,0	1,2	4,1	4,0	<LD	1,5	<LD
55	A	3,70	0,20	0,08	0,04	131	61	28,0	8,6	2,7	3,3	47	4,5	6,6	2,5	5,3	5,4	<LD	1,9	<LD
56	N	2,90	0,23	0,04	0,03	39	23	19,0	7,6	6,2	<LD	26	2,3	2,5	2,3	<LD	4,3	<LD	<LD	<LD
57	N	4,60	0,34	0,10	0,05	66	78	34,0	9,5	8,2	3,6	61	6,1	3,6	3,2	6,9	7,2	<LD	1,1	1,1
58	A	3,00	0,30	0,05	0,04	45	25	21,0	7,8	2,9	<LD	27	2,8	2,9	3,0	3,5	4,3	<LD	<LD	<LD
59	N	4,40	0,38	0,06	0,05	78	77	36,0	7,5	2,2	3,1	62	5,6	3,5	4,4	6,1	7,1	<LD	1,2	<LD
60	N	2,50	0,09	0,05	0,03	50	21	17,0	6,1	<LD	<LD	21	2,0	2,1	1,5	3,2	3,3	<LD	<LD	<LD
61	A	2,10	3,40	0,06	0,02	67	47	11,0	6,5	4,1	20,0	17	5,4	3,2	1,0	3,3	2,9	<LD	3,8	2,3
62	A	2,80	0,55	0,04	0,03	46	24	20,0	6,2	1,2	<LD	26	2,5	2,5	2,0	<LD	3,8	<LD	<LD	<LD
63	A	2,90	0,88	0,22	0,04	205	48	20,0	12,0	<LD	8,2	32	4,9	9,8	1,7	6,7	3,9	<LD	3,4	<LD
64	A	3,70	0,02	<LD	0,04	15	28	25,0	4,5	<LD	<LD	33	3,2	<LD	4,5	3,3	5,3	<LD	<LD	<LD
65	N	3,00	0,27	0,04	0,03	47	48	22,0	5,8	12,0	<LD	40	3,8	1,8	2,8	3,9	4,4	<LD	<LD	3,3
66	N	4,80	0,27	0,17	0,06	111	81	33,0	13,0	2,0	5,4	61	7,3	5,7	3,2	8,2	7,4	<LD	1,6	<LD
67	N	3,20	0,14	0,08	0,04	63	26	21,0	7,5	<LD	<LD	27	2,9	3,0	2,2	3,4	4,4	<LD	1,2	<LD

A – Ambiente com Influência Antrópica; N – Ambiente Natural. Al, Fe, Mn e Ti em %, os demais em ppm.

Também foram analisados Ag, As, B, Be, Bi, Ca, Hg, K, Li, Mg, Na, P, Sb, Se, Sn e W, porém os teores, em todas as amostras, resultaram em valores abaixo do LD.

Tabela 14 – Resultados das análises químicas efetuadas nas amostras de sedimentos de corrente no período de águas altas (continuação).

Elemento	Ambientes Naturais			Amb. com Influência Antrópica	
	Amplitude	Média (X)	Desvio Padrão (S)	Amplitude	Média
Fe	1,0 – 6,7	3,3	1,4	1,3 – 7,6	2,6
Al	0,08 – 0,96	0,26	0,16	0,07 – 3,40	0,58
Ti	0,03 – 0,27	0,11	0,07	0,03 – 0,26	0,09
Mn	0,01 – 0,07	0,04	0,02	0,01 – 0,11	0,03
Zr*	18 - 303	79	60	12 - 372	70
Cr	11 - 117	43	30	12 - 153	37
Cu	8 - 97	36	23	10 - 113	28
Ni	9 - 53	23	11	10 - 56	19
Pb	4,2 – 21,0	9,4	3,7	3,9 – 20,0	8,7
Zn	< LD – 24,0	5,6	4,7	< LD – 16,0	4,8
Co	< LD – 9,1	5,0	2,6	< LD – 13,0	3,8
Cd	1,2 – 11,0	4,8	2,5	1,7 – 13,0	3,7
V	< LD – 8,2	3,3	2,0	< LD – 20,0	4,9
Y*	1,6 – 7,3	3,5	1,7	1,2 – 16,0	3,9
Ba	< LD – 12,0	2,3	3,1	< LD – 15,0	2,2
Mo	< LD – 5,6	2,1	1,2	< LD – 5,0	1,6

Fe, Al, Ti e Mn em %, os demais em ppm.

* Retirado dos cálculos o ponto 33 (ig. Água Verde), por apresentar, para Zr e Y, valores aberrantes (outliers).

Tabela 15 – Parâmetros estatísticos para os principais elementos encontrados nos sedimentos de corrente no período de águas altas.

Dentre os elementos-traço, quando se considera os teores médios, novamente predomina o Zr, seguido, nos ambientes naturais, pelo Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Co, Cd, V, Y, Ba e Mo. Nos ambientes sob influência antrópica também há pouca alteração na relação de abundância: $Zr > Cr > Cu > Ni > Pb > V > Zn > Y > Co > Cd > Ba > Mo$ (Tabela 15). Quando se analisa a distribuição pontual observa-se que, a exemplo das águas baixas, a variação não é tão uniforme: o Zr predomina na maioria dos locais de amostragem, com destaque para os pontos 31 (igarapé Preto) e 47 (igarapé da Cachoeira), respectivamente com 372 e 303 ppm; contudo, em vários pontos seus teores são superados – nos ambientes naturais por Cr e Cu, e nos antropizados por Cr, Cu e/ou Ni (Figura 54). Dos demais elementos-traço, Pb é o mais abundante na grande maioria dos locais, destacando-se os igarapés Água Verde (ponto 33 – 21 ppm) e Sucuriçu (ponto 10 – 20 ppm); o conteúdo de V supera o de Pb apenas em cinco pontos (13, 15, 21, 36 e 61), todos com influência antrópica e com teores de Al

acima de 1%; os teores de Pb também são menores que os de Ba em quatro pontos (21, 36, 40 e 65) e menores que os de Zn em cinco pontos (41, 43, 44, 47 e 49) (Figuras 55 e 56).

Um fato que chama a atenção é que os teores médios de quase todos os metais pesados (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mo, Ni, Pb, Ti, V e Zn) são significativamente maiores que aqueles obtidos nas águas baixas (Tabelas 12 e 15). Pinto et al. (2003) já haviam notado essa relação para Cd, Cu e Ni no rio Negro a montante de Manaus, e Silva (1996) para Cd, Co, Cr e Cu em igarapé de ambiente natural na bacia do rio Tarumã-Açu. Outra constatação diz respeito à quantidade de amostras com valores anômalos (Tabela 16): ao contrário do período anterior, esse parâmetro, com exceção de Al e V, não pode ser utilizado para auxiliar na distinção entre os ambientes naturais e com influência antrópica, já que as anomalias distribuem-se em quantidade semelhante pelos dois tipos de ambiente. Uma provável explicação para esses fatos é apresentada a seguir.

Na estação chuvosa, as enxurradas, provenientes de chuvas torrenciais nas cabeceiras dos vales, arrastam grande quantidade de detritos orgânicos (restos de folhas, raízes, galhos, sementes, etc) para o baixo curso dos igarapés, locais onde a declividade é muito suave. Com a elevação sazonal do nível das águas, boa parte dos igarapés da área de estudo, ao serem barrados pelo rio principal, invadem gradativamente suas margens, também ricas em restos orgânicos, constituindo verdadeiros igapós, com correnteza quase nula. Assim, no período das cheias, a quietude das águas faz com que ocorra, no fundo desses igarapés, deposição significativa de matéria orgânica particulada, que se mistura aos minerais detríticos já existentes. Walker (1995) estimou a quantidade de detritos vegetais depositada nos igapós do rio Tarumã-Mirim em cada estação de cheia em 4,2 toneladas por hectare. Segundo a autora esse volume de material abriga sedimentos finos (lama silto-argilosa + lama orgânica) na ordem de 2 toneladas por hectare para cada metro de profundidade de água no mês de junho (nível de cheia máxima na região). Sabe-se que a matéria orgânica tem a facilidade de fixar

elementos metálicos, por meio de adsorção ou da formação de complexos organo-metálicos (LICHT, 1998), fato que pode mascarar a distinção entre os ambientes naturais e antrópicos, além, é claro, de elevar os teores desses elementos nos sedimentos de fundo.

Um bom exemplo é representado pelos igarapés Sucuriçu (ambiente sob influência antrópica – ponto 10) e Campina (ambiente natural - ponto 49), que correspondem, respectivamente, a todas as anomalias de primeira e segunda ordem para Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn e Ni. De modo semelhante, o igarapé Água Verde (ambiente natural – ponto 33) revelou os maiores teores de Pb, Ti, Y e Zr. Enquanto na primeira amostragem (águas baixas) essas drenagens, no ponto de coleta, possuíam cerca de um metro de lâmina d'água e boa correnteza, no período de águas altas o panorama encontrado foi bem diverso - água quase parada, profundidades acima de quatro metros e sedimentos de fundo com elevado teor de detritos orgânicos. Portanto, há forte evidência de que a distribuição dos metais pesados nos sedimentos de fundo dos igarapés da região é influenciada pelo período hidrológico.

Um dado auxiliar que poderia esclarecer melhor a disparidade de teores acima citada, e reforçar a hipótese proposta, é a relação entre a composição química dos sedimentos e das águas superficiais. Sendo a matéria orgânica responsável pelo aprisionamento dos elementos metálicos nas águas altas, sua oxidação, à medida que o nível das águas baixa, liberaria novamente esses elementos para o meio aquoso, que ficaria enriquecido nos mesmos. Porém, com exceção do Fe nos dois períodos de amostragem e do Zn nas águas baixas, os metais pesados não foram detectados em concentrações acima dos LDs nas águas superficiais (Tabelas 3 e 6), o que prejudica a comparação *química dos sedimentos versus química das águas*. A concentração do Fe nas águas do igarapé da Campina (ponto 49) tem pouca variação com o período hidrológico (66 µg/L nas águas baixas e 77 µg/L nas altas); o mesmo ocorre no igarapé Sucuriçu (137 µg/L nas águas baixas e 138 µg/L nas altas).

Elemento	Valores anômalos de 1ª ordem (>X+3S)	Valores anômalos de 2ª ordem (X+2S a X+3S)	Quantidade de amostras anômalas			
			Ambiente Natural		Influência Antrópica	
			1ª ordem	2ª ordem	1ª ordem	2ª ordem
Fe	> 7,5	6,1 – 7,5	-	1	1	-
Al	> 0,74	0,58 – 0,74	1	-	9	1
Ti	> 0,32	0,25 – 0,32	-	2	-	1
Mn	> 0,10	0,08 – 0,10	-	-	1	-
Zr	> 259	199 - 259	2	-	1	1
Cr	> 133	103 - 133	-	1	1	-
Cu	> 105	82 - 105	-	1	1	-
Ni	> 56	45 - 56	-	1	-	1
Pb	> 20,5	16,8 - 20,5	1	1	-	1
Zn	> 19,7	15,0 – 19,7	1	-	-	1
Co	> 12,8	10,2 – 12,8	-	-	1	-
Cd	> 12,3	9,8 – 12,3	-	1	1	-
V	> 9,3	7,3 – 9,3	-	1	4	5
Y	> 8,6	6,9 – 8,6	1	2	2	2
Ba	> 11,6	8,5 – 11,6	1	1	1	1
Mo	> 5,7	4,5 – 5,7	-	1	-	1

Fe, Al, Ti e Mn em %, os demais em ppm.

Tabela 16 - Anomalias de primeira e segunda ordem e quantidade de amostras anômalas, por tipo de ambiente, para os elementos encontrados nos sedimentos no período de águas altas.

Quando se confronta nesta etapa o teor médio das espécies analisadas com o tipo de ambiente de amostragem, observa-se que quase todos os elementos apresentam teores menores nos ambientes antropizados, o que indica uma mudança significativa no panorama geoquímico em relação ao verificado com águas baixas (Tabelas 12 e 15). Nesse sentido, só o que se mantém, na comparação com o período anterior, é a situação do Al e V, que registram teores bem mais elevados (em termos absolutos) nos ambientes sob influência antrópica. Não obstante, observa-se que para a maioria dos elementos (Fe, Al, Mn, Zr, Cr, Cu, Ni, Co, Cd, Y e Ba) os teores máximos são maiores nesse tipo de ambiente (Tabela 15 e Figuras 53 a 56).

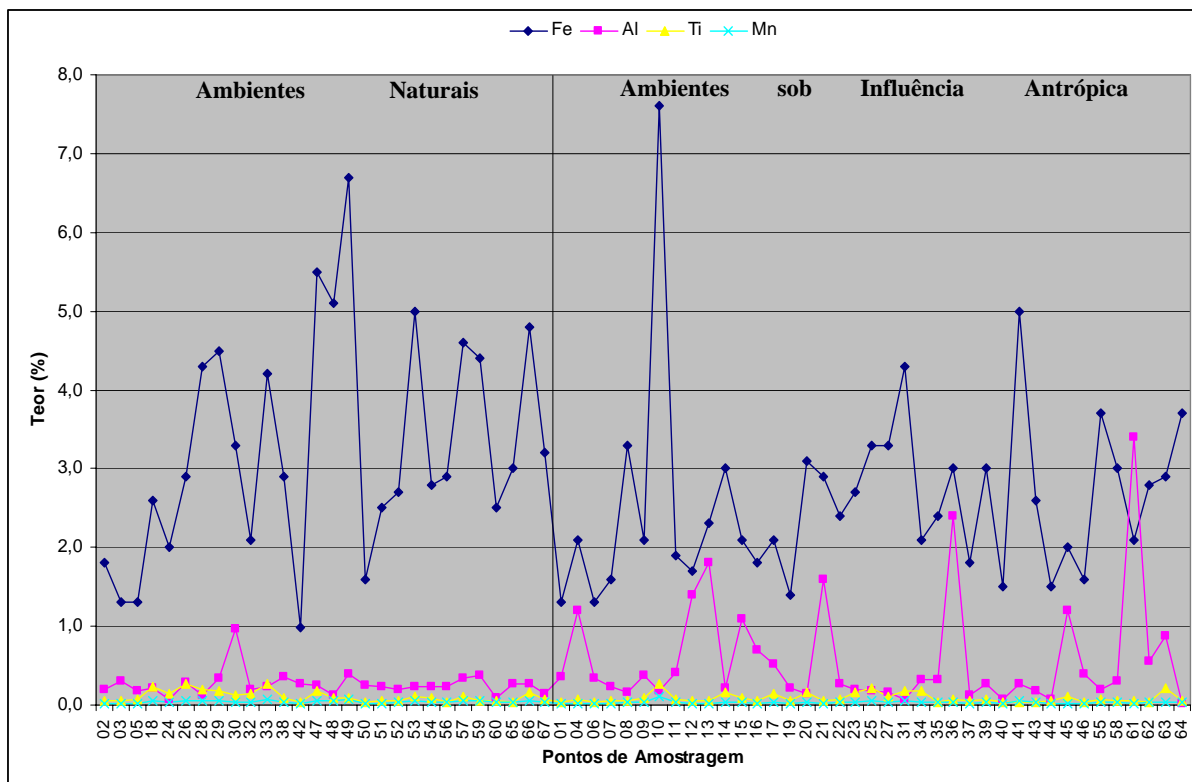


Figura 53 - Distribuição do Fe, Al, Ti e Mn nas amostras de sedimentos de corrente no período de águas altas de acordo com o tipo de ambiente.

