



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UNB
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS – IG**

ESTUDO GEOQUÍMICO DA BACIA DO GAMA E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA

LUIZ HENRIQUE AMORIM MOURA

Dissertação de Mestrado nº 244

**Brasília – DF
2008**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UNB
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS – IG**

ESTUDO GEOQUÍMICO DA BACIA DO GAMA E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA

LUIZ HENRIQUE AMORIM MOURA

Dissertação de Mestrado n° 244

Orientador:

Prof. Dr. Geraldo Resende Boaventura (UnB)

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Patrick Thierry Seyler (UnB)

Prof. Dr. John Edmund Lewis Maddock (UFF)

**Brasília – DF
2008**



Aos meus pais, Edson e Clarice



AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização desse trabalho e minha estada em Brasília durante esses quase sete anos.

A Deus seja qual for sua forma e manifestação, aos meus pais, incentivadores persistentes e financiadores da minha trajetória pessoal e profissional, ao meu irmão Lucas, a minha namorada Priscilla, pelo amor e companheirismo.

Ao meu orientador Prof. Dr. Geraldo Resende Boaventura pelas oportunidades e confiança a mim delegadas desde a graduação. Ao Marcelo Pinelli pela amizade, incentivo e ensinamentos em geoquímica.

A CAPES e o Instituto de Geociências que tornaram possíveis a concretização desse trabalho.

Ao Prof. Dr. Augusto César Bittencourt Pires pelas aulas e sugestões indispensáveis a elaboração do modelo de interpretação da qualidade de água. Aos professores doutores do Departamento de Estatística, Lúcio Vivaldi e George Von Boris, pela discussão em torno dos métodos estatísticos. A INFRAERO, particularmente ao Fernando Coelho e Luís Paris, pelas atividades em campo no Aeroporto Internacional de Brasília. Ao IRD (*Institut de Recherche pour le Développement*) pelo incentivo a divulgação desse trabalho.

Aos amigos e colegas do Laboratório de Geoquímica em especial ao Fernando e Renato pela formação técnica adquirida, aos funcionários do IG pelo apoio técnico.

Por fim a todos colegas e amigos que permitiram e facilitaram o caminho das “pedras” em especial ao Cristiano, Susanne, Tássia, Jacqueline, Aline, Mariana, Danny Fernando e Igor.



It's always a happy day when BHZ appears on my luggage tag.

Neil Peart adapted words



ÍNDICE

Resumo	xii
Abstract	xiii
Capítulo 1	
Introdução	1
Objetivos	9
Capítulo 2	
Área de Estudo	10
Capítulo 3	
Aspectos Fisiográficos	18
Clima	18
Solo	19
Geomorfologia	20
Vegetação	22
Recursos Hídricos	24
Geologia	28
Capítulo 4	
Métodos	33
Amostragem	33
Determinação dos Parâmetros	33
Capítulo 5	
Os Métodos Estatísticos	37
Tratamento dos Dados	37
Técnicas Estatísticas	38
Correlação	38
Padronização	39
Análise de Fator/Principais Componentes	39
Análise de Agrupamento	41
Análise Discriminante	42



Capítulo 6

Resultados e Discussão	45
Uso e Ocupação do Solo e Qualidade de Água	45
Análise Estatística	74

Capítulo 7

Conclusão	91
-----------	----

Referências Bibliográficas	94
----------------------------	----

ANEXOS

1 – Tabelas de Dados de Análise de Água	
2 – Tabelas de Correlação entre Parâmetros de Análise de Água	



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Mapa de localização da área de estudo, acima destaque para as sub-bacias do Lago Paranoá, abaixo o Córrego do Cedro, Ribeirão do Gama e a área de ampliação do Aeroporto Internacional de Brasília	11
Figura 2	Principais vias de acesso aos pontos de coleta em imagem Ikonos, após o desmatamento da área de construção da 2ª pista do Aeroporto Internacional.	12
Figura 3	Ribeirão do Gama no Ponto 1, ao fundo mata de galeria densa e vista aérea da região no canto inferior esquerdo.	13
Figura 4	Edificação em concreto cortando o Córrego do Cedro e no canto superior esquerda a vista aérea da região. Ponto 2.	14
Figura 5	Ponto 3 no período de seca, a nascente fica a esquerda da figura e no período de chuva é difícil reconhecer os limites do Córrego em função da grande quantidade de água proveniente do aquífero. No canto superior direito, a vista aérea da região do Ponto 3.	15
Figura 6	Córrego Cedro no ponto 4, no canto inferior esquerdo a vista aérea da região, próxima a 2ª pista do aeroporto. Nota-se a presença de lajes de concreto usadas para lavar roupas e ao fundo o despejo de lixo doméstico.	16
Figura 7	Ribeirão do Gama no ponto 5, água turva denunciou a retirada indiscriminada de água para uso na obra próximo após o ponto 4. No canto superior esquerdo a vista aérea da região.	17
Figura 8	Distribuição mensal de chuvas e temperatura para a Estação Brasília nos períodos de 1963 a 1990.	19
Figura 9	Tipos e subtipos geomorfológicos do DF. Simplificado de Novaes Pinto (1987).	21
Figura 10	Mapa das regiões hidrográficas do DF, destaque para a Bacia do Gama inserida na Bacia do Lago Paranoá, ambas pertencentes à Bacia do Paraná. Fonte: SEMATEC/CODEPLAN 1994.	25
Figura 11	Modelo Digital de Terreno da Bacia do Gama, gerado a partir de cotas topográficas de 5 em 5 metros usando o modelo de grade triangular (TIN), com as principais drenagens.	26
Figura 12	A bacia hidrográfica do Gama no contexto hidrogeológico do Distrito Federal (adaptado de Freitas-Silva & Campos, 1998b).	27
Figura 13	Posicionamento da Província Tocantins em relação aos crátons Amazônico, São Francisco e Paranapanema (modificado de Almeida <i>et al.</i> , 1981).	29
Figura 14	Compartimentação da porção centro-leste da Província Tocantins, com destaque para a região do Distrito Federal (modificado de Pimentel <i>et al.</i> , 2004).	30
Figura 15	Mapa geológico simplificado do Distrito Federal. Modificado de Campos & Freitas-Silva (2002c).	31
Figura 16	Método de cálculo da vazão.	36
Figura 17	Mapa de uso e ocupação do solo da área em estudo.	46
Figura 18	Relação entre vazão e precipitação nos pontos em estudo (A vazão dos pontos 2 e 4 estão multiplicadas por 5 para melhor visualização). Os dados de precipitação são provenientes da estação da Reserva Ecológica do IBGE, na APA Gama - Cabeça de Veado.	47
Figura 19	Concentração de Ca e Si ao longo do período de coleta no Córrego do Cedro.	48
Figura 20	Concentração de Mg, Fe e Al ao longo do período de coleta no Córrego do Cedro.	48
Figura 21	Comportamento do Ca, Mg, Fe, Al e Si nos períodos chuvosos e secos. Ponto 2.	49
Figura 22	Comportamento do Ca, Mg, Fe, Al e Si nos períodos chuvosos e secos. Ponto 3.	49
Figura 23	Comportamento do Ca, Mg, Fe, Al e Si nos períodos chuvosos e secos. Ponto 4.	49
Figura 24	Concentração de Ca e Si ao longo do período de coleta no Ribeirão do Gama.	50
Figura 25	Concentração de Ca e Si ao longo do período de coleta no Ribeirão do Gama.	50
Figura 26	Comportamento do Ca, Mg, Fe, Al e Si nos períodos chuvosos e secos. Ponto 1.	51
Figura 27	Comportamento do Ca, Mg, Fe, Al e Si nos períodos chuvosos e secos. Ponto 5.	51
Figura 28	A bacia hidrográfica do Gama sobre imagem Ikonos com os pontos de coleta e análise de água relacionados na Tabela 1. A Fazenda Experimental da UnB, Reserva Ecológica do IBGE e o Jardim Botânico fazem parte da APA Gama e Cabeça de Veado.	52
Figura 29	Dispersão da relação concentração (Ca e Si) e vazão no Córrego Cedro e Ribeirão do Gama.	54



Figura 30	Dispersão da relação concentração (Mg, Fe e Al) e vazão no Córrego Cedro e Ribeirão do Gama.	54
Figura 31	Comportamento do Na, K e P nos períodos chuvosos e secos. Ponto 2.	56
Figura 32	Comportamento do Na, K e P nos períodos chuvosos e secos. Ponto 3.	56
Figura 33	Comportamento do Na, K e P nos períodos chuvosos e secos. Ponto 4.	56
Figura 34	Comportamento do Na, K e P nos períodos chuvosos e secos. Ponto 1.	57
Figura 35	Comportamento do Na, K e P nos períodos chuvosos e secos. Ponto 5.	57
Figura 36	Comportamento do Mn e Cu ao longo dos pontos nos períodos de seca e chuva.	58
Figura 37	Comportamento de parâmetros físico-químicos nos períodos chuvosos e secos. Ponto 2.	60
Figura 38	Comportamento de parâmetros físico-químicos nos períodos chuvosos e secos. Ponto 3.	60
Figura 39	Comportamento de parâmetros físico-químicos nos períodos chuvosos e secos. Ponto 4.	60
Figura 40	Comportamento de parâmetros físico-químicos nos períodos chuvosos e secos. Ponto 1.	61
Figura 41	Comportamento de parâmetros físico-químicos nos períodos chuvosos e secos. Ponto 5.	61
Figura 42	Comportamento da turbidez e cor nos períodos chuvosos e secos. Ponto 2.	63
Figura 43	Comportamento da turbidez e cor nos períodos chuvosos e secos. Ponto 3.	63
Figura 44	Comportamento da turbidez e cor nos períodos chuvosos e secos. Ponto 4.	63
Figura 45	Comportamento da turbidez e cor nos períodos chuvosos e secos. Ponto 1.	64
Figura 46	Comportamento da turbidez e cor nos períodos chuvosos e secos. Ponto 5.	64
Figura 47	Comportamento da condutividade e sólidos (suspensos, totais e dissolvidos) nos períodos chuvosos e secos. Ponto 2.	66
Figura 48	Comportamento da condutividade e sólidos (suspensos, totais e dissolvidos) nos períodos chuvosos e secos. Ponto 3.	66
Figura 49	Comportamento da condutividade e sólidos (suspensos, totais e dissolvidos) nos períodos chuvosos e secos. Ponto 4.	66
Figura 50	Comportamento da condutividade e sólidos (suspensos, totais e dissolvidos) nos períodos chuvosos e secos. Ponto 1.	67
Figura 51	Comportamento da condutividade e sólidos (suspensos, totais e dissolvidos) nos períodos chuvosos e secos. Ponto 5.	67
Figura 52	Comportamento dos compostos nitrogenados nos períodos chuvosos e secos. Ponto 2.	69
Figura 53	Comportamento dos compostos nitrogenados nos períodos chuvosos e secos. Ponto 3.	69
Figura 54	Comportamento dos compostos nitrogenados nos períodos chuvosos e secos. Ponto 4.	69
Figura 55	Comportamento dos compostos nitrogenados nos períodos chuvosos e secos. Ponto 1.	70
Figura 56	Comportamento dos compostos nitrogenados nos períodos chuvosos e secos. Ponto 5.	70
Figura 57	Comportamento do oxigênio e da matéria orgânica nos períodos chuvosos e secos. Ponto 2.	72
Figura 58	Comportamento do oxigênio e da matéria orgânica nos períodos chuvosos e secos. Ponto 3.	72
Figura 59	Comportamento do oxigênio e da matéria orgânica nos períodos chuvosos e secos. Ponto 4.	72
Figura 60	Comportamento do oxigênio e da matéria orgânica nos períodos chuvosos e secos. Ponto 1.	73
Figura 61	Comportamento do oxigênio e da matéria orgânica nos períodos chuvosos e secos. Ponto 5.	73
Figura 62	Gráfico de autovalores para 24 principais componentes.	75
Figura 63	Comparação dos pesos das variáveis sobre as duas componentes principais não rotacionadas e rotacionada (Varimax).	77
Figura 64	Dendograma mostrando o agrupamento das variáveis no Córrego Cedro e Ribeirão do Gama.	79



Figura 65	Gráfico de espalhamento dos pesos das observações nas duas primeiras principais componentes. As observações nomeadas são as que diferem do padrão normal, segundo o método k-médias de agrupamento.	80
Figura 66	Gráfico resultante da padronização das médias para os parâmetros físico-químicos destacados, mostrando as diferenças entre os dois grupos resultantes da análise agrupamento não-hierárquico.	82
Figura 67	Gráfico resultante da padronização das médias para os compostos nitrogenados e metais, mostrando as diferenças entre os dois grupos resultantes da análise agrupamento não-hierárquico.	82
Figura 68	Gráfico resultante da padronização das observações do Grupo 2 no Córrego Cedro.	83
Figura 69	Gráfico resultante da padronização das observações do Grupo 2 no Córrego Cedro.	84
Figura 70	Gráfico resultante da padronização das observações do Grupo 2 no Ribeirão do Gama.	84
Figura 71	Gráfico resultante da padronização das observações do Grupo 2 no Ribeirão do Gama.	85
Figura 72	Histograma dos escores calculados pela função discriminante gerada pelo modo standard. Valores maiores e menores que o índice discriminante pertencem ao Grupo 2 e ao Grupo 1, respectivamente.	88
Figura 73	Histograma dos escores calculados pela função discriminante gerada pelo modo stepwise usando os parâmetros nitrato, amônia, sólidos suspensos e alumínio. Valores maiores e menores que o índice discriminante pertencem ao Grupo 2 e ao Grupo 1, respectivamente.	89



ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1	Parâmetros operacionais do ICP-AES.	36
Tabela 2	Linhas analíticas e limites de detecção para os elementos determinados. (*) elementos determinados em AAS	37
Tabela 3	Valores médios dos elementos em águas do Ribeirão do Gama (G, Ponto 1 e 5), Córrego Taquara (Tq) e Córrego Roncador (Ro).	53
Tabela 4	Valores médios dos elementos em águas das bacias hidrográficas do DF.	53
Tabela 5	Valores médios para os períodos seco e chuvoso dos elementos Mn e Cu.	58
Tabela 6	Valores médios de parâmetros físico-químicos de Bacias do DF. Temperatura (oC), Condutividade (mS/cm), Alcalinidade (mg/L CaCO ₃), Nitrato, Amônia e Sólidos Dissolvidos (mg/L).	62
Tabela 7	Valores médios de parâmetros físico-químicos de duas bacias do DF e padrão de potabilidade estabelecido pelo Ministério da Saúde. Turbidez (UT) e Cor (UH).	65
Tabela 8	Pesos da 24 variáveis nas 8 principais componentes mais significantes para os 5 pontos de estudo.	74
Tabela 9	Pesos da 24 variáveis nas 8 principais componentes rotacionadas mais significantes para os 5 pontos de estudo no Córrego Cedro e Ribeirão do Gama.	76
Tabela 10	Tabela com os valores médios e o desvio padrão das observações agrupadas segundo o método não hierárquico k-médias.	81
Tabela 11	Pesos para classificação por análise discriminante da qualidade de água do Córrego Cedro e Ribeirão do Gama.	86
Tabela 12	Matriz de classificação para a análise discriminante de qualidade de água do Córrego Cedro e Ribeirão do Gama.	87
Tabela 13	Pesos de Fisher para classificação por análise discriminante da qualidade de água do Córrego Cedro e Ribeirão do Gama.	90



RESUMO

A qualidade da água de uma drenagem reflete as condições naturais de uma bacia hidrográfica e, a alteração dessas é refletida na composição física e química da água. Esse trabalho foi realizado em duas drenagens da Bacia do Gama, o Ribeirão do Gama e o Córrego Cedro, cujas águas deságuam no Lago Paranoá em Brasília, no Distrito Federal. O objetivo do estudo foi identificar a influência do uso e ocupação do solo na bacia, determinando as fontes de alteração da qualidade de água diferenciando os impactos causados pela ocupação humana da condição natural. O estudo geoquímico utilizou de dados de pH, temperatura, condutividade, oxigênio dissolvido, alcalinidade, turbidez, cor, dureza, nitrato, nitrito, amônia, sólidos em suspensão, sólidos dissolvidos, sólidos totais, DBO, DQO, vazão e os elementos: Ca, Mg, Fe, Al, Si, P, Na, K, Mn e Cu. A análise desses dados realizou-se sob dois aspectos: descritivo, que associou a qualidade da água e sua alteração com o impacto do uso e ocupação do solo da região, e estatístico, que propôs um modelo de avaliação de qualidade de água, através de técnicas estatísticas multivariadas. A qualidade de água mostrou alterações associadas à ocupação humana e ao grau de preservação da mata ciliar. Ca e Mg possuem associação com os materiais usados na construção civil, Al e Si aos argilominerais presentes nos solos, e os compostos nitrogenados, à matéria orgânica em decomposição no Córrego Cedro e aos fertilizantes usados em um núcleo rural no médio curso do Ribeirão do Gama. Turbidez e cor estão relacionados à presença da mata ciliar, e a amônia, juntamente com a DBO, indicou poluição por esgoto. A técnica de principais componentes, aliada a análise de agrupamento, separou parâmetros relacionados à geoquímica de rocha e a qualidade de água. O modelo de avaliação de qualidade de água, proposto através da análise discriminante, permite uma interpretação rápida, usando apenas nitrato, amônia, sólidos suspensos e Al. As técnicas estatísticas empregadas propuseram o modelo baseado apenas na variabilidade desses parâmetros, ignorando a importância teórica dos demais. Dessa forma, é importante ressaltar que, além dos parâmetros básicos como pH, condutividade, oxigênio dissolvido, alcalinidade, turbidez, cor, sólidos dissolvidos, nitrato, amônia e cloreto, devem ser incluídos o Ca, Mg, Si, Fe, Na e K, pois são indicadores de uso e ocupação do solo na bacia.



ABSTRACT

The quality of water in a drainage basin reflects the natural processes of a water catchment and the changes of environmental conditions reflect on physical and chemical water chemistry. The present work was realized in two drainages on Gama Catchment, Gama brook and Cedro stream, whose waters discharge into Paranoá Lake (Brasília, Federal District). The aim of the study was to identify the influences of catchment land use and human occupation, focusing on water quality disturbance, separating the impacts caused by human settling from natural processes. The geochemistry study used pH, temperature, conductivity, dissolved oxygen, alkalinity, turbidity, color, hardness, nitrate, nitrite, ammonia, suspended solids, dissolved solids, total solids, BOD, COD, discharge, Ca, Mg, Fe, Al, Si, P, Na, K, Mn and Cu data sets. This data analysis was aimed to study two aspects: descriptive, that associates water quality and disturbances with the land use and man-made occupation impact, and statistic, which propose a water quality assessment model through multivariate statistics techniques. The water quality results displays that the disturbance are associated with human settlement and riparian vegetation maintenance. Ca and Mg are related to civil building materials, Al and Si to the soil clay minerals and, nitrogenous compounds with organic material degradation at Cedro Stream and fertilizers used on a farm site in the Gama Brook medium course. Turbidity and color are linked with the riparian tree cover maintenance, ammonia and BOD to wastewater pollution. Principal components technique, allied with cluster analysis, separated parameters such those linked to rock geochemistry and water quality. The water quality assessment model, proposed by discriminant analysis, allows a quick interpretation using only nitrate, ammonia, suspended solids and Al. The used statistics techniques proposed a model based only in some parameters variability, discarding any theoretical importance of the others variables. Thus, it is important to emphasize that other basic parameters like pH, conductivity, dissolved oxygen, alkalinity, turbid, color, dissolved solids, nitrate, ammonia and chloride, Ca, Mg, Si, Fe, Na and K, must be included because they are important indicators of land use and occupation.



CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A água é um requisito básico para a manutenção da vida (White, 2006) e ao desenvolvimento econômico-social e, apesar de grande parte do planeta ser coberto por água, apenas uma pequena parcela dela é aproveitada pelo ser humano a uma relação custo/benefício razoável (Hirata, 2000).

Um trabalho promovido pela Unesco entre os anos de 1965 e 1974 permitiu a quantificação do ciclo hidrológico. As águas salgadas dos oceanos correspondem a 97,6% do total de água presente no planeta e aproximadamente 0,5% (água de rios, lagos e aquíferos) está disponível para a população na forma de água doce (Llamas, 1991). Diante desses dados, pode-se afirmar que a água doce é um bem naturalmente escasso. A distribuição não uniforme desse bem agrava ainda mais a disponibilidade hídrica por habitante. Setti *et al*, 2001, afirmam que a quantidade desse recurso é suficiente para o atendimento da população.

No Brasil, 70% da água doce estão disponíveis na região Amazônica, que por sua vez abriga 5% da população, ou seja, os outros 30% estão livres para consumo de 95% dos brasileiros (Setti *et al.*, 2001 e Lima, 2001). Daí pode-se perceber que a escassez de água em algumas regiões do Brasil está relacionada ao elevado consumo em áreas de alta densidade demográfica, agravado pela degradação da qualidade desse recurso e a problemas associados ao clima em virtude da existência de áreas de baixa precipitação.

A agricultura é o setor da economia que mais consome água, seguido pelo abastecimento público e a indústria. Apenas 10% das áreas aptas à produção de culturas são efetivamente usadas, refletindo um grande potencial no crescimento desse setor, que consequentemente demandará uma maior quantidade de água. No Brasil, a água encanada está disponível para 91% da população urbana e 9% para as áreas rurais, sendo que os últimos precisam recorrer a métodos diferenciados, como poços, para consumo. A coleta de esgoto se resume a apenas metade do que é gerado e apenas 1/3 do esgoto coletado é efetivamente tratado. A falta de saneamento básico é responsável



por doenças como a disenteria, diarreia, cólera e esquistossomose e também por grande parte das internações hospitalares, além das mortes de crianças (Lima, 2001).

Quanto à disponibilidade hídrica, definida em função da regularidade na distribuição de água e da densidade demográfica, os valores variam de 1.506.488 m³/hab.ano (Roraima) a 1.270 m³/hab.ano (Pernambuco) e, apesar do Distrito Federal ter sido planejado, o descontrole populacional faz com que sua disponibilidade seja a terceira pior do país com 1.537 m³/hab.ano, sofrendo um estresse hídrico periódico e regular (período de seca) (Lima, 2001).

Os estudos de quantidade de água existentes para a região do DF são locais e restritos a bacias e sub-bacias, tendo como objetivo maior a avaliação do potencial hídrico de mananciais para o abastecimento público das cidades satélites ou fins agrícolas. Tais estudos utilizam dados de estações pluviométricas/fluviométricas e a análise estatística das variáveis hidrológicas para obtenção de curvas de permanência, vazões máximas e mínimas (Campana *et al.*, 1998a).

De nada adianta ter o conhecimento da quantidade de água disponível, se não há dados acerca da qualidade dessa água. É a sua qualidade que determina qual o melhor uso que ela se destinará e se haverá necessidade de um tratamento. Os conhecimentos da quantidade e da qualidade de água se complementam e determinam os requisitos mínimos para o aproveitamento desse recurso (Souza & Felizatto, 2006).

A substância água nada mais é do que moléculas formadas por dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio ligados entre si por pontes de hidrogênio. Devido a sua mobilidade e solubilidade, a mesma tem um papel fundamental na distribuição dos elementos químicos, ou seja, não é uma substância pura. No entanto, é a posição da água no ciclo hidrológico que determina e modifica sua qualidade, adquirindo características do meio onde está circulando.

Por exemplo, no nordeste brasileiro a água subterrânea é salinizada, do tipo cloretada sódica (Silva Júnior *et al.*, 1999). Tal propriedade é devido ao contato com as rochas graníticas (compostas por biotita, muscovita e feldspato) e a baixa taxa de circulação da água. O aquífero Guarani, na porção Centro-Norte do estado do Paraná, tem suas águas fracamente salinas variando entre bicarbonatadas e sódicas (Rosa Filho *et al.*, 2005), devido a alta taxa de circulação (falhamentos) em rochas basálticas (Formação Serra Geral) e em arenitos da Formação Botucatu e Pirambóia.



O Rio Amazonas é formado em decorrência da junção do Rio Solimões (água “branca”) com o Rio Negro (água escura), próximo a Manaus. O Rio Negro tem suas águas escuras devido a grande quantidade de carbono orgânico dissolvido, bem como o pH ácido e baixa concentração de cátions totais. Já as águas brancas têm pH neutro e são ricas em cátions totais e sedimentos em suspensão (Aucour *et al.*, 2003). Apesar de estarem inseridos na mesma bacia hidrográfica, os rios percorrem trajetos onde fatores como solo, vegetação e rochas determinam as qualidades diferentes.

A qualidade de água mostra-se perturbada também pela ação do homem. A maior parte da água retirada para os múltiplos usos que ela oferece, volta à fonte (rios, córregos e ribeirões) acompanhada de resíduos provenientes da indústria, agricultura e saneamento básico. A maioria desses resíduos são tóxicos e despejados em grandes volumes, comprometendo a capacidade de autodepuração e inviabilizando o reuso e o tratamento dessas águas, ao ponto que é mais vantajoso, economicamente, buscar novos cursos para suprir a demanda desse recurso.

A geoquímica ambiental estuda a distribuição e o comportamento dos elementos químicos no meio ambiente e seus recursos naturais (água, solo, vegetais e animais) identificando as alterações, sejam elas de origem natural ou antrópica. O estudo da água visa caracterizar os processos atuantes na bacia hidrográfica/hidrogeológica, propor mudanças de uso e ocupação do solo, com o objetivo de preservar os requisitos mínimos em termos de quantidade e qualidade, colaborando para a gestão correta e sustentável dos recursos hídricos.

O entendimento dos processos que modificam a característica da água torna-se possível através de estudos geoquímicos integrados com as ciências do meio físico como a geologia, geomorfologia, climatologia e pedologia. No estado de São Paulo, especificamente na região do município de Guairá, Toledo & Nicolella (2002) avaliaram a qualidade de água em cinco pontos sob usos urbanos e agrícolas, no Ribeirão Jardim. Os resultados obtidos indicaram dois grupos de índices de qualidade de água (IQA), relacionados aos três pontos a montante e os dois pontos a jusante da região urbana. Os cinco pontos tiveram seus IQAs influenciados pelo aumento na carga de fósforo e amônia, que promovem a queda na concentração de oxigênio dissolvido, em função dos efluentes urbanos e da entrada de material agrícola. No trecho montante, predominantemente agrícola, houve influência maior das variáveis turbidez e sólidos



totais dissolvidos, devido aos processos erosivos, mascarando as relações entre P total, oxigênio dissolvido e amônia, dominantes nos trechos a jusante. Foi verificado também que a precipitação promoveu uma pequena queda na qualidade de água, consequência do escoamento superficial.

Na cidade de Londrina, no Paraná, o estudo desenvolvido por Bisinoti *et al.* (2004) determinou a concentração de metais pesados e a influência da urbanização e da industrialização nos recursos hídricos superficiais. Os pontos de coleta próximos as áreas industriais apresentam concentrações mais elevadas de Cd, Zn, Ni e Pb e, nos demais locais, destacam-se os metais proveniente do solo (Mg, Mn e Fe). De uma maneira geral, as concentrações dos metais avaliados cresceram ao longo da rede hidrográfica, se comparados aos pontos anteriores. Assim, como no trabalho de Toledo & Nicolella (2002), as chuvas aumentaram a concentração dos metais do solo em função do escoamento superficial.

No Distrito Federal, Pinelli (1999), através da quantificação dos metais em água e sedimento da Bacia do São Bartolomeu, confirmou a origem desses metais em núcleos urbanos e agrícolas, sendo os parâmetros discriminadores da influência antrópica a alta condutividade elétrica em água, e índices de fósforo e geológicos elevados em sedimentos. Os resultados desse trabalho mostraram a ausência de um sistema de tratamento de esgotos e o autor destaca a importância do monitoramento para avaliar a evolução da ocupação humana na bacia.

Do Carmo *et al.* (2005) verificaram a influência de esgoto em águas da Bacia do Rio Descoberto através de anomalias nos parâmetros de alcalinidade, fosfato e amônia. O cálcio foi associado tanto à sua origem geológica (lentes de calcário) quanto à atividade agrícola (corretivos), porém, a análise de correlação entre os parâmetros determinados denunciou a urbanização desordenada e o uso excessivo de fertilizantes em áreas da bacia.

Carvalho Júnior *et al.* (1998a) realizaram um estudo confrontando o conteúdo de metais com o uso e ocupação do solo ao longo do Ribeirão do Gama (DF) e tributários, discriminando cinco zonas: a primeira, de nascente, com baixo conteúdo metálico e baixa influencia antrópica; a segunda e a terceira zonas relacionadas às atividades agrícolas e de hortigranjeiros e aos metais Si, Ca, MG, Sr, P e Al; a quarta zona tem baixo conteúdo metálico em função da entrada de águas límpidas do Córrego Taquara e,



finalmente, a quinta zona, influenciada por áreas urbanas e de cascalheiras com presença de Cu e Zn.

Boaventura & Freitas (2006) identificaram indicadores de interferência humana em águas subterrâneas do Distrito Federal. Os aquíferos mais explorados do DF (relacionados a rochas metassedimentares siliciclásticas) são influenciados pelas águas subterrâneas rasas (zona vadosa), conseqüentemente, sensíveis às mudanças da superfície. Baixa condutividade, pH abaixo de 5 e concentração de Ca, Na e K abaixo de 0,45 mg/L caracterizam a água isenta de impacto antrópico. O aumento da condutividade é interpretado como o primeiro sinal de alteração da qualidade de água. Concentrações anômalas de Na, Cl⁻, NO₃⁻, bem como altos valores de Al e Cu, e concentração de cálcio maior que a de sódio, aliado a um alto valor de pH indicam, respectivamente, diluição de esgoto e atividades agrícolas.

Para evitar a contaminação das águas subterrâneas, Campos (2004) enumera diversas práticas na construção de um poço como o perímetro de proteção e o isolamento da zona vadosa, com o objetivo de minimizar a contaminação por focos potenciais (fossas sépticas/negras) das águas profundas. A adoção de um sistema de recarga artificial de aquíferos é útil no DF, em função da ocupação urbana que impermeabiliza o solo e dificulta a recarga natural.

A avaliação do impacto ambiental numa região pode ser obtida através do estudo dos sedimentos depositados ao longo dos corpos hídricos, uma vez que esse material é proveniente do intemperismo físico e químico de rochas e solos. Um exemplo dessa afirmativa é o trabalho realizado por Maia *et al.* (2005), que estudaram a composição mineralógica dos sedimentos de fundo do Lago Paranoá no Distrito Federal. A bacia do Lago Paranoá e tributários estão inseridos em rochas do Grupo Paranoá, cuja seqüência estratigráfica compreende metarritmitos, quartzitos e ardósias. As ardósias são compostas por illita e caolinita, e os metarritmitos por caolinita e gibbsita. Nos sedimentos de fundo do Lago Paranoá, o quartzo foi o constituinte maior das amostras, acumulando-se nas margens. A gibbsita é o constituinte principal nas margens e no centro do lago, proveniente da erosão do solo laterítico. A caolinita, além de resultar da erosão de ardósias e solos, indica retrabalhamento dos materiais das margens. A illita tem sua origem nas ardósias do fundo do lago, acumulando-se no centro.



Esses sedimentos podem ter fontes diversas como escoamento superficial urbano e agrícola, e descargas de efluentes industriais e urbanos (Moreira & Boaventura, 2003). Para avaliar a intensidade de contaminação do sedimento, comumente é usado o índice de geoacumulação (I_{geo}), que permite classificar em sete níveis, com intensidades progressivas de contaminação (Moreira, 2002). Estudando sedimentos de tributários do Lago Paranoá, Echeverria (2007) encontrou índice de não poluído (1) a moderadamente poluído (2) para os ribeirões Bananal, Riacho Fundo e o Córrego Cabeça de Veado associados ao Sr, K_2O e CaO . O Ribeirão Bananal e o Córrego Cabeça de Veado estão situados em áreas de preservação, o Parque Nacional de Brasília e a Estação Ecológica do Jardim Botânico. Moreira & Boaventura (2003) também obtiveram índice 2 para o Ribeirão Riacho Fundo associado ao K_2O , além disso, a parte central do Lago Paranoá e o vertedouro do Lago de Santa Maria tiveram seus sedimentos inclusos no índice anterior associados ao P e ao CaO , respectivamente. O Ribeirão do Riacho Fundo tem influência de uma Estação de Tratamento de Esgoto e a parte central do Lago Paranoá representa o principal sítio de acumulação de sedimentos provenientes dos tributários.

No Inventário dos Recursos Hídricos do DF, Avaliação Qualitativa dos Recursos Hídricos, Campana *et al.* (1998b) apontaram a inexistência de um número expressivo de estudos relacionando qualidade de água e atividades ocupacionais. Dos estudos existentes, a maioria está relacionada ao Lago Paranoá e tributários, que ao longo dos anos 90 passou a apresentar um problema sério de degradação, em função de matéria orgânica, nutrientes provenientes de esgotos e detritos lançados sem tratamento. Agrotóxicos e materiais sólidos também contribuem para a deterioração da qualidade de água da bacia.

A Agência de Proteção do Meio Ambiente dos Estados Unidos (*United States Environmental Protection Agency, U.S. E.P.A*) anualmente publica boletins sobre a qualidade de água dos rios, lagos e mares americanos. O último boletim disponível para consulta, EPA (2000), revela que 19% dos rios têm suas águas monitoradas. Desses 19%, 61% das águas podem ser usadas para qualquer atividade, ou seja, tem boa qualidade e 39% são impróprias para um ou mais usos. As causas que tornam a água imprópria para diversos usos são a contaminação por bactérias (em função de material fecal e esgotos), assoreamento (agricultura, escoamento superficial, construção e



reflorestamento) e, em menor escala, queda na concentração de oxigênio, nutrientes, alterações térmicas, metais e alteração de fluxo.