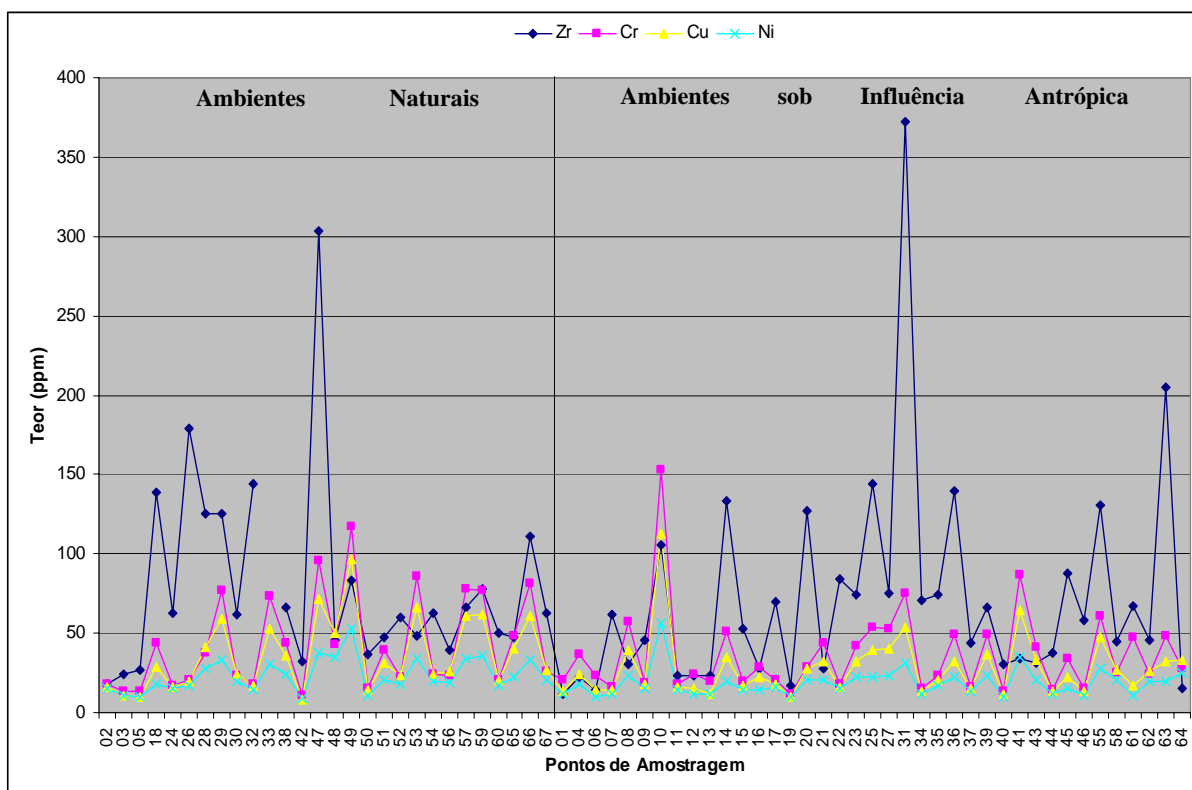


Figura 54 - Distribuição do Zr, Cr, Cu e Ni nas amostras de sedimentos de corrente no período de águas altas de acordo com o tipo de ambiente.

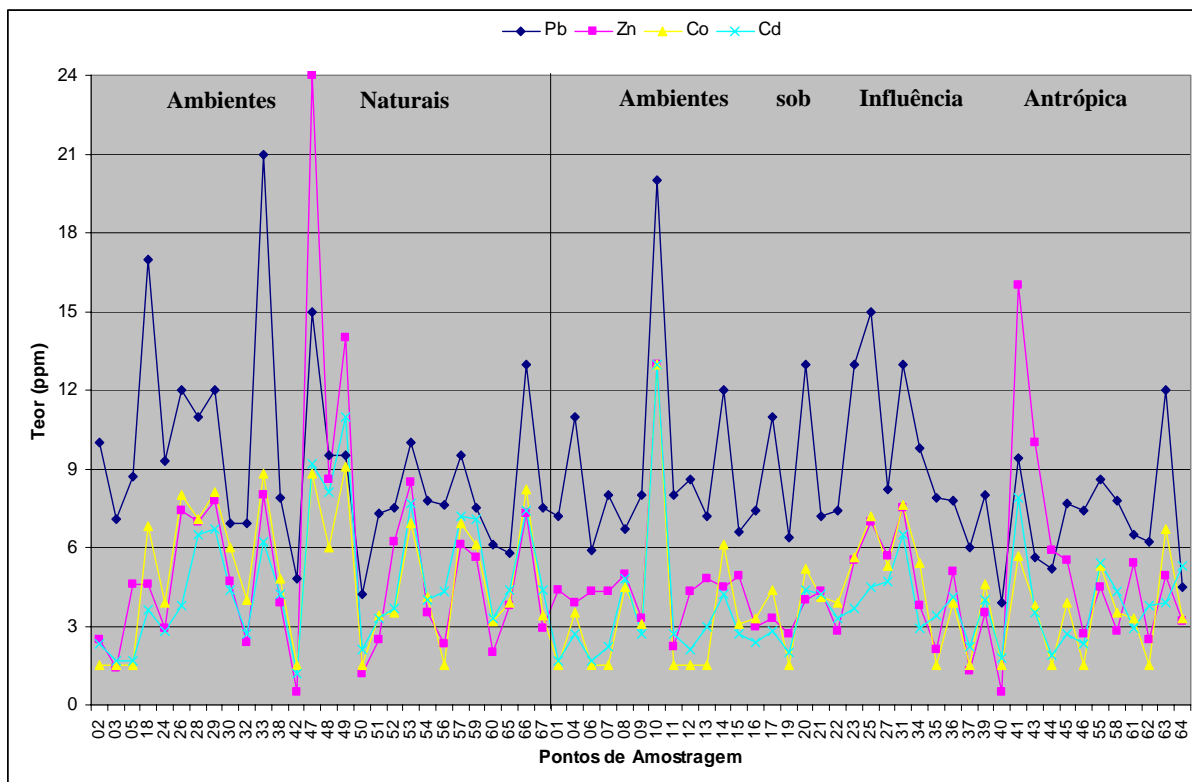


Figura 55 - Distribuição do Pb, Zn, Co e Cd nas amostras de sedimentos de corrente no período de águas altas de acordo com o tipo de ambiente.

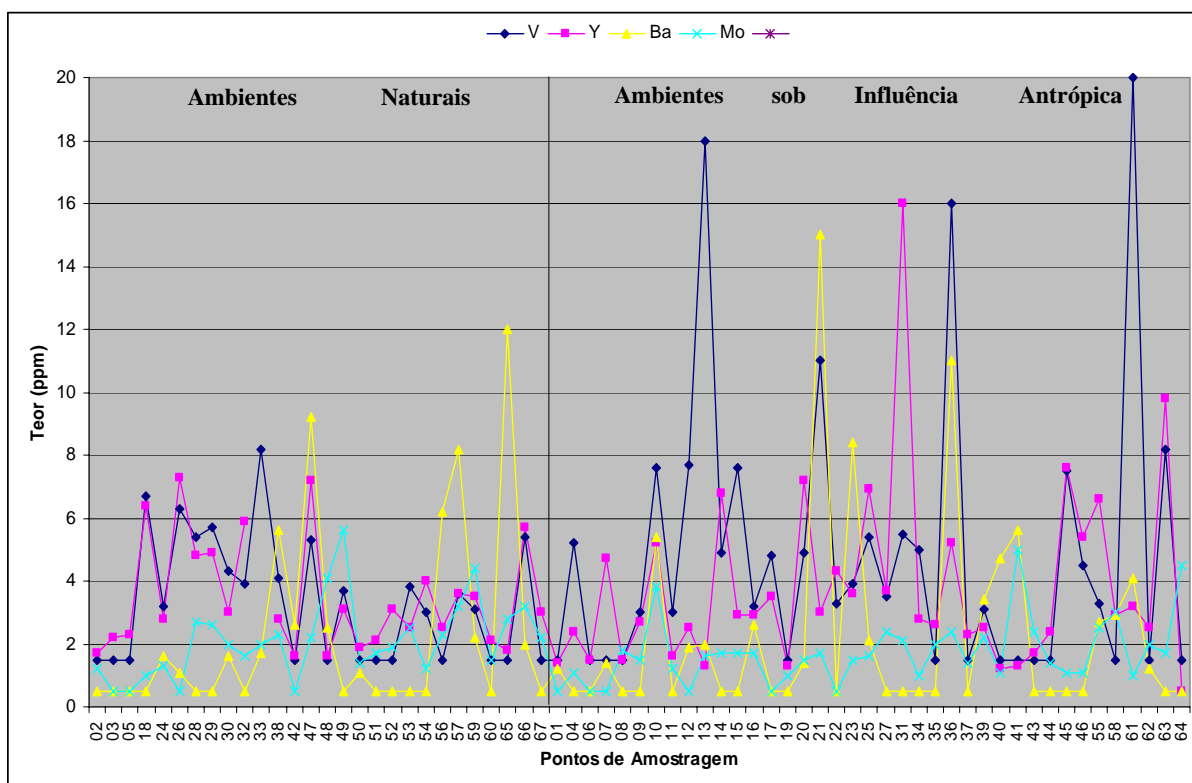


Figura 56 - Distribuição do V, Y, Ba e Mo nas amostras de sedimentos de corrente no período de águas altas de acordo com o tipo de ambiente.

Para as comparações relativas ao conteúdo total de metais pesados nos sedimentos, por ambiente e bacia, foram utilizados, com águas altas, os seguintes elementos-traço: Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, V e Zn, pois os demais (Ag, As, Bi, Hg, Li, Sb, Se, Sn e W) apresentaram, em todas as amostras, teores abaixo do limite de detecção (Tabela 14). A bacia do rio Cuieiras, que possui o maior número de tributários alagados, é a que revelou o maior conteúdo médio de metais pesados em sedimentos de ambientes naturais, em oposição à bacia do rio Preto da Eva. Esta, por sua vez, apresentou o maior contraste entre os dois tipos de ambiente. Já naqueles sob influência antrópica as quatro bacias hidrográficas mostram teores médios semelhantes de metais pesados (100 – 110 ppm), homogeneidade não verificada com águas baixas (Figura 57). Além disso, a bacia do rio Tarumã-Açu foi a única que apresentou padrão invertido em relação ao período anterior (vide Figura 49). As distorções observadas entre os resultados dos dois períodos de amostragem serão analisadas com detalhe no próximo item, que trata das variações sazonais da composição química dos sedimentos de corrente.

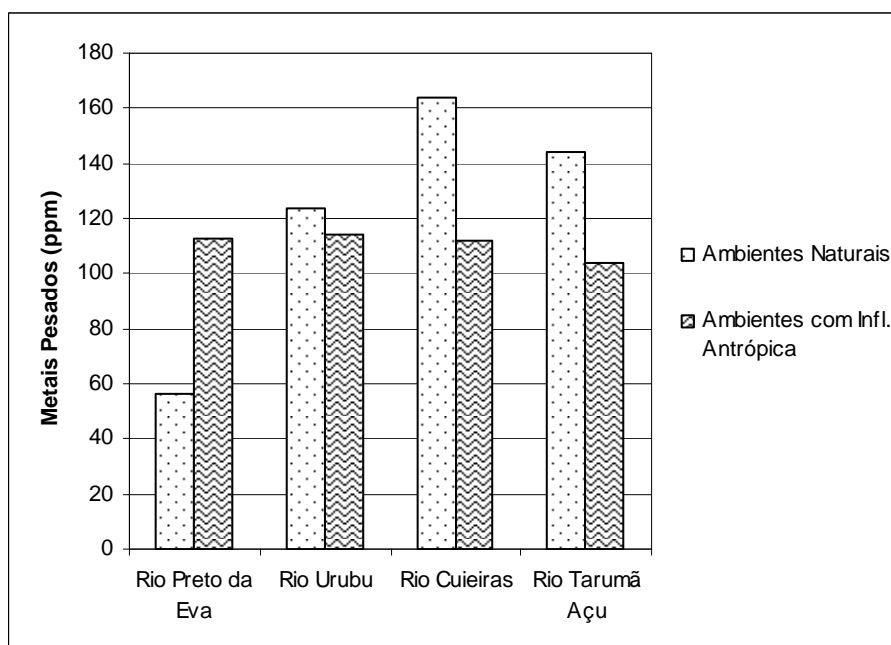


Figura 57 - Teores médios do total de metais pesados em sedimentos de corrente, por bacia e por tipo de ambiente amostrado, no período de águas altas.

Com águas altas, a avaliação da matriz de correlação dos resultados obtidos para as espécies analisadas nos sedimentos permite que sejam definidas quatro associações

geoquímicas: Al-V, Cd-Co-Cr-Cu-Fe-Mn-Ni, Pb-Ti e Y-Zr, sendo as correlações mais fortes observadas para Fe-Cd-Cu-Ni, com valores de 0,97 a 1,00 (Figura 58). As associações Al-V, Cr-Cu-Fe-Ni e Y-Zr também foram observadas no período de águas baixas, o que indica que a afinidade geoquímica entre esses elementos, dentro de cada associação, é forte e independe do período hidrológico.

A título de ilustração, as distribuições espaciais do Al e do Fe, elementos mais abundantes dentre os analisados nas amostras de sedimentos, podem ser visualizadas nos seus respectivos mapas geoquímicos (Figuras 59 e 60).