A avaliação dos dados geoquímicos envolve a interpretação de uma grande quantidade de variáveis, que graças ao avanço da tecnologia computacional nas últimas duas décadas, é feita de maneira fácil e rápida. Uma das diversas técnicas de análise de dados é a análise multivariada, que nada mais é do que um grupo de técnicas estatísticas que buscam relacionar as variáveis pesquisadas (Hair, 1998). A complexidade matemática por trás desses métodos é facilmente ocultada nos *softwares* estatísticos, permitindo trabalhar com a inferência estatística (Moita Neto, 2004). O uso de técnicas computacionais associados às ferramentas estatísticas vêm cumprido o papel de reduzir a grande quantidade de dados sem a perda de informação, bem como o estudo da associação e correlação entre as variáveis (Prado *et al.*, 2002, Voudouris *et al.*, 2000, Regunath *et al.*, 2002, Chen *et al.*, 2007).

Güler (2007) usando a análise multivariada (técnica de análise hierárquica de cluster e principais componentes) caracterizou e agrupou cento e trinta marcas turcas de “água engarrafada” segundo os parâmetros físico-químicos. O autor atribui diferença de concentração do mesmo elemento em três ordens de magnitude à origem geológica da água. As concentrações de Mg, Na e B, 25 a 60 vezes maiores nas águas minerais gasosas, se comparado à água mineral não-gasosa, foi associado às áreas próximas a regiões geotermiais, onde água circula em altas profundidades e numa região de atividade vulcânica recente. As cento e trinta amostras foram agrupadas, segundo a análise de cluster, em 4 grupos. O grupo 1 mostra mineralização mais alta que o grupo 2, o grupo 2 mais alta que o 3 e assim sucessivamente. A diferença entre os grupos 2, 3 e 4 está na concentração particular de Na, Mg, Ca, K, Cl, SO₄ e F.

Reghunath *et al.* (2002) demonstrou a utilidade da técnica estatística análise de fator no estudo da interação entre a água superficial e subterrânea, onde observou a existência ou ausência de mistura ou de mistura parcial dos diferentes tipos de água. A ausência de mistura foi associada aos íons Mg, K, NO₃, CO₃ e SO₄, uma vez que a variação na concentração de uma espécie não implica na variação do outro. A mistura de água foi associada ao Na, Cl e condutividade elétrica por haver uma relação na variação entre os parâmetros.



No Japão, Shresta & Kazama (2007) estudaram treze pontos da bacia hidrográfica do Rio Fuji, classificaram as águas segundo os níveis de poluição (baixo, médio e alto) e reduziram os parâmetros de monitoramento de doze para seis (vazão, temperatura, demanda bioquímica de oxigênio, pH, condutividade, nitrato e amônia), usando as diversas técnicas de análise estatística, como análise hierárquica de cluster e análise discriminante.

Em Portugal, Fernandes et al. (2006) submeteram as determinações realizadas em águas subterrâneas do aquífero costeiro Sines à técnica de principais componentes, visando encontrar alguma influência da urbanização e industrialização da região. A associação entre Cu e SO₄ foi interpretada como resultante de contaminação agrícola por uso de pesticidas, em águas do aquífero Jurássico. Já a associação entre Na, NO₃ e Mn confirmam a influência da atividade de suinocultura nas águas subterrâneas do aquífero Mioceno.

Assim, os diversos estudos citados mostram a importância da geoquímica ambiental como ferramenta de gestão dos recursos hídricos, bem como o uso da análise estatística de dados no estudo e interpretação de uma matriz complexa de dados para avaliar a qualidade de água, na identificação de fontes poluidoras e na dinâmica dos elementos químicos na água.

Diante do panorama dos recursos hídricos no Brasil e no mundo, e da sua importância como elemento fundamental no crescimento sócio-econômico de qualquer região, o estudo da qualidade da água é uma ferramenta importante na gestão dos recursos hídricos. Ao contrário de muitas regiões do país, o Distrito Federal possui o índice de tratamento de esgoto mais elevado do Brasil, com 46%, bem acima da média do país, 14%, que por sua vez é bem maior que o estado de Minas Gerais, 6% (ANA, 2005).

Diante desse panorama, pode-se afirmar que boa parte da quantidade e da qualidade de água é afetada pelo uso indiscriminado e pela contaminação por nutrientes, esgotos e produtos tóxicos, em função do crescimento desordenado e da falta de uma política de gestão de recursos hídricos. A geoquímica ambiental mapeia e quantifica o grau de contaminação dos recursos hídricos, fornecendo bases para o controle dos possíveis focos de contaminação.



OBJETIVOS

O objetivo maior desse trabalho é o estudo geoquímico das águas do Ribeirão do Gama e do Córrego do Cedro, determinando as possíveis fontes de alteração de qualidade de água e diferenciando os impactos relacionados à ocupação humana (obra e operação da segunda pista do Aeroporto de Brasília e habitação) do *background* natural na bacia.

Através do estudo da água, pretende-se confirmar os níveis de impacto na bacia, discriminar os parâmetros de análises mais representativos e propor um modelo de avaliação de qualidade de água a partir da interface água impacta/ água não-impactada.

O estudo da geoquímica de água é importante e poderá ser usado para subsidiar projetos acerca do uso dessa água e sugerir parâmetros de monitoramento, bem como sua periodicidade, com objetivo de acompanhar a evolução do uso e ocupação do solo na bacia, com custos de análises químicas reduzidas. Em função do quadro atual de escassez desse recurso no Distrito Federal, a avaliação da qualidade de água de outras possíveis fontes de abastecimento, subsidiará meios para a gestão sustentável dos recursos hídricos.



CAPÍTULO 2

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na Bacia Hidrográfica do Gama, que por sua vez integra a Bacia do Lago Paranoá, compreendendo parte do ribeirão homônimo e de todo o curso do Córrego Cedro (Figura 1). Esta área ocupa 31,9 km² (dos 145,6 km² da Bacia do Gama) e está situado entre os paralelos 15°52' e 15°54' e os meridianos 47°57' e 47°53'. Próximo a esses dois corpos hídricos estão a segunda pista do Aeroporto Internacional de Brasília e as quadras 14, 19, 21, 23, 24 e 25 do Setor de Mansões ParkWay, integrando a região administrativa Lago Sul (RA-XVI) (Campana, 1998c). O acesso aos pontos de amostragem se dá através de rodovias e estradas vicinais, como mostra a Figura 2.

Os estudos foram realizados ao longo do Ribeirão do Gama e Córrego do Cedro em cinco pontos. Os Pontos 1 e 2, no Ribeirão do Gama e Córrego do Cedro, servem como *background* da área de estudo, em relação a obra no aeroporto, porém são influenciados pelo uso e ocupação do solo. Os pontos 3 e 4 são pontos de influência direta da obra e da ocupação humana. Respondendo por toda a alteração na área de estudo, no Ribeirão do Gama, após a junção com o Córrego Cedro, está o ponto 5. Dados relativos a estudos anteriores em outros tributários do Ribeirão do Gama como o Córrego Taquara e o Córrego Roncador, também foram utilizados no estudo para efeitos de comparação com outras situações de uso e ocupação. O mesmo procedimento foi realizado para outras bacias hidrográficas do Distrito Federal.

A seguir segue uma breve descrição dos pontos de estudo que, de uma maneira geral, apresentam diferentes condições de uso e ocupação:

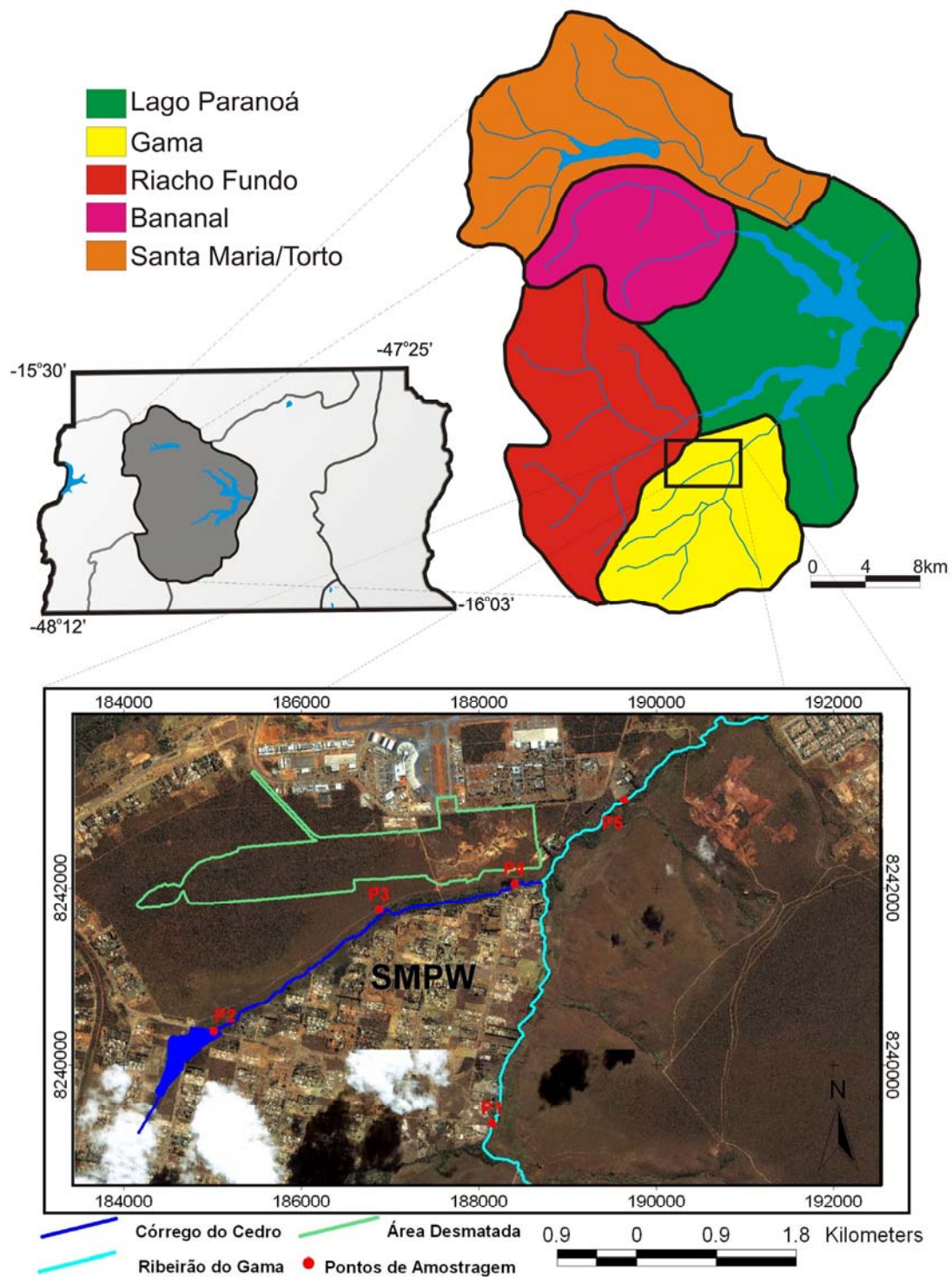


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo, acima destaque para as sub-bacias do Lago Paranoá, abaixo o Córrego do Cedro, Ribeirão do Gama e a área de ampliação do Aeroporto Internacional de Brasília.

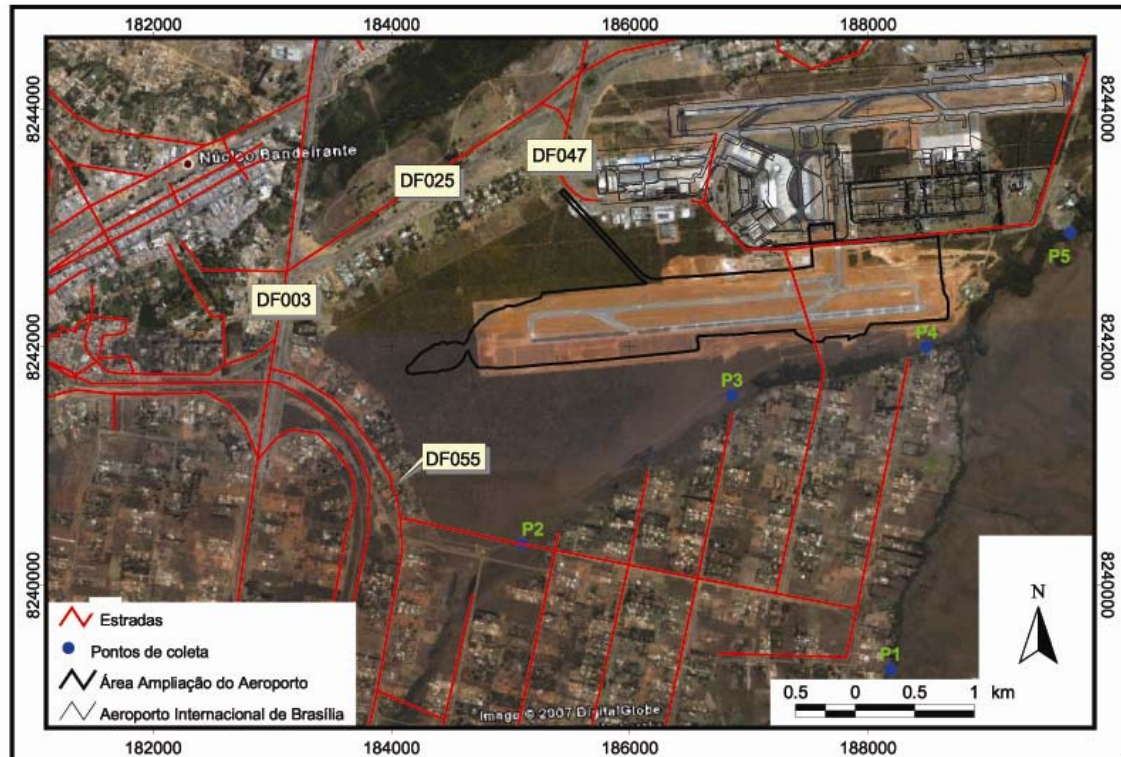


Figura 2 – Principais vias de acesso aos pontos de coleta em imagem Ikonos, após o desmatamento da área de construção da segunda pista do Aeroporto Internacional.



- Ponto1

O ponto 1 está localizado próximo a quadra 24 do SMPW. O ribeirão percorre um vale com declividades superiores a 30%, em suas margens a mata de galeria é densa e preservada (Figura 3), ao seu redor a vegetação típica é a de Cerrado Ralo. Devido à construção de casas, o solo encontra-se exposto e desprotegido contra o intemperismo provocado pela chuva, com formação contínua de novas voçorocas e o aumento das existentes.



Figura 3 – Ribeirão do Gama no Ponto 1, ao fundo mata de galeria densa e vista aérea da região no canto inferior esquerdo.



- Ponto 2

O ponto 2 está localizado junto as margens da via de acesso ao Setor Park Way. O solo hidromórfico é o aspecto mais significativo da área, onde as águas freáticas afloram constantemente mesmo nas épocas mais secas. Manilhas de concreto permitem a continuidade do curso da drenagem e a ligação com a Lagoa do Cedro (Figura 4).



Figura 4 – Edificação em concreto cortando o Córrego do Cedro e no canto superior esquerda a vista aérea da região. Ponto 2.



- Ponto 3

Dentro do sítio aeroportuário, o ponto 3 é a junção de uma nascente situada em solo hidromórfico com o Córrego Cedro. Nas épocas de chuva, com aumento do nível freático e afloramento das águas, a região é inundada dificultando a identificação dos limites do córrego. Dos cinco pontos é o que mais está protegido da ocupação urbana, onde a casa mais próxima está situada a 150 metros da margem direita do córrego (Figura 5).



Figura 5 – Ponto 3 no período de seca, a nascente fica a esquerda da figura e no período de chuva é difícil reconhecer os limites do Córrego em função da grande quantidade de água proveniente do aquífero. No canto superior direito, a vista aérea da região do Ponto 3.



- Ponto 4

Esse ponto é interessante por ter em suas proximidades uma invasão de casebres, criação de animais de pequeno porte e ausência de saneamento para a coleta de esgoto, sendo utilizadas fossas negras. Os moradores utilizam essas águas para lavar roupas (Figura 6), num local a jusante do ponto de coleta. Situado entre a quadra 23 do ParkWay e o sítio aeroportuário, o ponto encontra-se bastante alterado devido a ocupação humana. A vegetação ainda preserva resquícios de uma mata galeria, porém ali a vegetação rasteira (mato) é predominante.



Figura 6 – Córrego Cedro no ponto 4, no canto inferior esquerdo a vista aérea da região, próxima a segunda pista do aeroporto. Nota-se a presença de lajes de concreto usadas para lavar roupas e ao fundo o despejo de lixo doméstico.



- Ponto 5

O ponto 5, situado no clube dos Oficiais da Aeronáutica, possui mata de galeria densa e preservada (Figura 7). Aqui as águas do Ribeirão do Gama se juntam as do Córrego do Cedro e esse ponto tem como objetivo maior detectar se a mudança na qualidade de água nos pontos anteriores permanece após a mistura das águas e também registrar todos os processos atuantes na bacia.



Figura 7 – Ribeirão do Gama no ponto 5, água turva denunciou a retirada indiscriminada de água para uso na obra próximo após o ponto 4. No canto superior esquerdo a vista aérea da região.



CAPÍTULO 3

ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

Para entender os processos e as alterações que ocorrem nos recursos hídricos é necessária a integração das diversas áreas do conhecimento. Geologia, geomorfologia, os solos e o clima são fatores que devem ser levados em consideração nos estudos, uma vez que são determinantes na característica da água. A vegetação tem o papel de preservar as margens e regiões adjacentes dos rios e ribeirões, evitando a erosão do canal fluvial e também o carreamento excessivo de sólidos e substâncias para as águas. A erosão do canal fluvial expõe o substrato rochoso e, através do intemperismo químico, a água recebe componentes na forma dissolvida e/ou particulada associada com a rocha, modificando sua qualidade. O estudo geomorfológico fornece informações da evolução do relevo, principalmente as áreas de erosão e deposição de uma bacia hidrográfica, baseado nos tipos e na estruturação das rochas, características pedológicas e climáticas.

CLIMA

A caracterização do clima é feita de acordo com a classificação de Köppen e no DF são observados três tipos climáticos: Tropical (Aw) e tropical de Altitude (Cwa e Cwb), variação devida às diferenças de altitude. Situado entre as cotas de 1000 e 1200 metros, a área de estudo possui temperaturas inferiores a 18°C nos meses frios e superiores a 22°C nos meses mais quentes, características do clima Tropical de Altitude (Cwa) (Baptista, 1998).

O DF possui dois períodos climáticos bem distintos, típicos da região de cerrado, evidenciados pela alta taxa de precipitação no verão (250 mm em dezembro) e um período extremamente seco no inverno (9 mm em junho) (Figura 8). Espacialmente a variação na precipitação segue uma tendência decrescente de oeste para leste. Anualmente são esperados cerca de 1500 mm chuva em Brasília (Baptista, 1998).

Novaes Pinto (1987) atribui ao clima a formação do fenômeno de intemperismo diferencial químico sob controle do freático regional, resultando em processos de laterização.

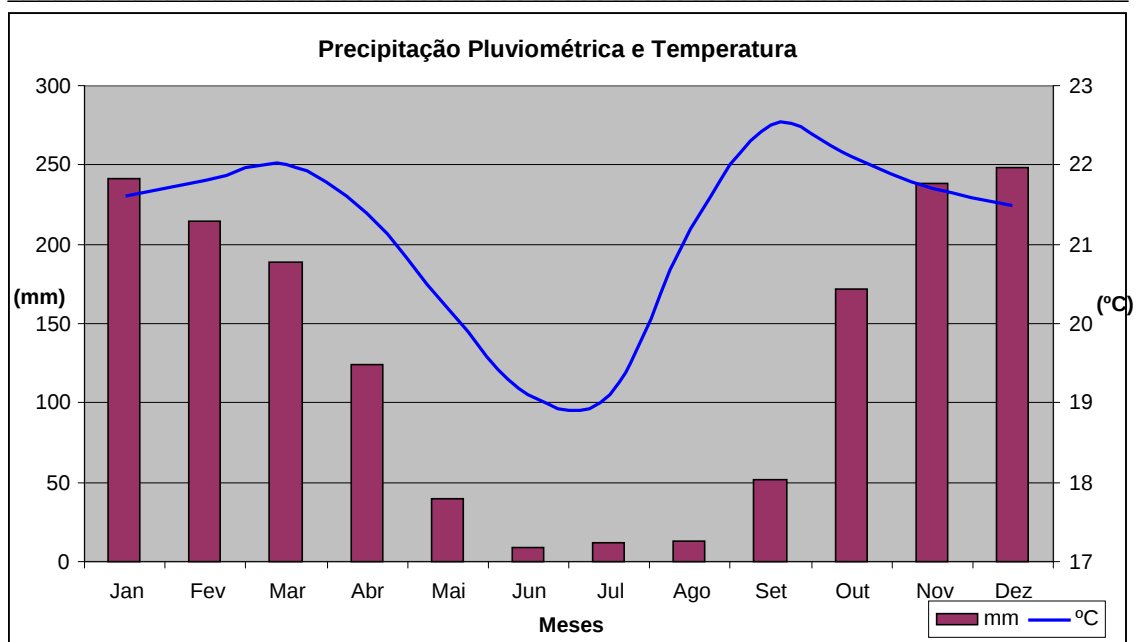


Figura 8 – Distribuição mensal de chuvas e temperatura para a Estação Brasília nos períodos de 1963 a 1990.

SOLO

Segundo o levantamento de solos realizados pela EMBRAPA (1978), predominam no DF as unidades pedológicas: Latossolo Vermelho Escuro (LE), Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) e Cambissolo (Cb). Na carta pedológica do Lago Paranoá (Campos & Freitas-Silva, 2002a) é individualizada dez classes de solo, sendo que quatro delas são encontradas na área de estudo.

A associação entre o Latossolo Vermelho Escuro (LE) e Latossolo Amarelo (LA) é o mais abundante, presente em todo perímetro do Aeroporto Internacional de Brasília. Os latossolos são formados pelo processo denominado latolização, que é a remoção da sílica e de outros elementos como o Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+} após o intemperismo dos minerais primários constituintes. As diferenças entre os latossolos são devidas ao teor de Fe_2O_3 , cor e relação Ki (Ki é o quociente entre SiO_2 e Al_2O_3) (Correia *et al.* 2004). O LE é caracterizado como solos não hidromórficos, relação $\text{Ki} < 2,0$, espessura abaixo de 50cm, horizonte A moderado com subdivisões (A1 e A3) e horizonte B latossólico sem diferenciação em seus subhorizontes, com espessura maior que 250cm. O LA difere do LE no fato de apresentar coloração amarelada em função do menor teor de óxido de ferro.



Os solos hidromórficos (Hi) acompanham boa parte do curso das drenagens, relacionados aos afloramentos da água subterrânea. Na região de estudo esses solos estão associados com solos aluviais apresentando granulometria arenosa e horizonte A bem desenvolvido.

Cambisolos (Cb) são solos pouco desenvolvidos com material mineral ainda preservado, a espessura do horizonte B é menor que 70cm, relação $K_i > 2,2$ e as transições entre os horizontes A, B e C são facilmente visíveis. Esse solos são visíveis na região do ParkWay, próximo ao Ribeirão do Gama e estão associados as couraças lateríticas (Cl) como produto da acumulação química de óxidos/hidróxidos de ferro e alumínio.

Em menor proporção, está a associação entre Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) e Latossolo Amarelo (LA). O LV distingue-se do LE em relação a sua coloração do horizonte B que é vermelho amarelado.

Para Novaes Pinto (1987), os latossolos são os solos mais importantes do DF, onde a cor e o teor em óxidos de ferro determinam dois subtipos principais: o Latossolo Vermelho-Escuro (8 a 18% Fe_2O_3 apresentando goethita e hematita) e o Latossolo Vermelho-Amarelo (<8% de Fe_2O_3 comportando apenas goethita). Há ainda o Latossolo Concrecionário Laterítico formado por concreções lateríticas.

GEOMORFOLOGIA

Com base no Projeto RADAMBRASIL, realizado entre as décadas de 70 e 80, Nascimento (1991) realizou uma análise sobre a geomorfologia do estado de Goiás. De acordo com o relevo, altimetria, características genéticas e a interação do relevo com a litologia e estrutura são definidas, no estado de Goiás, cinco unidades e onze subunidades geomorfológicas. O DF foi colocado como pertencente à subunidade Planalto do Distrito Federal englobado pela unidade Planalto Central Goiano. O Planalto Central Goiano é associado com as áreas de dobramento e rejuvenescimentos Brasileiros e caracterizado por formas de relevo variadas, diversidade em rochas metamorfizadas e altitude variando de 400 a 1200m.

O Planalto do Distrito Federal está assentado sobre as rochas do Grupo Paranoá capeadas por uma cobertura detrítico-laterítica, revestindo os grandes interflúvios levemente dissecados com vegetação de cerrado em toda extensão. A grande extensão



plana dessa subunidade favoreceu a criação de diversas cidades satélites, incluindo em seus limites a Chapada dos Veadeiros. O relevo dissecado ao norte/nordeste dessa subunidade foi originado por canais fluviais devido à erosão regressiva, expondo as camadas de rochas subjacentes. Na área de contato com a subunidade Planalto do Alto Tocantins-Paraíba, uma falha de empurrão coloca as rochas do Grupo Araxá sobre as do Grupo Bambuí e está relacionada a presença de escarpas descontínuas no desnível topográfico entre as duas subunidades.

Novaes Pinto (1987), analisando os indicadores de paisagem no Distrito Federal, diz que as feições geomorfológicas têm sua origem associada ao clima (intemperismo) e à geologia (rochas e eventos tectônicos). Com intemperismo diferencial químico intenso nas rochas, houve o aplainamento por corrosão e desnudação lenta, formando extensos níveis de relevo plano a suave ondulado. Nesse trabalho são sugeridos três tipos de unidades geomorfológicas: região de “chapadas”, áreas de dissecação intermediária, e região corrugada de vales fluviais. Em função de influências estruturais, essas unidades podem ser subdivididas em doze subtipos (Figura 9).

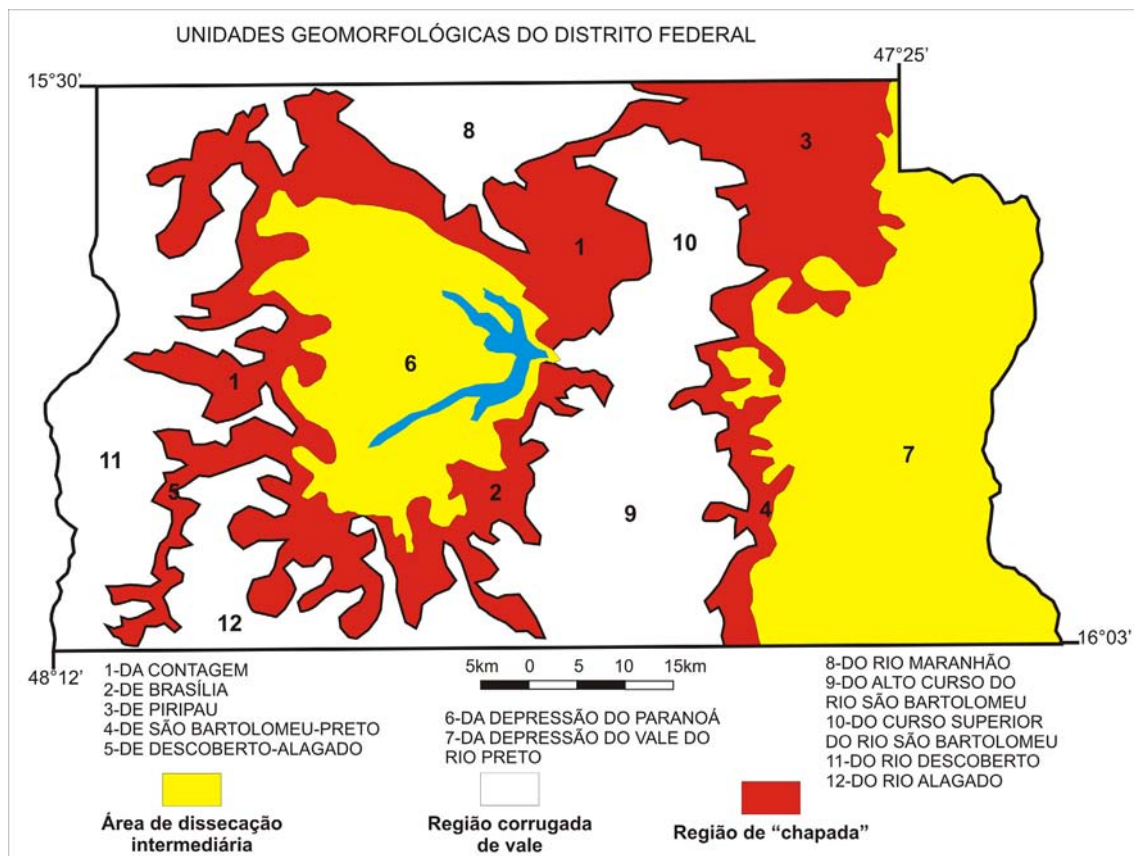


Figura 9 – Tipos e subtipos geomorfológicos do DF. Simplificado de Novaes Pinto (1987).



A região de “chapadas” é subdividida em três subtipos de acordo com o nível topográfico: os subtipos superior e intermediário são sustentados por quartzitos e metarritmitos (Campos, 2004), enquanto que o inferior apresenta litologias ardosianas, filitosas e xistosas. As áreas de dissecação intermediária são controladas por rochas pelíticas, e a região corrugada de vales fluviais, também conhecida por Vales Dissecados, está assentada em rochas impermeáveis com alto grau de erosão. Apesar do clima, vegetação e estruturação neotectônica, Campos (2004) condiciona a evolução morfodinâmica do Distrito Federal com a geologia, observação esta também confirmada por Novaes Pinto (1987).

O trabalho de Martins & Baptista (1998) sugere uma classificação geomorfológica a partir das técnicas computacionais em Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para o Distrito Federal. Segundo esses autores, o DF pode ser dividido em seis compartimentos (Lagos, Rebordos, Escarpas, Planícies, Planos Intermediários e Chapadas Elevadas). Nesse mesmo trabalho, há ainda a classificação morfodinâmica que é entendida como processos morfogenéticos e demonstram a relação entre formação do solo, erosão e deposição. A área do Aeroporto Internacional está situada na Região de Planos Intermediários onde é dominante a deposição e a pedogênese com baixa erosão, ou seja, as áreas mais elevadas ao redor estão sendo degradadas e seus sedimentos sendo depositados e modificados na parte mais plana.

VEGETAÇÃO

O bioma cerrado, também denominado de savana brasileira, cobre cerca de 2 milhões de km² e é a segunda maior formação vegetal no Brasil (23% do território), perdendo apenas para a Floresta Amazônica (3,5 milhões de km²). A quantidade de chuvas varia entre 800 a 2000 mm, temperatura média entre 18 e 28°C e os solos são distróficos e ferrolíticos (oxisolos), com pH ácido, baixa disponibilidade de Ca e Mg e alto conteúdo de Al. Entre os interflúvios a vegetação típica é o cerrado (podendo ser reconhecidos até onze fitofisionomias, de campo limpo a cerradão), resistente às queimadas, e ao longo das drenagens, a mata de galeria. O cerrado está relacionado com a savana africana, coexistindo durante o período Cretáceo (Ratter *et al.*, 1997, Ribeiro & Walter, 1998).



O Distrito Federal, bem como a região centro-oeste, é considerado a região de relevância para o cerrado, pelo fato de abrigar a área núcleo desse bioma (Walter, 2006). Ribeiro & Walter (1998) e Eiten (1990) agrupam as fitofisionomias do cerrado em dois grupos: vegetação associada aos interflúvios (solos mais férteis) e aos cursos de água (solos mais úmidos). Ribeiro e Walter (1998) destacam 3 associações, nas quais os 11 tipos fitofisionômicos estão inclusos: formações florestais (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão), savânicas (Cerrado sentido restrito, Parque de Cerrado, Palmeiral e Vereda) e campestres (Campo Sujo, Campo Rupestre e Campo Limpo).

As formações florestais abrangem vegetação com espécies arbóreas, onde a Mata Ciliar e a Mata de Galeria estão combinadas a cursos de água, enquanto que o Cerradão e a Mata Seca ocorrem nos interflúvios.

As formações savânicas caracterizam-se pela presença de estratos arbóreos e arbustivo-herbáceo, sendo que no Cerrado sentido restrito os estratos se distribuem de maneira aleatória, enquanto que no Parque de Cerrado ocorrem em aglomerações. O Palmeiral e a Vereda se distinguem, uma vez que o segundo apresenta uma única espécie de palmeira, o buriti.

Os arbustos e subarbustos interpostos no estrato herbáceo são vegetações típicas das formações campestres. Os campos Sujo, Rupestre e Limpo se diferenciam em função da densidade dos arbustos e subarbustos, decrescendo do Sujo ao Limpo.

Na área de estudo, usando as definições de Ribeiro & Walter (1998), são visualizadas 6 fitofisionomias:

- Mata de Galeria: encontrada no curso final do Córrego Cedro e no Ribeirão do Gama;
- Cerradão: ocorre na porção de maior altitude circundando a área do Aeroporto Internacional de Brasília, apresentando vegetação com aspectos xeromórficos (adaptações que evitam a perda de água) de florestas e estrato subarbustivos;
- Cerrado sentido restrito: domina a região entre as áreas mais altas e baixas (próxima ao Córrego do Cedro e ao Ribeirão do Gama), ali se desenvolvem árvores tortuosas e retorcidas. O subtipo Cerrado Ralo é o mais característico da região, predominando o estrato arbustivo-herbáceo em relação ao arbóreo;
- Vereda: associada às regiões onde há o afloramento do lençol freático (Ponto 3) com ocorrência restrita de buritis;



- Campos Sujo e Limpo: quando a mata de galeria é ausente, no curso inicial e médio do Córrego Cedro, desenvolve uma vegetação herbáceo-arbustivo com arbustos e subarbustos espalhados (sujo) alternando com uma fitofisionomia herbácea (limpo). Nessa área, o lençol freático está próximo à superfície e há alternância entre os subtipos úmido e com Murunduns (microrelevos mais elevados).

Quanto à ação antrópica, ao longo das últimas décadas, a vegetação típica de cerrado foi cedendo lugar a zonas urbanas (condomínios e assentamentos irregulares) e a agricultura, representada pelo imenso platô destinado a produção agropecuária (PAD-DF). As culturas, em sua grande maioria, são de sequeiro com plantio na época chuvosa, predominando as plantações de soja e milho. Quanto às zonas urbanas, as áreas mais densas correspondem aos assentamentos mais recentes com população de baixa renda. Os habitantes de maior poder aquisitivo estão assentados em áreas menos densas e antigas (Araújo Filho *et al.*, 2007)

RECURSOS HÍDRICOS

A região do Distrito Federal é uma região dominada por nascentes e como consequência não apresenta grandes rios (Araújo Filho *et al.*, 2007), entretanto possui redes de drenagens pertencentes a três das maiores regiões hidrográficas brasileiras (Figura 10): São Francisco (Rio Preto), Tocantins (Rio Maranhão) e Paraná (Rio São Bartolomeu e Rio Descoberto). A região hidrográfica do Paraná, responsável pela maior área drenada no DF e pelas principais captações de água para abastecimento público, é constituída por diversas outras bacias, dentre elas se destaca a Bacia do Lago Paranoá. A unidade Hidrográfica do Gama, pertencente à bacia do Lago Paranoá, tem como principal rio o Ribeirão do Gama e um de seus afluentes o Córrego do Cedro (Ferrante *et al.*, 2001).

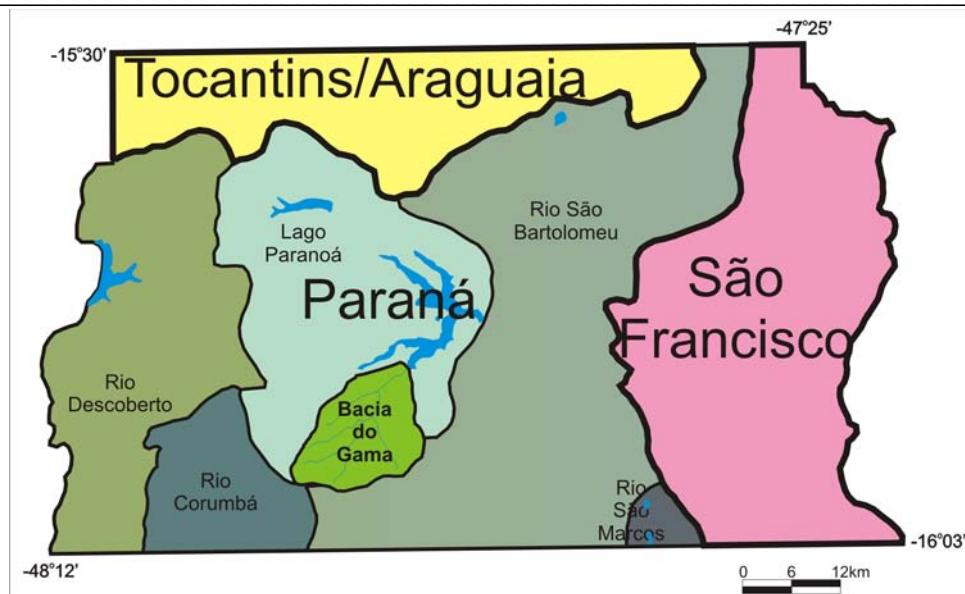


Figura 10 – Mapa das regiões hidrográficas do DF, destaque para a Bacia do Gama inserida na Bacia do Lago Paranoá, ambas pertencentes à Bacia do Paraná. Fonte: SEMATEC 1999.

As regiões hidrográficas do Paraná, São Francisco e Tocantins/Araguaia abrigam, respectivamente, 62,5%, 24,2% e 13,3% da área do DF. Tomando como referência os principais rios das regiões hidrográficas, as regiões foram compartimentadas em bacias hidrográficas, que por sua vez foram divididas em unidades menores (Campana *et al.*, 1998c).

A bacia do Lago Paranoá abriga grande parte das regiões administrativas do DF, e os seus principais afluentes foram represados em 1961, com o objetivo de criar um lago para fins de lazer, energéticos (usina hidrelétrica) e climáticos. Essa bacia abriga o Jardim Botânico e duas Áreas de Proteção Ambiental: a APA do Lago Paranoá e a APA Cabeça de Veado. O Lago Paranoá constitui o corpo hídrico receptor de esgotos gerados pelas regiões vizinhas, através das Estações de Tratamento de Esgotos Norte e Sul. Já o córrego Santa Maria foi represado com finalidade de abastecimento público, fornecendo cerca de 1.260 m³ de água por segundo (Campana *et al.*, 1998a). Os principais cursos de água que definem as unidades hidrográficas são: Ribeirão do Torto, Ribeirão Bananal, Riacho Fundo, Ribeirão do Gama, Córrego Cabeça de Veado e Rio Paranoá (Ferrante *et al.*, 2001).

O Ribeirão do Gama nasce na Mata do Catetinho e ao longo dos seus 14 km de curso recebe águas dos Córregos do Mato Seco, do Cedro, Capetinga e Taquara e deságua no Lago Paranoá com uma vazão média de 1,85 m³/s (Figura 11). O Ribeirão



do Gama é integrante de uma série de reservatórios de pequeno porte, inferior a 1 km² de superfície, no DF. A CAESB (Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal) mantém três áreas de captação próximas às nascentes do Ribeirão do Gama e Córrego Capetinga.

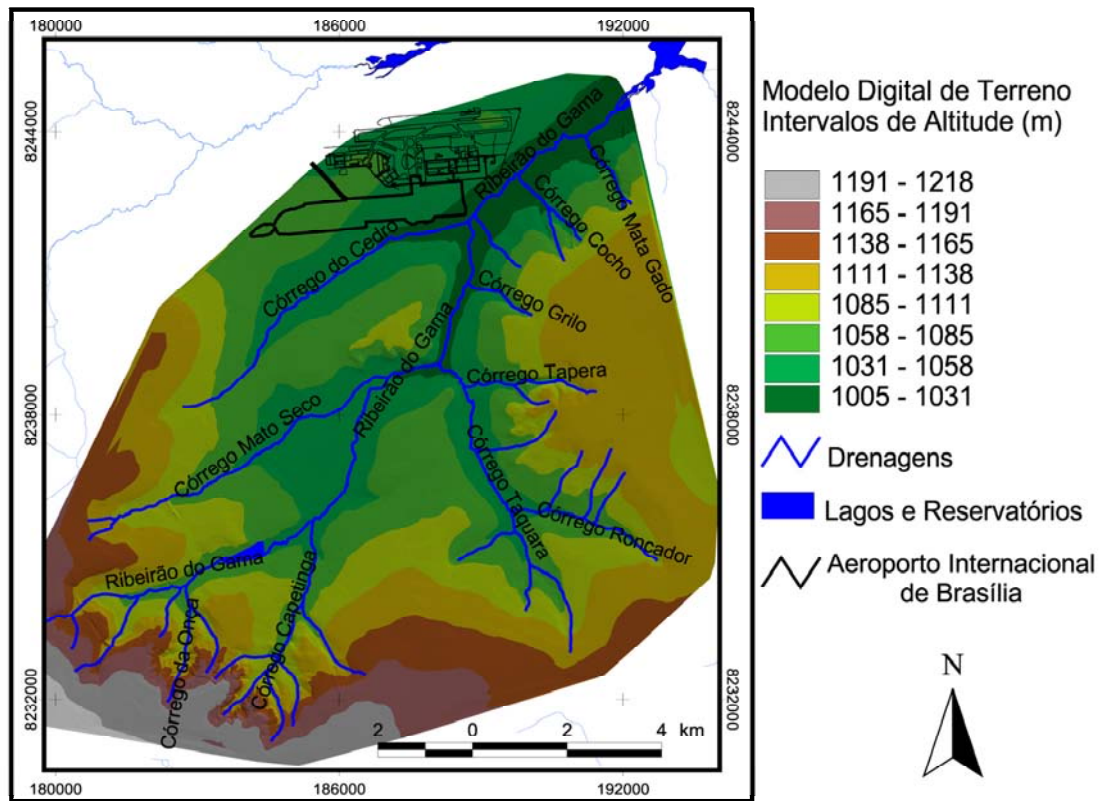


Figura 11 – Modelo Digital de Terreno da Bacia do Gama, gerado a partir de cotas topográficas de 5 em 5 metros usando o modelo de grade triangular (TIN), com as principais drenagens.

No contexto hidrogeológico, Campos (2004) compartimentou o DF em dois domínios de aquífero, o Poroso e o Fraturado (Figura 12). Os aquíferos do Domínio Poroso têm suas águas armazenadas nos espaços intersticiais dos solos, nos mantos de alteração rochosos (saprolitos) e em materiais acumulados em calhas de drenagens (aluviões). Os parâmetros hidrogeológicos, como a espessura saturada (b) e condutividade hidráulica (K), são responsáveis por variações locais no domínio Poroso. Geralmente os aquíferos deste domínio possuem solos com espessuras rasas a profundas (80 metros), homogêneos, compondo aquíferos do tipo livre ou suspensos. As águas desse domínio são aproveitadas através de poços rasos, susceptíveis a contaminação por agentes externos. Em função dos parâmetros b e K são subdivididos em P1, P2, P3 e P4.



Os aquíferos do Domínio Fraturado são associados a meio rochosos onde a água está armazenada em descontinuidades como falhas e fraturas. No DF, o Domínio Fraturado está associado à porosidade secundária, posto que os espaços intergranulares foram preenchidos durante a litificação e o metamorfismo. São aquíferos livres ou confinados, sem restrição de profundidade, anisotrópicos, heterogêneos e respondem pelas maiores vazões em poços tubulares profundos. De acordo com estudos de geologia estrutural e vazões associados às análises estatísticas, esse domínio é dividido em Sistemas Paranoá, Canastra, Araxá e Bambuí. Quanto à contaminação por agentes externos, o grau é muito baixo face ao poder filtrador que o Domínio Poroso sobreposto exerce.

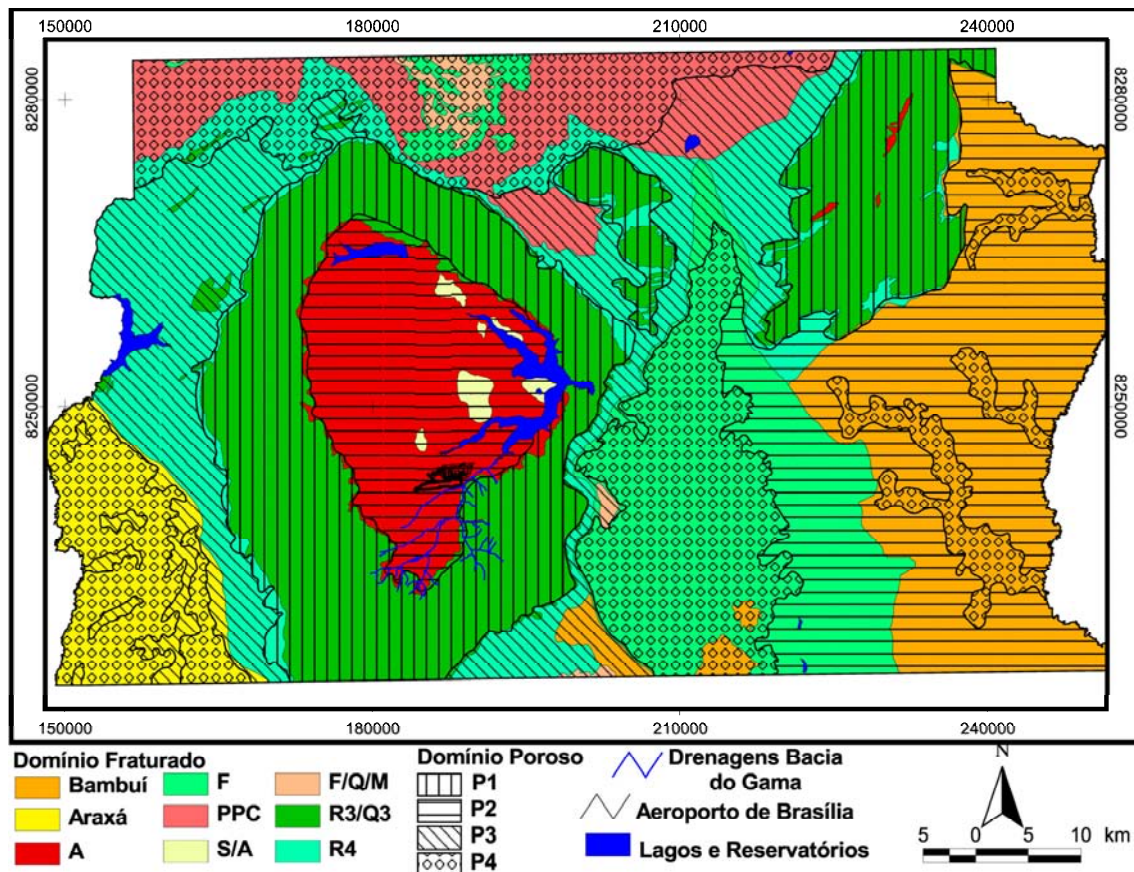


Figura 12 – A bacia hidrográfica do Gama no contexto hidrogeológico do Distrito Federal (adaptado de Freitas-Silva & Campos, 1998b).

A qualidade de água nos aquíferos é devida a interação com o substrato, natureza do substrato e o tempo de circulação. Fatores como cobertura vegetal, espessura da zona não saturada, precipitação e uso e ocupação do solo podem alterar a qualidade da água. O pH está ligado a natureza da rocha, sendo os valores mais ácidos (5,5) associados aos quartzitos, os mais neutros (~6) às rochas pelíticas e os mais



básicos (até 10) às rochas carbonáticas. A concentração de cálcio e magnésio é anômala em rochas carbonáticas mas, no geral, é baixa tal como a alcalinidade e dureza.

A área de estudo é classificada, de acordo com Campos & Freitas-Silva (2002b), como Sistema P2, no domínio Poroso e Subsistema A, do Sistema Paranoá do domínio Fraturado. O sistema P2 é caracterizado por espessuras maiores que 5 m, condutividade hidráulica média e vazões inferiores a 800 m³/s. O subsistema A é composto por ardósias e possui a vazão mais baixa do Sistema Paranoá, média de 4390 m³/s.

Campos (2004) destaca que a super e sobre-exploração do aquífero são problemas que merecem a devida atenção, pois a água subterrânea é um recurso hídrico estratégico para complementar o abastecimento público nas épocas de seca, além de sua preservação ser um fator relevante na manutenção das vazões dos recursos hídricos superficiais. Por fim, o autor frisa a importância do monitoramento dessas águas visando a racionalização do uso.

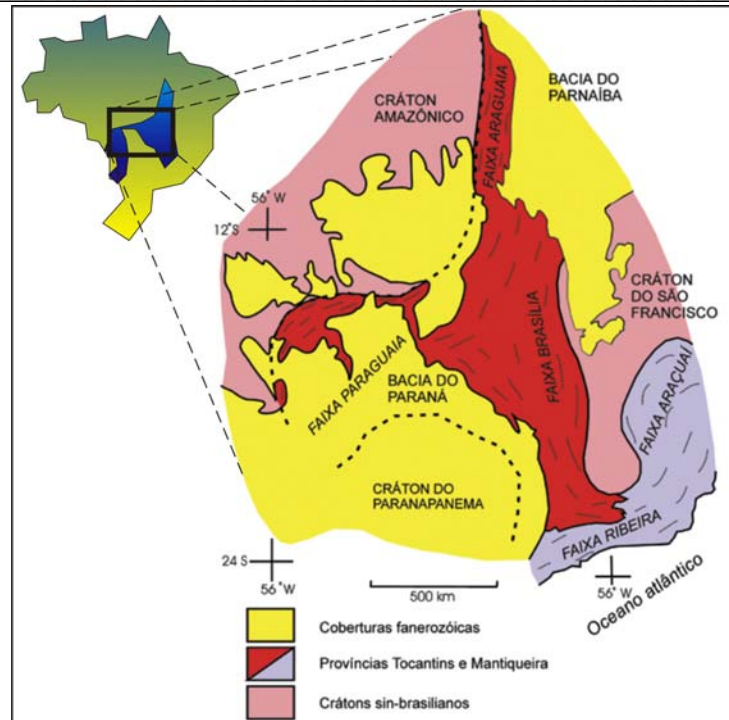
GEOLOGIA

O Brasil está inserido na Plataforma Sul-Americana, parte continental da Placa Sul-Americana, de idade fanerozóica e circundada a oeste pelo Cinturão Andino e o Bloco da Patagônia, ambos terrenos instáveis (Almeida *et al.*, 1981). A Plataforma possui uma composição complexa, refletindo uma história policíclica do seu embasamento, com idades desde o Paleoarqueano (3,5 Ga) ao Neordoviciano (500-480 Ma) (Schobbenhaus & Brito Neves, 2001).

Dentro do território brasileiro, destacam-se os crátons São Francisco, Amazônico e o possível Bloco Paranapanema (coberto pelos basaltos da Bacia do Paraná) que, durante o Neoproterozoico, convergiram e colidiram formando a Província Tocantins (Figura 13), orogenia que se estabilizou no Ciclo Brasileiro (~600 Ma.) (Valeriano *et al.*, 2004).



Figura 13 - Posicionamento da Província Tocantins em relação aos crátons Amazônico, São Francisco e Paranapanema (modificado de Almeida *et al.*, 1981).



A Província Tocantins foi compartimentada por Almeida *et al.* (1981) em três regiões estruturalmente distintas:

1) Maciço Mediano, parte central dominada por gnaisses comumente intrudidos por rochas básicas e ultrabásicas, além de seqüências vulcano-sedimentares mineralizadas em ouro e cobre;

2) Faixa de Dobramentos Uruaçu, constituída por metassedimentos pelíticos e psamíticos, cuja feição principal é a Megaflexura dos Pirineus, resultado da interseção de duas faixas de dobramentos não paralelas de idades e estilos diferentes (Araújo Filho, 2000);

3) Faixa de Dobramentos Paraguai-Araguaia, bordejando o cráton Amazônico, onde conglomerados foram depositados indicando uma transgressão marinha, seguido por uma deposição glacio-marinha em contato angular com uma unidade carbonática sotoposta por sedimentos pelíticos. Plútons graníticos, pós-tectônicos ocorrem na porção central da faixa. Depósitos de rochas terrígenas como arcósios (depósitos molássicos) marcam a sedimentação mais jovem da faixa.

Uma proposta que tem sido aceita atualmente para a compartimentação da Província Tocantins (Figura 14) é de Fuck *et al.* (1994), que a caracteriza de leste para oeste em: 1) Zona Cratônica; 2) Faixa Brasília; 3) Maciço de Goiás; 4) Arco Magmático do Oeste de Goiás e; 5) Faixa Paraguai-Araguaia.

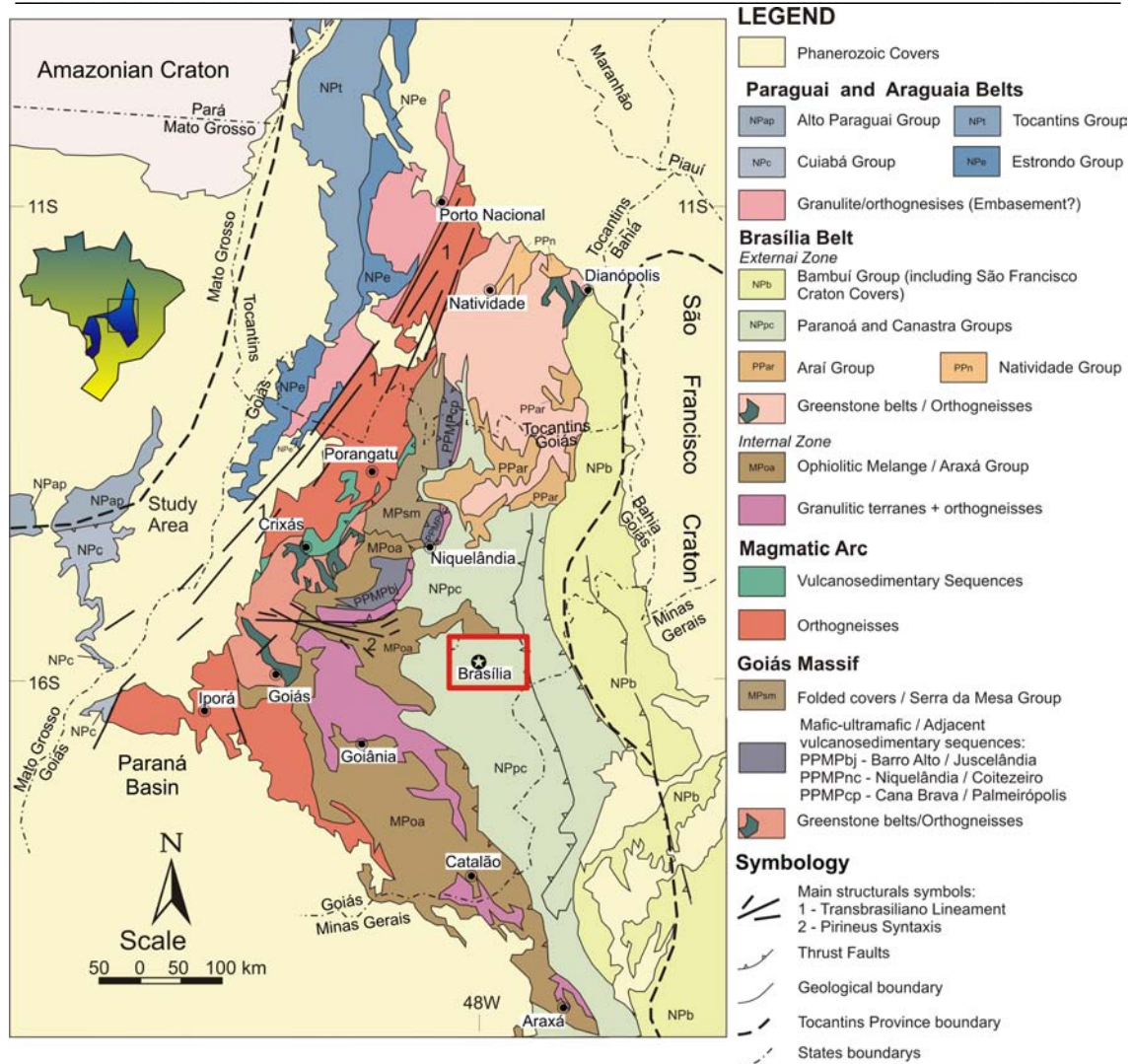


Figura 14 – Compartimentação da porção centro-leste da Província Tocantins, com destaque para a região do Distrito Federal (modificado de Pimentel *et al.*, 2004).

A Faixa Brasília estende-se por cerca de 1000 km, na direção norte-sul, bordejando a margem oeste do Cráton São Francisco e a borda leste do Maciço de Goiás e é composta por rochas metassedimentares com grau de deformação progressivamente maior na direção oeste (Dardenne, 2000). A Faixa Brasília tem sua compartimentação tectônica diferenciada em dois ramos: o segmento setentrional, de orientação NE e o segmento meridional de orientação NW, separados entre si pela Megaflexura dos Pirineus. A diferenciação entre os segmentos é devida, além da orientação, à estratigrafia, feições estruturais e grau de deformação (Valeriano *et al.*, 2004; Freitas-Silva & Campos, 1998a).

O Distrito Federal está localizado na região central da Faixa Brasília, onde os dois segmentos estão superpostos, bem como na zona de transição entre as porções



interna e externa dessa faixa. As unidades de rocha que afloram no Distrito Federal pertencem aos Grupos Canastra, Paranoá, Araxá e Bambuí (Figura 15). Na área de estudo foi observado apenas a Unidade A do Grupo Paranoá.

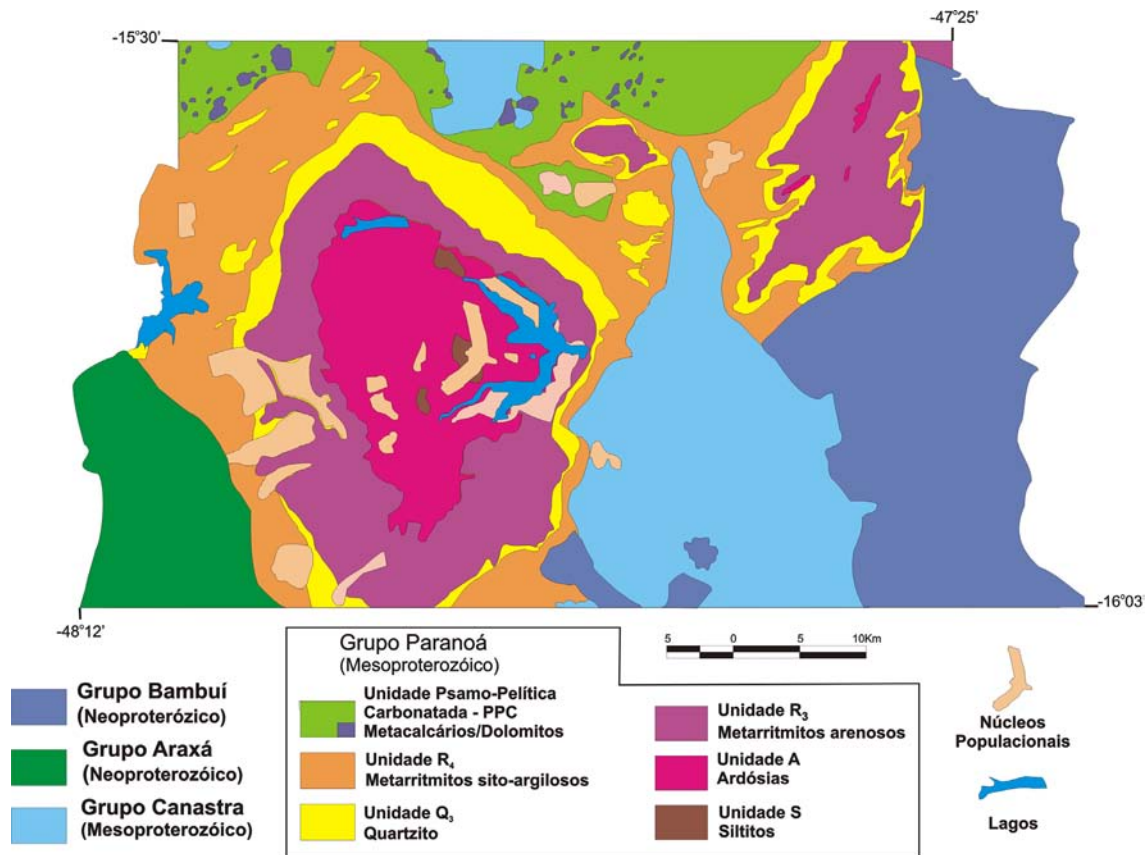


Figura 15 – Mapa geológico simplificado do Distrito Federal. Modificado de Campos & Freitas-Silva (2002c).

Grupo Paranoá

Faria (1995), fundamentando seus estudos na estratigrafia da área tipo de Alto Paraíso de Goiás, estabeleceu a estratigrafia das rochas do Grupo Paranoá no Distrito Federal. Das sete unidades da área tipo, apenas seis estão presentes no DF, são elas: S, A, R₃, Q₃, R₄ e PC (Figura 16). A unidade Q₂, base do grupo Paranoá é restrita no DF, são quartzitos finos a médios com níveis conglomeráticos em direção ao topo. Estrutura sedimentar do tipo estratificação cruzada revirada indica retrabalhamento por meso e macro marés.

A unidade S é composta em sua maioria por metassiltitos argilosos, ocorrendo subordinadamente metarritmitos arenosos no topo da unidade, quartzitos estratificados e lentes de metacalcário. A unidade A são ardósias roxas com bandamentos siltosos



apresentando clivagem ardósiana contudente e lentes de quartzitos. Intercalações irregulares de quartzitos finos, brancos e laminados com metassiltitos são típicos da unidade metarritmito R3, além das estratificações cruzadas, *hummockys* e marcas onduladas.

A unidade Q3 é composta por quartzitos finos a médios, selecionados com marcas onduladas e estratificação cruzada. Os metarritmitos argilosos da unidade R4 são alternâncias de metassiltitos e metargilitos com quartzitos finos. Estruturas do tipo *hummocky*, marcas onduladas, laminações cruzadas e raras gretas de contração estão presentes na unidade R4. Constituindo o topo da seqüência há a unidade pelito-carbonatada PC composta por metargilitos, metassiltitos e ardósias intercalados com lentes de calcário (às vezes dolomíticos) e quartzitos pretos e grossos.



CAPÍTULO 4

MÉTODOS

AMOSTRAGEM

Na definição dos pontos de amostragem foram consideradas as diversas situações de uso e ocupação do solo e as vias de acesso, de modo a obter máxima representatividade do espaço físico e dos processos que alteram a qualidade da água. As análises do mapa hidrográfico e das imagens de satélites do Distrito Federal, bem como dos estudos anteriormente realizados na bacia, definiram os pontos de amostragem e os parâmetros físico-químicos que, além de caracterizarem a área, denunciariam qualquer tipo de alteração na bacia hidrográfica. Assim, optou-se por coletas mensais em cinco pontos.

Os parâmetros selecionados para o estudo foram pH, temperatura, condutividade, oxigênio dissolvido, alcalinidade, turbidez, cor, dureza, nitrato, nitrito, amônia, sólidos em suspensão, sólidos dissolvidos, sólidos totais, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, vazão e os elementos: Ca, Mg, Fe, Al, Si, P, Na, K, Mn, Cu, Cd e Pb.

Para a coleta de água foram tomados todos os cuidados na manipulação de modo a evitar contaminações que poderiam intervir nos resultados. As coletas foram feitas em garrafas de polietileno de dois litros, identificadas, previamente lavadas em laboratório com ácido clorídrico 1:3 e água destilada, completadas e esvaziadas por cinco vezes, antes da coleta em definitivo, com o objetivo de eliminar qualquer tipo de impureza. A coleta foi sempre realizada com a boca do frasco na direção contrária a correnteza, a alguns centímetros de profundidade, considerando que a profundidade máxima na área não ultrapassa 1 m.

DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS

Do ponto de vista físico-químico adotou-se as técnicas de análise, e também de coleta, segundo o *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater*, vigésima edição da *American Public Health Association (APHA)*, da *American Water*



Works Association (Awwa), e da *Water Pollution Control Federation* (WPCF) através do uso dos equipamentos: multiparâmetro HORIBA Water Checker U-40 e o espectrofotômetro UV-Visível HACH-DR 2000.

Com o multiparâmetro, no campo, foram determinados pH, condutividade, total de sólidos dissolvidos (TDS), oxigênio dissolvido e temperatura. Antes de ir ao campo, o multiparâmetro era calibrado com padrões de pH, condutividade e oxigênio dissolvido.

No Laboratório de Geoquímica, no processo de filtragem das amostras utilizou-se equipamento de vácuo da marca *Millipore*, modelo *Sterifil* 500 e membrana de celulose de 0,45µm, da mesma marca. O Sólido em Suspensão foi obtido através da diferença entre o peso do filtro de celulose antes e depois da filtragem, após processo de secagem em temperatura ambiente por 24 horas, e a soma com o TDS resultava nos Sólidos Totais. Os parâmetros nitrato, nitrito, amônia, cor e turbidez foram determinados através do espectrofotômetro UV Visível, usando água destilada como branco. A alcalinidade foi determinada através da titulação, usando ácido sulfúrico (H_2SO_4 0,02N) como reagente e fenolftaleína e bromocresol vermelho de metila como indicadores. A demanda química de oxigênio (DQO) foi determinada também pela titulometria, através da adição de permanganato de potássio (KMnO_4 0,0125N) e de ácido sulfúrico (H_2SO_4 1:3) e aquecimento. Após a fervura da solução adicionava-se oxalato de sódio ($\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 0,125N) e a titulação era realizada com o permanganato de potássio (KMnO_4 0,0125N) até o ponto de viragem. A determinação de alcalinidade e DQO eram feitas com amostra não filtrada.

Os elementos foram determinados através do Espectrômetro de Emissão Atômica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP/AES) marca *Spectro Analytical Instruments* modelo FVM03 e do Espectrofotômetro de Absorção Atômica (AAS) marca *Perkin Elmer*, modelo 603 de duplo feixe. Os parâmetros operacionais para o ICP/AES estão relacionados na Tabela 1.

Tabela 1- Parâmetros operacionais do ICP-AES.

Nebulizador	meinhard
Pressão	38 psi
Fluxo de argônio	1 L min ⁻¹
Distância Focal	75 cm
Gerador de rádio frequência	27,12 Mhz
Potência	1,2 kW
Fluxo de gás argônio para resfriamento	13 L min ⁻¹
Fluxo de gás auxiliar	0,5 L min ⁻¹



Na Tabela 2 estão descritos as linhas analíticas e os limites de detecção obtidos nos espectrofotômetros.

Tabela 2 - Linhas analíticas e limites de detecção para os elementos determinados. (*) elementos determinados em AAS

Elemento	Linha analítica (nm)	Limite de detecção (µg/mL)
Al	308,22	0,0139
Ca	317,93	0,0064
Cd	226,5	0,001
Cu	324,75	0,0017
Fe	259,95	0,0013
Mg	279,88	0,01
Mn	257,61	0,0017
P	178,29	0,005
Si	251,61	0,01
Pb	283,31	0,1
Na*	296,2	0,015
K*	384,2	0,04

As leituras de Na e K nas amostras foram determinadas em relação à intensidade da emissão nas respectivas linhas espectrais utilizando espectrofotômetro *Perkin Elmer*. A relação entre intensidade da emissão e a concentração do elemento foi obtida a partir da leitura de padrões, resultando numa curva de regressão usada para calcular a concentração dos cátions nas amostras.