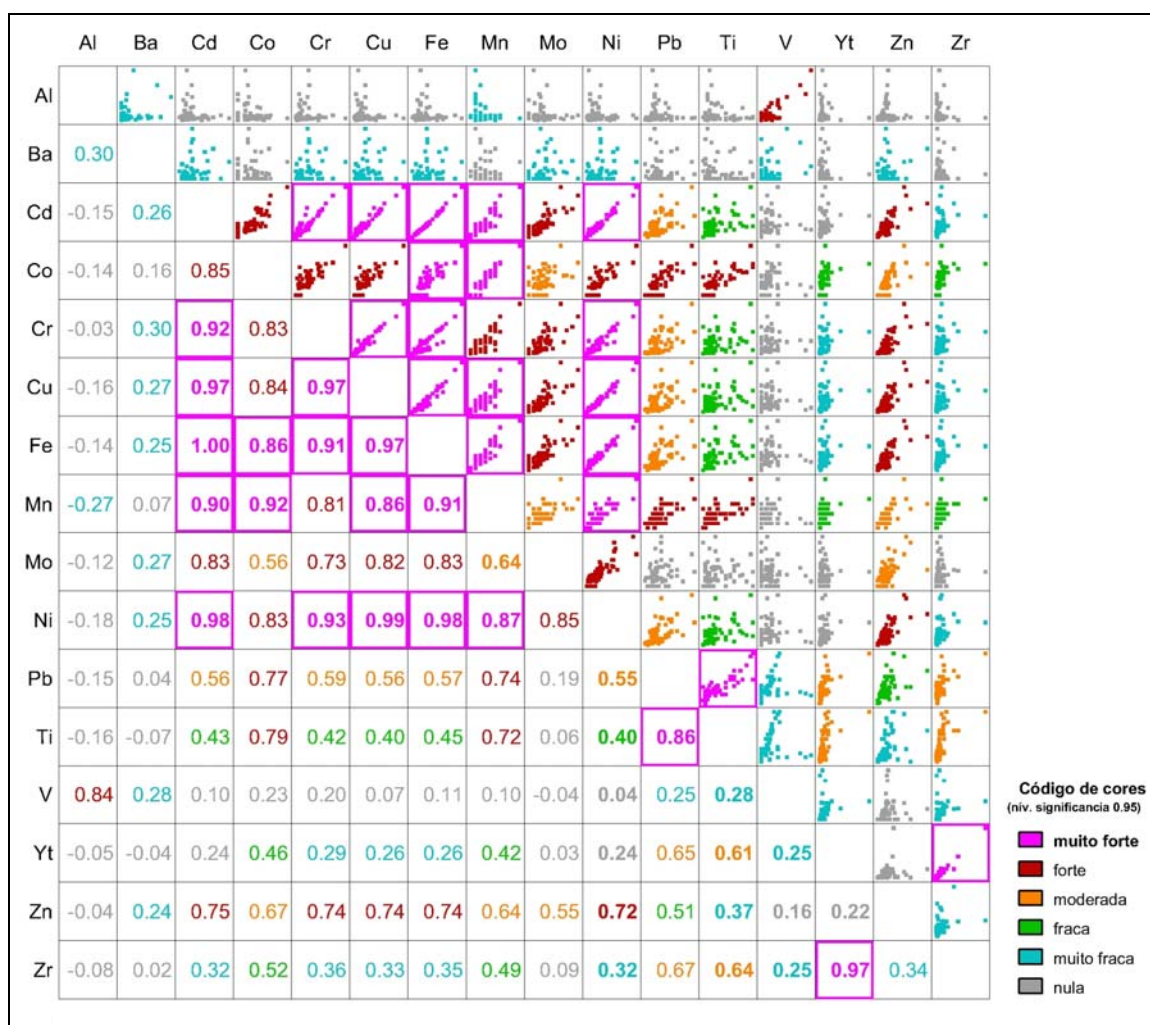


Figura 58 - Matriz de correlação dos principais elementos detectados nos sedimentos de corrente no período de águas altas.

Outros aspectos que merecem destaque quando se avaliam os resultados analíticos dos sedimentos de corrente nas duas campanhas são apresentados a seguir.

1. No período de águas baixas, as amostras coletadas nos pontos 09 (igarapé Paraíba) e 10 (igarapé Sucuriju), na bacia do rio Preto da Eva, registraram teores anômalos para diversos metais pesados: Cr, Cu, Fe, Ni, V e Zn (Tabelas 11 e 13 e Figura 52). Como esses igarapés drenam propriedades rurais situadas a montante dos pontos de coleta, as anomalias devem estar associadas a atividades antrópicas. No mesmo período, o maior teor de Zn (7,6 ppm) foi detectado nos sedimentos do igarapé Selvagem (ponto 15), que drena a zona urbana de Rio Preto da Eva, juntamente com anomalias de Fe e V, o que também sugere início de processo de degradação química desse curso d'água, fato já aventado pelas concentrações de Na e Cl em suas águas (ver item 5.2.5). Por outro lado, os sedimentos coletados no Balneário Municipal (ponto 20), logo a jusante das desembocaduras dos igarapés Selvagem e Paraíba, não têm em nenhuma das etapas, provavelmente devido à diluição, qualquer anomalia ou teor mais elevado de metal pesado, o que indica sua boa qualidade.

2. Com águas altas, todas as anomalias detectadas na primeira campanha nos igarapés Paraíba e Selvagem diluem-se, em virtude da elevação regional dos teores neste período, mesmo nas amostras de ambientes naturais.

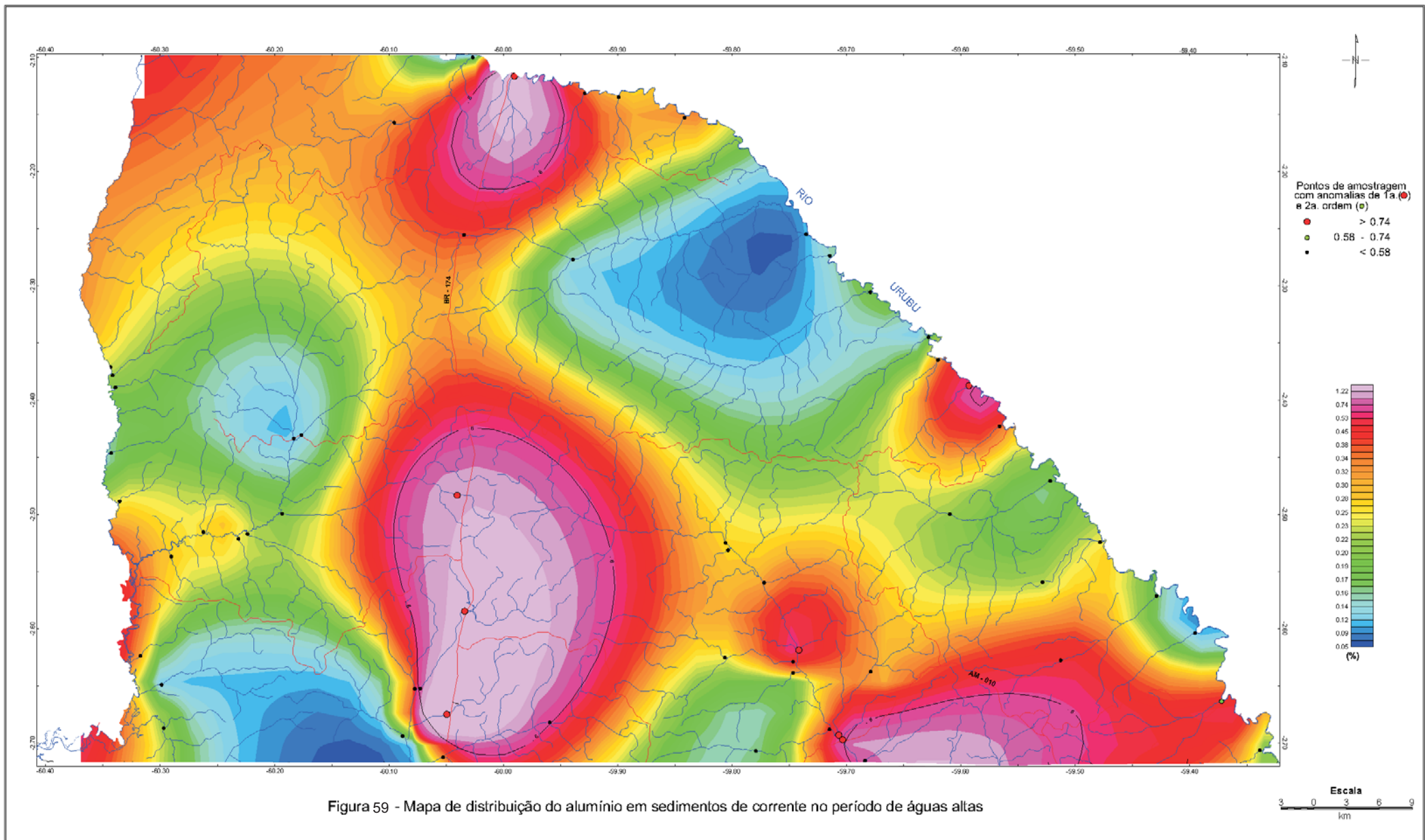
3. Nos dois períodos, não há diferenças significativas entre os teores encontrados nos pontos 12 e 14, no igarapé do Cândido, respectivamente a jusante e a montante dos balneários situados próximos à zona urbana de Rio Preto da Eva, o que indica que a qualidade de seus sedimentos de fundo, a exemplo da qualidade de suas águas, ainda não está afetada pela frequência dos balneários (Tabelas 11 e 14).

4. Com águas baixas, os maiores teores de Mo (3,3 ppm) e Pb (22 ppm), além de anomalias de Cr, V e Zn, foram detectados no igarapé Preguiça (ponto 61), afluente do rio Tarumã-Açu. Com águas altas, esse mesmo ponto registra os maiores teores de Al (3,4%) e de V (20 ppm). Em

ambos os períodos, os igarapés Guaraná e Asframa (pontos 21 e 36) apresentaram valores elevados de Al, Fe e V (Tabelas 11 e 14 e Figuras 51, 52, 59 e 60). Como esses três igarapés são cortados pela rodovia BR-174, e os pontos de coleta situam-se logo a jusante dessa importante via de acesso, os teores anômalos devem estar associados a material argiloso carregado das margens desmatadas da BR-174, com provável contribuição antrópica.

5. Os teores de quase todos os metais pesados (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Ti e Zn) nos sedimentos do igarapé Urubuí a jusante da cidade de Presidente Figueiredo (ponto 41) são maiores que os do ponto 64, no mesmo igarapé a montante daquela cidade (Tabela 14). Esse fato sinaliza, do mesmo modo que as concentrações de Na, Cl e Fe nas águas no ponto 41 (ver item 5.2.5), a influência antrópica da cidade na degradação química desse ambiente fluvial.

6. Um fato notável é o decréscimo generalizado de As no período de águas altas (todos os pontos com teores abaixo do LD - Tabela 14). É uma questão que merece ser mais bem estudada, por meio de uma amostragem de maior detalhe.



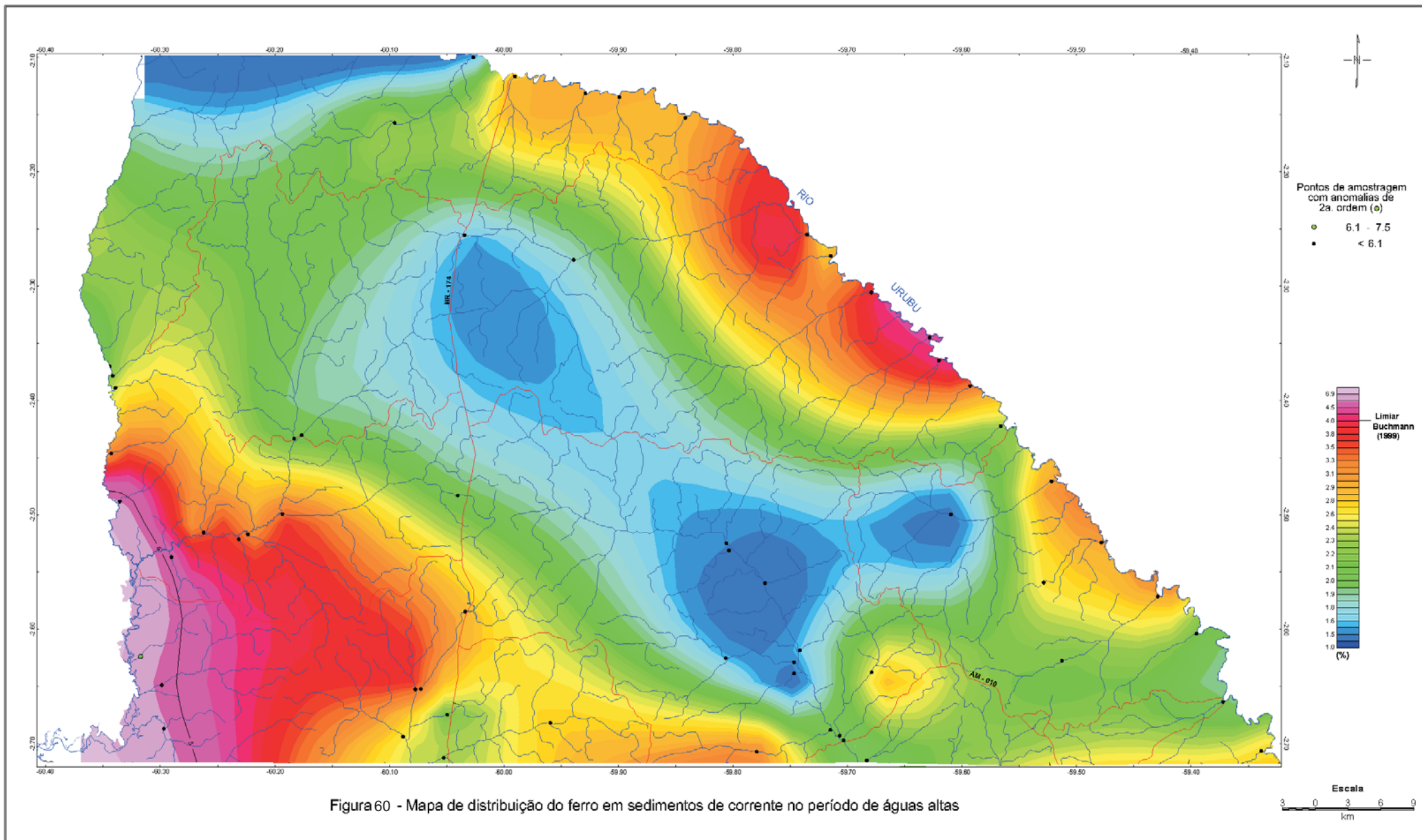


Figura60 - Mapa de distribuição do ferro em sedimentos de corrente no período de águas altas

5.3.3 Variação sazonal dos elementos químicos presentes nos sedimentos

Inicialmente, para o estudo da variação sazonal dos teores dos elementos nos sedimentos de fundo foram selecionados aqueles cujas análises químicas mostraram resultados, nas duas campanhas, com a maior parte dos valores acima de seus limites de detecção: Fe, Al, Ti, Zr, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Ba e Y. Foi feita uma comparação entre as médias e as amplitudes dos teores desses elementos, separadas por tipo de ambiente, nos dois períodos de amostragem (Tabela 17).

Elementos	Média dos Teores*				Amplitude dos Teores*			
	Amb. Naturais		Amb. Infl. Antrópica		Amb. Naturais		Amb. Infl. Antrópica	
	AB	AA	AB	AA	AB	AA	AB	AA
Fe	0,87	3,27	1,13	2,62	0,52 – 1,70	1,0 – 6,7	0,54 – 2,60	1,30 – 7,60
Al	0,25	0,26	0,54	0,58	0,10 – 0,60	0,08 – 0,96	0,13 – 2,10	0,07 – 3,40
Ti	0,03	0,11	0,02	0,09	< LD – 0,06	0,03 – 0,27	< LD – 0,08	0,03 – 0,26
Zr	15	79	17	70	7 – 33	18 – 303	4 – 96	12 – 372
Cr	8,4	43,1	10,9	36,6	4,6 – 17,0	11,0 – 117,0	4,5 – 24,0	12,0 – 153,0
Cu	2,2	36,2	2,5	27,6	1,4 – 4,4	8,0 – 97,0	1,2 – 5,3	10,0 – 113,0
Ni	7,1	23,4	7,8	18,7	3,5 – 22,0	9,0 – 53,0	3,7 – 17,0	10,0 – 56,0
Pb	5,4	9,4	6,8	8,7	< LD – 18,0	4,2 – 21,0	< LD – 22,0	3,9 – 20,0
V	2,9	3,3	6,2	4,9	< LD – 6,7	< LD – 8,2	< LD – 25,0	< LD – 20,0
Ba	3,9	2,3	5,8	2,2	1,7 – 9,2	< LD – 12,0	1,1 – 17,0	< LD – 15,0
Y	1,9	3,5	2,2	3,9	1,0 – 3,5	1,6 – 7,3	< LD – 8,4	1,2 – 16,0

* Fe, Al e Ti em %, os demais em ppm. AB – Águas Baixas; AA – Águas Altas.