Para a obtenção da vazão, a seção transversal do rio foi dividida em pequenas áreas parciais, cuja velocidade da correnteza era determinada pelo molinete SANEI com hélice de três pás. A vazão total foi calculada somando o produto das velocidades de cada área parcial (Figura 16).

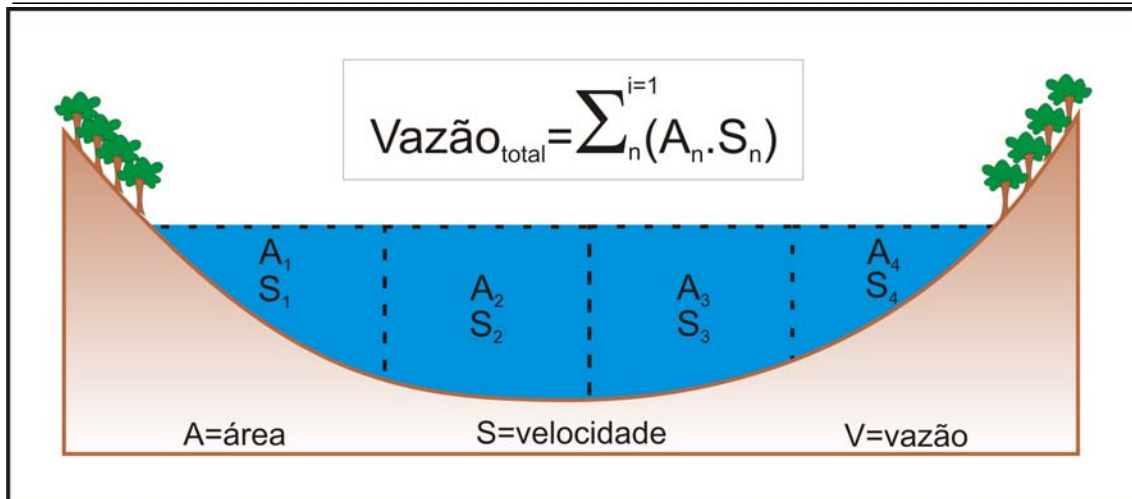


Figura 16 – Método de cálculo da vazão.



CAPÍTULO 5

OS MÉTODOS ESTATÍSTICOS

O estudo em questão envolve a coleta de dados mensais de parâmetros de qualidade de água em cinco pontos durante dois anos. Para organizar, resumir e descrever essas características recorreu-se ao emprego da Estatística Descritiva que, através das médias, desvios padrões, porcentagens, máximos, mínimos, gráficos e tabelas, condensam-se os dados, facilitando a interpretação e visualização.

Apesar das medidas descritivas conseguirem comprimir a grande quantidade de dados, essa compressão é acompanhada com a perda dos mesmos, tendo em vista que as observações originais são agrupadas. Para contornar esse problema as técnicas estatísticas são bem vindas e amplamente utilizadas em estudos de qualidade de água. Neste contexto optou-se por usar técnicas de análises multivariadas, que reduzem a grande quantidade de dados em um pequeno número de fatores que são facilmente interpretados (Voudouris *et al.*, 2000). Principais componentes e análise de cluster são as principais técnicas multivariadas.

Tratamento dos Dados

O uso de algumas técnicas estatísticas só é feita de maneira correta se as observações não registrarem valores nulos, ausentes e letras/símbolos. Geralmente, quando um parâmetro é determinado, existem três possibilidades de resultados: o valor nulo, valores reais e valores abaixo do limite de detecção. Alguns equipamentos, quando exibem o valor nulo como resultado, fazem com que o usuário interprete aquele valor como ausente na amostra, porém, o que realmente acontece é que o aparelho não consegue calcular um valor abaixo da sua capacidade de percepção, mostrando um valor nulo. Equipamentos como os espectrômetros de emissão atômica e de massa, têm limitações na detecção de determinados elementos que são inerentes ao método de análise. Esses equipamentos quando detectam determinado parâmetro/elemento, mas não conseguem quantificá-lo, exprimem essa limitação na forma de um valor abaixo do limite de detecção (Barros, 2002). Tal limite é dependente de diversas variáveis, como corrente elétrica que gera o plasma, solução usada na calibração, manutenção do



equipamento, interferência de outros elementos e outras. Os valores reais são expressos quando o equipamento consegue detectar o parâmetro e exprime a quantidade na forma de um número não nulo.

Neste estudo, assim como nos estudos de Chen *et al.*(2007) e Petersen *et al.* (2001), ao invés de eliminar a determinação com concentração abaixo do limite de detecção (<LD), de algumas amostras, optou-se por substituir esses valores pelo valor correspondente a metade do LD para aquele parâmetro. Para os valores nulos (zero) as determinações foram substituídas pela metade do menor valor da série para aquele parâmetro, naquele ponto. As análises que usam a Correlação de Pearson e a técnica de Principais Componentes excluem uma observação inteira caso alguma determinação esteja com o valor zero ou outro símbolo que não seja um número não nulo, comprometendo muito a interpretação dos dados. Tais procedimentos explicados acima foram propostos e aplicados com o único objetivo de não perder informações.

Técnicas Estatísticas

Correlação

A correlação é uma ferramenta muito importante quando se deseja avaliar a relação entre duas medidas quantitativas. Através dela é possível verificar a associação entre as variáveis e também, prever um valor de uma variável a partir de outra. A correlação avalia o grau de associação linear entre as medidas através do coeficiente de correlação de Pearson (r), definido por:

$$R_{jk} = \text{COV}_{jk} / (S_j \times S_k)$$

Onde COV_{jk} é a covariância amostral entre as variáveis j e k , e S é o desvio padrão das variáveis j e k . A correlação varia entre +1 e -1, sendo que os valores sugerem uma relação perfeita direta e inversa respectivamente. O valor zero indica ausência de relação linear entre as variáveis (Davis, 2002).



Padronização

Em estatística, a padronização é ferramenta usada para transformar dados com diversas ordens de grandeza e unidades específicas de medida, em valores compatíveis, passíveis de comparação e interpretação entre variáveis distintas. A operação matemática envolvida é:

$$Z = (x - \mu) / \sigma$$

Onde o valor padronizado Z é a subtração do valor que se quer padronizar x pelo valor referência, usualmente a média amostral, dividido pelo desvio padrão. Os novos valores são compatíveis com uma distribuição com média zero e desvio padrão 1.

Análise de Fator/Principais Componentes

O termo análise de fator é amplamente usado para designar procedimentos computacionais que tem em comum o objetivo de tentar revelar uma estrutura simplificada, dentro de um conjunto multivariado de observações (Hair, 1998). Tal estrutura é expressa na forma de variâncias e covariâncias, entre variáveis e similaridades entre observações (Davis, 2002). Atualmente existem diversas variações de análise de fator.

A análise de principais componentes é uma técnica usada para reduzir a dimensão de problemas multivariados e detectar os parâmetros mais significativos que descrevam o conjunto de dados com a mínima perda dos dados originais. Essa técnica permite reconhecer padrões que expliquem a variância de um grande grupo de variáveis inter-correlacionadas, transformando-as em variáveis lineares independentes, não-correlacionadas, chamadas de principais componentes, que nada mais são uma combinação linear das variáveis originais. (Petersen *et al.*, 2001, Chen *et al.*, 2007, Vega *et al.*, 1998, Fernandes *et al.*, 2006). De acordo com Shrestha & Kazama (2007) e Singh *et al.* (2005) a principal componente pode ser expressa como:

$$Z_{ij} = a_{i1}X_{1j} + a_{i2}X_{2j} + a_{i3}X_{3j} + \dots + a_{im}X_{mj}$$



onde a é o peso da componente, z é o resultado da componente, x o valor da variável, i o número da componente, j o número da amostra e m o número total de variáveis.

O resultado da análise de principais componentes pode ser resumido em um autovetor, também denominado de componente principal e um autovalor, que expressa o quanto da variância dos dados é explicada pelo autovetor correspondente. Um critério que muitos autores sugerem para determinar o número de autovetores que devem ser considerados para a interpretação, proposto por Kaiser (1958), é o de autovalor maior que um (Chen *et al.*, 2007, Fernandes *et al.*, 2006, Singh *et al.*, 2005, Voudouris *et al.*, 2000 e Shrestha & Kazama, 2007). Outro critério, denominado método de Cattell ou simplesmente método gráfico (*scree-plot*), proposto por Cattell (1966), sugere uma separação visual, no gráfico de autovalores versus autovetores, que inclui todos os autovetores anteriores à primeira queda da inclinação do gráfico (Vega *et al.*, 1998, Nonato *et al.*, 2007). Geralmente as duas primeiras componentes principais conseguem explicar a maioria da variância nos dados e a importância delas decresce das primeiras para as últimas, uma vez que as últimas explicam uma pequena porcentagem da variância das observações (Strapasson *et al.*, 2000).

Mesmo reduzindo a grande quantidade de variáveis para algumas componentes, o significado destes ainda pode ser difícil de explicar. De acordo com a teoria da análise de fator, a técnica gera p eixos ortogonais num espaço de m dimensões, ou seja, $m-p$ eixos desnecessários são calculados. No entanto, são necessários apenas p eixos para explicar os dados e, se os eixos desnecessários forem retirados é possível rotacionar os p eixos procurando a melhor posição para eles (Davis, 2002). Dois tipos de rotação são usados, oblíquo e ortogonal, e aplicados numa grande variedade de procedimentos (Varimax, Quartimax, Equimax – ortogonais - Promax e Oblimin Direct - oblíquos) cuja escolha deve ser feita de maneira interativa, num processo de tentativa e erro (Davis, 2002, Abdi, 2003 e Hair, 1998).

Autores como Regunath *et al.* (2002), Jayakumar & Siraz (1997) Chen *et al.* (2007), Voudouris *et al.* (2000) & Davis (2002) destacam dois modos de se fazer a análise de principais componentes: o modo R e o modo Q. A análise do modo R mostra a relação entre as variáveis e o modo Q entre as amostras estudadas.



Análise de Agrupamento (*Cluster Analysis*)

A análise de agrupamento é um conjunto de técnicas de análise multivariada que tem como objetivo reunir as observações (*cases*) similares/semelhantes na mesma classe (*clusters*) e as dissimilaridades em classes diferentes (Singh *et al.*, 2005, Shrestha & Kazama, 2007, Chen *et al.*, 2007, Hair, 1998). Segundo Vega *et al.* (1998), a análise de agrupamento usa toda variância ou informação disponível nos dados originais na classificação. Assim, como a análise de principais componentes, a análise de agrupamento é um meio fácil de interpretar os dados e indicar padrões.

Davis (2002) agrupa os diversos procedimentos de classificação em quatro grandes grupos: *Partitioning*, *Arbitrary origin*, *Mutual similarity* e *Hierarchical*. Dessas quatro, o agrupamento hierárquico é o mais usado e consiste em unificar as observações em classes ou grupos sucessivamente maiores através da utilização de alguma medida de similaridade ou de distância, formando um diagrama de “árvores” ou dendograma. Uma medida de similaridade comum é a distância Euclidiana, onde a menor distância entre os objetos indica similaridade que vai diminuindo com o aumento da distância. *Squared Euclidian Distance* e *Power Distance* são outras maneiras de medir a similaridade. Diversos também são os métodos de realizar o agrupamento ou a amalgamação das classes, dentre eles destaca-se o método de *Ward's*, baseado no conceito de análise de variância e segundo Regunath *et al.* (2002) e Vega *et al.* (1998), é o método que produz a maior proporção de observações classificadas corretamente e usa mais informação nos conteúdos do *cluster* do que a maioria dos outros, mostrando-se um mecanismo completo de agrupamento.

O modo R e o modo Q da análise de principais componentes também são aplicados para análise de cluster.

Um método de classificação não-hierárquico por repartição (*Partitioning*), não menos importante, é o *k-means* ou k-médias. Esse algoritmo difere-se dos outros métodos na medida em que é possível determinar o número de grupos/classes (*clusters*, *k*) a serem diferenciados, com a maior distinção possível entre eles (Hair, 1998, Beauchaine & Beauchaine III, 2002). O método começa com a seleção de um grupo embrionário (*cluster seed*), aleatoriamente, como um grupo central e todas as observações dentro de uma distância inicial pré-especificada, que são inclusas no grupo resultante. Novamente, outro grupo embrionário é escolhido e a seleção continua até



que todas as observações estejam atribuídas a um grupo. As observações podem ser reatribuídas se elas estiverem mais próximas de outro grupo, do que aquele inicialmente escolhido (Hair, 1998). Os grupos são formados de modo a ter a menor e a maior variabilidade dentro e entre os grupos, respectivamente.

Análise Discriminante

A análise discriminante é a técnica mais apropriada quando a variável é categórica (nominal ou não-métrica) e as variáveis independentes são métricas. Em alguns casos, a variável dependente é formada por dois grupos (homem e mulher, bom e ruim...) e em outros por três ou mais grupos. A análise envolvendo dois grupos é chamada de Análise Discriminante de dois grupos (*two-group discriminant analysis*) e a que envolve três ou mais grupos, Análise Discriminante Múltipla (*multiple discriminant analysis*) (Hair, 1998).

Davis (2002) destaca a importância de se definir o processo de discriminação de classificação. A discriminação encontra uma combinação linear das variáveis dependentes que produza a maior diferenciação entre as duas (ou mais) variáveis independentes (categóricas) previamente definidas. Posteriormente usa-se a função (combinação linear) para categorizar novas amostras. A classificação busca separar as amostras em grupos homogêneos separando-os dos distintos. O número de grupos numa função discriminante é definido antes da análise, enquanto que a classificação desses grupos não são pré-determinados.

As funções discriminantes estão sob a forma (Shrestha & Kazama, 2007, Singh *et al.*, 2005, Hair, 1998):

$$Fi = k_i + w_{i1}p_{1j} + w_{i2}p_{2j} + w_{i3}p_{3j} + \dots + w_{ij}p_{ij}$$

Onde i é o número de funções (F), k_i é a constante inerente a cada função, w_i é o coeficiente peso calculado pela análise para cada parâmetro (p_j). Se a análise é usada para discriminar dois grupos, será gerada apenas uma função ($i=1$), e se esta for feita para três grupos, duas funções serão geradas ($i=2$) e assim sucessivamente.

Após multiplicar cada variável independente pelo seu peso correspondente e efetuar a soma, tem-se o escore discriminante. O mesmo é feito para as demais funções,



caso haja dois ou mais grupos na análise. Os escores calculados para cada observação dentro de um determinado grupo são usados para o cálculo do centróide. O número de centróides é proporcional ao número de grupos definidos. O centróide de um grupo indica o quão distante está uma observação da média do seu grupo. No caso da variável dependente ter três grupos, cada observação terá seu escore para as funções um e dois, permitindo que essas possam ser plotadas num gráfico de duas dimensões. Esse gráfico então é separado em zonas, que correspondem à área de abrangência de cada grupo (Hair, 1998). Os escores calculados podem fazer com que uma observação mude de grupo, por exemplo, se antes a amostra foi classificada como um valor médio, após a análise essa observação se encaixará melhor no grupo de valores altos. Esse tipo de situação é usado para checar se a função discriminante é adequada ao estudo ou se os grupos foram pré-determinados corretamente, dependendo do ponto de vista do pesquisador (Klecka, 1975).

Outra maneira de gerar e interpretar escores é usando a função linear discriminante de Fisher (1936). Para cada variável independente são gerados pesos correspondentes a cada variável dependente. Aplicando a fórmula da função discriminante para cada grupo (variável independente), têm-se os escores, ou seja, para cada grupo há um escore. O maior escore determina em qual grupo as observações pertencem.

A análise discriminante pode ser efetuada de três modos, que variam a maneira de como as variáveis são selecionadas para a análise. No modo direto ou padrão (*standard*) as variáveis independentes entram na análise ao mesmo tempo. O modo direto é apropriado quando o pesquisador deseja incluir todas as variáveis independentes na análise e pouco interessa os resultados intermediários. Os resultados intermediários compõem os modos passo a passo (*stepwise*). Esses modos incluem cálculos com objetivo de determinar as melhores variáveis discriminantes entre os grupos.

No modo *backward stepwise* (passo para trás) todas as variáveis são inclusas e a cada passo, a variável que menos contribui para predizer a variável categórica é retirada. No final do processo, somente as variáveis que melhor contribuem, compõem a função discriminante. O modo *forward stepwise* (passo adiante) começa com a variável que melhor contribui para a função, no próximo passo, todas as variáveis são reavaliadas, classificadas e adicionadas segundo sua contribuição para a função (Statsoft, 1999,



Mallet *et al.*, 1996). No programa SPSS está disponível o modo *stepwise* que segundo Klecka (1975), trata-se do modo *forward stepwise* com cinco critérios diferentes de se obter as melhores variáveis.



CAPÍTULO 6

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uso e Ocupação do Solo e a Qualidade de Água

A forma como a superfície de uma bacia hidrográfica é ocupada pelo homem provoca modificações no meio ambiente. Um exemplo dos efeitos de mau uso do solo é o assoreamento de rios em função da ocupação desordenada em encostas, acelerando os processos erosivos (Ferreira *et al.*, 2005). Essa situação de desequilíbrio modifica a qualidade de água, por isso é necessário classificar e caracterizar a ocupação do solo, seja por parte do homem ou pela natureza, confrontando essa informação com os resultados de qualidade de água.

As imagens de satélite são as melhores ferramentas para classificar o uso e ocupação do solo numa bacia. Segundo Silva *et al.* (2005) a escolha da imagem e da metodologia de classificação do uso do solo devem ocorrer de acordo com as necessidades do usuário e com as características da região. No caso da área em estudo foi utilizada uma imagem do satélite *Ikonos* (alta resolução, gratuita e retirada do programa *Google Earth*), procurando discernir as alterações antrópicas das áreas preservadas. As áreas preservadas foram individualizadas de acordo com a classificação da vegetação proposto em Ribeiro & Walter (1998): Mata de Galeria, Vereda, Campo (Sujo e Limpo) Cerrado (sentido restrito) e Cerradão. As áreas desmatadas foram diferenciadas em: Aeroporto de Brasília, Ampliação da segunda pista (área desmatada e modificada durante o período de coleta), Área desmatada (áreas de solo exposto) e Construção (Setor de Mansões ParkWay e dois clubes recreativos da Aeronáutica). O resultado dessa classificação é a Figura 17.

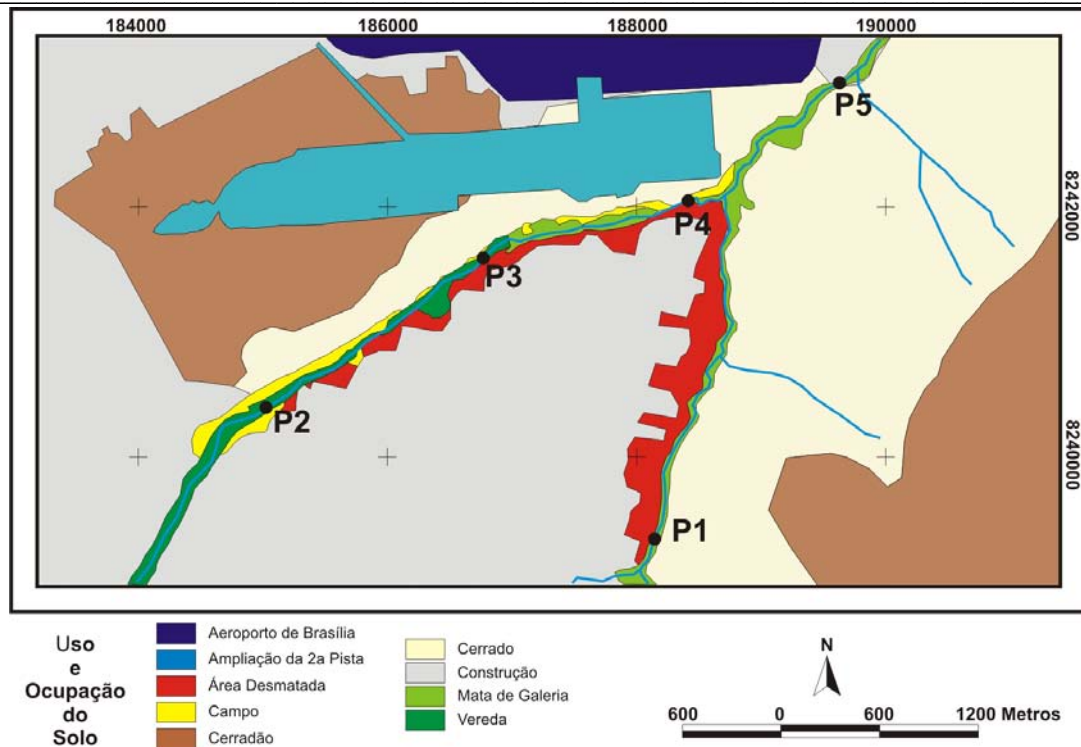


Figura 17 – Mapa de uso e ocupação do solo da área em estudo.

Para melhor interpretação, os dados foram agrupados em quatro períodos: chuvoso de 2004 (novembro de 2003 a abril de 2004), seco de 2004 (maio a setembro de 2004), chuvoso de 2005 (outubro de 2004 a abril de 2005) e seco de 2005 (maio a outubro de 2005). Esses períodos podem ser diferenciados observando a relação entre precipitação e a vazão dos pontos estudados (Figura 18).

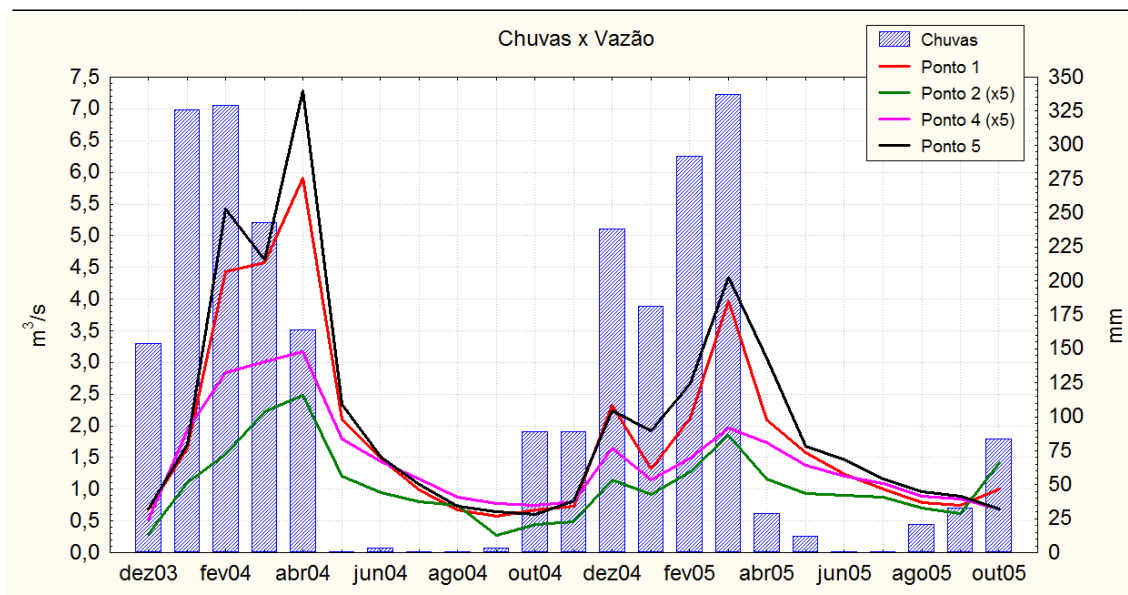


Figura 18 – Relação entre vazão e precipitação nos pontos em estudo (A vazão dos pontos 2 e 4 estão multiplicadas por 5 para melhor visualização). Os dados de precipitação são provenientes da estação da Reserva Ecológica do IBGE, na APA Gama - Cabeça de Veado.

O período chuvoso de 2004, que se iniciou no final de agosto de 2003, fez com que os pontos apresentassem um volume de água quase duas vezes maior que o período de 2005 (Figura 18). Segundo os dados provenientes da estação meteorológica do IBGE, na APA Gama – Cabeça de Veado, foram acumulados 1585 mm de chuvas no período compreendido entre o final de agosto de 2003 e abril de 2004, para o período da coleta de dados (dez/03 a abr/04) choveu 1454 mm, valores esses bem superiores às chuvas de 2004/2005 com uma quantidade de 1255 mm.

No Córrego Cedro, os elementos Mg, Fe e Al apresentaram um leve aumento em suas concentrações ao longo do tempo e dos pontos (montante para jusante, Figuras 20, 21, 22 e 23). O Ca e o Si têm esse aumento mais perceptível, como mostram as Figuras 19, 21, 22 e 23, além de se correlacionarem nos três pontos. Correlações (Anexo 2) entre Ca e Mg; Mg e Al; Mg e Si, e Mg e Cu também são comuns e, subordinadamente, todos os elementos se correlacionam sugerindo a mesma origem. Essa tendência crescente na concentração dos elementos pode estar associada ao processo de ocupação da bacia, principalmente o aumento da atividade da construção civil.

No ponto 3, nos dois períodos chuvosos, o Ca e Si tem suas concentrações decrescentes e os pontos 2 e 4 crescentes (Figura 19). Tal comportamento é indicativo de ausência das ações antrópicas, uma vez que a vegetação preservada impede a entrada de partículas provenientes do escoamento superficial. Na época da seca, onde a vazão é



mantida pela água subterrânea, a concentração dos elementos nessa água é maior no ponto 3 e menor nos pontos 2 e 4, ocorrendo aumento e queda das concentrações nesses pontos (Figura 19), respectivamente. A mesma situação se aplica para os demais elementos, na Figura 20. Os valores médios dos elementos, nas chuvas de 2004, são menores nos três pontos devido à coleta de dados ter-se iniciado no meio do período chuvoso, não abrangendo todos os processos do período. A situação de uso do solo no ponto 4 (áreas desmatadas e proximidade com a construção da segunda pista) faz com que os valores médios e máximos (Figura 23) sejam os maiores para o Córrego Cedro nas épocas de seca. Nesse ponto, além das classes propostas para o mapa de uso e ocupação (Figura 17), há pessoas de baixa renda vivendo no local sem o serviço de coleta de esgoto e lixo, que é despejado no quintal das casas (Figura 6) onde circulam as águas do córrego.

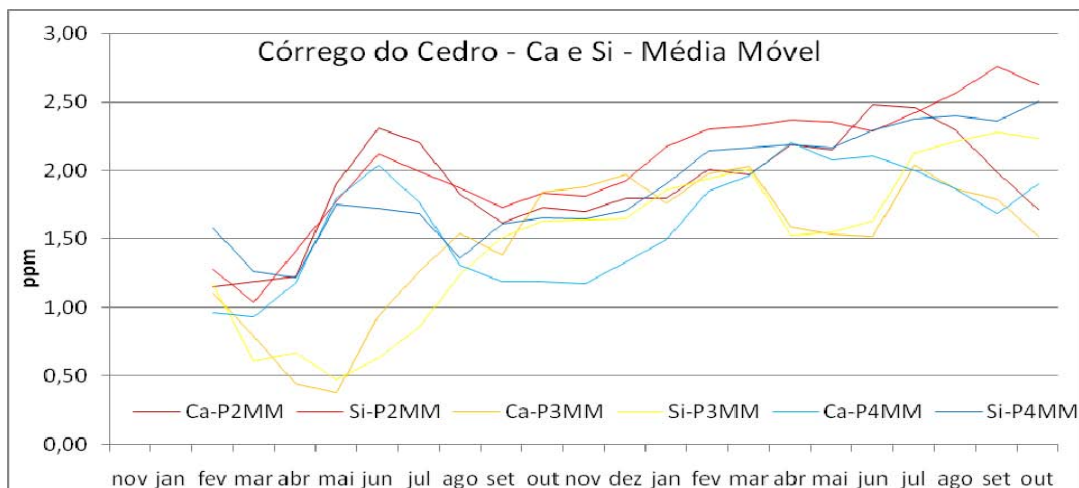


Figura 19 – Concentração de Ca e Si ao longo do período de coleta no Córrego do Cedro.

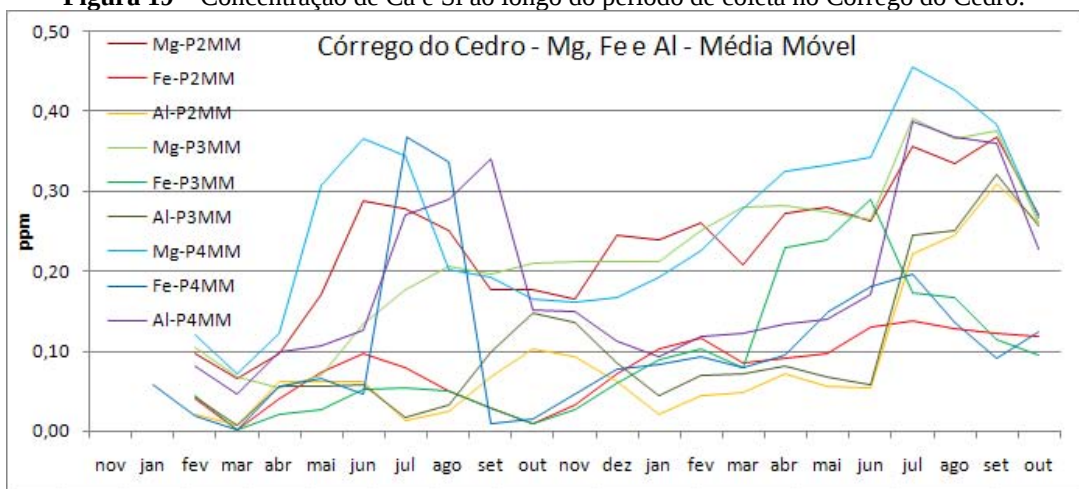


Figura 20 – Concentração de Mg, Fe e Al ao longo do período de coleta no Córrego do Cedro.

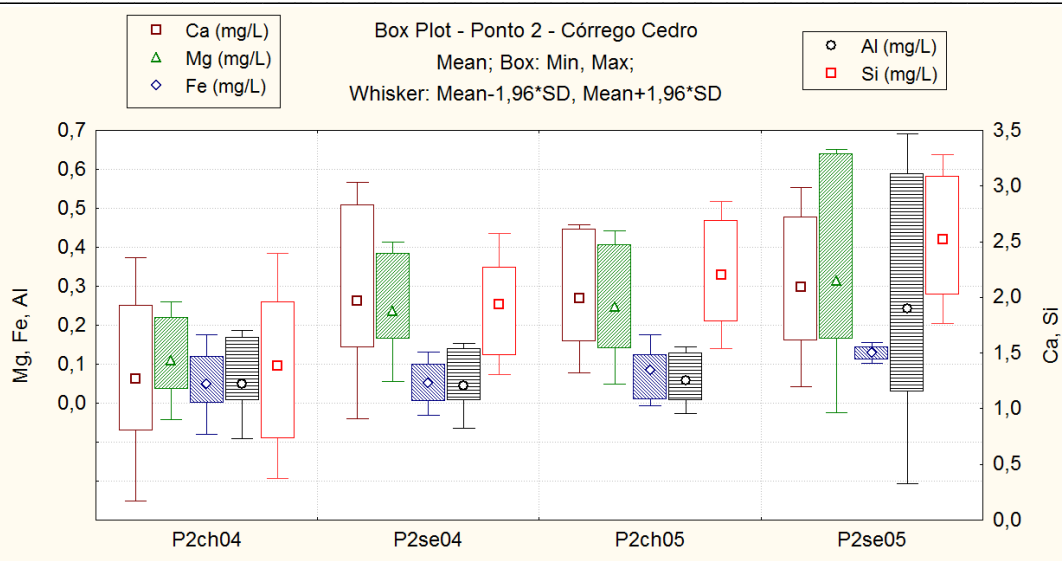


Figura 21 – Comportamento do Ca, Mg, Fe, Al e Si nos períodos chuvosos e secos. Ponto 2.

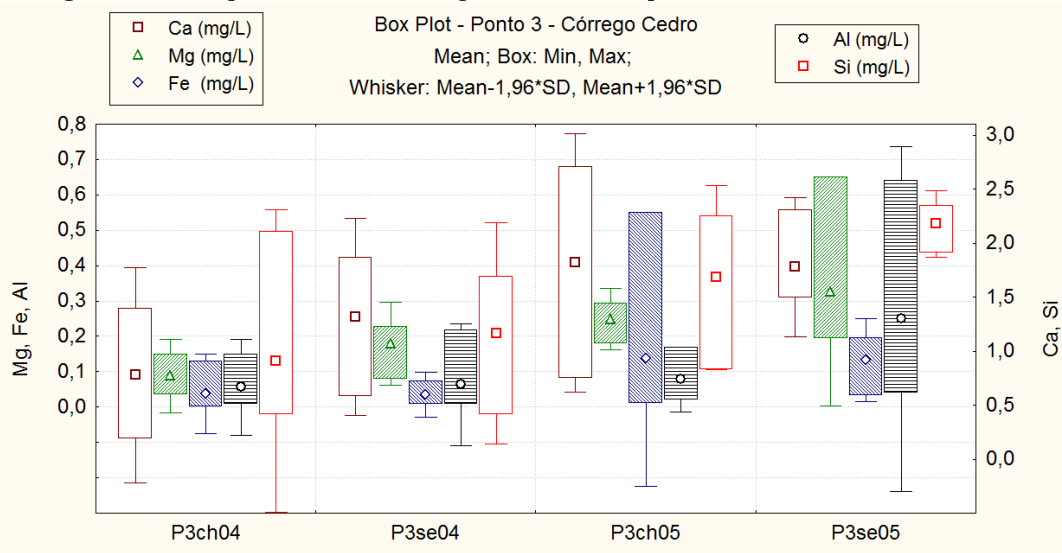


Figura 22 – Comportamento do Ca, Mg, Fe, Al e Si nos períodos chuvosos e secos. Ponto 3.

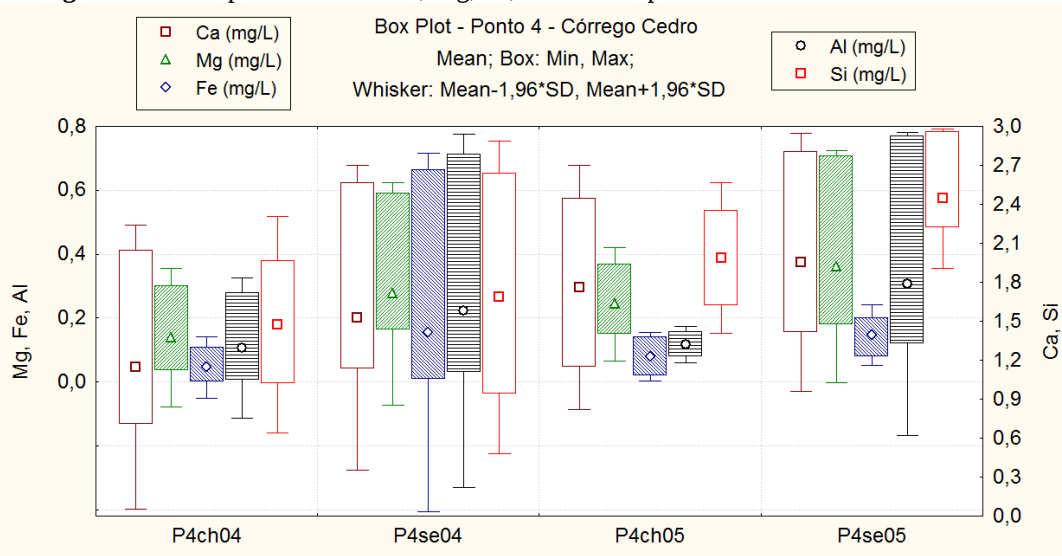


Figura 23 – Comportamento do Ca, Mg, Fe, Al e Si nos períodos chuvosos e secos. Ponto 4.



No Ribeirão do Gama ainda houve a tendência de aumento de concentração do Ca, Mg, Fe, Al e Si ao longo do tempo (Figuras 24 e 25). Houve também uma diferença na dinâmica desses elementos no ponto 1 e no ponto 5. Observando as Figuras 26 e 27 nota-se que há uma concentração maior dos elementos em questão nas épocas de chuva (melhor visualizada no período de 2004 do ponto 1). No mapa de uso e ocupação (Figura 17), o ponto 1 é o dominado por habitações e áreas desmatadas (margem esquerda). A falta de cobertura vegetal e exposição da superfície fazem com que haja maior aporte de sólidos para o ribeirão, acompanhando o aumento da precipitação. Tal comportamento é confirmado através das correlações positivas da vazão com turbidez, Si e Na, condutividade com K, dureza (Ca e Mg), turbidez e sólidos dissolvidos (Anexo 2). Além disso, majoritariamente, a concentração dos elementos no ponto 5 é maior que no ponto 1, indicando incorporação ao longo do curso do ribeirão (Figuras 24 e 25).

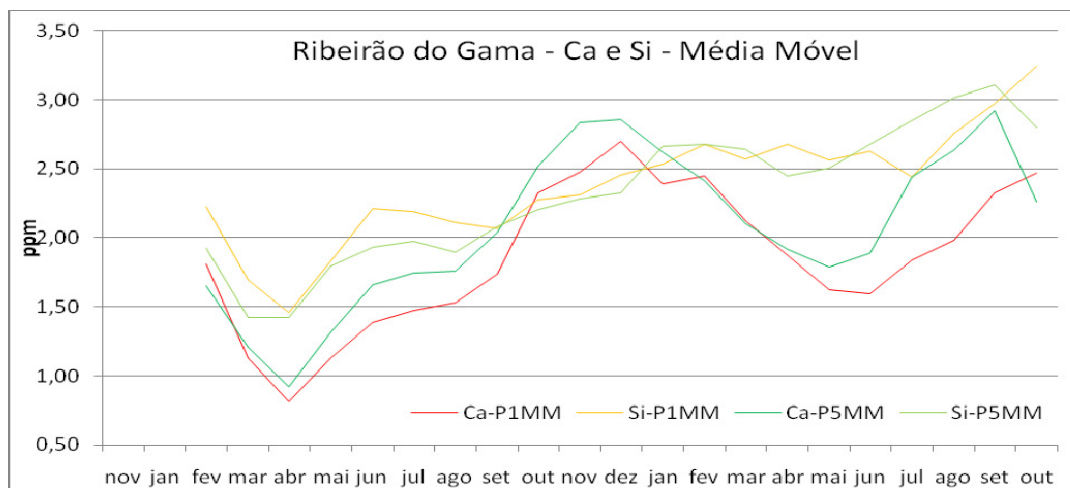


Figura 24 - Concentração de Ca e Si ao longo do período de coleta no Ribeirão do Gama.

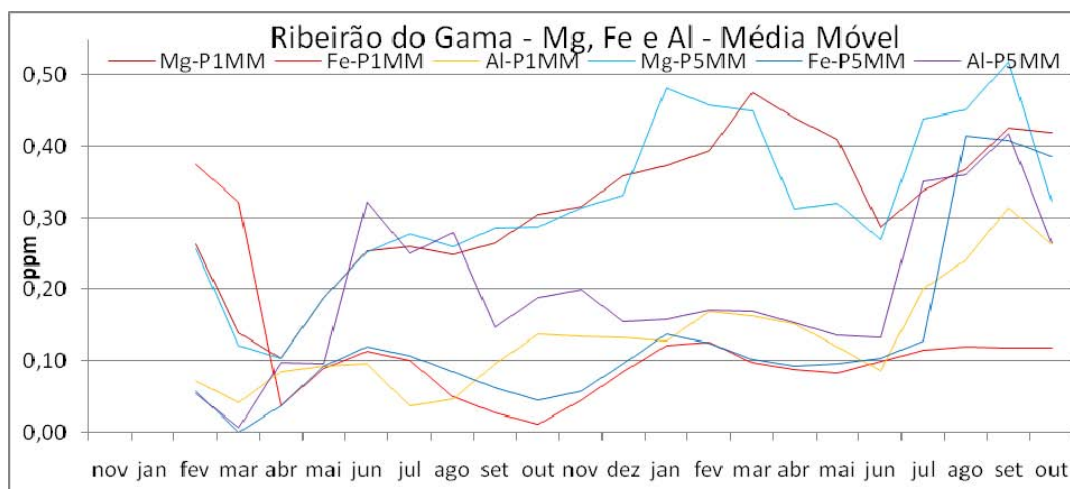


Figura 25 - Concentração de Mg, Fe e Al ao longo do período de coleta no Ribeirão do Gama.

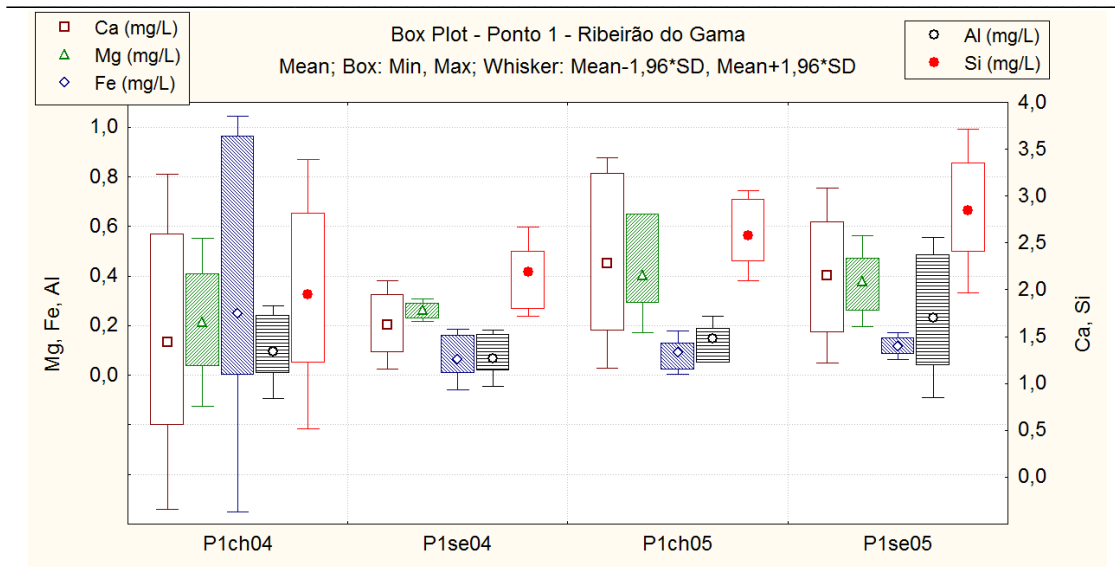


Figura 26 – Comportamento do Ca, Mg, Fe, Al e Si nos períodos chuvosos e secos. Ponto 1.

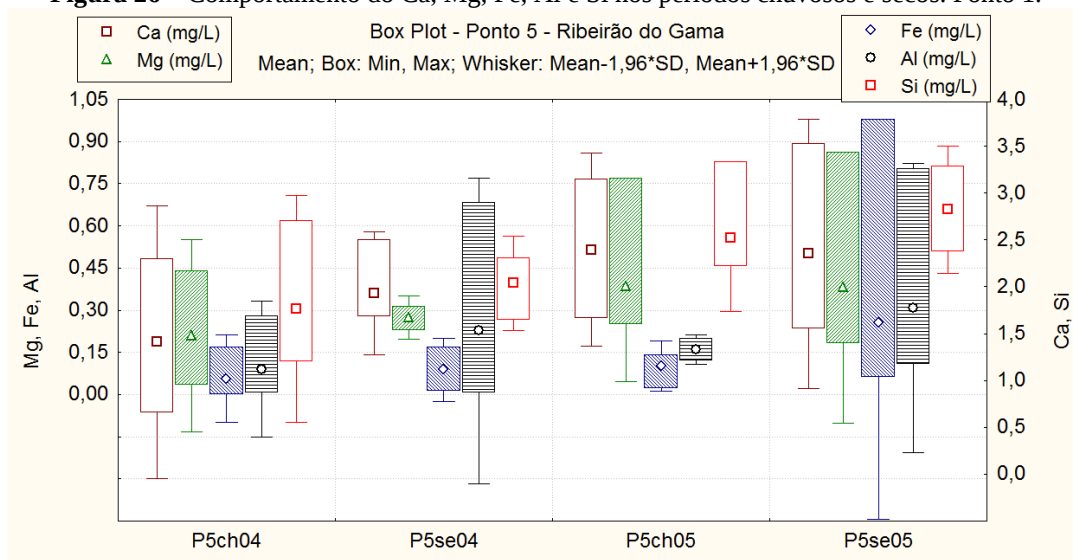


Figura 27 – Comportamento do Ca, Mg, Fe, Al e Si nos períodos chuvosos e secos. Ponto 5.

A presença da cobertura vegetal nas margens do ponto 5 (Figura 17), aliado a capacidade de autodepuração das águas, faz com que os elementos se comportem de maneira análoga aos pontos do Córrego do Cedro. Nos dois pontos do ribeirão, Al, Fe e Si estão correlacionados (Anexo 2), demonstrando origem comum associada aos silicatos de ferro e alumínio, como por exemplo, os argilominerais ilita e caolinita (Moreira, 2002 e Maia, 2003). Ca e Mg também tem origem comum, geralmente associados com rochas calcárias, inexistentes na área de estudo, e com os argilominerais que se desenvolvem durante o metamorfismo e intemperismo das ardósias. Esses dois elementos são muito usados na correção do solo através da calagem e apesar da área de estudo não apresentar essa atividade, ao longo do Córrego Mato Seco e em parte do



Ribeirão do Gama, há o Núcleo Rural Vargem Bonita (Figura 28). Além da relação com argilominerais e agricultura, é possível haver também uma ligação com a atividade de construção civil (cimento e brita), contínua e abundante no Setor de Mansões ParkWay, além da ampliação da segunda pista do Aeroporto Internacional de Brasília.

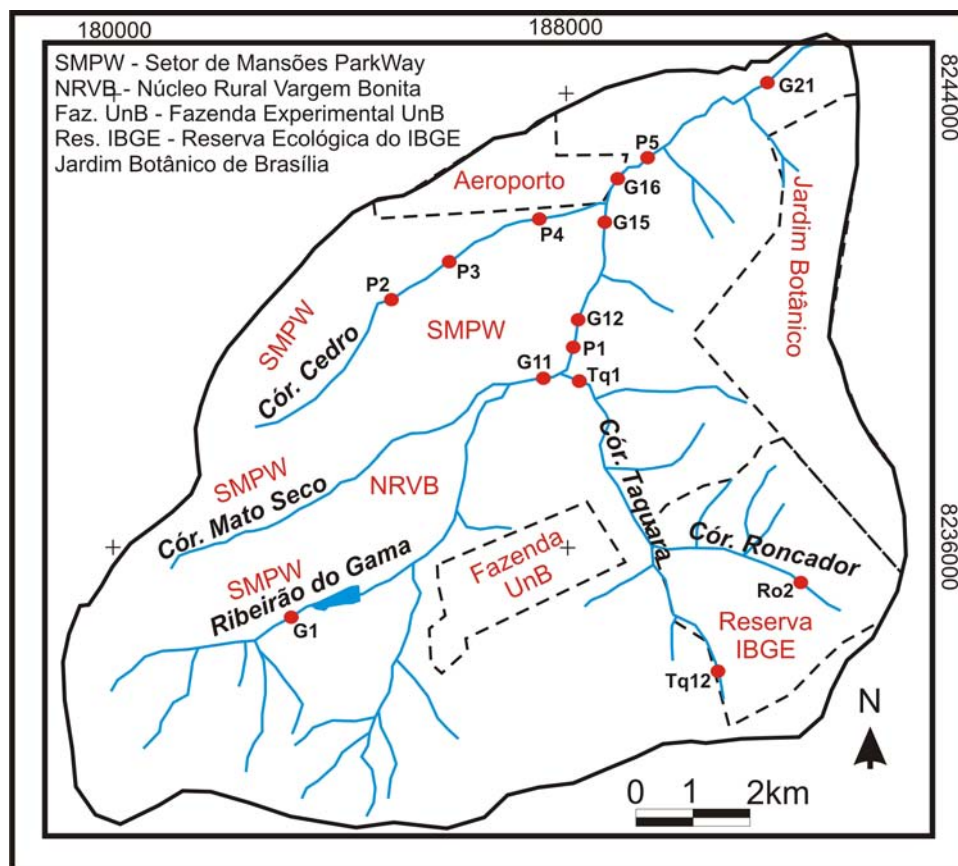


Figura 28 – A bacia hidrográfica do Gama com os pontos de coleta e análise de água relacionados na Tabela 3. A Fazenda Experimental da UnB, Reserva Ecológica do IBGE e o Jardim Botânico fazem parte da APA Gama e Cabeça de Veado.

A análise conjunta da Figura 28 e Tabela 3 justificam a agricultura e a construção civil como responsáveis pelo aumento da concentração de Ca e Mg. Os pontos Ro2 e Tq12 estão situados em áreas de proteção (Reserva do IBGE e Jardim Botânico) e seus córregos, Roncador e Taquara, possuem baixa concentração de Ca e Mg contra as altas concentrações dos pontos G11, G12, Ponto1, G15, Ponto 5, G16 e G21 do Ribeirão do Gama, influenciados pelas atividades antrópicas. O mesmo raciocínio é aplicado para o Fe, Si e Al, no entanto, estão relacionados ao carreamento de argilominerais presentes no solo de áreas desmatadas. O desmatamento também é a causa dos maiores valores médios dos elementos no ponto 5 (Tabela 3), cuja coleta foi



realizada durante a construção da segunda pista, o que não ocorreu para os pontos G16 e G21.

Tabela 3 – Valores médios dos elementos em águas do Ribeirão do Gama (G, Ponto 1 e 5), Córrego Taquara (Tq) e Córrego Roncador (Ro). Disposição geográfica dos pontos na Figura 28.

	1-G1	2-Tq12	3-Ro2	4-G11	5-Tq1	6-G12	7-Ponto 1	8-G15	9-Ponto 5	10-G16	11-G21
Ca	0,384	0,033	0,008	2,958	0,223	1,424	1,91-1,94	1,638	2,16-1,98	1,667	2,044
Mg	0,140	0,016	0,003	0,327	0,050	0,169	0,33-0,32	0,199	0,330	0,174	0,212
Fe	0,169	0,021	0,001	0,162	0,047	0,091	0,09-0,16	0,137	0,18-0,08	0,116	0,274
Al	0,006	0,318	0,001	0,053	0,049	0,030	0,16-0,13	0,049	0,27-0,13	0,042	0,046
Si	1,615	1,378	0,001	2,302	1,850	1,682	2,54-2,31	1,945	2,46-2,2	1,663	2,201
P	0,005	0,009	0,001	0,021	0,002	0,014	0,16-0,03	0,013	0,06-0,03	0,012	0,032
Mn	<LD	<LD	0,002	0,002	<LD	<LD	0,006	0,001	0,021-0,015	<LD	0,004
Cu	0,002	0,002	0,003	0,003	0,002	0,001	0,006-0,004	0,002	0,022-0,011	0,002	0,003

1,4,6,8,10,11 - Região Hidrográfica Ribeirão Gama (Carvalho Júnior, 1998a)

2,3,5 - Região Hidrográfica Ribeirão Gama, Bacia do Taquara (Carvalho Júnior, 1998b)

7,9 - Este trabalho seca-chuva, <LD abaixo do Limite de Detecção.

Comparando os valores médios para os elementos da Tabela 4, o Córrego Cedro tem uma situação bem diferente das áreas mais preservadas da bacia que o abriga (Córregos Taquara, Roncador e Cabeça de Veado), entretanto, mais próxima de áreas que abrigam núcleos urbanos, como as sub-bacias Mestre d' Armas (Planaltina) e do Ribeirão Sobradinho (Sobradinho) e a Bacia do Rio Descoberto (Brazlândia e Santo Antônio do Descoberto). Apesar das águas da Bacia do Bananal estarem situadas dentro de um terço de uma área de preservação, o Parque Nacional de Brasília, a concentração média dos elementos é maior que no Córrego Cedro, que nasce e percorre uma região urbana (Figura 28).

Tabela 4 – Valores médios dos elementos em águas das bacias hidrográficas do DF.

	1-d'Armas	2-Sobradinho	3-Bananal	4-Lago Paranoá	5-Descoberto	6-Veado	7-ETEB Sul	8-Tq12	9-Ro2	10-Cedro
Ca	3,46	2,01	4,88	1,55	5,37-1,41	0,09	7,49	0,033	0,008	1,79-1,53
Mg	1,85	0,59	0,47	0,48	1,76-0,8	0,07	0,85	0,016	0,003	0,29-0,19
Fe	0,14	0,17	0,34	1,44	0,34-0,15	0,09	0,17	0,021	0,001	0,11-0,08
Al	0,07	0,07	0,17	0,10	0,11-0,08	0,10	0,32	0,318	0,001	0,2-0,08
Si	3,11	2,60	3,08	3,92	3,38-2,58	2,86	0,87	1,378	0,001	2,02-1,67
P			0,35	0,40	0,21-0,05	<LD	<LD	0,009	0,001	0,06-0,03
Na	2,08	4,66	0,62	0,54	17,98-2,84					0,59-0,69
K	1,38	1,29	0,59	1,13	4,09-1,03					0,20-0,31
Mn			0,01	0,01	0,122-0,024	0,001	0,006	<LD	0,002	0,009

1,2 - Sub-bacias da Bacia do São Bartolomeu (Pinelli, 1999)

3 - Bacia do Bananal (Boaventura *et al.* 1999)

4 - Bacia do Lago Paranoá (Boaventura 1997)

5 - Bacia do Rio Descoberto (Do Carmo *et al.* 2005) seca-chuva

6,7 - Bacia do Lago Paranoá, Córrego Cabeça de Veado e Est. de Trat. de Esgoto Sul (Moreira, 2002)

8,9 - Bacia do Ribeirão Gama, Córrego Taquara e Roncador (Carvalho Júnior, 1998b)

10 - Bacia do Ribeirão Gama, Córrego Cedro seca-chuva, <LD Abaixo do Limite de Detecção



Outra maneira de se avaliar a entrada anômala de material nas drenagens é a associação da concentração do elemento com a vazão obtida no período. Observando os dois gráficos da Figura 29, para as duas drenagens estudadas, há uma dispersão dos valores de concentração em vazões baixas, as mais amostradas. A diminuição das concentrações em função do aumento da vazão é devido a diluição das águas pelo escoamento superficial, no período úmido. A dispersão das observações em baixas vazões, período seco, está ligada ao aporte esporádico de Ca e Si, provenientes de materiais de construção, construção da segunda pista, erosão do solo e atividades agrícolas. Outra parte dessa dispersão, em menor proporção, está ligada aos erros analíticos.

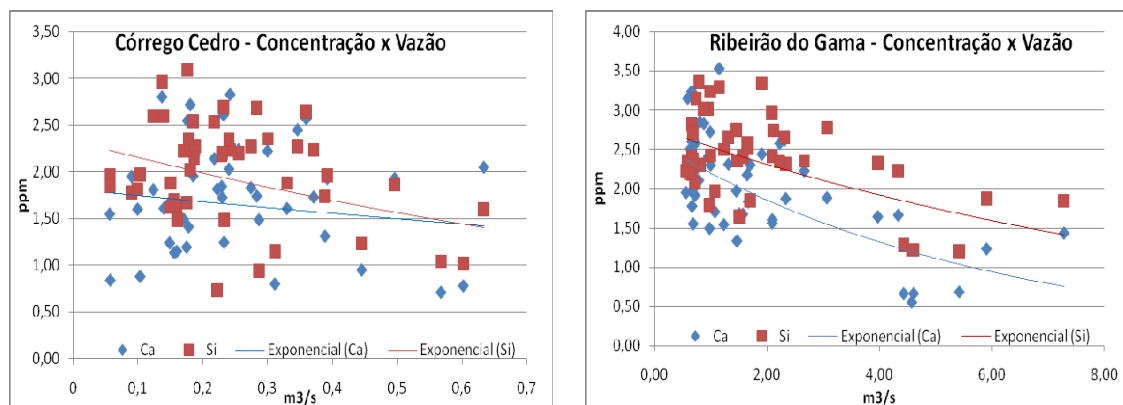


Figura 29 – Dispersão da relação concentração (Ca e Si) e vazão no Córrego Cedro e Ribeirão do Gama.

Para os demais elementos, Mg, Fe e Al, a mesma lógica acima é aplicada (Figura 30). Para o Fe e Al, a dispersão é mínima uma vez que esses elementos estão associados apenas à erosão do solo. Já o Mg, com maior dispersão nos dois corpos hídricos, tem a mesma proveniência do Ca e Si.

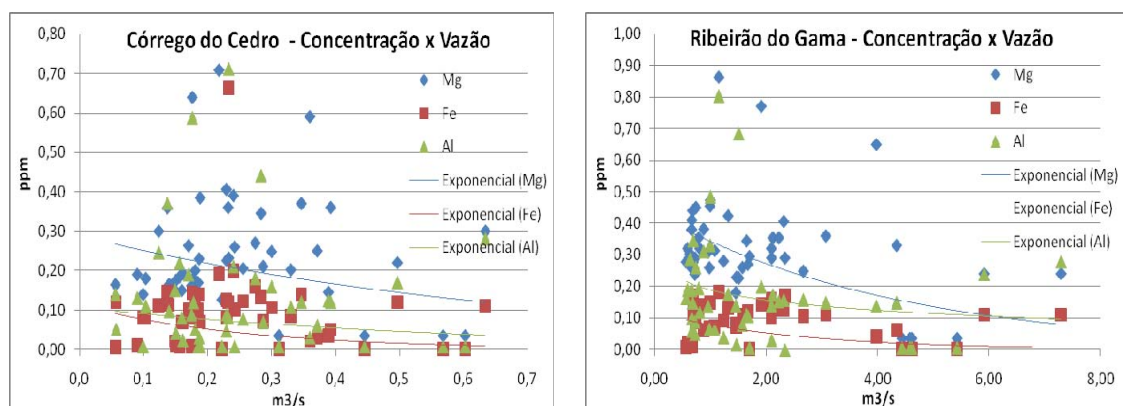


Figura 30 – Dispersão da relação concentração (Mg, Fe e Al) e vazão no Córrego Cedro e Ribeirão do Gama.



Ao contrário do Ca, Mg, Fe, Al e Si, o Na, K e P não possuem nenhuma tendência de aumento ou queda em suas concentrações com o tempo. Para o Córrego Cedro, a média não variou significativamente, ao contrário dos valores máximos e mínimos (Figuras 31, 32 e 33). O Na acompanhou o aumento da precipitação no período chuvoso de 2004 (correlação com Cor e Vazão, Anexo 2) enquanto que o K, no período chuvoso de 2005 (correlação com Condutividade, Sólidos Dissolvidos, Sólidos Totais, Sólidos Suspensos, Anexo 2). O P apresenta um comportamento aleatório quanto às estações de chuva e seca, não demonstrando variações significativas durante o período de coleta (Figuras 31, 32 e 33). Tal aleatoriedade é confirmada pela ausência de correlações significativas do P.

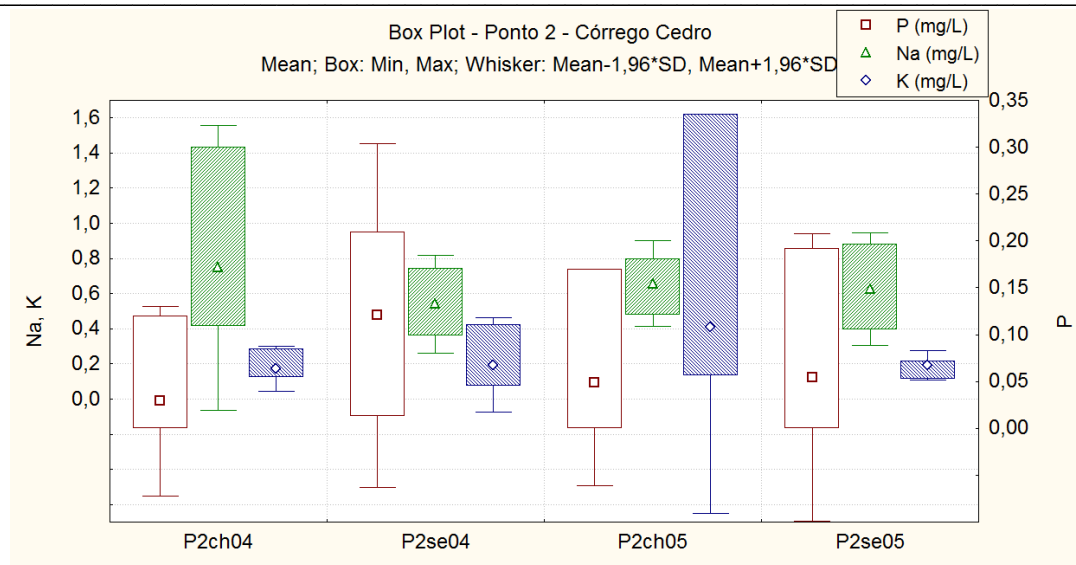


Figura 31 – Comportamento do Na, K e P nos períodos chuvosos e secos. Ponto 2.

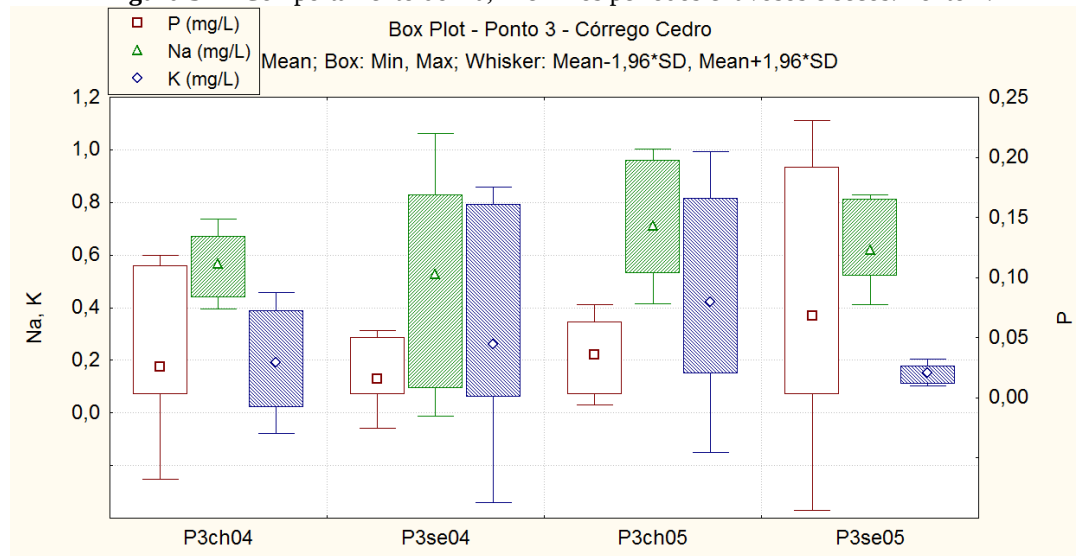


Figura 32 – Comportamento do Na, K e P nos períodos chuvosos e secos. Ponto 3.

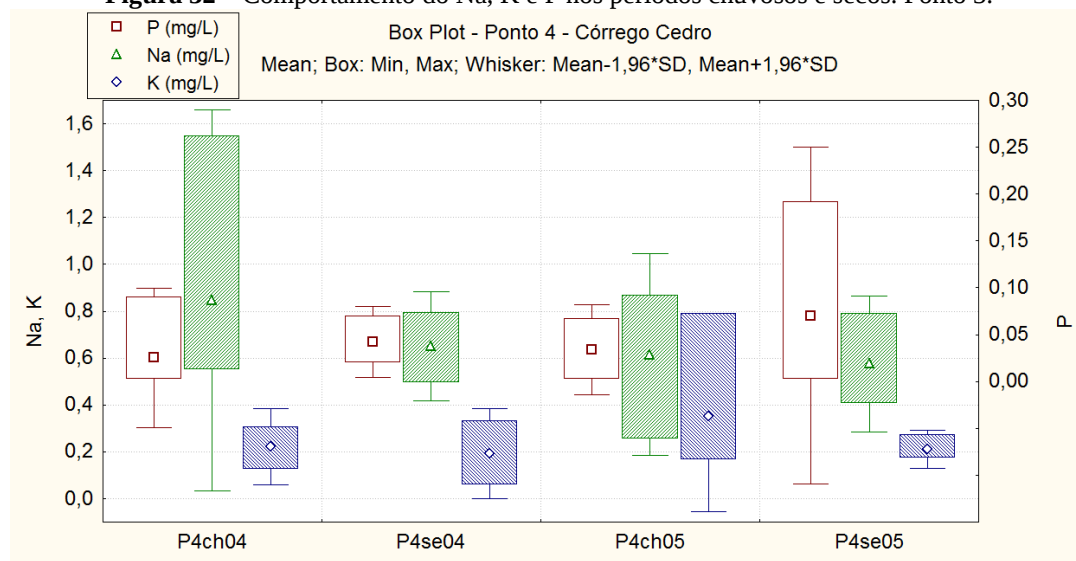


Figura 33 – Comportamento do Na, K e P nos períodos chuvosos e secos. Ponto 4.



No Ribeirão do Gama, o P apresenta uma tendência de se concentrar nas águas em épocas de seca, comportamento inverso ao Na e K, que se concentram na época de chuva, participando da composição dos sólidos carregados para o ribeirão (Figuras 34 e 35). O Na está correlacionado com vazão e o K com condutividade e turbidez (Anexo 2).

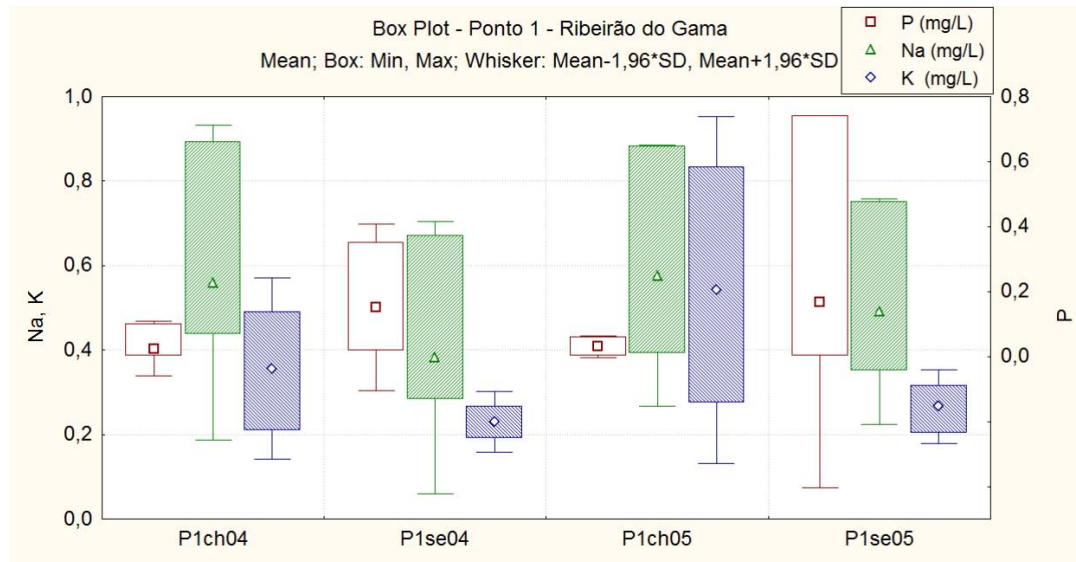


Figura 34 – Comportamento do Na, K e P nos períodos chuvosos e secos. Ponto 1.