Tabela 17 - Comparação entre as médias e as amplitudes dos teores dos elementos detectados nos sedimentos de corrente nas duas campanhas.

Com exceção do Al, V e Ba, os demais elementos, nos dois ambientes, mostram significativas elevações de seus teores médios e máximos no período de águas altas (Tabela 17), como já discutido no item anterior. A aplicação do software *Statistica* 6.0, nos módulos teste t ou testes não-paramétricos (*Mann-Whitney U test*), com objetivo de comparar os resultados obtidos nas duas campanhas, confirma que para Fe, Ti, Zr, Cr, Cu, Ni, Pb e Y, independente do tipo de ambiente, as médias de seus teores (conjunto de valores) são *estatisticamente* diferentes, ou seja há clara influência do nível das águas fluviais nos teores desses elementos nos sedimentos de corrente (Figuras 61 a 64).

O Al e o V, par de elementos com forte associação geoquímica, apresentam nos ambientes naturais uma sutil elevação de seus teores médios com águas altas; já nos ambientes sob influência antrópica, enquanto o Al mantém a mesma tendência, o V mostra um comportamento distinto: seu teor médio é algo mais elevado nas águas baixas (Tabela 17). Porém, quando se aplica o teste t para comparar os resultados, verifica-se que, para cada um desses elementos, independente do tipo de ambiente, as médias amostrais são *estatisticamente* iguais nas duas campanhas, o que indica que a variação sazonal das águas tem muito pouca influência na distribuição dos teores de Al e V nos sedimentos de fundo (Figuras 65 e 66).

O Ba é o único elemento que apresenta redução do teor médio nos sedimentos no período de águas altas tanto nos ambientes naturais como nos antrópicos (Tabela 17) e, de fato, com auxílio do teste t, comprova-se que suas médias amostrais são *estatisticamente* distintas (Figura 67). Assim, apesar do Ba ser considerado um metal pesado tóxico, seu comportamento geoquímico nos sedimentos estudados o diferencia do Cr, Cu, Ni e Pb, que mostram elevação de teor nas águas altas.

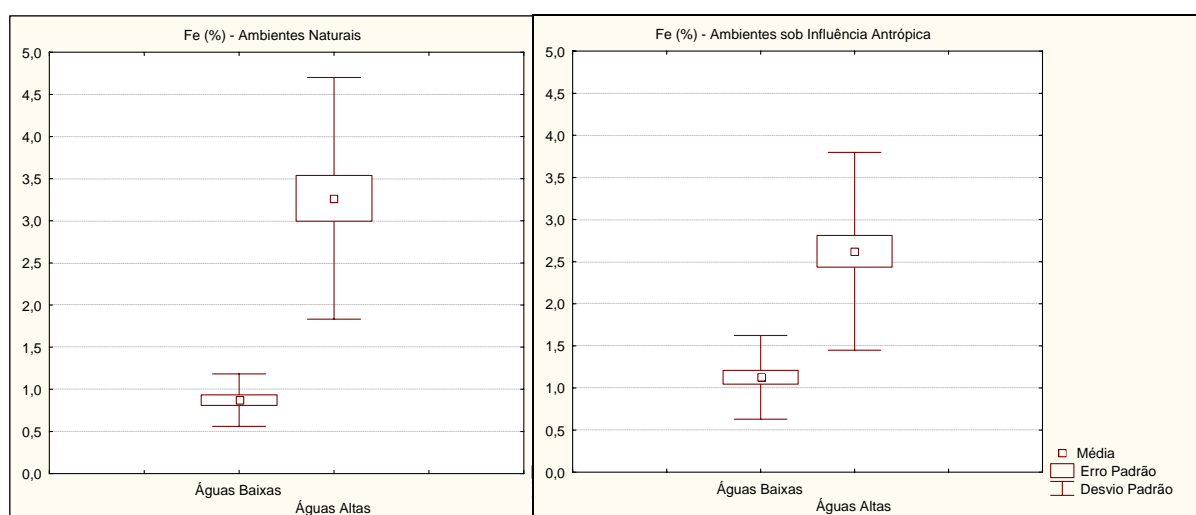


Figura 61 - Variação dos teores de Fe nos sedimentos de corrente, para cada tipo de ambiente de amostragem, de acordo com o período hidrológico.

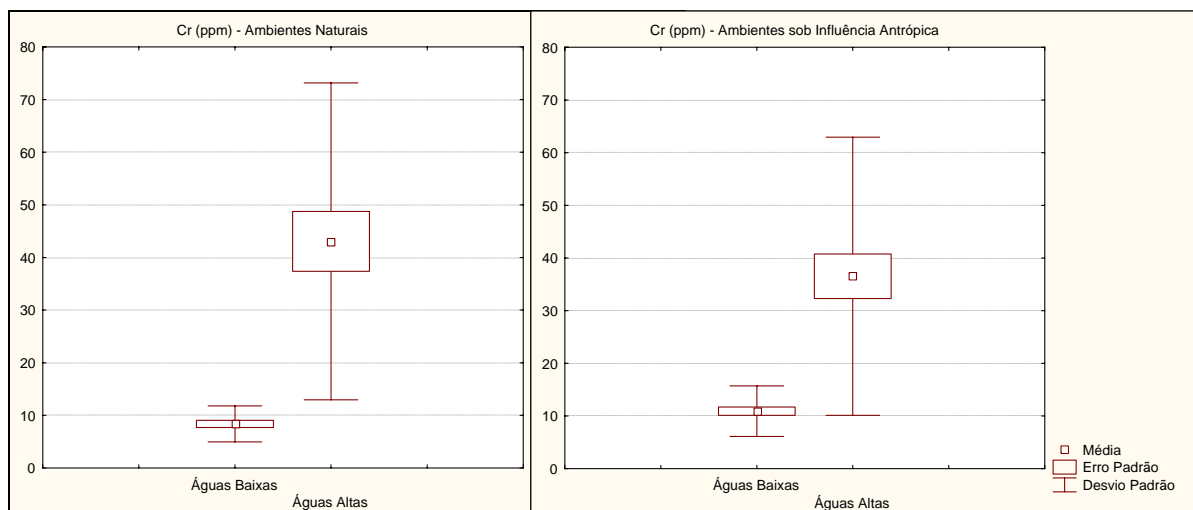


Figura 62 - Variação dos teores de Cr nos sedimentos de corrente, para cada tipo de ambiente de amostragem, de acordo com o período hidrológico.

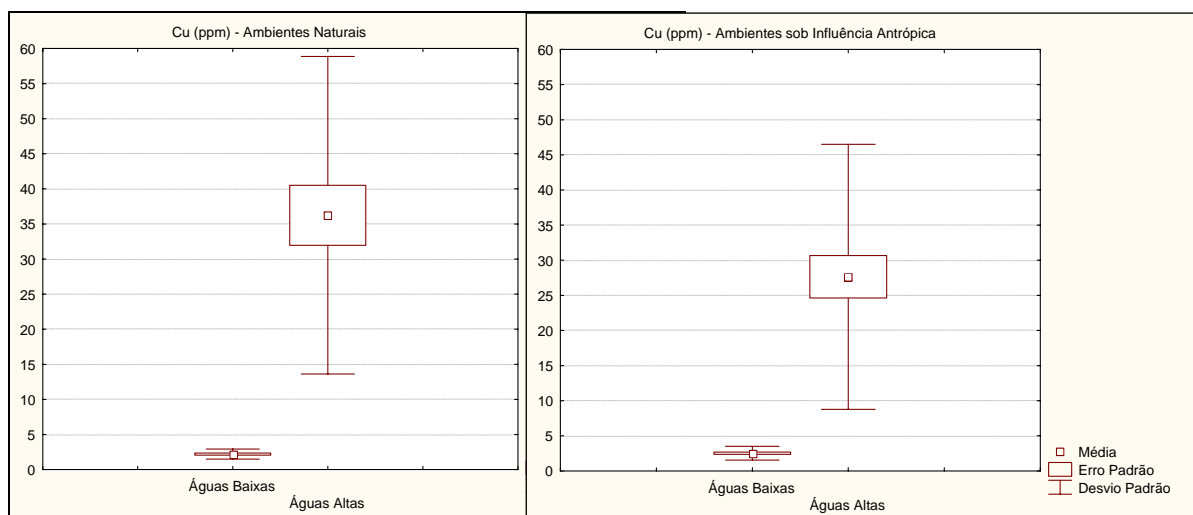


Figura 63 - Variação dos teores de Cu nos sedimentos de corrente, para cada tipo de ambiente de amostragem, de acordo com o período hidrológico.

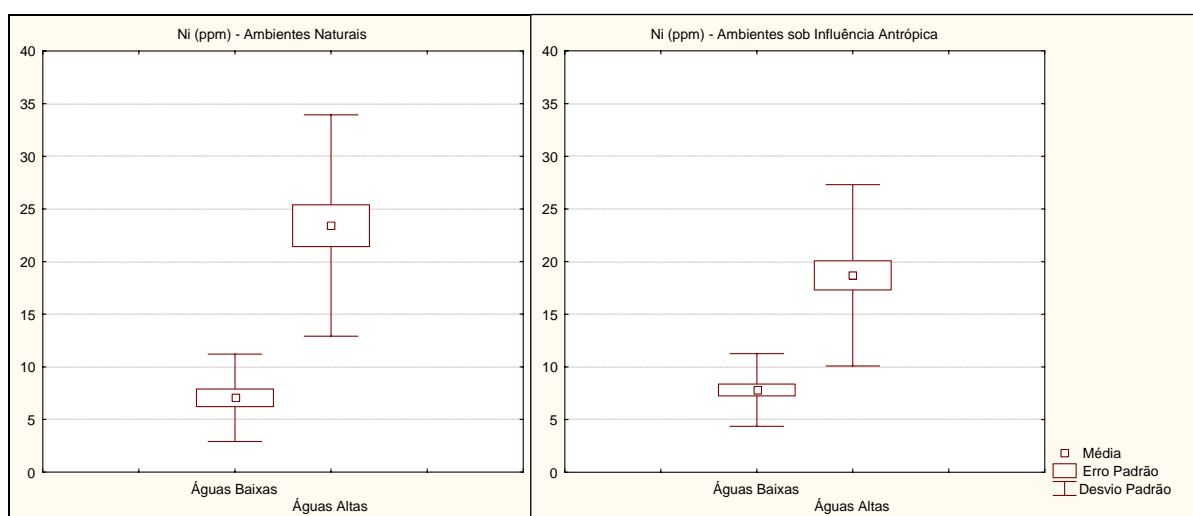


Figura 64 - Variação dos teores de Ni nos sedimentos de corrente, para cada tipo de ambiente de amostragem, de acordo com o período hidrológico.

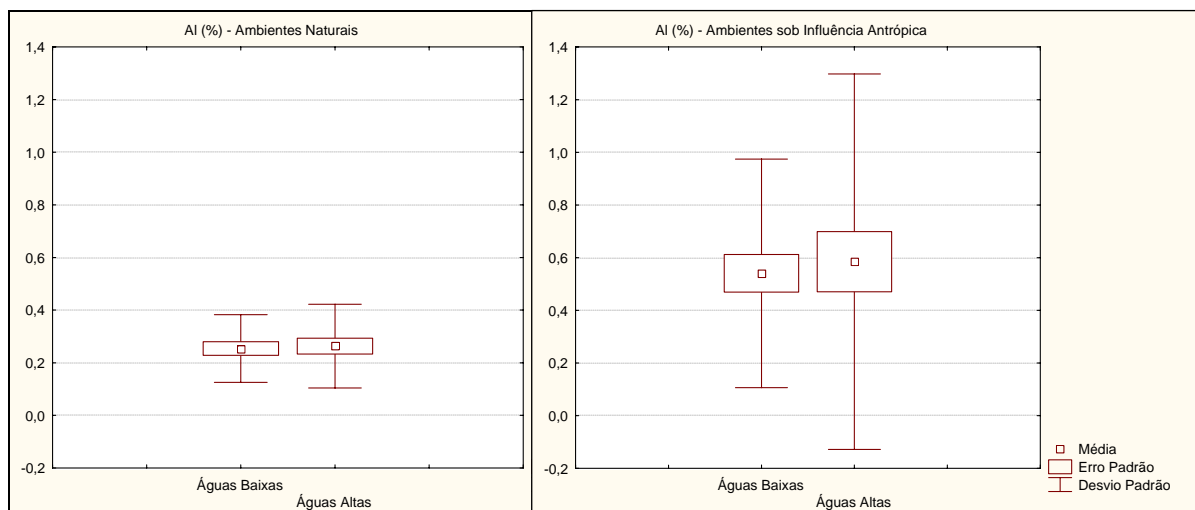


Figura 65 - Variação dos teores de Al nos sedimentos de corrente, para cada tipo de ambiente de amostragem, de acordo com o período hidrológico.

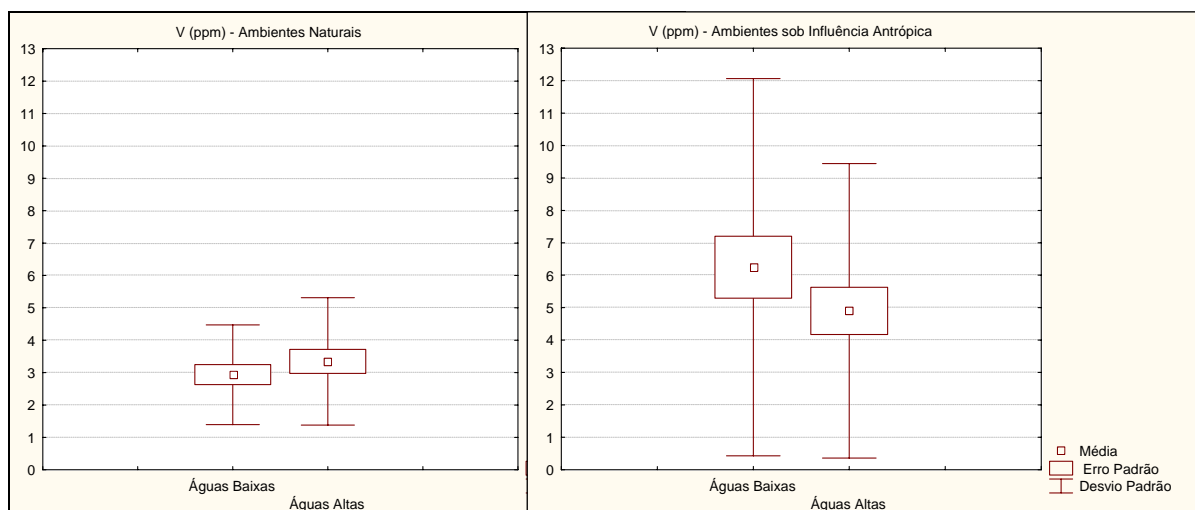


Figura 66 - Variação dos teores de V nos sedimentos de corrente, para cada tipo de ambiente de amostragem, de acordo com o período hidrológico.