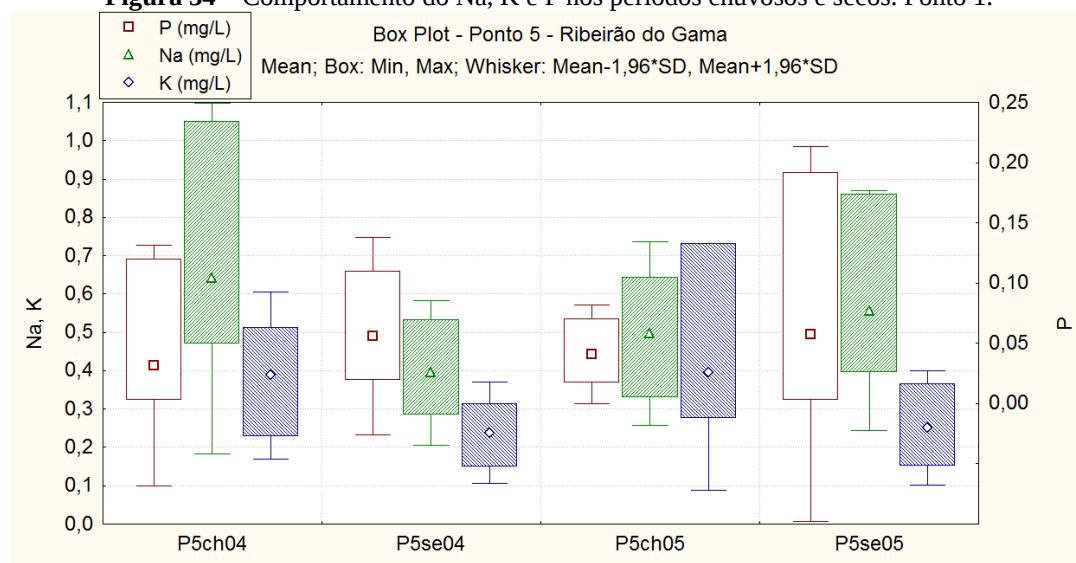


Figura 35 – Comportamento do Na, K e P nos períodos chuvosos e secos. Ponto 5.

A presença do P está relacionada ao uso de fertilizantes (fosfato, NPK) no Núcleo Rural Vargem Bonita. Com um valor médio na seca de 0,16 ppm, o ponto 1 possui a maior concentração desse elemento, contra 0,06 ppm para o ponto 5, indicando incorporação no sedimento de corrente ao longo do curso do ribeirão. Se comparado aos estudos de Carvalho Júnior (1998a e 1998b), Tabela 3, o P apresentou um grande aumento em sua concentração, evidenciando um crescimento das atividades agrícolas



desde 1994. Outro fator que endossa o uso de NPK no núcleo agrícola é a correlação do K com o nitrato, no Ribeirão do Gama (Anexo 2).

Nenhum dos elementos Mn, Cu, Cd e Pb, foram passíveis de avaliação geoquímica com os métodos e técnicas usados neste trabalho. A maioria das determinações estavam abaixo do limite de detecção da técnica empregada. A Tabela 5 e a Figura 36 mostram os dados médios de Mn e Cu das determinações válidas no período chuvoso e seco.

Tabela 5 – Valores médios para os períodos seco e chuvoso dos elementos Mn e Cu.

	Ponto 1		Ponto 2		Ponto 3		Ponto 4		Ponto 5	
(ppm)	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva
Mn	0,0056	0,0058	0,0113	0,0097	0,0062	0,0047	0,0093	0,0088	0,0206	0,0153
Cu	0,0056	0,0042	0,0030	0,0065	0,0125	0,0067	0,0113	0,0206	0,0219	0,0108

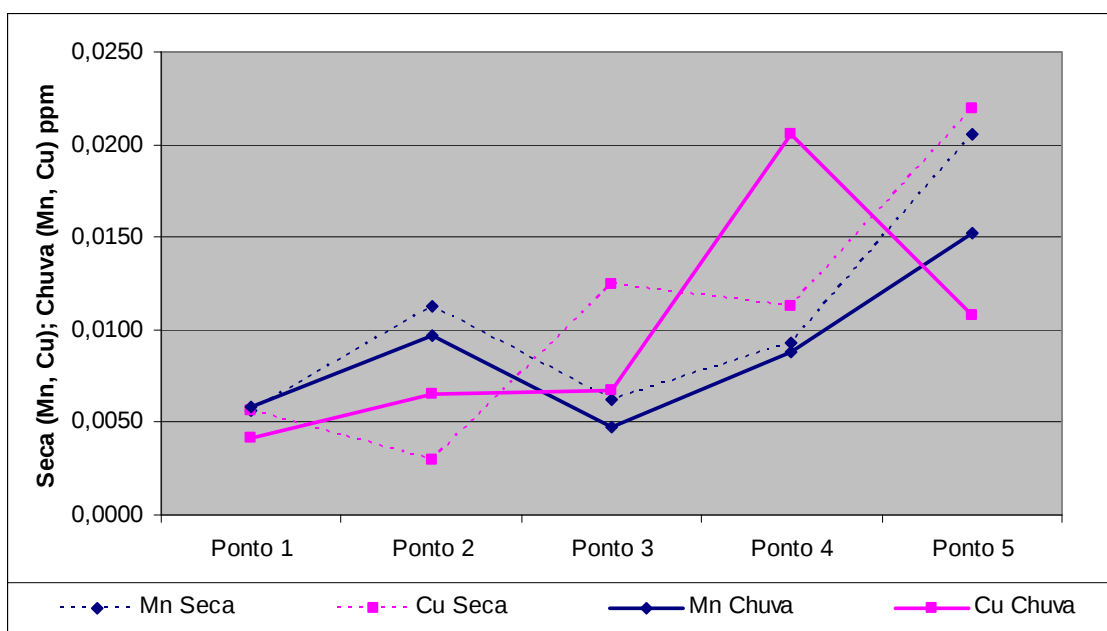


Figura 36 – Comportamento do Mn e Cu ao longo dos pontos nos períodos de seca e chuva.

De uma maneira geral, Mn e Cu tendem a aumentar suas concentrações ao longo do curso do Ribeirão do Gama (Pontos 1 e 5), ou seja, há uma contribuição significativa do Córrego Cedro para esses elementos. Embora o Cu tenha origem geológica (Dutra, 2003) confirmada pela correlação com dureza (Ca e Mg), Al e Mn (Anexo 2), o aumento da concentração desse metal no período seco pode estar relacionado também à matéria orgânica em decomposição depositada em solo hidromórfico. O Cu, dito como elemento essencial em plantas por Kieffer (1991), é incorporado e concentrado na planta pelas raízes (Scheinberg, 1991). O Cu, no ponto 4, pode estar associado aos suplementos utilizados na plantação de hortaliças e na ração de aves (Scheinberg, 1991),



causando uma elevação na concentração desse elemento no período chuvoso. Embora o Mn não tenha evidência de origem nas rochas (Maia, 2003), a correlação com o Ca, Mg, Al, Cu e Si (Anexo 2) permite interpretar a dupla proveniência, geológica e antrópica, desse elemento. De uma maneira geral, o que se observa é a incorporação de materiais, de origem natural e não natural, ao longo do curso do Ribeirão do Gama e Córrego do Cedro, e que essa incorporação é maior no período da seca.

Quanto aos parâmetros físico-químicos, o pH teve o maior valor associado ao primeiro período de chuvas, no qual o grande volume de água tornou o meio mais básico (Figuras 37, 38 e 39). No Córrego Cedro o pH correlaciona-se com a vazão (Anexo 2). A temperatura e alcalinidade tiveram seus maiores valores nos dois períodos chuvosos, sendo este último indicador de maior quantidade de íons carbonato e bicarbonato nesses períodos. A dureza da água, expressa a quantidade de íons Ca e Mg, confirma o aumento da concentração desses elementos durante o período em estudo e a associação com materiais para construção civil.

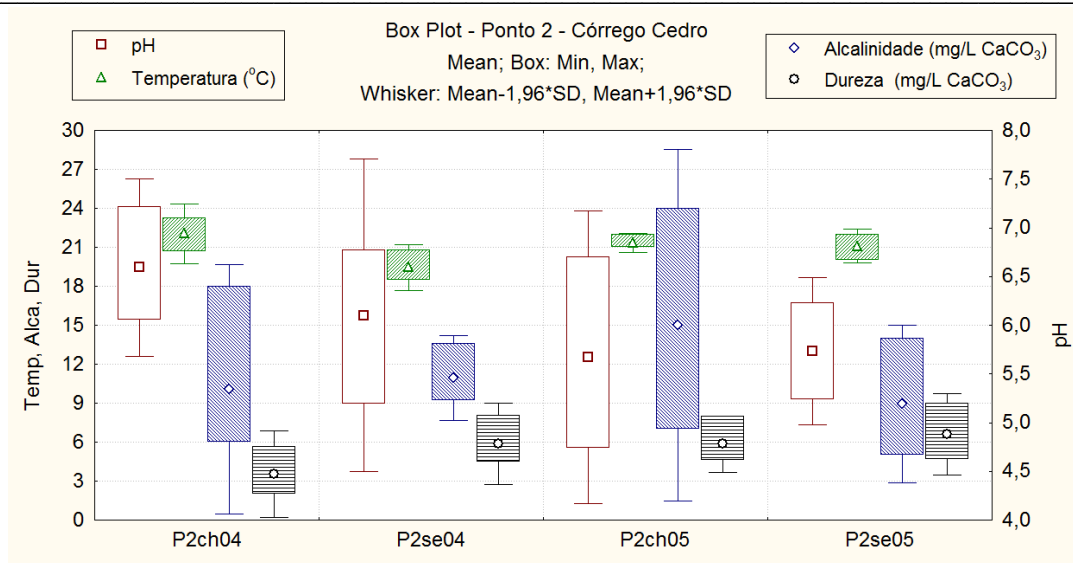


Figura 37 – Comportamento de parâmetros físico-químicos nos períodos chuvosos e secos. Ponto 2.

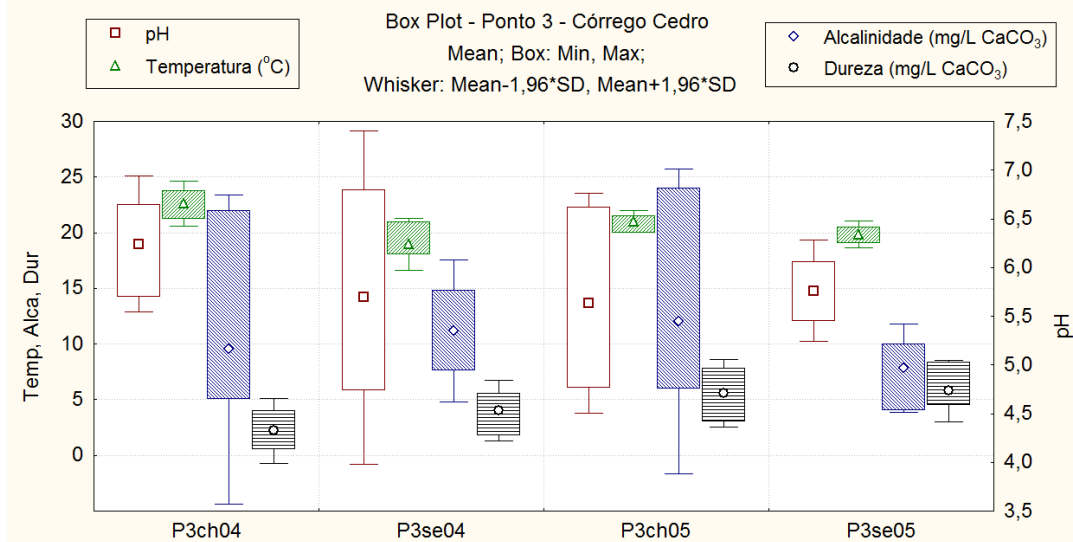


Figura 38 – Comportamento de parâmetros físico-químicos nos períodos chuvosos e secos. Ponto 3.

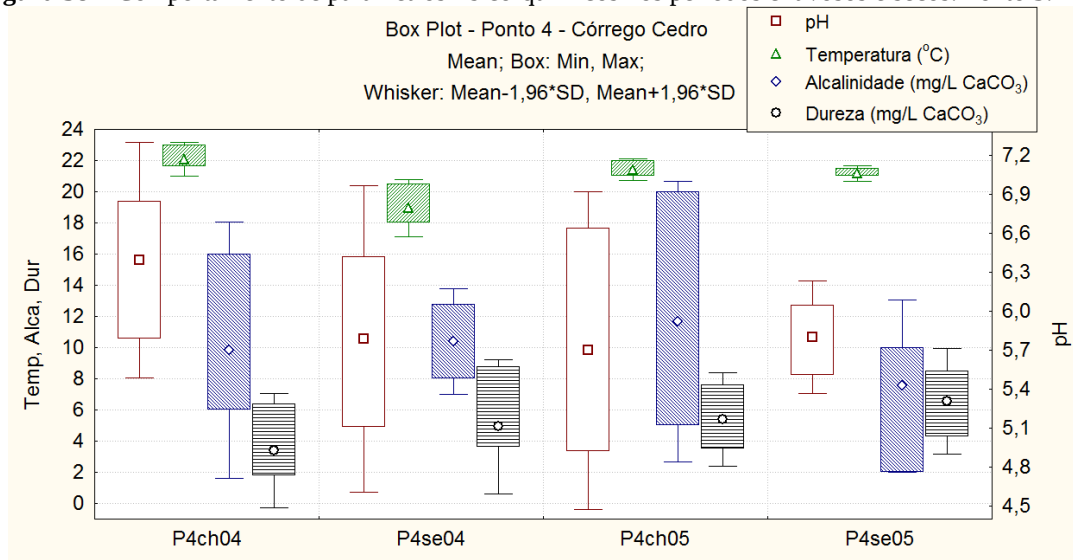


Figura 39 – Comportamento de parâmetros físico-químicos nos períodos chuvosos e secos. Ponto 4.



No Ribeirão do Gama o comportamento do pH, Temperatura, Alcalinidade e Dureza são análogos ao Córrego Cedro (Figuras 40 e 41), mas a dureza, além de estar associada à construção civil, tem a influência dos insumos utilizados no núcleo agrícola a montante.

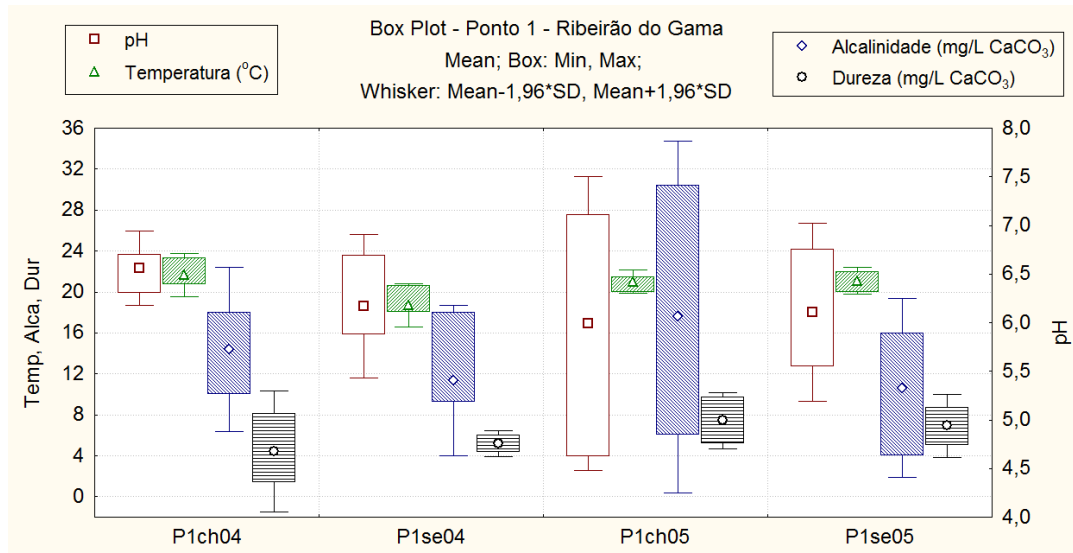


Figura 40 – Comportamento de parâmetros físico-químicos nos períodos chuvosos e secos. Ponto 1.

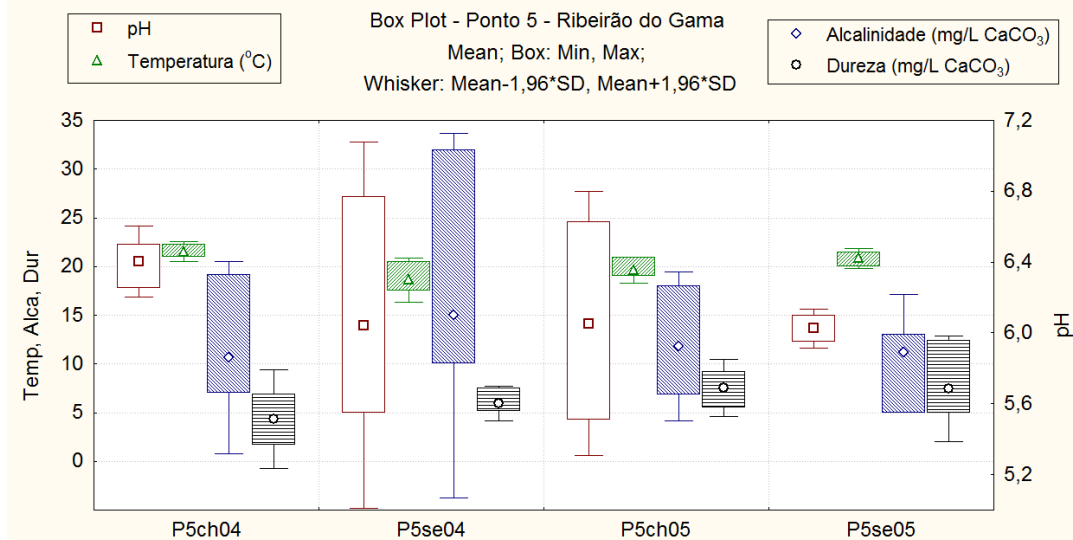


Figura 41 – Comportamento de parâmetros físico-químicos nos períodos chuvosos e secos. Ponto 5.

Comparando os parâmetros físico-químicos com outros mananciais do DF (Tabela 6), o Ribeirão do Gama possui o maior valor médio de pH e os valores de alcalinidade e condutividade estão próximos da média na Bacia do Lago Paranoá. As rochas carbonáticas estão ausentes na Bacia do Lago Paranoá e entorno, sendo assim, o valor médio relativamente alto do pH no Ribeirão do Gama justifica-se com a presença do Núcleo Rural Vargem Bonita, onde há o uso de calcário como insumo agrícola, e também do núcleo urbano SMPW e da construção da segunda pista (Figura 28), uso de



material de construção civil. A observação da Figura 28 com a Tabela 6, sugere que o valor médio alto do pH no curso médio do Gama é devido a confluência das águas na porção montante do Ribeirão do Gama e o Córrego Mato Seco, que carregam grande quantidade de Ca e Mg.

Tabela 6 – Valores médios de parâmetros físico-químicos de Bacias do DF. Temperatura (oC), Condutividade (mS/cm), Alcalinidade (mg/L CaCO₃), Nitrato, Amônia e Sólidos Dissolvidos (mg/L).

	1- d'Armas	2- Piripau	3- Sobradinho	4- Bananal	5-Lago Paranoá	6- Descoberto	7 - Cedro	8-Gama
pH	5,47	5,20	5,64	5,60	5,86	5,9-6,0	5,8-5,9	6,08-6,21
Temp	19,7	18,7	17,9	24,0	22,3	24,9-24,4	19,9-21,7	19,9-20,8
Cond	29	22	41	36	18	125,5-41	13-22	16-25
Alca				2	8	39-29	9,-12	12,-14
NO3				0,06	0,21	2,00	0,92-1,07	1,27-1,96
NH4				0,02	0,16	17,0-2,0	0,04-0,11	0,05-0,04
SD	18,65	11,17	27,50	23,12	9,14	59-19	7,21-10,55	8,41-15,92

1,2,3 - Sub-bacias da Bacia do São Bartolomeu (Pinelli, 1999)

4 - Bacia do Bananal (Boaventura *et al.*, 1999)

5 - Bacia do Lago Paranoá (Boaventura, 1997)

6 - Bacia do Rio Descoberto (Do Carmo *et al.*, 2005) seca-chuva

7,8 - Córrego Cedro e Ribeirão do Gama seca-chuva

Os parâmetros turbidez e cor, embora estejam relacionados com aspectos visuais da água, possuem propriedades distintas, onde neste trabalho, são confirmadas pela ausência de correlação entre eles. Souza & Felizatto (2006) definem a cor como a quantidade de luz absorvida pela água, que varia de acordo com a concentração de material orgânico e mineral, já a turbidez mede o grau de dispersão e reflexão da luz produzida essencialmente por partículas em suspensão. No Córrego Cedro o que se observa é que no ponto 2 (Figura 42), mesmo no período chuvoso, a turbidez não apresenta variação significativa, permanecendo com o mesmo grau de transparência da água. Nos outros (Figura 43 e 44), o grau de transparência, bem como a cor, são afetadas pelas chuvas, já que nesses pontos a vegetação não é capaz de impedir o aporte de partículas para o córrego. Tal afirmação é confirmada pela correlação da turbidez com os sólidos totais, dissolvidos e suspensos (Anexo 2) nos pontos 3 e 4.

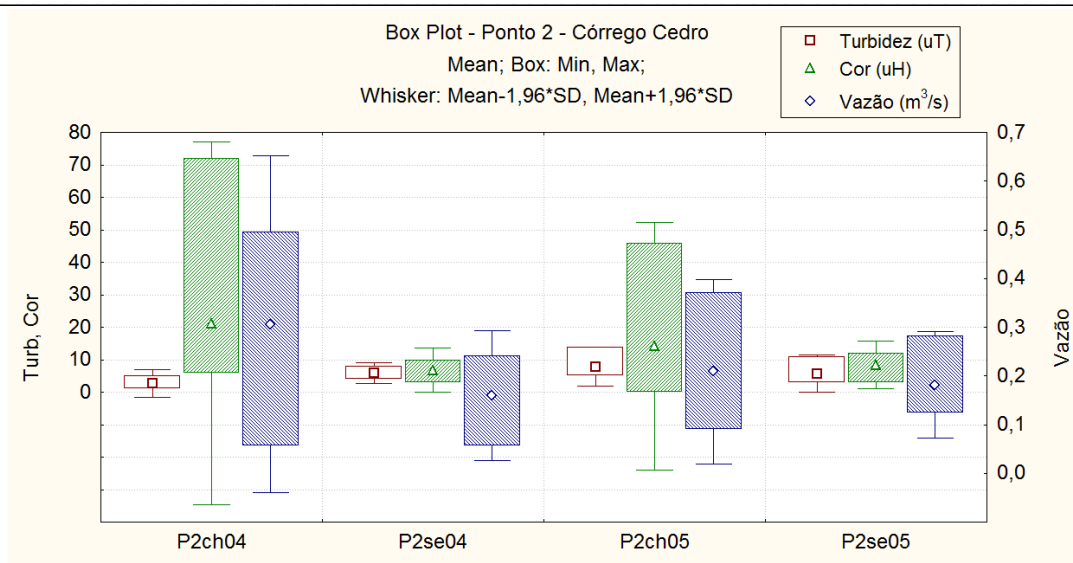


Figura 42 – Comportamento da turbidez e cor nos períodos chuvosos e secos. Ponto 2.

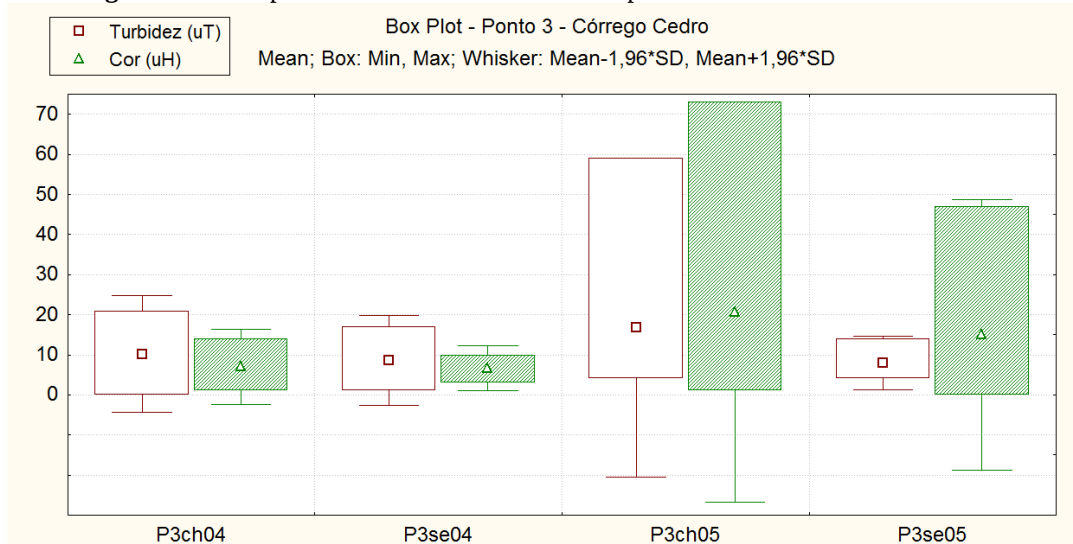


Figura 43 – Comportamento da turbidez e cor nos períodos chuvosos e secos. Ponto 3.

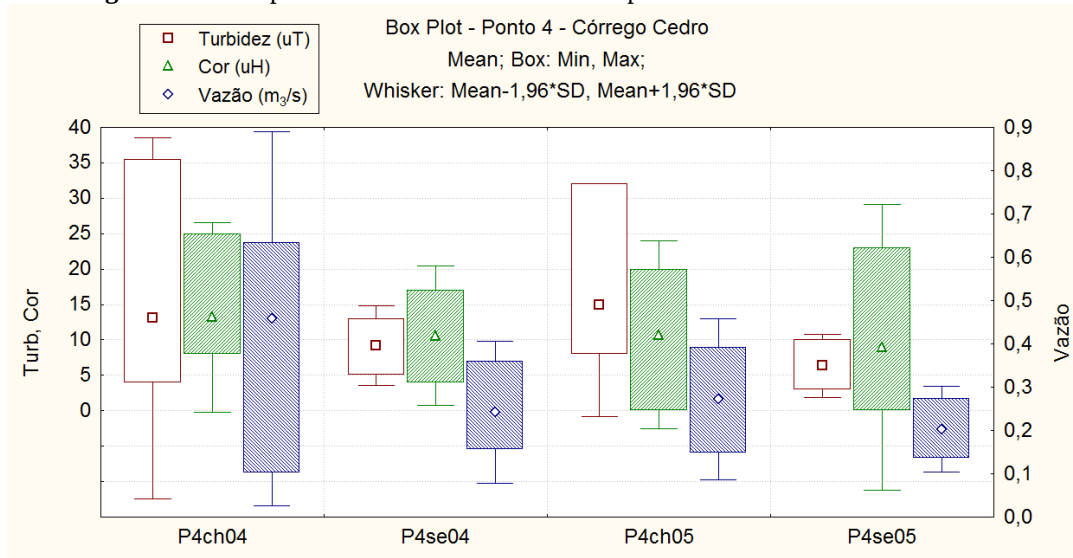


Figura 44 – Comportamento da turbidez e cor nos períodos chuvosos e secos. Ponto 4.



No Ribeirão do Gama a variação da cor e turbidez estão relacionadas à vazão e à precipitação (Figuras 45 e 46). A ausência de vegetação na margem esquerda do ribeirão, no ponto 1, faz com o material sólido seja carregado, alterando o grau de transparência e a quantidade de partículas na água (correlação com sólidos totais, K e vazão, Anexo 2). O fato do ponto 5 possuir margens mais preservadas, de nada adianta na redução desses valores, uma vez que essas águas herdam as características dos pontos a montante (pontos 1 e 4).

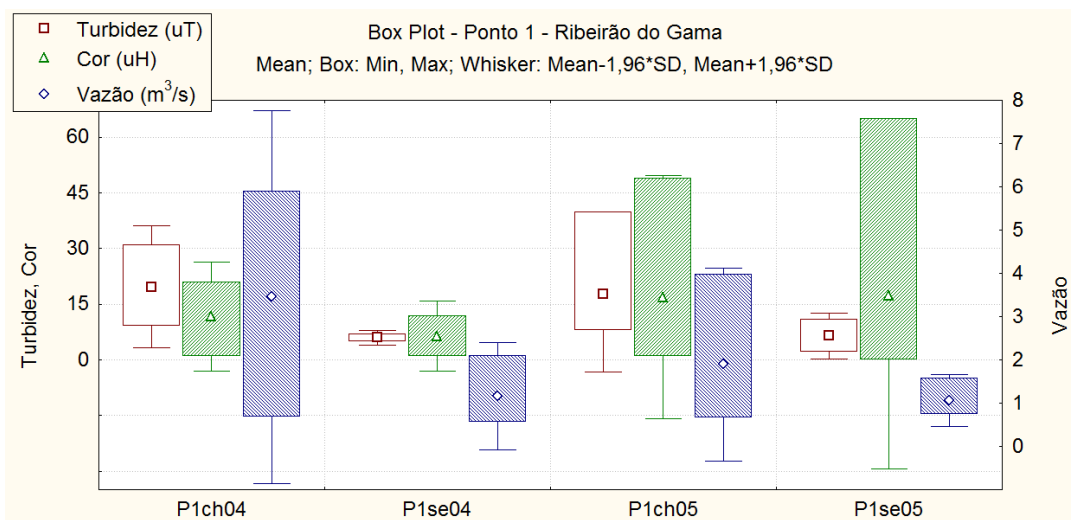


Figura 45 – Comportamento da turbidez e cor nos períodos chuvosos e secos. Ponto 1.

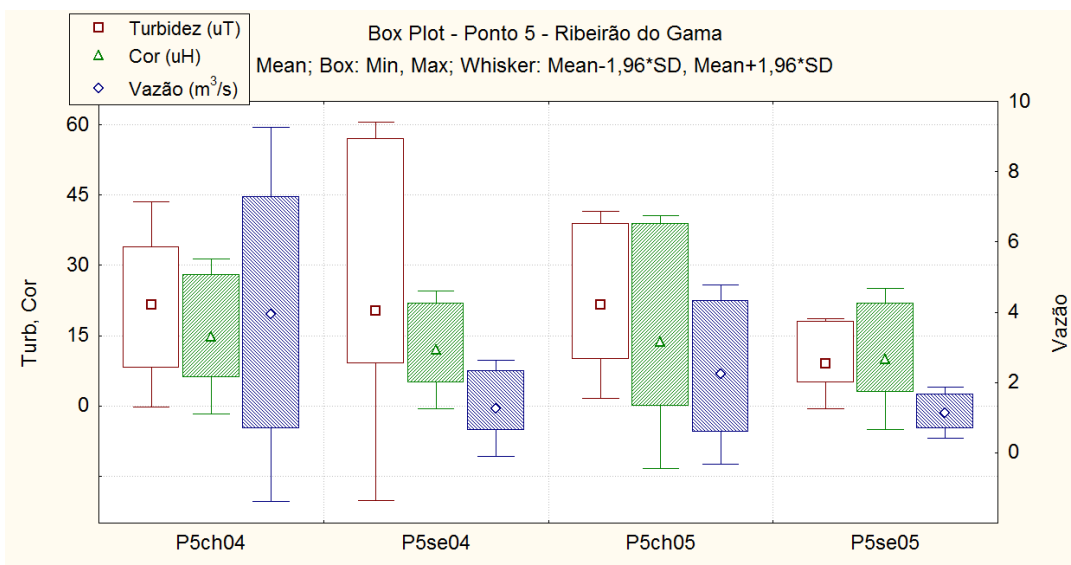


Figura 46 – Comportamento da turbidez e cor nos períodos chuvosos e secos. Ponto 5.



Os parâmetros cor e turbidez, na Bacia do Gama, indicam qualidade de água melhor que na Bacia do Descoberto (Tabela 7).

Tabela 7 – Valores médios de parâmetros físico-químicos de duas bacias do DF. Turbidez (UT) e Cor (UH).

	1-Cedro	2-Gama	3-Descoberto
Turbidez	9,7 - 14,7	11,5 - 14,5	37 - 169
Cor	5,7 - 4,7	6,5 - 6	19 - 20

1,2 - Córrego Cedro e Ribeirão do Gama seca-chuva

3 - Bacia do Rio Descoberto (Do Carmo *et al.*, 2005) seca-chuva

Os dados de condutividade e os sólidos suspensos, totais e dissolvidos (Figuras 47, 48 e 49), não variaram significativamente no período chuvoso de 2004 se comparados ao de 2005 (exceto para o ponto 3). O ponto 3 apresenta a particularidade de ser uma área de solo hidromórfico (Figura 5), cuja a interação constante com a água subterrânea e o aumento da área de inundação, devido às chuvas, fez com que a condutividade permanecesse semelhante ao período chuvoso de 2005. A matéria orgânica morta, acumulada no período de estiagem, é carregada nas chuvas provocando variação na condutividade, cuja melhor correlação obtida foi com o nitrato. Os períodos secos e chuvoso, subsequentes, são caracterizados pela queda e aumento nos parâmetros avaliados. Os valores de condutividade e sólidos, bem como os elementos químicos e a vazão, são mantidos pelas águas subterrâneas (correlação com Ca, Mg, Fe, K e Cu, Anexo 2) durante a estiagem. Nos pontos 2 e 4 do Córrego Cedro a condutividade é influenciada pelo K e alcalinidade.