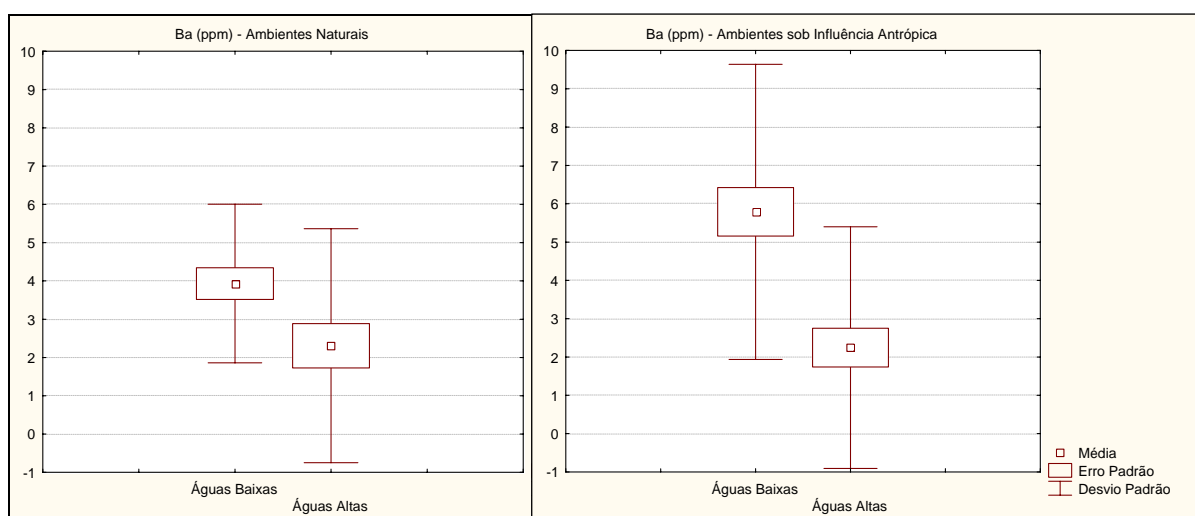


Figura 67 - Variação dos teores de Ba nos sedimentos de corrente, para cada tipo de ambiente de amostragem, de acordo com o período hidrológico.

Apesar do comportamento geral dos elementos acima descrito, deve-se ressaltar que, além da variação sazonal regida por fatores naturais, há o componente antrópico, que é aleatório, não segue nenhum padrão, e poderia explicar, por exemplo, o comportamento diferenciado do V, cuja variação sazonal nos teores médios muda de acordo com o tipo de ambiente considerado (Figura 66).

Outra comparação que pode ser feita, com enfoque de sazonalidade, diz respeito à distribuição dos metais pesados por ambiente e por bacia. Assim, quando se analisa a Figura 68 (integração das figuras 49 e 57), podem ser tecidos os seguintes comentários:

- independente do ambiente de amostragem dos sedimentos, há destacada elevação dos teores no período de águas altas nas bacias dos rios Urubu, Tarumã-Açu e, principalmente, Cuieiras. Na bacia do rio Preto da Eva essa tendência também é observada, mas de modo pouco acentuado nos ambientes naturais. Isso indica que a distribuição dos metais pesados nos sedimentos de corrente da região é fortemente controlada pelo nível das águas fluviais e, conforme hipótese já sugerida, pela variação no volume de matéria orgânica depositada nos canais;

- A bacia do rio Preto da Eva é a única em que, nas duas campanhas, o conteúdo metálico é maior nos sedimentos coletados em ambientes sob influência antrópica, o que reforça a hipótese de que esta seja a bacia mais impactada.

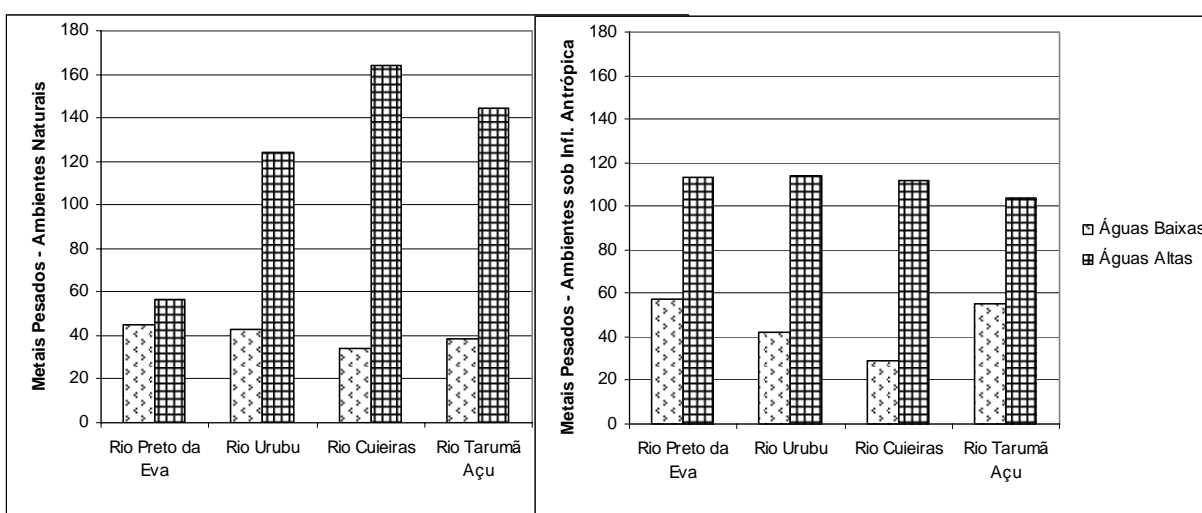


Figura 68 - Teores médios (ppm) dos metais pesados nos sedimentos de corrente, por tipo de ambiente de amostragem, por bacia hidrográfica e por período hidrológico.

As variações na distribuição espacial do Fe do Al, principais elementos detectados nos sedimentos fluviais da área de estudo, podem ser visualizadas quando se confrontam, por período hidrológico, os respectivos mapas geoquímicos (Figuras 51, 52, 59 e 60).

O Al apresenta muito pouca alteração em sua distribuição espacial com a mudança do nível das águas. As zonas de teores mais elevados concentram-se na porção sul (cabeceiras dos rios Tarumã-Açu e Preto da Eva), região portadora de arenitos ricos em caulim, e sudeste (bacia do rio Preto da Eva), enquanto que os halos de maior depleção encontram-se no sudoeste, na bacia do rio Cuieiras (Figuras 51 e 59).

O Fe, que mostra forte afinidade geoquímica com Ni e Cr, apresenta, de acordo com o período de amostragem, variações marcantes na distribuição espacial. A única zona de maior concentração comum às duas campanhas situa-se no extremo sudoeste, na bacia do rio Cuieiras (Figuras 52 e 60).

5.3.4 Comparação com valores de referência para sedimentos

Para comparações com valores de referência preconizados pela legislação procurou-se investigar, a partir dos resultados analíticos, o comportamento regional dos elementos considerados mais tóxicos aos seres humanos e animais - Ag, As, Ba, Cd, Hg e Pb, os chamados *contaminantes*, e dos micronutrientes essenciais, indispensáveis ao metabolismo da maior parte dos seres vivos, mas tóxicos quando assimilados em quantidades excessivas: Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, V, Se e Zn.

Para qualificar os sedimentos analisados foram tomados como parâmetros os valores máximos estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 344/2004 (BRASIL, 2004) e, para elementos não contemplados por ela, pelos trabalhos elaborados por Buchmann (1999) e por Ingersoll et al. (2000), dispostos no Quadro 9, o qual também apresenta as amplitudes dos teores detectados neste estudo.

A Resolução CONAMA 344/2004 merece um comentário a parte. Ela está fundamentada em estudos desenvolvidos por órgão ambiental do Canadá (CEQG - Canadian Environmental Quality Guidelines, 1999) e estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação de material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras. Os estudos canadenses definiram, para sedimentos de água doce, valores de referência com base em resultados de testes de toxicidade realizados com a comunidade bentônica (ensaios ecotoxicológicos). Esses valores, mínimo e máximo, são denominados TEL – Threshold Effect Level, teor abaixo do qual efeitos adversos na biota raramente ocorrem, e PEL – Probable Effect Level, teor acima do qual efeitos adversos são freqüentes na biota, e foram incorporados pela Resolução CONAMA 344/2004 com a qualificação de nível 1 e nível 2 respectivamente.

Os elementos químicos (contaminantes ou essenciais) estão preferencialmente associados com as frações mais finas dos sedimentos e com a matéria orgânica, em ligações fracas superficiais (adsorção). O risco de contaminação da biota está relacionado justamente

com essa parte dos metais fracamente ligada, chamada biodisponível. Para este estudo, o ataque ácido utilizado para a “abertura” dos sedimentos (água régia - 3HCl + 1HNO₃) visava justamente à liberação dessa porção biodisponível dos elementos, contida preferencialmente nas frações mais finas. A Resolução CONAMA 344/2004 determina que “a metodologia analítica para a extração dos metais das amostras consistirá em ataque com ácido nítrico concentrado...”, diferente do ocorrido nas análises realizadas para este trabalho. Além disso, a Resolução não especifica a fração granulométrica a ser utilizada nos ensaios com as amostras de estudo; por tais motivos seus valores de referência são considerados com bastante parcimônia.

Elementos	Ingersoll et al. (2000)	Buchmann (1999)	CONAMA 344/2004 (nível 1 – nível 2)	Teores neste estudo	
				AN	AA
Ag		4,5		< 1	< 1
As	33	17	5,9 – 17,0	< 5 - 28	< 5 - 34
Ba		48		< 1 - 12	< 1 - 17
Cd	5	3	0,6 – 3,5	< 1 - 11	< 1 - 13
Co		10		< 3 - 9	< 3 - 13
Cr	111	90	37,3 – 90,0	5 - 117	5 - 153
Cu	149	86	35,7 – 197,0	1 - 97	1 - 113
Fe		4		0,5 – 6,7	0,5 – 7,6
Hg	1,1	0,5	0,17 – 0,49	< 0,05	< 0,05
Mn		0,11		< 0,01 – 0,07	< 0,01 – 0,15
Ni	49	36	18,0 – 35,9	4 - 53	4 - 56
Pb	128	91	35,0 – 91,3	< 3 - 21	< 3 - 22
Se		1		< 1	< 1
V		57		< 3 - 8	< 3 - 25
Zn	459	315	123 – 315	< 1 - 24	< 1 - 16

Fe e Mn em %, os demais em ppm. AN – Ambientes Naturais, AA – Ambientes sob Influência Antrópica

Quadro 9 - Valores de referência para qualificação de sedimentos contaminados e amplitude de teores encontrados nos sedimentos analisados para este estudo.

Todas as amostras de sedimentos registraram teores de Ag, Hg e Se sempre abaixo de seus LDs, os quais são inferiores aos valores de referência apresentados. De modo similar, os teores máximos obtidos para Ba, Pb, Zn e V estão muito aquém dos limiares de risco definidos, não ensejando nenhuma preocupação imediata (Quadro 9).

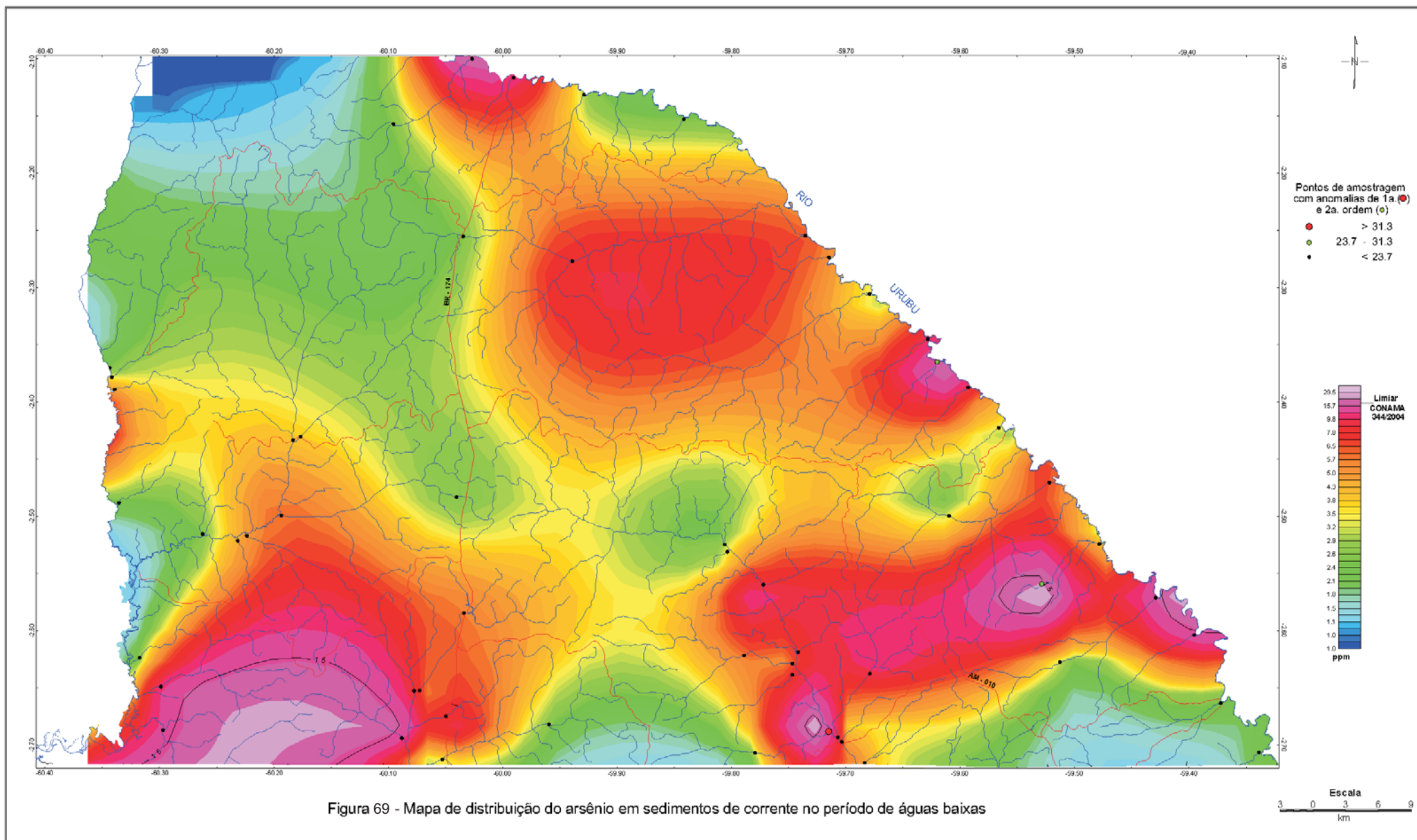
Apenas uma amostra, coletada no igarapé Paraíba (ponto 09), revelou valor de Mn (0,15%) acima do limiar proposto por Buchmann (1999), que é de 0,11% (Quadro 9). Sobre esse igarapé já foram tecidos comentários no item 5.3.2, onde se destaca a ocupação antrópica de suas margens e os sinais de degradação química em suas águas e sedimentos.

Os conteúdos de Cu nos sedimentos analisados estão muito abaixo dos limiares máximos. Porém, duas dezenas de amostras apresentaram teores desse metal acima do nível 1 (limiar inferior de risco) definido pela Resolução CONAMA 344/2004 (Tabela 14 e Quadro 9). Como a maior parte dessas amostras corresponde a ambientes preservados, algumas inclusive com teor acima do NRGG (Quadro 8), é válido supor que a contribuição antrópica em Cu é muito restrita na região.

Com relação ao As, seis pontos revelaram teores desse elemento bem acima do limiar superior de risco (Tabela 11 e Quadro 9). Caso se aplique fielmente a Resolução CONAMA 344/2004, esse material deveria ser considerado como contaminado. Entretanto, três desses pontos correspondem a ambientes preservados, o que leva a crer que parte da região apresenta naturalmente, em sedimentos fluviais, um *background* mais elevado para As (Figura 69). Lembra-se que o NRGG para As é de 13 ppm e as amostras coletadas nos pontos 18 e 29 (ambientes naturais) contêm, respectivamente, 28 e 25 ppm (Tabela 11).

Inúmeras amostras coletadas com águas altas registraram teores de Fe, Cd, Cr e Ni acima dos limiares de risco, com destaque para os igarapés Sucuriçu, Campina, Cachoeira e Água Verde, os três últimos representantes de ambientes naturais (Tabela 14, Quadro 9 e Figuras 60, 70 e 71). Todavia, a eventual “contaminação” desses sedimentos deve-se, muito provavelmente, a fatores naturais de caráter regional, isto é, à elevação dos conteúdos de matéria orgânica no fundo dos igarapés associada com a elevação do nível das águas, conforme já discutido.

O Co apresenta-se em uma única amostra, coletada no igarapé Sucuriçu (ponto 10) em águas altas, com teor (13 ppm) acima do limiar de risco proposto por Buchmann (1999), que é de 10 ppm (Quadro 9). Este metal acompanha, nos sedimentos, o comportamento geoquímico do Fe, Cd, Cr e Ni, sendo influenciado pelas mesmas variações naturais que os afetam.



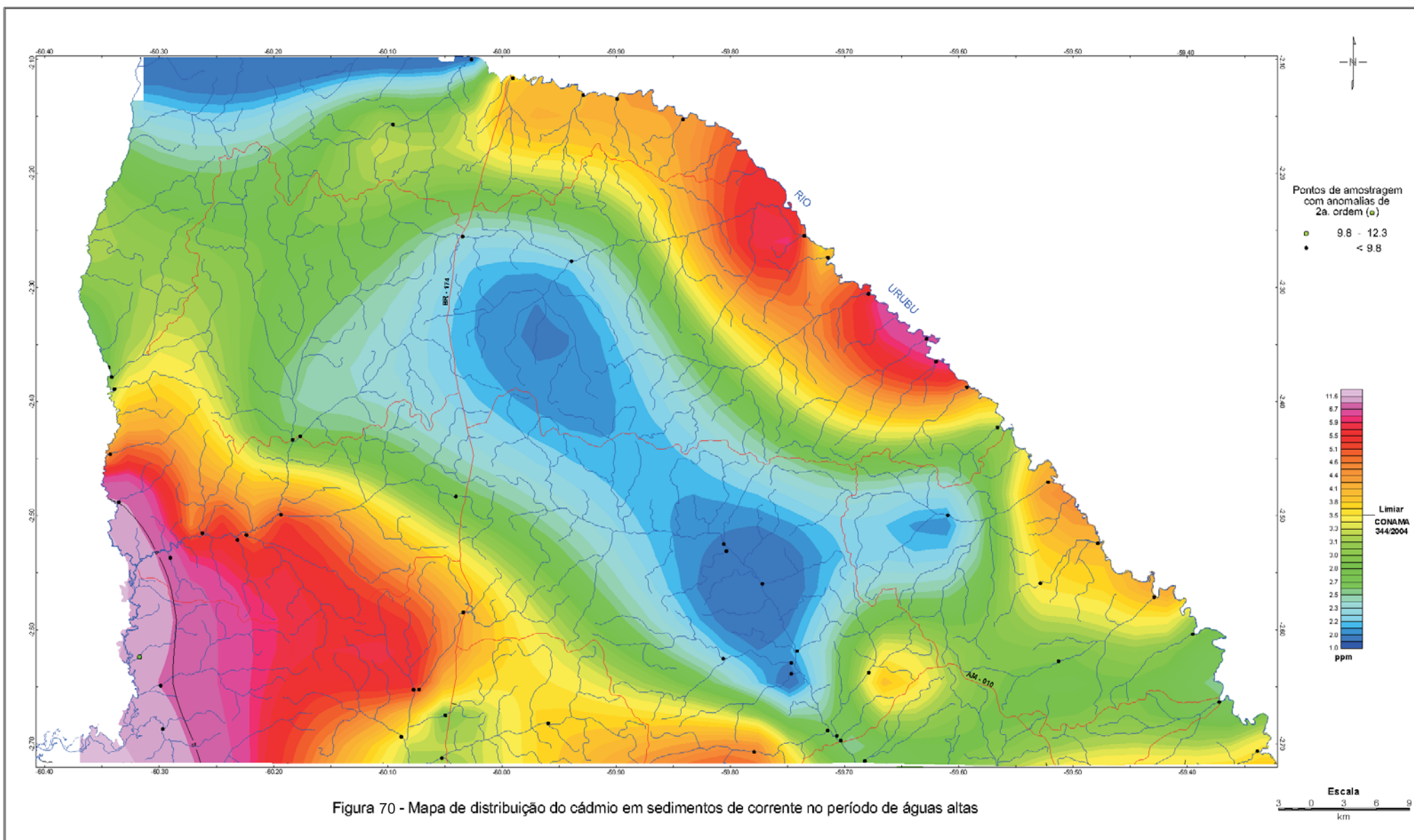
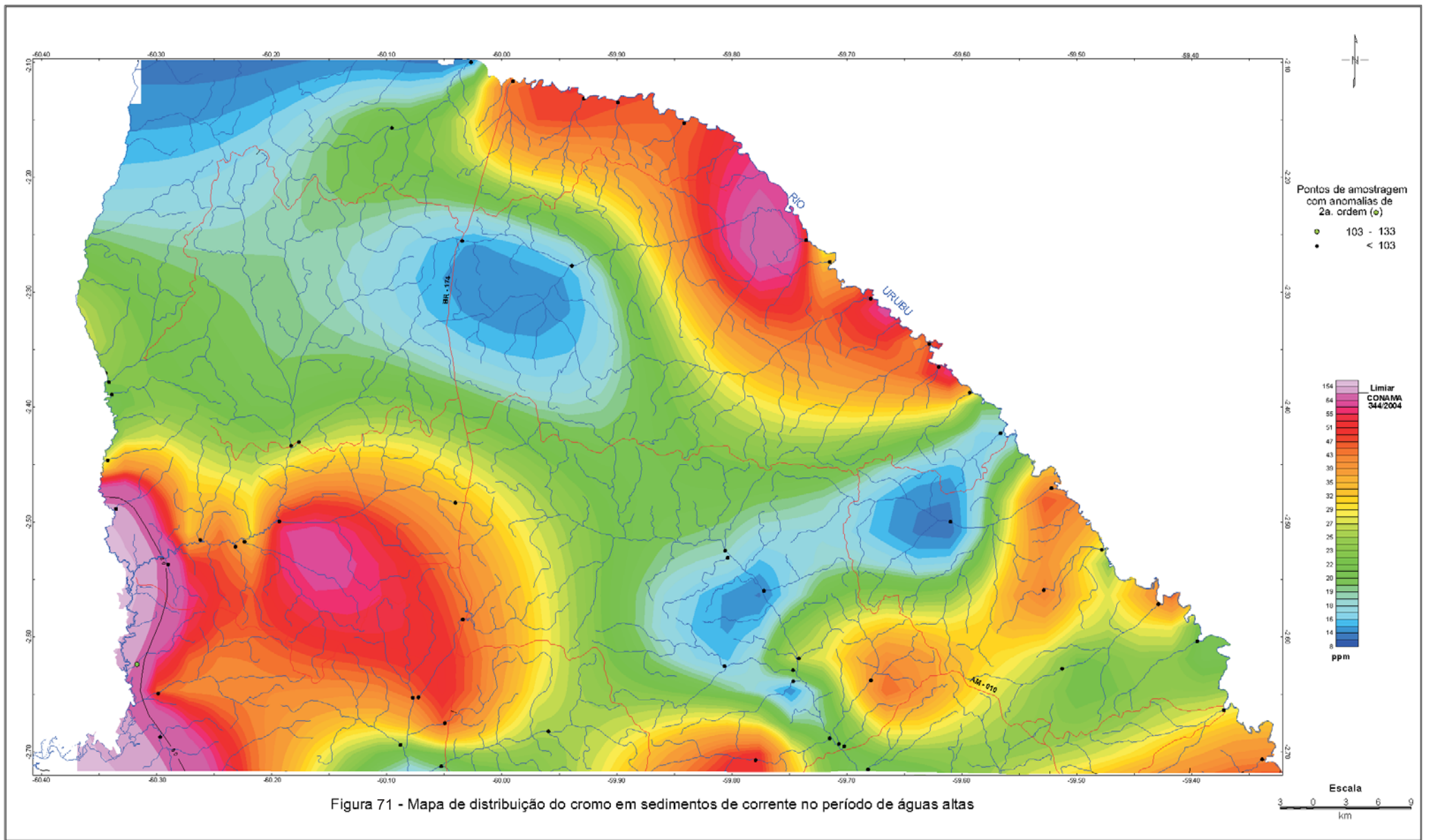


Figura 70 - Mapa de distribuição do cádmio em sedimentos de corrente no período de águas altas



6 NÍVEIS DE DEGRADAÇÃO/CONTAMINAÇÃO

Com o emprego do modelo proposto por Hakanson (1980 apud NASCIMENTO, 2003, p.48) é possível estimar, comparativamente, o nível de degradação e/ou contaminação de cada uma das bacias estudadas, com base nos teores dos metais pesados nos sedimentos amostrados. Segundo tal modelo, define-se um Fator de Contaminação (F_C) para cada elemento (metal pesado ou contaminante) e um Grau de Contaminação total (G_C), representado pela somatória de todos os F_C , conforme expresso abaixo:

$$F_C = \frac{T_A}{T_N} \quad \text{e} \quad G_C = \sum F_C, \text{ onde:}$$

T_A é o teor médio de um determinado metal nas amostras coletadas em ambientes com influência antrópica; e

T_N é o teor de referência (*background*), ou seja, o teor médio do metal nas amostras coletadas em ambientes naturais.

A seguinte terminologia é utilizada para classificar os fatores e graus de contaminação:

$F_C < 1$: baixo a nulo

$1 \leq F_C < 3$: moderado

$3 \leq F_C < 6$: considerável

$F_C \geq 6$: alto

$G_C < N$: baixo a nulo

$N \leq G_C < 3N$: moderado

$3N \leq G_C < 6N$: considerável

$G_C \geq 6N$: alto, sendo

N = quantidade de elementos (metais pesados) considerados.

No período de águas baixas são sete os elementos que apresentaram na maior parte dos pontos de amostragem teores acima do LD e, por isso, foram considerados nos cálculos - As, Ba, Cr, Cu, Ni, Pb e V. A Tabela 18 mostra os valores de T_N , T_A , F_C e G_C obtidos para cada bacia. Ressalta-se que, tendo em vista a uniformidade geológica da área de estudo, e visando a obtenção de um *background* mais representativo, os teores de referência, para cada elemento, são comuns às quatro bacias (Tabela 12).

Bacias		Rio Preto da Eva	Rio Urubu	Rio Cuieiras	Rio Tarumã-Açu
As	T _N	8,5			
	T _A	7,0	6,3	4,5	7,6
	F _C	0,8	0,7	0,5	0,9
Ba	T _N	3,9			
	T _A	7,1	5,4	2,4	6,6
	F _C	1,8	1,4	0,6	1,7
Cr	T _N	8,4			
	T _A	13,6	9,6	6,6	12,1
	F _C	1,6	1,1	0,8	1,4
Cu	T _N	2,2			
	T _A	3,1	2,4	1,5	2,3
	F _C	1,4	1,1	0,7	1,0
Ni	T _N	7,1			
	T _A	9,9	7,2	4,8	7,1
	F _C	1,4	1,0	0,7	1,0
Pb	T _N	5,4			
	T _A	7,3	5,5	6,2	9,8
	F _C	1,4	1,0	1,1	1,8
V	T _N	2,9			
	T _A	8,2	4,9	2,7	8,6
	F _C	2,8	1,7	0,9	3,0
G_C (Σ F_C)		11,2	8,0	5,3	10,8

Tabela 18 - Teores de referência (T_N), teor médio de metais pesados nos sedimentos de ambientes com influência antrópica (T_A), ambos em ppm, fatores (F_C) e grau (G_C) de contaminação em cada bacia hidrográfica no período de águas baixas.

Com águas baixas, os dados confirmam que a bacia do rio Preto da Eva, a que apresenta a mais intensa e extensa ocupação antrópica e onde se desenvolve a maior parte das atividades econômicas da área estudada, é a que se mostra mais degradada/contaminada (G_C= 11,2), seguida pela do rio Tarumã-Açu (Tabela 18). A bacia do rio Cuieiras, aquela com mais baixa ocupação, principalmente pelas dificuldades de acesso ao seu interior, é a menos impactada, com grau de contaminação, segundo o modelo utilizado, de baixo a nulo. Quando se faz uma análise por elemento, observa-se que o As é o único que apresenta, em todas as bacias, F_C < 1,0, ou seja, provavelmente não há aportes antrópicos desse metal pesado nos sedimentos das drenagens amostradas (Tabela 18).

Nas águas altas foram dez os metais pesados considerados para os cálculos: Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, V e Zn. A Tabela 19 mostra os valores de T_N, T_A, F_C e G_C obtidos

para cada bacia no período. Os valores de referência, comuns às quatro bacias, são aqueles apresentados na Tabela 15.

Bacias		Rio Preto da Eva	Rio Urubu	Rio Cuieiras	Rio Tarumã-Açu
Ba	T _N	2,3			
	T _A	1,2	2,8	1,1	4,7
	F _C	0,5	1,2	0,5	2,0
Cd	T _N	4,8			
	T _A	3,7	3,7	3,4	3,7
	F _C	0,8	0,8	0,7	0,8
Co	T _N	5,0			
	T _A	3,9	4,0	3,6	3,3
	F _C	0,8	0,8	0,7	0,7
Cr	T _N	43,0			
	T _A	38,0	37,0	38,0	32,0
	F _C	0,9	0,9	0,9	0,7
Cu	T _N	36,0			
	T _A	28,0	28,0	29,0	24,0
	F _C	0,8	0,8	0,8	0,7
Mo	T _N	2,1			
	T _A	1,4	1,8	1,9	1,6
	F _C	0,7	0,9	0,9	0,8
Ni	T _N	23,0			
	T _A	19,0	19,0	19,0	18,0
	F _C	0,8	0,8	0,8	0,8
Pb	T _N	9,4			
	T _A	9,6	8,9	6,8	7,0
	F _C	1,0	0,9	0,7	0,7
V	T _N	3,3			
	T _A	5,4	4,2	3,5	7,5
	F _C	1,6	1,3	1,1	2,3
Zn	T _N	5,6			
	T _A	4,8	4,6	6,5	3,6
	F _C	0,9	0,8	1,2	0,6
G_C (Σ F_C)		8,8	9,2	8,3	10,1

Tabela 19 - Teores de referência (T_N), teor médio de metais pesados nos sedimentos de ambientes com influência antrópica (T_A), ambos em ppm, fatores (F_C) e graus (G_C) de contaminação em cada bacia hidrográfica no período de águas altas.