A questão dos parâmetros se comportarem de maneira diferenciada nos dois períodos chuvosos é devido à coleta de dados ter iniciado no meio do período chuvoso de 2004 que abrangeu os meses de novembro de 2003 a abril de 2004. O início desse período chuvoso ocorreu em meados de agosto de 2003, ou seja, os dados não mostram o comportamento do ribeirão e do córrego no início das chuvas, o que provocaria uma maior variação dos dados. Assim os gráficos entre os dois períodos chuvosos seriam semelhantes, assim como nos dois períodos secos. Ademais, a vazão das drenagens no primeiro período chuvoso foi bem maior que no segundo, devido às chuvas em maior quantidade. A somatória dos fatos da coleta ter iniciado no meio período chuvoso de 2004 e dessas chuvas terem sido mais abundantes, resultam em valores baixos dos parâmetros condutividade, sólidos suspensos, dissolvidos e totais (Figuras 47, 48, 49, 50 e 51), ou seja, os dados não abrangeram o início do escoamento superficial, em função das chuvas, que poderiam registrar o aporte maior de sólidos e íons na bacia.

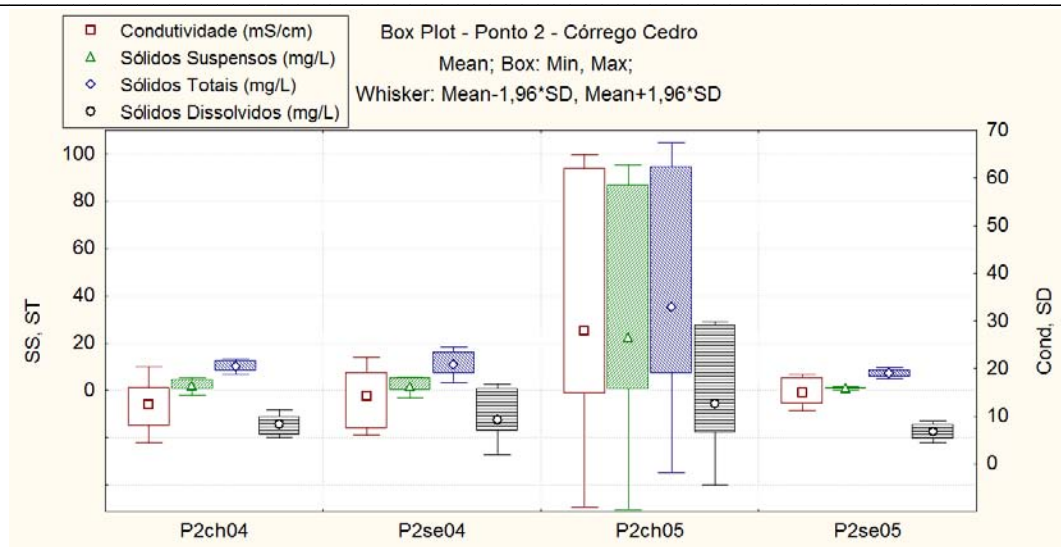


Figura 47 – Comportamento da condutividade e sólidos (suspensos, totais e dissolvidos) nos períodos chuvosos e secos. Ponto 2.

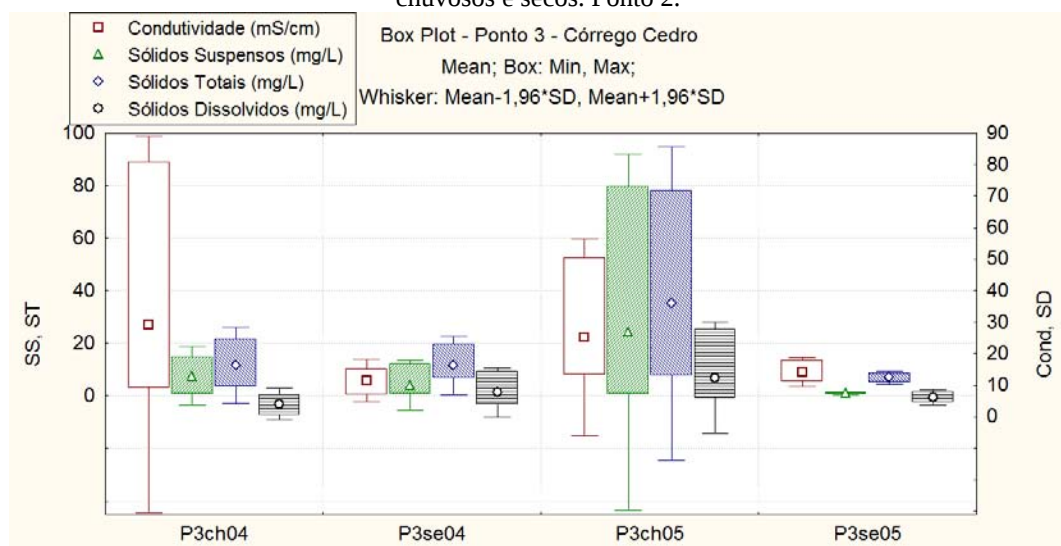


Figura 48 – Comportamento da condutividade e sólidos (suspensos, totais e dissolvidos) nos períodos chuvosos e secos. Ponto 3.

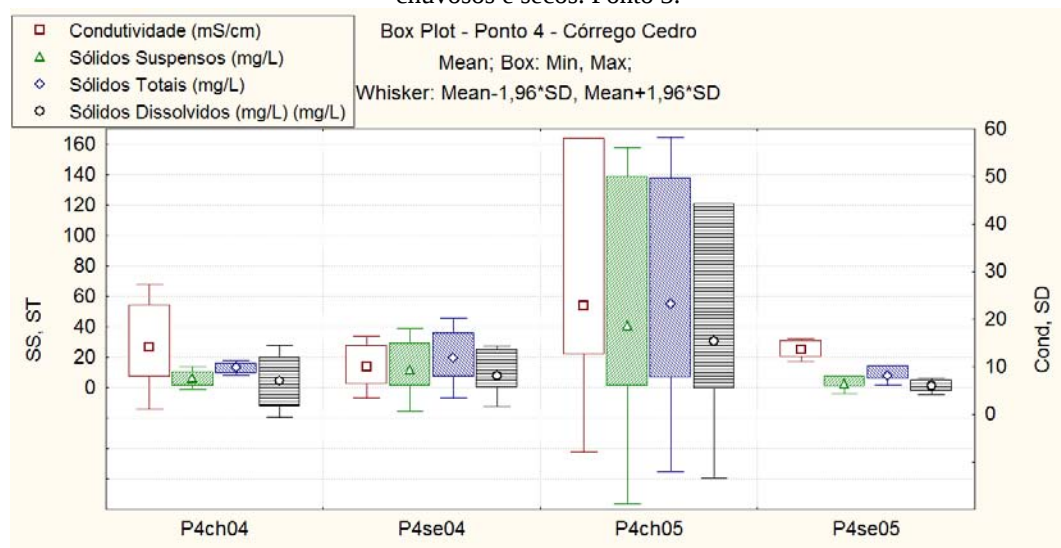


Figura 49 – Comportamento da condutividade e sólidos (suspensos, totais e dissolvidos) nos períodos chuvosos e secos. Ponto 4.



No Ribeirão do Gama (Figuras 50 e 51) não há diferenças significativas nos valores de condutividade e nos sólidos em relação aos pontos 2 e 4 do Córrego Cedro, além disso, os principais condutores de eletricidade são o Ca^{2+} , K^{+} e Mg^{2+} . Durante as chuvas regulares houve uma concentração desses sólidos, registrando o carreamento de partículas de áreas desmatadas. Na seca os valores são menores, pois representam apenas a interação da água subterrânea com as rochas.

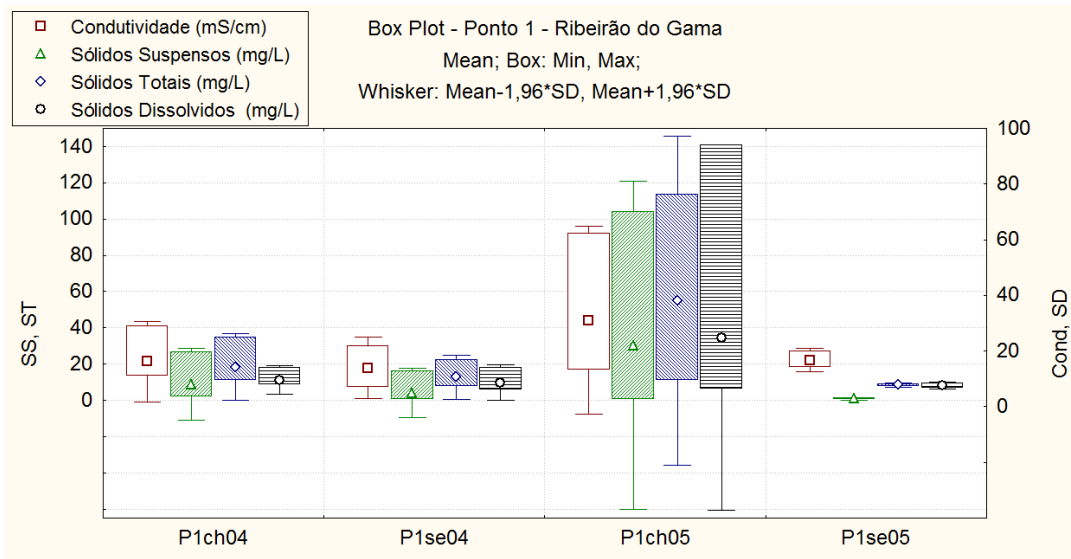


Figura 50 – Comportamento da condutividade e sólidos (suspensos, totais e dissolvidos) nos períodos chuvosos e secos. Ponto 1.

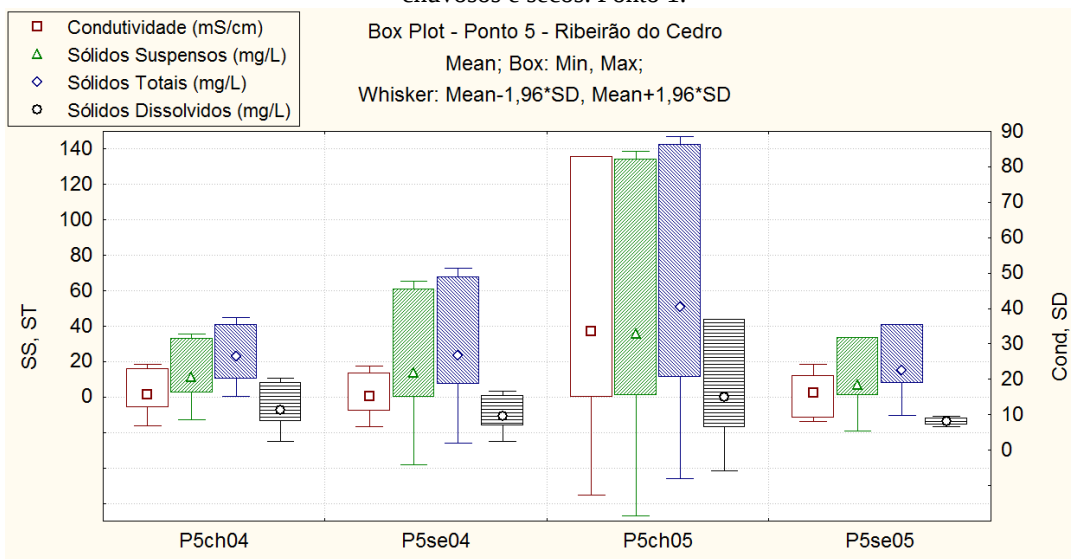


Figura 51 – Comportamento da condutividade e sólidos (suspensos, totais e dissolvidos) nos períodos chuvosos e secos. Ponto 5.

Os compostos nitrogenados na água podem estar relacionados à erosão dos solos, decomposição de plantas e animais e ao esgoto doméstico. O nitrato é a forma mais estável na água e em condições anaeróbicas é reduzido à nitrito e, posteriormente a



nitrogênio molecular. Quando presente em quantidade considerável (acima de 5 mg/L), a amônia e o nitrato indicam poluição por fertilizantes ou esgoto (Hermes & Silva, 2004). As Figuras 52, 53 e 54 e a correlação dos compostos de nitrogênio com os sólidos totais, dissolvidos e suspensos (Anexo 2), bem como alguns elementos (Na, K, Cu e Fe), atestam que esses compostos têm origem associada aos solos. No Córrego Cedro, o nitrato possui valores máximos em torno de 2,0 mg/L, colocando em situação parecida com a Bacia do Descoberto (Tabela 6). A amônia também apresenta uma variação conjunta com as estações de seca e chuva, e ao longo do córrego tem valores em torno de 0,08 a 0,25 mg/L (Figuras 52 e 53, respectivamente) com um pico de 2,5 mg/L no ponto 4 (Figura 54). Esse alto valor, na época chuvosa, é indicativo de poluição recente por lixo doméstico, que é descartado junto ao córrego. Na média, a amônia coloca Córrego Cedro bem aquém das águas da Bacia do Descoberto (Tabela 6).

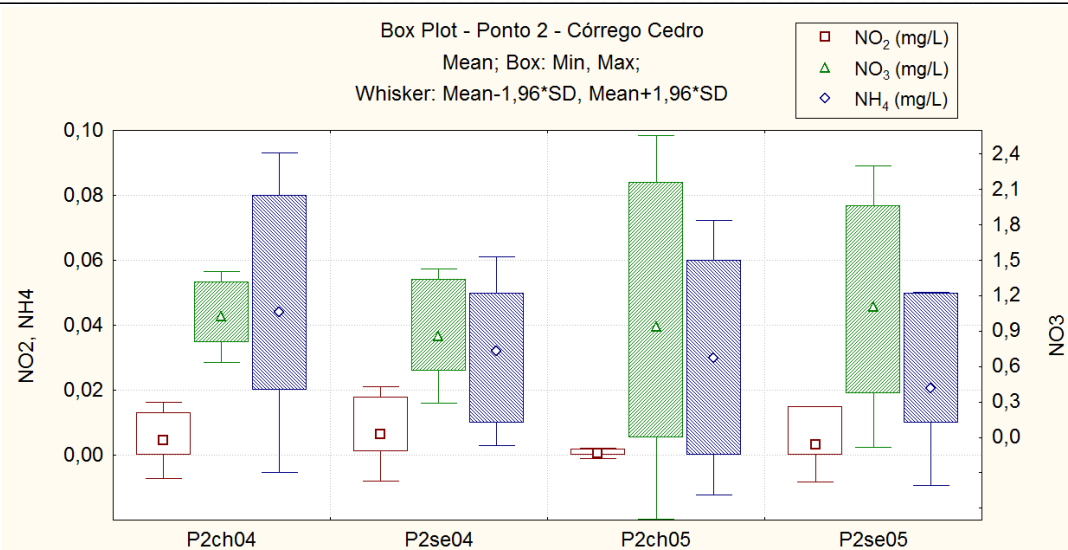


Figura 52 – Comportamento dos compostos nitrogenados nos períodos chuvosos e secos. Ponto 2.

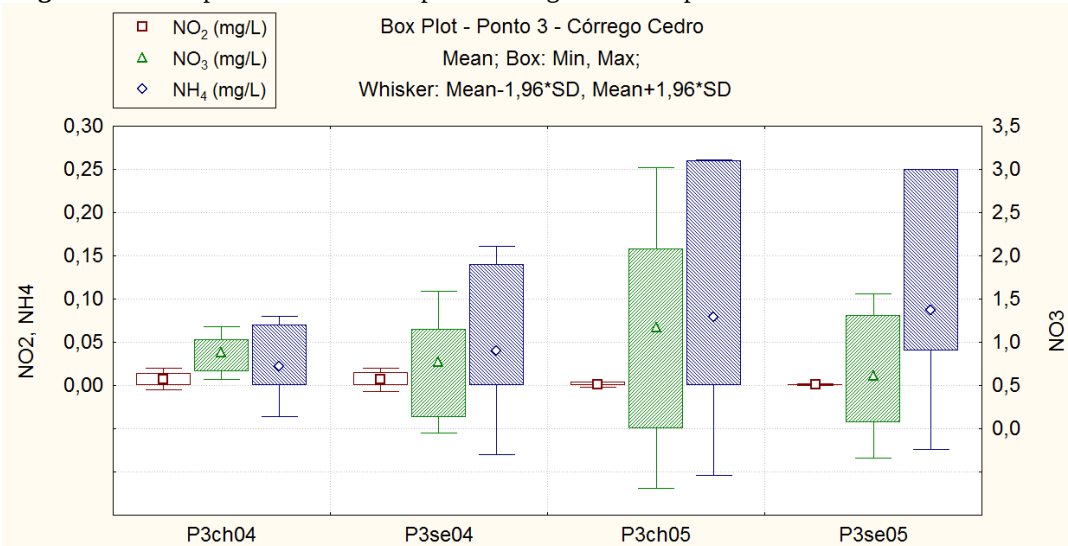


Figura 53 – Comportamento dos compostos nitrogenados nos períodos chuvosos e secos. Ponto 3.

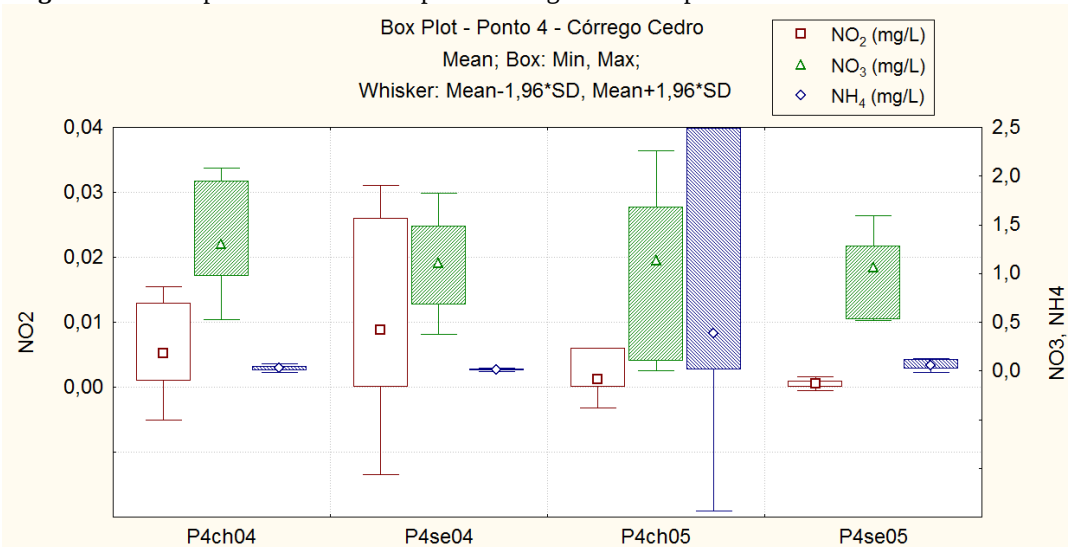


Figura 54 – Comportamento dos compostos nitrogenados nos períodos chuvosos e secos. Ponto 4.



Além do Ca, Mg e K, os compostos nitrogenados também estão associados a atividade agrícola a montante dos pontos 1 e 5. Com uma média no período chuvoso de 1,97 mg/L de nitrato (Tabela 6), com pico de 4,5 mg/L no ponto 1 (Figura 55) e 3,5 mg/L no ponto 5 (Figura 56), o Ribeirão do Gama possui quantidade 2 vezes maior desse composto que o Cedro e semelhante a bacia do Descoberto (Tabela 6).

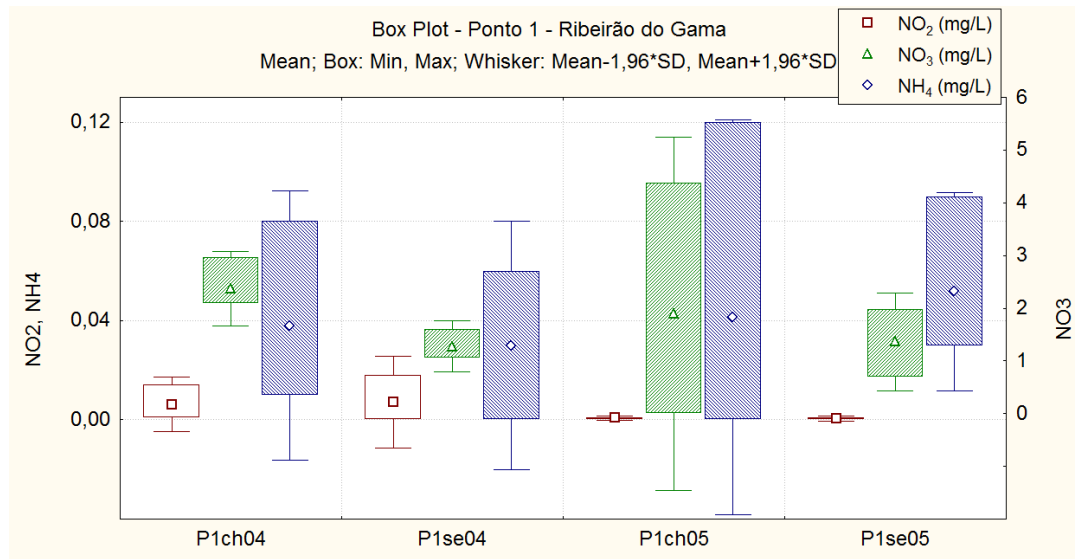


Figura 55 – Comportamento dos compostos nitrogenados nos períodos chuvosos e secos. Ponto 1.

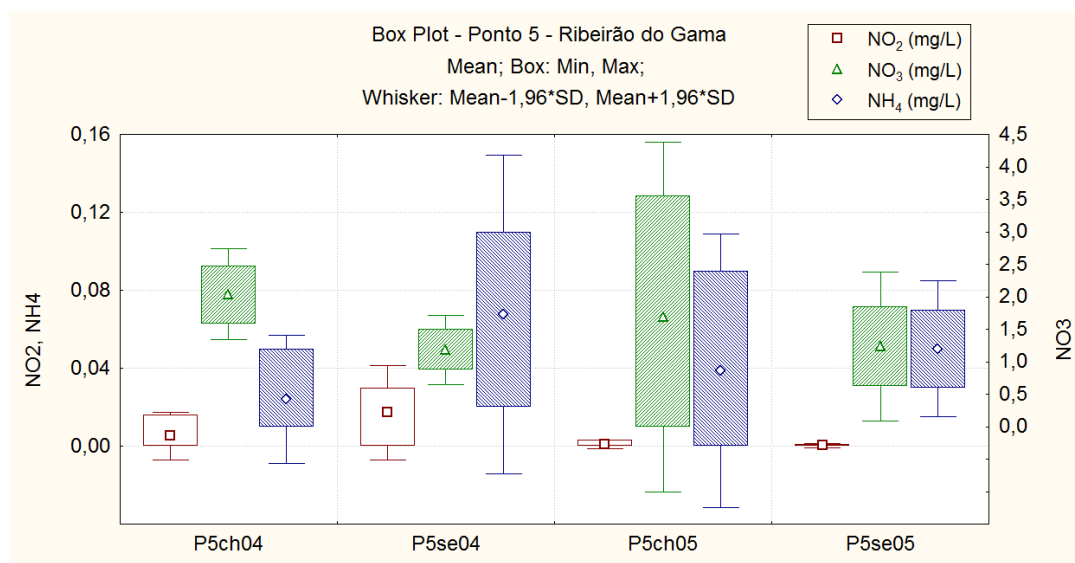


Figura 56 – Comportamento dos compostos nitrogenados nos períodos chuvosos e secos. Ponto 5.

A determinação do oxigênio dissolvido na água, assim como os compostos nitrogenados, é de extrema importância quando se deseja avaliar as condições naturais das águas, bem como algum tipo de poluição. O oxigênio disponível na água participa nas reações de oxidação da matéria orgânica, por bactérias e compostos inorgânicos. As



demandas bioquímicas e químicas, em tese, quantificam a quantidade de oxigênio necessário para a degradação e oxidação da matéria orgânica por microorganismos e compostos químicos, respectivamente (Souza & Felizatto, 2006). Nesse estudo, a DQO está associada com o aporte de material sólido nas águas, bem como os elementos químicos demonstrado pelas correlações com os sólidos totais, turbidez, cor, alcalinidade, Fe e K (Anexo 2). A ausência de correlação da DBO com compostos nitrogenados indicam que o aporte de esgoto no Cedro e no Gama é mínimo ou ausente, e que a maioria das casas na região tem acesso a coleta de esgoto ou que as fossas sépticas estão bem construídas.

De uma maneira geral, a quantidade de oxigênio dissolvido é maior nos períodos chuvosos (Figuras 57 e 59). No ponto 3, a DBO é maior nos períodos secos, uma vez que, o aumento de compostos orgânicos, em função da vegetação seca em decomposição no solo hidromórfico, passa a ser degradado por bactérias. Os maiores picos de DBO são registrados nesse ponto e período (Figura 58). O aumento do aporte de matéria orgânica, registrado pelo pico de amônia no ponto 4, não foi caracterizado pela queda do oxigênio dissolvido ou aumento das demandas.

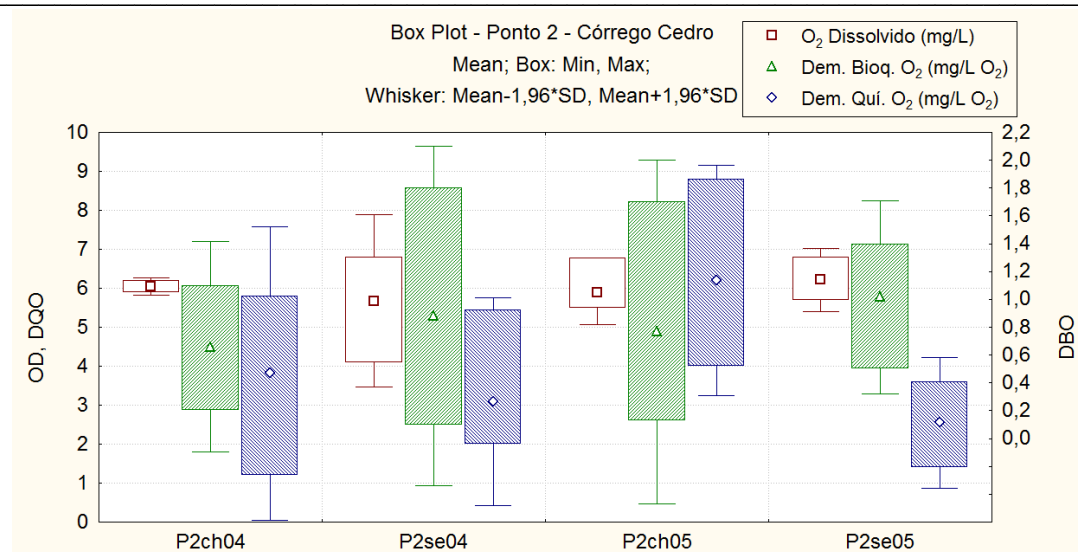


Figura 57 – Comportamento do oxigênio e da matéria orgânica nos períodos chuvosos e secos. Ponto 2.

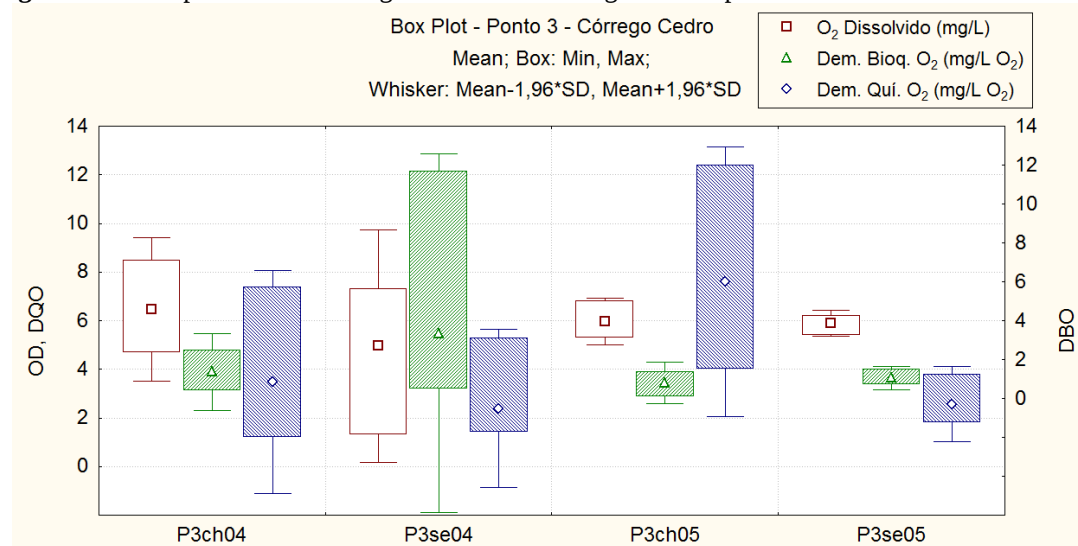


Figura 58 – Comportamento do oxigênio e da matéria orgânica nos períodos chuvosos e secos. Ponto 3.

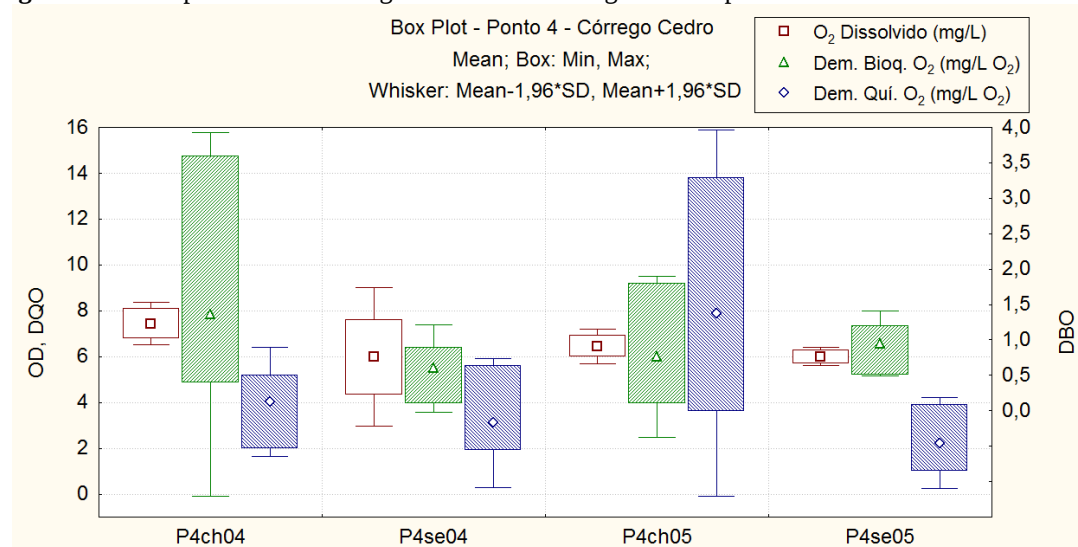


Figura 59 – Comportamento do oxigênio e da matéria orgânica nos períodos chuvosos e secos. Ponto 4.



No Ribeirão do Gama, a disponibilidade de oxigênio e a degradação da matéria orgânica por bactérias são maiores nos períodos chuvosos (Figuras 60 e 61), apesar de a média indicar que aporte de compostos orgânicos (DBO) é constante ao longo do ano no ponto 5 (Figura 61). O aporte de materiais sólidos é maior no período chuvoso, devido ao escoamento superficial e indicado por valores maiores de DQO e pela correlação com os elementos químicos.

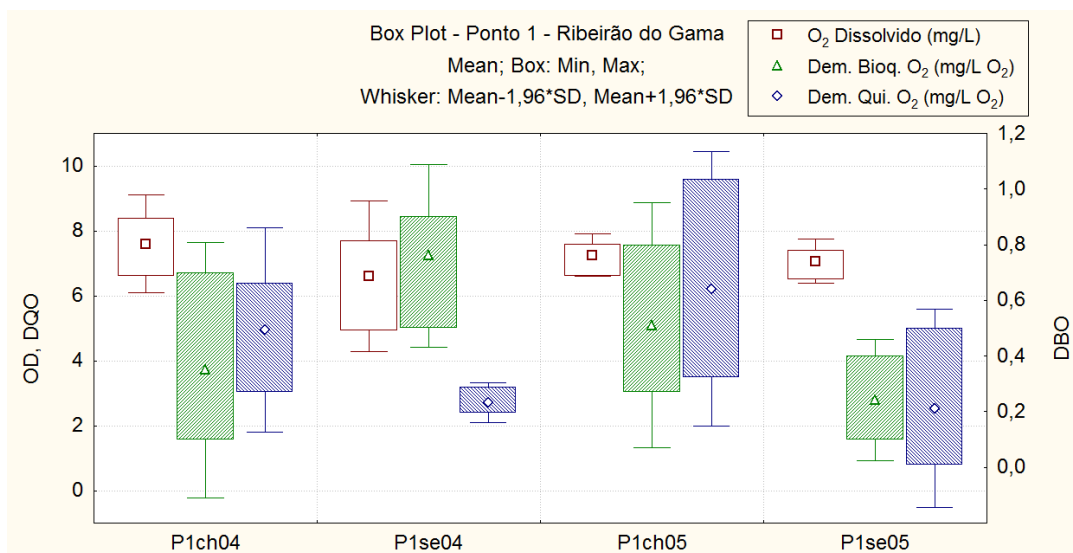


Figura 60 – Comportamento do oxigênio e da matéria orgânica nos períodos chuvosos e secos. Ponto 1.