Nas águas altas, o valor de F_C para os metais Cd, Co, Cr, Cu, Mo e Ni é sempre menor que 1,0 e varia muito pouco de bacia para bacia, o que sugere que a contribuição antrópica para esses elementos, se existir, é pouco significativa. Também se nota que o V é o único elemento que apresenta, em todas as bacias, F_C acima de 1,0, ou seja, sugestivo de contaminação (Tabela 19).

Quando se comparam os dois períodos, observa-se que nas águas altas os contrastes nos graus de contaminação, por bacia, não são tão marcantes como os verificados com os resultados de águas baixas (Figura 72). Com águas altas, a bacia que se apresenta mais degradada é a do rio Tarumã-Açu ($G_C = 10,1$), em função dos valores maiores de F_C para Ba e V, situando-se no limite inferior do grau moderado, enquanto a bacia do rio Cuieiras, a exemplo do ocorrido com águas baixas, é a menos impactada (Figura 72). De qualquer modo, nos dois períodos, segundo a classificação proposta, todas as bacias revelam baixos graus de contaminação/degradação, como era de se esperar, em virtude da baixa intensidade das atividades econômicas praticadas na região.

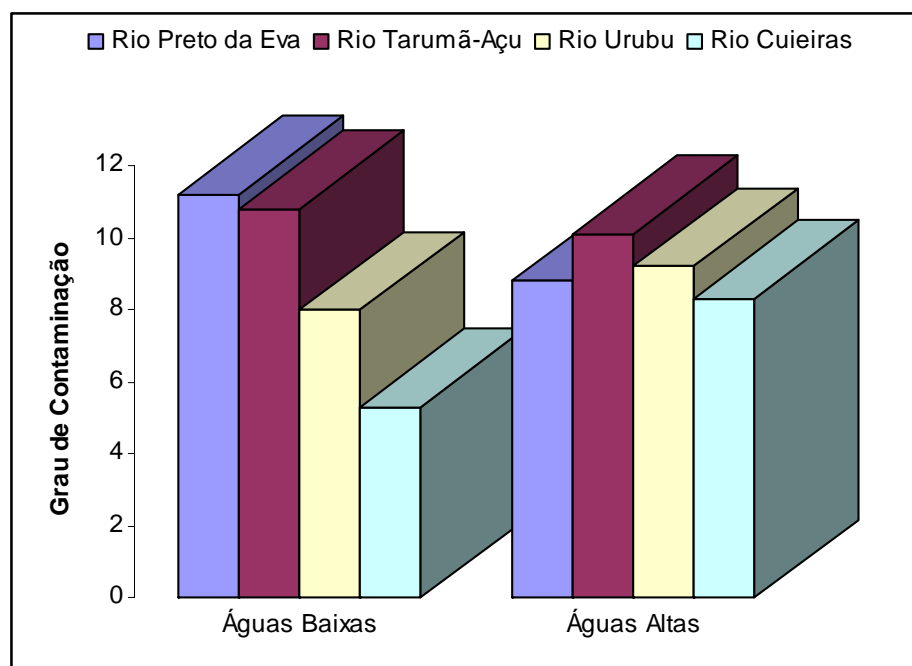


Figura 72 - Graus de contaminação, por bacia hidrográfica, nos dois períodos de amostragem

7 ANÁLISE MULTIVARIADA

Para a busca de padrões de similaridade entre os pontos de amostragem (denominados objetos) a técnica multivariada utilizada foi a de Análise de Correspondência. Ressalta-se que, na montagem da matriz, foram excluídos dos descritores (resultados das análises químicas) os parâmetros que não foram determinados em todos os pontos: as concentrações de Na, K e Cl nas amostras de águas superficiais; as concentrações de Ba e Ca no período de águas altas.

Após a montagem da matriz de dados, a aplicação do módulo Análise de Correspondência do *software Statistica 6.0* resultou no gráfico exposto na Figura 73, onde, quanto mais próximos os pontos, maiores são suas similaridades. Assim, nesse gráfico, é possível definir dois grupos:

- o primeiro, delimitado pelo polígono marcado com o número 1, inclui a maior parte dos pontos representantes de ambiente sob influência antrópica, o que sugere uma tendência desse tipo de ambiente se concentrar no setor esquerdo do gráfico. Abrange locais correspondentes às quatro bacias hidrográficas, ou seja, há homogeneidade nesse aspecto - não é possível diferenciar, com padrões de similaridade, os ambientes antropizados por bacia;
- o segundo grupo, mais refinado, delimitado pelo polígono número 2, representa exclusivamente pontos de ambiente natural na bacia do rio Cuieiras, a mais preservada, isto é, verifica-se uma tendência desses locais em se concentrar na região central do gráfico;
- os demais pontos estão dispersos, não sendo possível observar um padrão definido que permitisse a configuração de outro agrupamento.

Com objetivo de conhecer os principais parâmetros que conduziram à definição desses dois grupos foi elaborado também, por meio de Análise de Correspondência, o gráfico dos resultados das análises químicas (gráfico dos descritores - Figura 74), que, comparado com o gráfico dos pontos de amostragem (Figura 73), permite a interpretação abaixo:

- para a formação do grupo 1 contribuíram mais fortemente os seguintes parâmetros: Al, Ba, Pb, V e Zn em sedimentos com águas baixas; B, Ba, Ca, Mg e Fe nas águas superficiais no período de águas baixas e concentração de Fe com águas altas. Isso reforça a hipótese, já apresentada, de que no período de águas baixas os contrastes entre os dois tipos de ambientes amostrados são mais marcantes;

- para o grupo 2 os parâmetros mais significativos são os valores de Ni, Fe, Cd, Cr, Cu, Pb, Co, Mn e Mo em sedimentos com águas altas. Como observado anteriormente (Figura 57), a bacia do rio Cuieiras é a que registrou, no período de águas altas, o maior teor médio de metais pesados em sedimentos de ambientes naturais.

A Figura 74 também mostra claramente a diferenciação entre os teores de metais nos sedimentos coletados com águas altas (descritores concentrados na região central do gráfico – elipse com linha tracejada) e com águas baixas (descritores concentrados no canto superior esquerdo do gráfico – elipse com linha cheia).

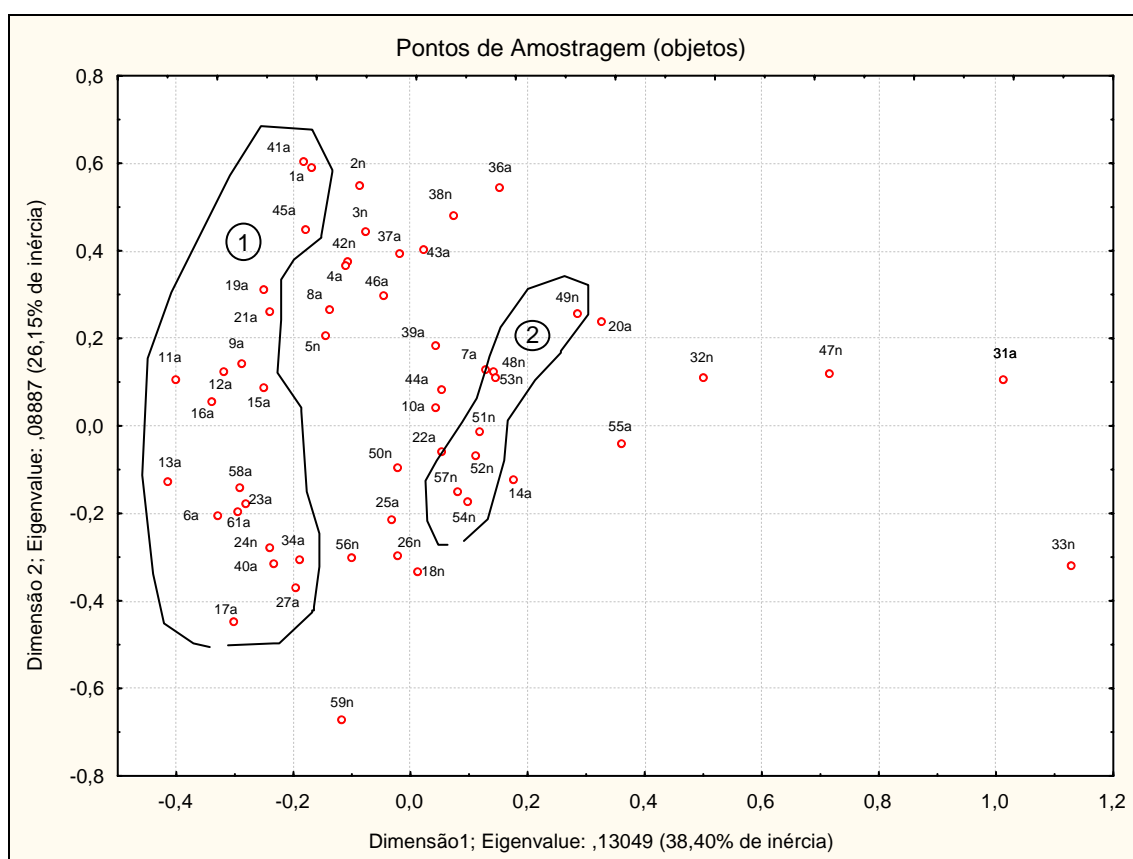


Figura 73 – Gráfico de análise de correspondência com os pontos de amostragem (objetos) (n = pontos de amostragem em ambientes naturais; a = pontos de amostragem sob influência antrópica)

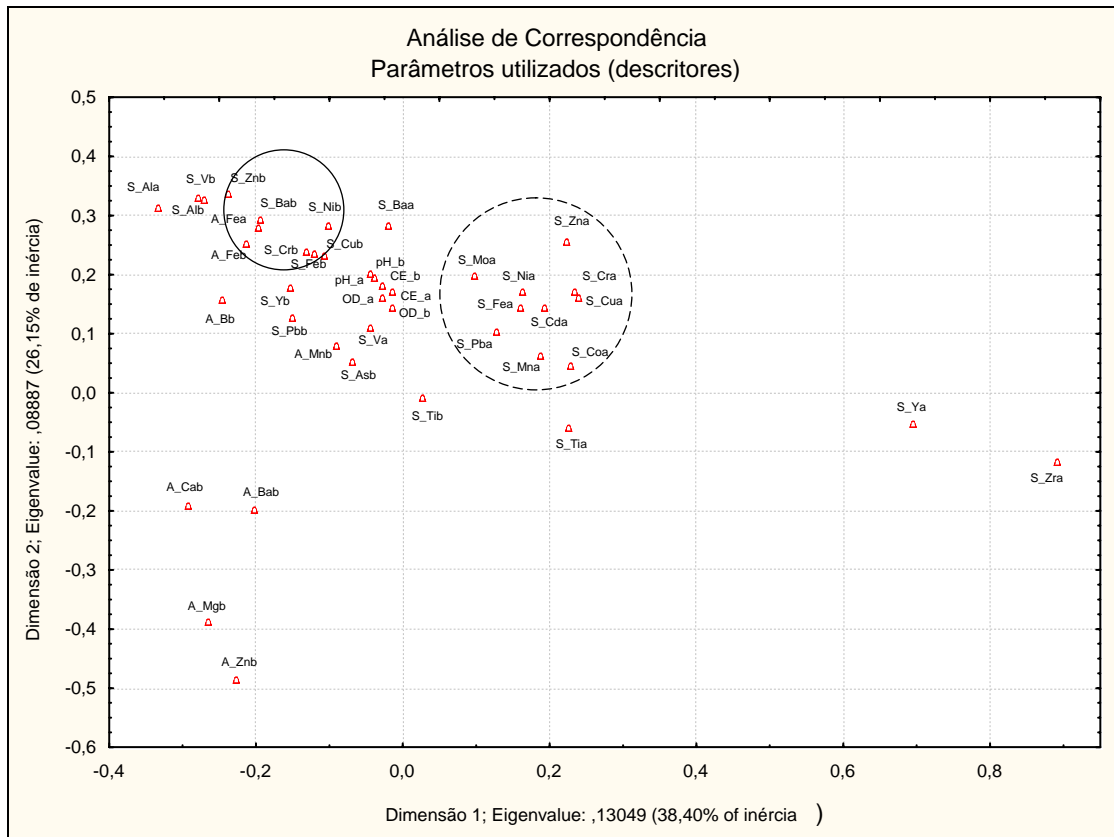


Figura 74 – Gráfico de análise de correspondência com os parâmetros utilizados para o agrupamento dos pontos de amostragem (gráfico dos descritores)
(A = águas; S = sedimentos; a = período de águas altas; b = período de águas baixas. Ex.: S_Pbb = teores de chumbo nas amostras de sedimentos coletadas com águas baixas)

8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

1. Os resultados das análises realizadas nas águas dos igarapés da área de estudo (principalmente os baixos valores de pH, condutividade elétrica e conteúdo iônico) permitem classificá-los como de águas pretas.
2. Há uma clara relação entre o pH e os tipos de ambientes amostrados: aqueles sob influência antrópica mostram-se, em média, mais básicos, especialmente os cursos d'água da bacia do rio Preto da Eva, a que apresenta a maior ocupação humana.
3. Observa-se tendência de elevação da acidez e da condutividade elétrica no período de águas altas, muito provavelmente em virtude da maior quantidade de ácidos orgânicos, lixiviados para os vales durante a época chuvosa. Isso estabelece uma consistente correlação inversa entre os valores de pH e CE das águas dos ambientes naturais.
4. No período de águas altas, os igarapés das bacias dos rios Urubu e Preto da Eva apresentaram, em média, menores concentrações de OD. Isso se deve ao barramento da maior parte desses igarapés pelo rio principal, como consequência da elevação regional do nível das águas.
5. As águas superficiais da região mostram-se muito pobres em sólidos dissolvidos; no período de águas baixas, verifica-se que, em valores médios, $Cl > Ca > Na > Mg > K$; com águas altas essa relação se modifica pouco: $Cl > Na > K > Ca$ (o Mg não foi analisado). Em ambos os períodos, porém, a distribuição pontual não é homogênea. Segundo o diagrama catiônico essas águas são mistas a sódicas.
6. Mesmo o igarapé Selvagem, que recebe boa parte dos esgotos domésticos da zona urbana de Rio Preto da Eva, apresenta concentrações iônicas baixas. Ressalta-se, porém, que ele mostra indícios que apontam, para breve, o comprometimento de sua qualidade ambiental. As águas do Balneário Municipal, situado cerca de 500 metros a jusante da foz do igarapé Selvagem, apresentam boa qualidade química, o que comprova o poder diluidor do rio Preto da Eva. De qualquer modo, recomenda-se a execução de monitoramento freqüente nas águas

de todos balneários da região, inclusive com análises bacteriológicas. Nesse sentido, a instalação de um sistema de esgotamento sanitário na cidade de rio Preto da Eva deve ser prioridade entre as ações a serem definidas.

7. O igarapé Urubuí tem sua qualidade ambiental claramente afetada após sua passagem pela zona urbana de Presidente Figueiredo, o que pode ser constatado quando se comparam os resultados obtidos para amostras coletadas a montante e a jusante daquela cidade. Apesar do baixo teor dos contaminantes, facilmente diluídos pelo rio Urubu, estes já sinalizam início de degradação química nesse ambiente fluvial, para o qual também se recomenda monitoramento efetivo. Lembra-se que o igarapé Urubuí se constitui numa área regional de recreação.

8. Os cursos d'água cortados pela BR-174, com vales assoreados, registraram valores anômalos para muitos elementos em suas águas (Na, Cl, Fe, Pb) e sedimentos (Al, Cr, V, Pb, Zn), os quais devem ser reflexo da ocupação antrópica. Embora os teores encontrados estejam longe de representar contaminações significativas, constituem um alerta sobre o início do processo de degradação que se instala nessas drenagens e que requer o devido controle.

9. Com relação à variação sazonal, os estudos indicam que, em ambientes naturais, as médias amostrais das concentrações dos íons analisados são *estatisticamente* iguais, ou seja, sua distribuição não é influenciada pelos períodos hidrológicos. Não obstante, o efeito diluidor das águas altas provoca tendência de diminuição da concentração de Ca.

10. No período de águas baixas os ambientes sob influência antrópica contêm uma quantidade maior de sólidos dissolvidos quando comparados com os ambientes naturais. Verifica-se que a bacia do rio Cuieiras, a menos ocupada, apresentou, em média, o menor conteúdo de íons totais, ao passo que a do rio Preto da Eva, a mais ocupada, registrou a maior diferença entre as concentrações médias dos dois tipos de ambiente.

11. Os sedimentos de fundo dos igarapés estudados são empobrecidos em alcalinos e alcalino-terrosos (Ca, Mg, Na e K) e enriquecidos em Fe e Al, fruto do substrato geológico aliado aos

processos intempéricos regionais. Nos dois períodos hidrológicos observa-se, em termos de teores médios, a seguinte relação de abundância: $Fe > Al > Ti$, com variação homogênea quando se considera a distribuição pontual desses elementos nos sedimentos.

12. A grande maioria dos elementos analisados nos sedimentos, no período de águas baixas, mostra teores médios mais elevados nos ambientes sob influência antrópica, com destaque para Al e V. Com águas altas essa relação se mantém somente para esses dois elementos. Já Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mo, Ni, Pb, Ti e Zn apresentaram, independente do ambiente, teores significativamente maiores no período de águas altas, em virtude, provavelmente, do acúmulo de matéria orgânica, que possui facilidade de fixar elementos metálicos, no fundo dos canais dos igarapés barrados pelos rios principais. Portanto, a distribuição dos metais pesados nos sedimentos fluviais da área de estudo é fortemente controlada pela variação do nível das águas.

13. Contrariamente aos metais pesados, a distribuição do Al em sedimentos é muito pouco influenciada pela variação dos períodos hidrológicos, tanto no teor médio como na sua distribuição espacial. A zona de maior concentração está situada em um trecho ao longo da rodovia BR-174, abrangendo as cabeceiras dos rios Tarumã-Açu e Preto da Eva.

14. Nos sedimentos coletados no período de águas altas, vários pontos revelaram teores de Fe, Cd, Cr e Ni acima do limiar superior de risco ambiental, com destaque para os igarapés Sucuriju, Campina e da Cachoeira, os dois últimos representantes de ambientes naturais. Esse fato deve-se, muito provavelmente, a fatores naturais de caráter regional, isto é, à acumulação de matéria orgânica nos fundos dos igarapés associada com a elevação do nível das águas.

15. A maior parte dos parâmetros de comparação utilizados (pH, concentração iônica total, teor médio de metais pesados nos sedimentos, quantidade de amostras com valores anômalos) mostra que a categorização dos pontos de amostragem em ambientes naturais e sob influência antrópica foi satisfatória e consistente, já que esses parâmetros ilustram bem o contraste entre os dois tipos de ambiente. Nesse sentido, destaca-se que o período mais adequado para gerar

distinções químicas entre os ambientes considerados, mormente no que diz respeito aos sedimentos, é o de águas baixas.

16. De modo similar, os parâmetros comparativos (notadamente o teor de metais pesados em sedimentos) indicam que a bacia do rio Preto da Eva é a que se apresenta mais impactada por atividades antrópicas, seguida pela bacia do rio Tarumã-Açu, sendo ambas as únicas cujas cabeceiras encontram-se totalmente inseridas na área de estudo, enquanto a bacia do rio Cuieiras é a menos impactada. De fato, é na bacia do rio Preto da Eva que se desenvolve a maior parte das atividades econômicas, além de ser ela a que apresenta a mais intensa e extensa ocupação antrópica, em contraponto à bacia do Cuieiras, a menos ocupada, em virtude das dificuldades de acesso ao seu interior. De qualquer maneira, os níveis de degradação química detectados, em todas as bacias, são baixos, ficando aqui o alerta para os cuidados que se deve manter na sua conservação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, A. C. S. et al. Fitofisionomias. In: CPRM. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Agropecuário da Suframa**. Manaus, 2005. v.3, p.2-8.

AUCOUR, A. M. et al. The Amazon river: behaviour of metals (Fe, Al, Mn) and dissolved organic matter in the initial mixing at the Rio Negro/Solimões confluence. **Chemical Geology**. n.197, p.271-285. 2003.

BARBALHO, C. R. S.; MORAES, S. O¹. Guia para normalização de teses e dissertações. Manaus: UFAM, 2005. 65p.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras, e dá outras providências. Resolução nº 344, de 25 de março de 2004. Brasília: MMA, 2004. 11p.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Brasília: MMA, 2005. 23p.

BUCHMAN, M. NOAA Screening Quick Reference Tables. NOAA HAZMAT Report 99-1. Coastal Protection and Restoration Division, National Oceanic and Atmospheric Administration. Seattle WA, 1999. 12p.

CAMPOS, Z. E. S. Parâmetros físico-químicos em igarapés de água clara e preta ao longo da rodovia BR-174 entre Manaus e Presidente Figueiredo – AM. 1994. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia e Fundação Universidade do Amazonas – INPA/FUA, Manaus.

CARVALHO, I. G. Fundamentos da geoquímica dos processos exógenos. Salvador: Bureau Gráfica e Editora Ltda, 1995. 213p.

CEQG - Canadian Environmental Quality Guidelines. Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life - Summary Tables. Winnipeg, 1999.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Agropecuário da Suframa. Manaus, 2005. 4 v.

CUNHA, P. R. C. et al. Bacia do Amazonas. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v.8, n.1, p.47-55, jan./mar. 1994.

CUNHA, H. B.; BRINGEL, S. R. B.; FRANKEN, W. K. Padrão hidroquímico dos igarapés da bacia hidrográfica do rio Preto da Eva – AM. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA AMAZÔNIA, I, 2003, Manaus. Anais... Manaus, 2003. p. 1-12.

CUNHA, R. G. L.; LOPES, E. S.; OLIVEIRA, M. A. Pluviometria e hidrologia superficial do Distrito Agropecuário da SUFRAMA (AM). In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, IX, 2006, Belém. Anais... Belém: SBG - Núcleo Norte, 2006. CD-ROM.

¹ Obra utilizada como guia para a formatação desta dissertação.

DREVER, J. I. The geochemistry of natural waters: surface and groundwater environments. 3.ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1997.

FREITAS, M. B.; BRILHANTE, O. M.; ALMEIDA, L. M. Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v.17, n.3, p.651-660, 2001.

FURCH, K. Water chemistry of the Amazon basin: the distribution of chemical elements among freshwater. In: SIOLI, H. (ed.). **The Amazon – limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin**. Netherlands: Dr. Junk Publisher, 1984. p.167 – 199

GIBBS, R. J. The geochemistry of the Amazon River system: Part I. The factors that control the salinity and the composition and concentration of the suspended solids. **Geology Society of America Bulletin**, v.78, p.1203–1232, outubro 1967.

HIBAM – Hidrologia e Geoquímica da Bacia Amazônica. Folder explicativo das atividades do Projeto HIBAM. Brasília, 2005.

HORBE, A. M. C.; HORBE, M. A.; SUGUIO, K. Origem dos depósitos de areias brancas no nordeste do Amazonas. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.33, n.1, p.41-50, março 2003.

HORBE, A. M. C. et al. Contribuição à hidroquímica de drenagens do município de Manaus – AM. **Acta Amazônica**, Manaus, v.35, n.2, p.119-124, 2005.

HORBE, M. A. et al. Geologia da área do Distrito Agropecuário da SUFRAMA – AM. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, IX, 2006, Belém. Anais... Belém: SBG - Núcleo Norte, 2006. CD-ROM.

IBGE. Censo demográfico 2000. Estatísticas da população. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2000/universo.php>> Acesso em: 23 de maio de 2006.

INGERSOLL, C. G. et al. Prediction of sediment toxicity using consensus-based freshwater sediment quality guidelines. Washington: USGS, 2000. 33p.

KRAUSKOPF, K. B. Introduction to Geochemistry. 2.ed. Singapore: McGraw-Hill Book Company, 1982. 617p.

LEENHEER, J. A.; SANTOS, U. M. Considerações sobre os processos de sedimentação na água preta ácida do rio Negro (Amazônia Central). **Acta Amazônica**, Manaus, v.10, n.2, p.343-355, 1980.

LICHT, O. A. B. Prospecção Geoquímica: Princípios, Técnicas e Métodos. Rio de Janeiro: CPRM, 1998. 216p.

LIMA, R. M. S.; MIRANDA, S. A. F. Estudo Físico-Químico da Bacia Hidrográfica do Rio Puraquequara. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO PIBIC/INPA, X, 2001, Manaus. Anais... Manaus, 2001. p.377-380.

MAIA, M. A. M.; DANTAS, M. E. Compartimentação geomorfológica do Distrito Agropecuário da SUFRAMA. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, IX, 2006, Belém. Anais... Belém: SBG - Núcleo Norte, 2006. CD-ROM.

MARTIN, J. M.; MEYBECK, M. Elemental mass-balance of material carried by majors world rivers. **Marine Chemistry**, v.7, p.73-206, 1979.

MARTINS, G. C. et al. Solos e Aptidão Agrícola. In: CPRM. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Agropecuário da Suframa**. Manaus, 2005. v.2, p.1-132.

MATTHESS, G. The properties of groundwater. 1ed. New York: John Wiley & Sons, 1982. 406p.

NASCIMENTO, M. R. L. Proposição de valores de referência para concentrações de metais e metalóides em sedimentos límnicos e fluviais da bacia hidrográfica do rio Tietê, SP. 2003. 111f. Tese (Doutorado em Química Analítica). Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, São Carlos (SP).

NEIVA, M.; CUNHA H. B. Estudo da composição química das precipitações sobre a região de Manaus. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO INPA, IX, 2000, Manaus. Anais... Manaus, 2000. p.340-343.

OLIVEIRA, L. G. S. Hidrogeoquímica das bacias do Uatumã, Urubu e rios menores – Amazonas. 2004. 45f. Dissertação (Mestrado em Geociências). Universidade Federal do Amazonas- UFAM, Manaus.

PINTO, A. G. N. et al. Distribuição dos metais Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn no rio Negro, orla de Manaus. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, VIII, 2003, Manaus. Anais... Manaus: SBG - Núcleo Norte, 2003. CD-ROM.

ROSE, A. W.; HAWKES, H. E.; WEBB, J. S. Geochemistry in mineral exploration. 2.ed. New York: Academic Press, 1979. 657p.

SANTOS, A. C. Noções de Hidroquímica. In: FEITOSA, F. C.; MANOEL FILHO, J. (coord.). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. Fortaleza: CPRM/UFPE, 1997. p.81-108.

SANTOS, U. M. et al. Rios da Bacia Amazônica. I - Afluentes do rio Negro. **Acta Amazônica**, Manaus, v.14, n.1-2, p.222-237, 1984.

SCHMIDT, G. W. Chemical properties of some water in the tropical rain forest region of Central Amazonia along the new road Manaus – Caracaraí. **Amazoniana**, Manaus, v.3, n.2, p.199-207, 1972.

SEYLER, P. T.; BOAVENTURA, G. R. Distribution and partition of trace metals in the Amazon basin. **Hydrological Processes** (on-line), v.17, p.1345–1361, 2003.

SILVA, M. S. R. Metais pesados em sedimentos de fundo de igarapés (Manaus – AM). 1996. 109f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica Ambiental). Universidade Federal do Pará - UFPA, Belém.

SILVA, A. C. Tratamento do percolado de aterro sanitário e avaliação da toxicidade do efluente bruto e tratado. 2002. 111f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

SIOLI, H. As águas do alto rio Negro. **Boletim Técnico Instituto Agrônomo do Norte**, v.32, p.117-155, 1956.

_____. Valores de pH de águas amazônicas. **Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi**, Belém, v.1, p.1-37, 1957.

_____. Hydrochemistry and geology in the Brazilian Amazon Region. **Amazoniana**, Manaus, v.3, p.267-277, 1968.

STALLARD, R. F.; EDMOND, J. M. Geochemistry of the Amazon. 2. The influence of geology and weathering environment on the dissolved load. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v.88, n.C14, p.9671-9688, 1983.

STALLARD, R. F.; EDMOND, J. M. Geochemistry of the Amazon. 3. Weathering chemistry and limits to dissolved inputs. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v.92, n.C8, p.8293-8302, 1987.

SOUZA, M. M. Perfil geológico da BR-174 (Manaus – Boa Vista) no trecho: Manaus – Serra do Abonari. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, XXVIII, 1974. Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: SBG, 1974. v.2, p. 75-85.

SZIKSZAY, M. Geoquímica das Águas. **Boletim IG-USP**, São Paulo, série didática n.5, 1993. 166p.

TUREKIAN, K. K.; WEDEPOHL, K. H. Distribution of elements in some major units of the earth's crust. **Geology Society of America Bulletin**, v.72, p.175-192, 1961.

UNGEMACH, H. Sobre o balanço metabólico de íons inorgânicos da área do sistema do rio Negro. **SIMPÓSIO SOBRE A BIOTA AMAZÔNICA**, 1967. v.3, p.221-226.

VIERS, J. et al. The influence of the Amazonian floodplain ecosystems on the trace element dynamics of the Amazon river mainstream. **Science of the Total Environment** (on-line), p.1-14, 2004.

WALKER, I. Amazonian streams and small rivers. In: TUNDISI, J. G., BICUDO, C. M., TUNDISI, T. M. (eds). **Limnology in Brazil**. Rio de Janeiro: Brazilian Academy of Science, 1995. p.167-193.

ANEXO I

MAPA DE AMOSTRAGEM GEOQUÍMICA

ANEXO I

MAPA DE AMOSTRAGEM GEOQUÍMICA

- Pontos de Amostragem de Água e Sedimentos**
- Ambientes Naturais
 - Ambientes com Influência Antrópica

--- Limite de Bacias Hidrográficas

Vias de Acesso

- Rodovias Pavimentadas
- Estradas Vicinais não Pavimentadas
- Tráfego Interrompido

— Drenagem

▨ Área sujeita a inundação

▨ Zona Urbana

▭ Área do Distrito Agropecuário da Suframa

ESCALA 1:200.000