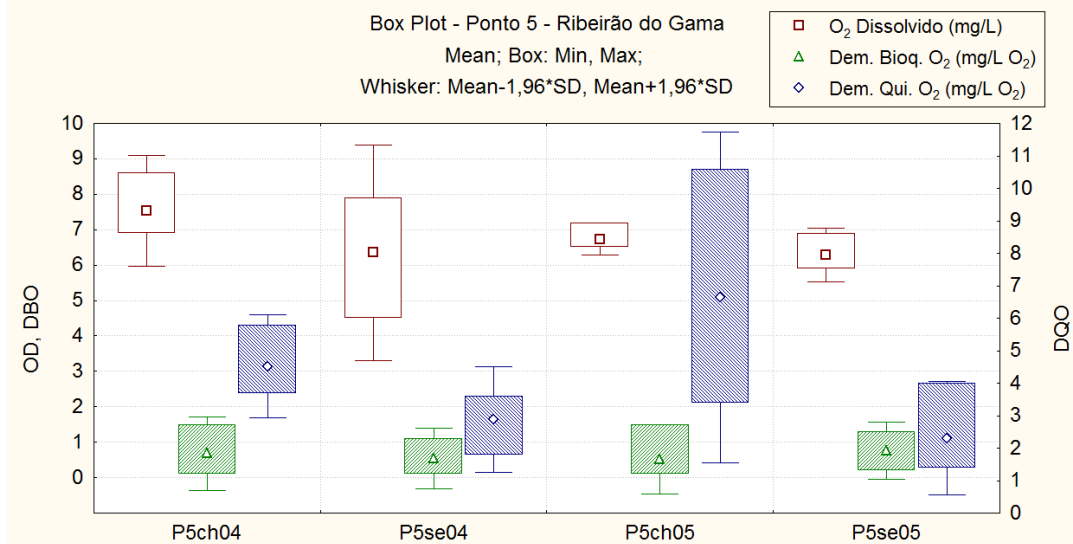


Figura 61 – Comportamento do oxigênio e da matéria orgânica nos períodos chuvosos e secos. Ponto 5.



ANÁLISE ESTATÍSTICA

Análise de Principais Componentes (PCA)

A PCA foi aplicada sobre os parâmetros físico-químicos e os elementos Ca, Mg, Fe, Al, Si, P, Na e K, no modo R, nos cinco pontos estudados (matriz de 115 observações por 24 variáveis). De acordo com o critério dos autovalores maiores que um, a extração resultou em oito principais componentes (autovetores) que somados explicam 70,88% da variância total (Tabela 8). Já o critério gráfico (Figura 62), a mudança na inclinação ocorre na quarta componente, que explica apenas metade da variância total.

Tabela 8 – Pesos da 24 variáveis nas 8 principais componentes mais significantes para os 5 pontos de estudo.

Factor Loadings (Unrotated)								
Extraction: Principal components								
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
PH	-0,080	0,108	0,664	-0,425	0,184	0,090	0,197	-0,114
TEMP	-0,028	0,257	0,141	0,205	0,572	-0,095	0,458	0,063
COND	0,588	0,261	0,357	0,407	-0,234	0,148	0,060	0,055
OD	-0,027	0,273	0,360	-0,509	0,280	-0,417	0,185	0,034
ALCA	0,414	0,349	0,202	-0,062	-0,327	0,283	0,122	-0,247
TUR	0,214	0,485	0,020	-0,031	-0,238	-0,335	-0,376	0,116
COR	-0,015	0,031	0,348	0,311	0,273	-0,389	-0,366	-0,342
DUR	0,804	-0,470	-0,035	0,004	0,084	-0,096	0,056	-0,111
NO2	-0,359	0,155	0,229	-0,600	-0,339	-0,078	-0,003	-0,180
NO3	0,480	0,515	0,262	-0,176	-0,023	0,166	0,076	0,205
NH4	0,163	0,221	-0,499	-0,057	-0,072	-0,296	-0,005	-0,069
SS	0,294	0,576	-0,613	-0,274	0,201	0,126	0,050	-0,096
ST	0,469	0,661	-0,413	-0,208	0,115	0,164	0,044	-0,055
SD	0,537	0,314	0,462	0,161	-0,224	0,113	-0,007	0,101
DBO	-0,379	0,049	-0,110	0,064	0,101	0,449	-0,009	0,359
DQO	0,190	0,645	-0,217	0,091	0,281	-0,054	-0,165	-0,201
CA	0,737	-0,458	-0,008	0,084	0,075	-0,123	0,075	-0,151
Mg	0,784	-0,391	-0,095	-0,219	0,091	0,001	0,037	-0,011
FE	0,258	-0,147	0,115	-0,268	0,250	-0,144	-0,350	0,596
AL	0,374	-0,484	-0,103	-0,369	0,035	0,104	-0,206	0,123
SI	0,725	-0,439	-0,040	0,016	0,066	-0,028	0,237	0,042
P	0,173	-0,271	0,092	-0,295	-0,016	0,341	-0,386	-0,310
NA	0,027	0,119	0,258	0,114	0,614	0,402	-0,355	-0,125
K	0,492	0,497	0,123	0,168	-0,149	-0,170	-0,150	0,187
Eingevalue	4,54	3,57	2,20	1,69	1,53	1,30	1,14	1,04
% Variance	18,92	14,87	9,15	7,05	6,39	5,42	4,76	4,32
% Cum. Var.	18,92	33,79	42,94	49,99	56,38	61,80	66,56	70,88



Os valores, na matriz de fatores, indicam o peso de cada variável sobre a principal componente correspondente. Os pesos altos ($> \pm 0,700$) e médios ($> \pm 0,500$) indicam que as variáveis contribuem adequadamente para a variação dos dados (Hair, 1998). Os valores positivos apontam contribuição positiva das variáveis e os negativos o inverso (Jayakumar & Siraz, 1997).

A primeira principal componente (PC1) explica 18,92% da variância, onde condutividade, dureza, sólidos dissolvidos, Ca, Mg e Si contribuem com a variação deste autovetor. A PC2, influenciada pelo nitrato, sólidos suspensos, sólidos totais e DQO, explica 14,87% da variância. PC3 (9,15%) tem contribuição positiva do pH e negativa da amônia. O oxigênio dissolvido e nitrito contribuem negativamente para os 7,05% da variação da PC4. Na PC5 temperatura e Na contribuem para os 6,39% da variabilidade dos dados. Finalmente, a PC8 explica 4,32% da variabilidade total dos dados originais e tem contribuição negativa do Fe. Variáveis relacionadas à composição do solo e o reflexo desse material na água têm boas participações nas duas primeiras principais componentes (parâmetros geoquímicos).

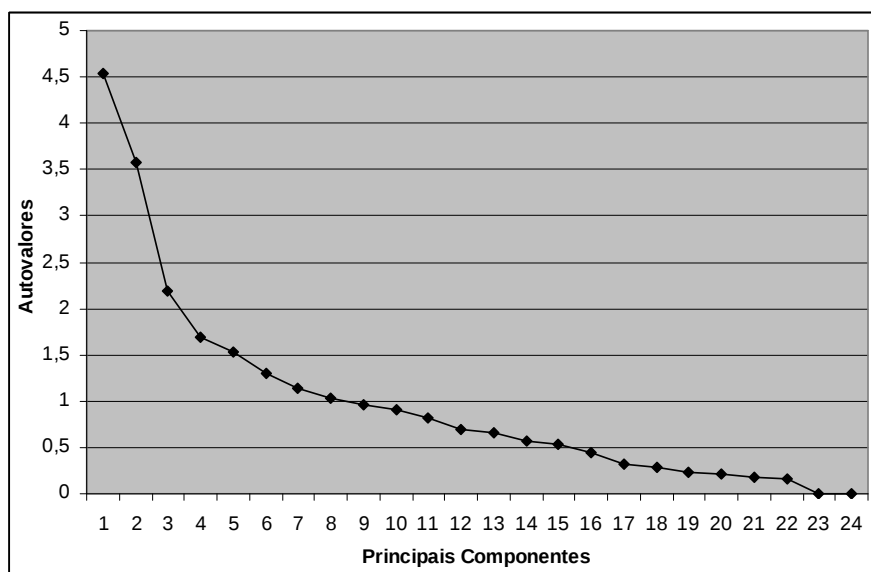


Figura 62 - Gráfico de autovalores para 24 principais componentes.

A rotação das principais componentes (PCs) pode resultar numa representação mais simples e significativa dos autovetores diminuindo a contribuição das variáveis das PCs com menor significância e aumentando as mais significantes (Vega *et al.*, 1998, Jayakumar & Siraz, 1997). A matriz resultante foi rotacionada para uma estrutura ortogonal simples de acordo com o critério Varimax, resultando na maximização da variância dos autovetores, demonstrada pela Tabela 9.



Tabela 9 – Pesos da 24 variáveis nas 8 principais componentes rotacionadas mais significantes para os 5 pontos de estudo no Córrego Cedro e Ribeirão do Gama.

Factor Loadings (Varimax Normalized)
Extraction: Principal components

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
PH	-0,055	0,148	-0,213	0,763	0,031	0,275	-0,032	-0,059
TEMP	-0,012	0,002	0,103	0,193	0,756	0,234	0,027	-0,066
COND	0,205	0,829	-0,056	-0,164	0,111	0,057	0,069	-0,106
OD	-0,038	-0,005	0,117	0,775	0,227	-0,083	0,167	0,221
ALCA	0,098	0,604	0,185	0,152	-0,200	0,016	-0,099	-0,346
TUR	-0,195	0,406	0,316	0,005	-0,156	-0,264	0,339	0,308
COR	-0,032	0,018	-0,123	0,021	0,078	0,227	0,788	0,007
DUR	0,929	0,123	0,000	-0,090	-0,056	-0,005	0,095	0,035
NO2	-0,352	-0,069	-0,046	0,597	-0,400	-0,243	-0,047	-0,100
NO3	0,060	0,663	0,294	0,279	0,062	0,093	-0,165	0,153
NH4	0,065	-0,088	0,507	-0,135	0,009	-0,357	0,105	0,015
SS	0,025	0,021	0,947	0,004	0,024	0,019	-0,195	-0,030
ST	0,071	0,311	0,884	0,034	0,024	0,044	-0,167	-0,019
SD	0,137	0,817	-0,042	0,066	0,009	0,058	0,057	0,023
DBO	-0,385	-0,116	-0,074	-0,195	0,073	0,262	-0,455	0,131
DQO	-0,155	0,191	0,679	-0,041	0,144	0,184	0,279	-0,031
CA	0,871	0,116	-0,044	-0,114	-0,012	-0,012	0,149	-0,025
Mg	0,873	0,101	0,119	0,021	-0,145	0,009	-0,079	0,142
FE	0,212	0,042	-0,040	0,091	-0,036	0,092	-0,035	0,816
AL	0,541	-0,141	-0,037	0,022	-0,377	0,064	-0,179	0,313
SI	0,856	0,138	-0,048	-0,080	0,085	-0,053	-0,102	0,033
P	0,240	-0,046	-0,029	0,082	-0,604	0,354	0,012	-0,050
NA	-0,056	0,046	0,076	0,011	0,030	0,854	0,155	0,090
K	0,024	0,663	0,282	-0,069	0,083	-0,130	0,210	0,222
Eingevalue	3,94	3,03	2,82	1,82	1,45	1,45	1,32	1,18
% Variance	16,41	12,62	11,75	7,57	6,02	6,05	5,52	4,93
% Cum. Var.	16,41	29,03	40,78	48,36	54,38	60,43	65,95	70,88

As oito PCs rotacionadas continuaram explicando 70,88% da variação dos dados, porém, a variação dos autovalores foi distribuída ao longo dessas oito. Além disso, a PC6 e PC7 que antes não tinham uma variável com peso significativo passam a ser explicadas pelo Na e pela cor, respectivamente. A PC1 passa a explicar 16,41% da variância total e os elementos Ca, Mg, Al e Si, juntamente com a dureza (Ca e Mg), melhor contribuem para essa componente. Esse conjunto de variáveis aponta para uma origem comum nos minerais presentes nos solos do Distrito Federal e a composição de materiais usados na construção civil. Condutividade, alcalinidade, nitrato, sólidos dissolvidos e K são as principais variáveis da PC2 (12,62%), que refletem o aporte de íons (inorgânicos e orgânicos) nos rios. Na terceira PC (11,75%) os maiores pesos estão relacionados à amônia, sólidos suspensos, sólidos totais e DQO. A entrada de material orgânico provoca uma maior demanda de oxigênio a ser usado na degradação química



desse material. A associação pH, oxigênio dissolvido e nitrito na PC4 (7,57%) implica que a entrada de matéria orgânica não oxidada se dá em ambientes com boa disponibilidade de oxigênio, cuja transformação desse composto é marcada pela PC3. A PC5 (6,02% da variância) contém os parâmetros temperatura e P. O Na é o único parâmetro na PC6 que explica 6,05% da variação. Na e P são macro e micronutrientes de fertilizantes e, podem estar associado a esgoto. A PC7 (5,52%) e a PC8 (4,93%) possuem pesos positivos na cor e no Fe. A concentração de Fe é um dos principais fatores responsáveis pela cor na água.

De uma maneira geral, é possível associar as PCs de números 1, 2, 7 e 8 com a influência predominante da geoquímica de rochas e solos na composição da água no Córrego Cedro e Ribeirão do Gama. As demais principais componentes demonstram o comportamento da água em função do aporte de materiais alóctones a geologia da área e matéria orgânica, que sugerem uma maior contribuição do agente antrópico ao natural.

A Figura 63 compara visualmente os pesos das PCs 1 e 2 não rotacionados e rotacionados. Com o processo de rotação, as variáveis foram ajustadas de modo a se concentrarem ao longo dos dois eixos principais. Pesos altos e positivos ao longo das PCs 1 e 2 indicam aporte de material/íons nas águas dos rios, enquanto que pesos negativos ao longo das PCs podem indicar poluição orgânica.

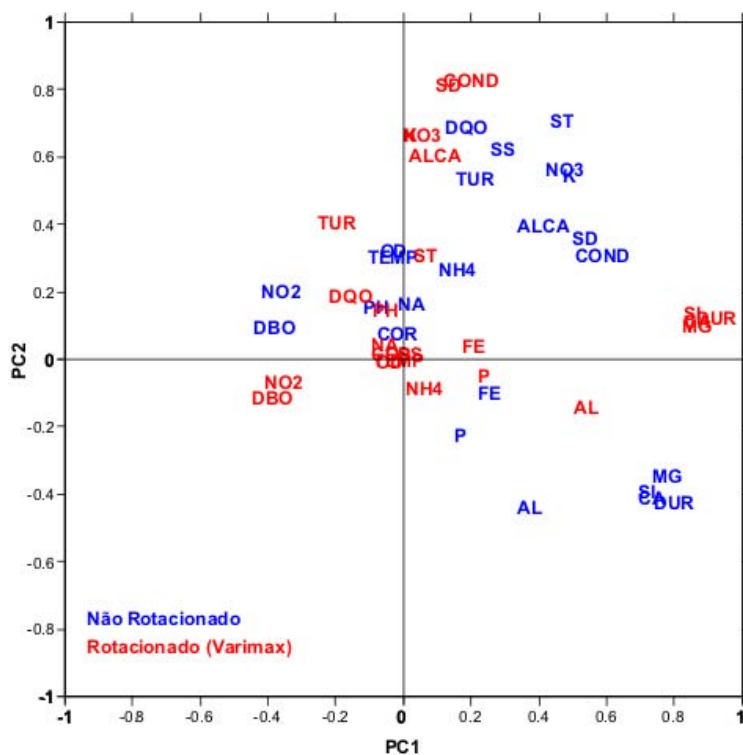


Figura 63 – Comparação dos pesos das variáveis sobre as duas componentes principais não rotacionadas e rotacionada (Varimax).



Análise de Agrupamento (*Hierarchical Cluster Analysis* e K-Médias)

Através do método das principais componentes foram definidos os parâmetros que seriam capazes de detectar diferenças significativas na qualidade de água, no entanto, foi necessário um número relativamente grande de PCs para explicar os 70,88% da variação dos dados.

O próximo passo agora é particionar as variáveis e as observações em grupos de similaridade, de modo a identificar padrões de comportamento nas análises de qualidade de água.

Os pesos das variáveis (modo R) nas oito PCs foram submetidos à classificação hierárquica de agrupamento. Os critérios para medida de similaridade e amalgamação utilizados foram: o Quadrado da Distância Euclidiana (*Square Euclidian Distance*) e método de *Ward*, respectivamente. A representação da distância de ligação entre os *clusters*, $Dlink/Dmax$, significa o quociente entre a distância de ligação para um caso particular dividido pela distância de ligação máxima. Esse quociente é multiplicado por 100 com o objetivo de padronizar as distâncias de ligação. A significância de cada agrupamento é determinada através do critério $(Dlink/Dmax) \times 100 < 60$ (Singh *et al.*, 2005, Shrestha & Kazama, 2007). Quanto menor a distância entre as variáveis, maior é a similaridade entre elas.

Os três grupos detectados pela análise de agrupamento hierárquico estão representados no dendograma da Figura 64. O Grupo A, correlacionável com a primeira principal componente, é formado por parâmetros indicadores de composição geoquímica de rochas e solos da bacia, exceto para o P, que está associado à atividade agrícola. O Grupo C (pH, oxigênio dissolvido, nitrito, temperatura, cor, Na e DBO) é indicador da qualidade de água propriamente dita. O grupo B, formado pela condutividade, sólidos dissolvidos, alcalinidade, nitrato, turbidez, K, amônia, sólidos suspensos, sólidos totais e DQO (parâmetros da segunda e terceira componente principal) é um misto de indicadores geoquímicos e de qualidade de água.

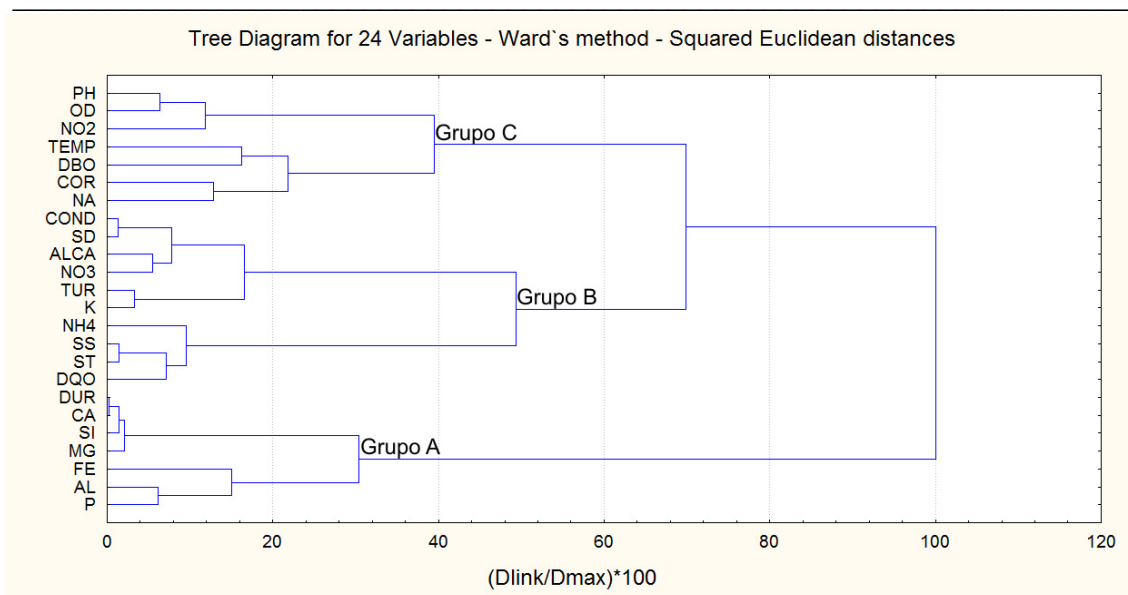


Figura 64 – Dendrograma mostrando o agrupamento das variáveis no Córrego Cedro e Ribeirão do Gama.

A análise de agrupamento não-hierárquico, k-médias, foi realizada sobre os pesos de cada observação (modo Q) nas oito principais componentes. O método não hierárquico exige a quantidade de grupos que se deseja diferenciar. A idéia principal do estudo é diferenciar do “comportamento” normal das águas, as observações anômalas. Partindo desse princípio, a análise de agrupamento foi feita de maneira interativa e visual ou, segundo Fraley & Raftery (1998), heurística. Desta maneira, o melhor resultado foi obtido pela classificação em dois grupos. A Figura 65 mostra a disposição espacial das observações agrupadas nos dois grupos nas duas primeiras PCs. As observações se confundem nesse gráfico, ou seja, a separação dos grupos é devido a variação dos dados.

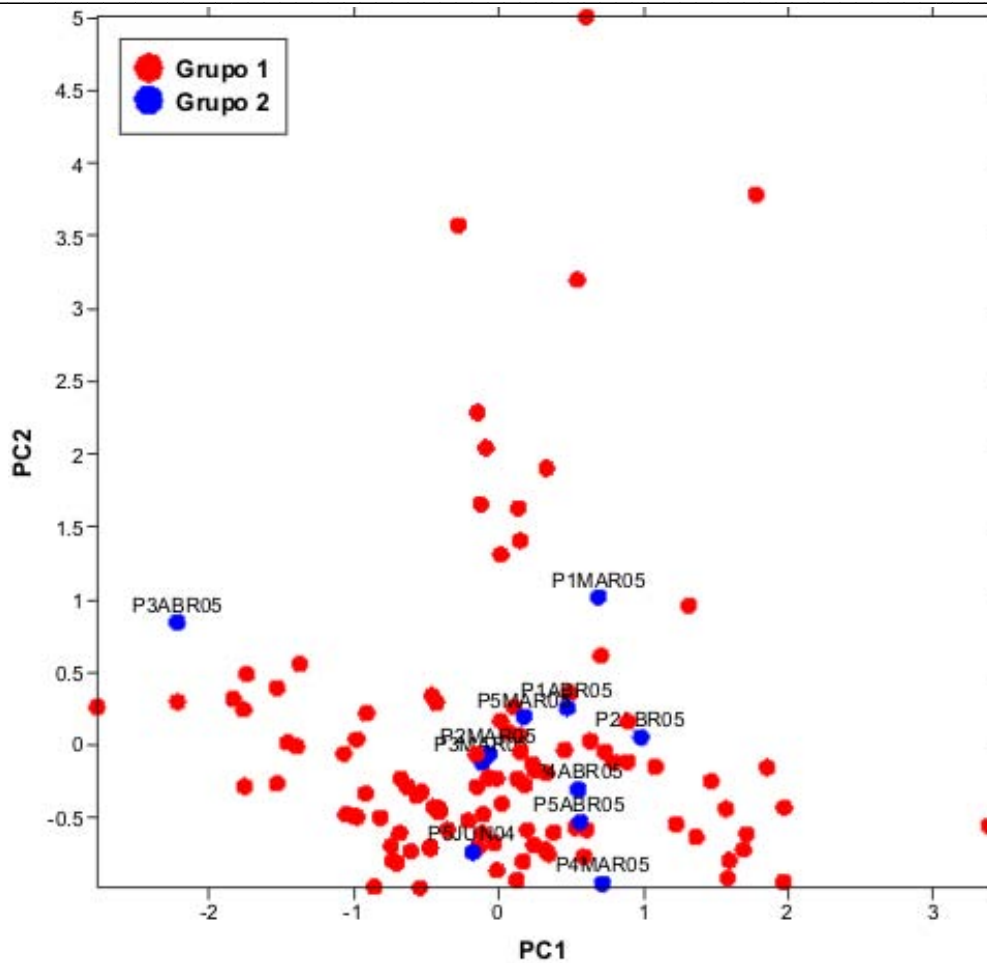


Figura 65 – Gráfico de espalhamento dos pesos das observações nas duas primeiras principais componentes. As observações nomeadas são as que diferem do padrão normal, segundo o método k-médias de agrupamento.

As observações de cada grupo foram separadas, reunidas segundo o agrupamento proposto e as informações apresentadas na Tabela 10.



Tabela 10 – Tabela com os valores médios e o desvio padrão das observações agrupadas segundo o método não hierárquico k-médias.

	Grupo 1 (n=104)		Grupo 2 (n=11)	
	Média	Desvio	Média	Desvio
pH	6,03	0,55	5,81	0,66
Temp	20,66	1,38	20,95	0,99
Cond	18,7	13,7	23,2	12,8
OD	6,44	1,07	6,43	0,78
Alca	11,0	4,7	16,9	7,6
Tur	11,1	9,6	13,1	5,4
Cor	12,9	13,5	5,7	6,5
Dur	5,53	2,21	6,26	0,96
NO2	0,004	0,006	0,003	0,008
NO3	1,18	0,75	1,88	0,92
NH4	0,04	0,04	0,25	0,74
SS	5,27	10,14	80,99	44,89
ST	15,40	14,57	91,35	38,27
SD	10,25	10,64	11,27	7,10
DBO	0,88	1,23	0,77	0,53
DQO	3,83	2,15	7,64	2,96
Ca	1,78	0,67	1,94	0,35
Mg	0,26	0,15	0,34	0,11
Fe	0,10	0,15	0,08	0,04
Al	0,15	0,17	0,16	0,18
Si	2,04	0,66	2,29	0,40
P	0,06	0,10	0,05	0,03
Na	0,58	0,21	0,62	0,20
K	0,28	0,20	0,38	0,22

Para uma melhor visualização da Tabela 10, os dados foram padronizados e dispostos em gráficos (Figuras 66 e 67).

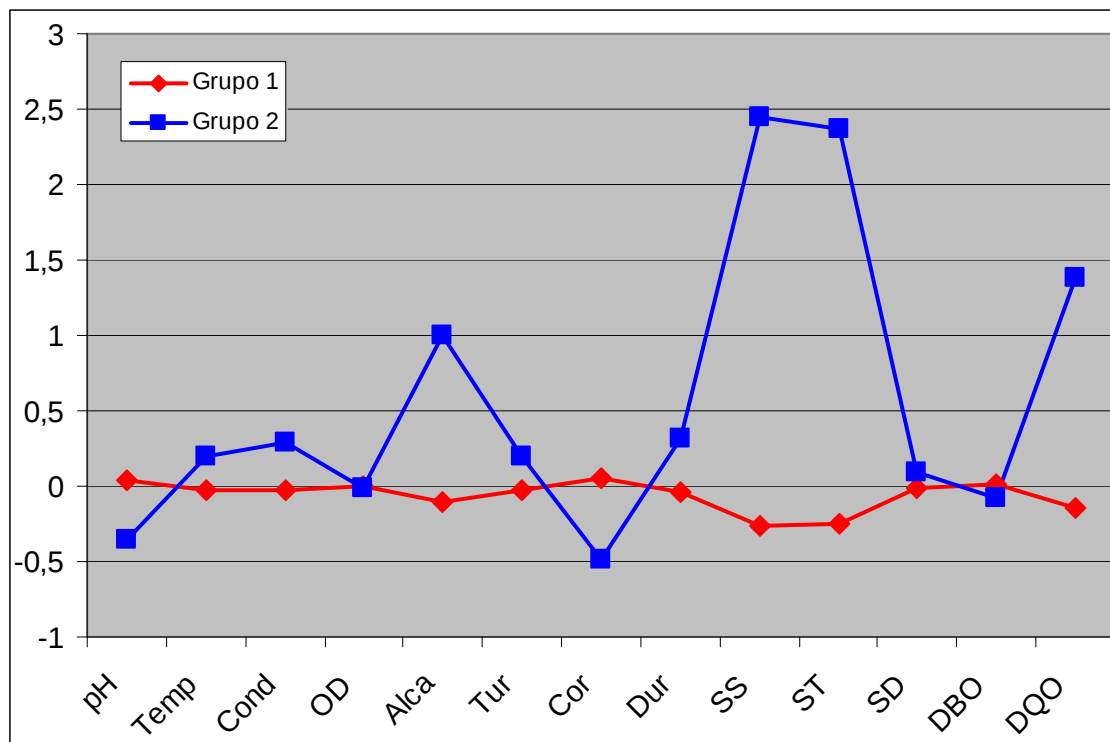


Figura 66 – Gráfico resultante da padronização das médias para os parâmetros físico-químicos destacados, mostrando as diferenças entre os dois grupos resultantes da análise agrupamento não-hierárquico.

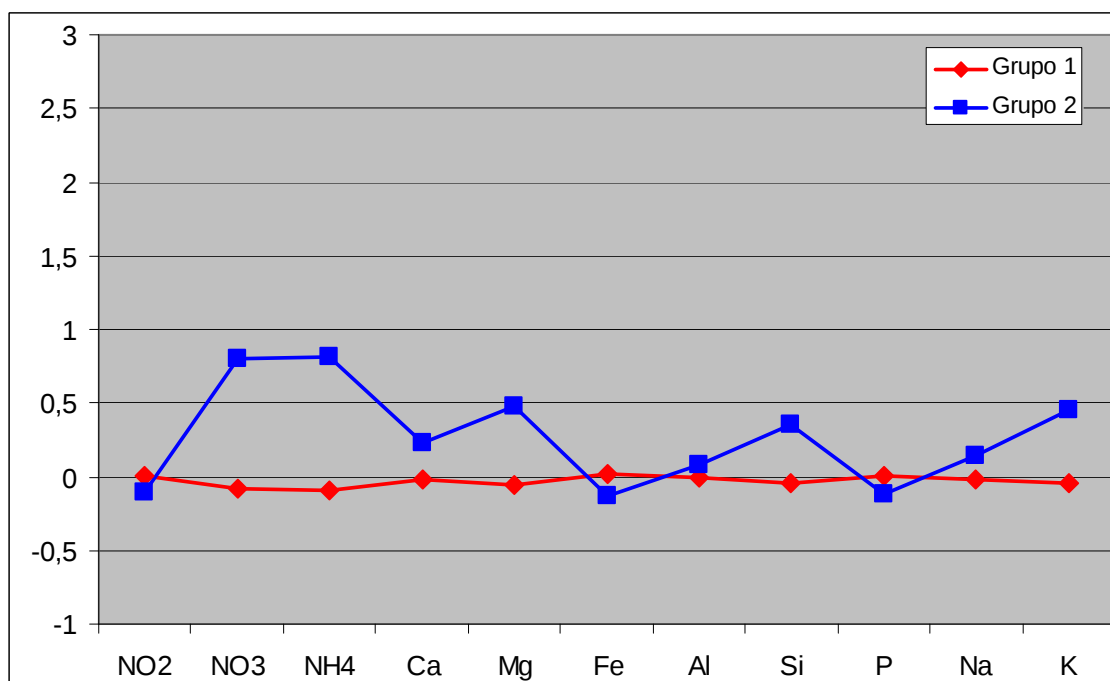


Figura 67 – Gráfico resultante da padronização das médias para os compostos nitrogenados e os elementos, mostrando as diferenças entre os dois grupos resultantes da análise agrupamento não-hierárquico.



A partir dos resultados da análise agrupamento não-hierárquico são constatadas duas condições no comportamento das observações avaliadas. As observações do grupo 1 são o comportamento médio ou *background* dos rios em estudo, já as do grupo 2 são a condição anômala. Essa condição anômala foi detectada nos meses de março e abril de 2005, nos pontos 1, 2, 4 e 5; nos meses de janeiro e fevereiro de 2005, no ponto 3; e em junho de 2004, no ponto 5. Essas observações contêm um aumento expressivo nos valores de sólidos suspensos, sólidos totais e DQO, e subordinadamente, em alcalinidade, nitrato e amônia.

No Córrego Cedro a entrada de uma quantidade anormal de sólidos foi detectada pelos parâmetros sólidos suspensos, sólidos totais, condutividade e alcalinidade, afetando o pH e na concentração de oxigênio dissolvido (Figura 68).

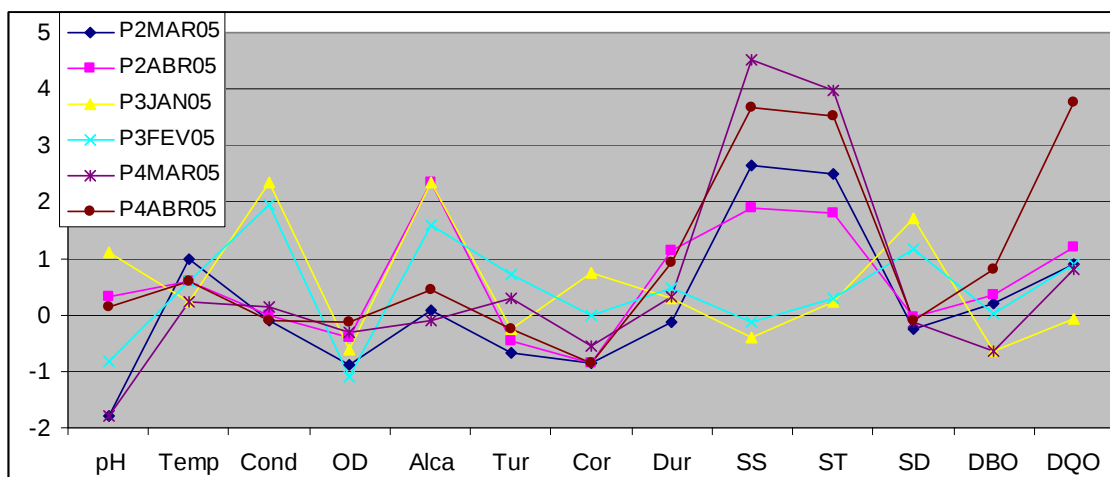


Figura 68 – Gráfico resultante da padronização das observações do Grupo 2 no Córrego Cedro.

Os sólidos carregados para o Córrego Cedro possuem origem orgânica (associados com nitrato e amônia) e inorgânica (Ca, Mg, Si e Na), provenientes da erosão do solo (Figura 64). A entrada anômala desses compostos na água fez com que houvesse a redução da concentração de oxigênio dissolvido, em função do processo de oxidação, alterando o equilíbrio ácido-base do meio. Dentro desse segundo grupo anômalo, podemos destacar duas situações distintas, um que abriga os pontos 2 e 4 e o outro o ponto 3. O ponto 3 difere-se dos demais em função da condutividade e alcalinidade. A forma como esses dois últimos parâmetros variam indica a interação das águas do Córrego Cedro com a planície de inundação (solo hidromórfico) no ponto 3, onde os íons carbonato, bicarbonato e nitrato aumentam a condutividade da água. O íon nitrato reflete a interação da água com a vegetação hidromórfica e os demais íons sugerem ação antrópica em função da construção civil. No ponto 4, durante o mês de



março, a alta concentração de amônia e K sugere lançamento de esgoto pela população próxima (Figura 69).

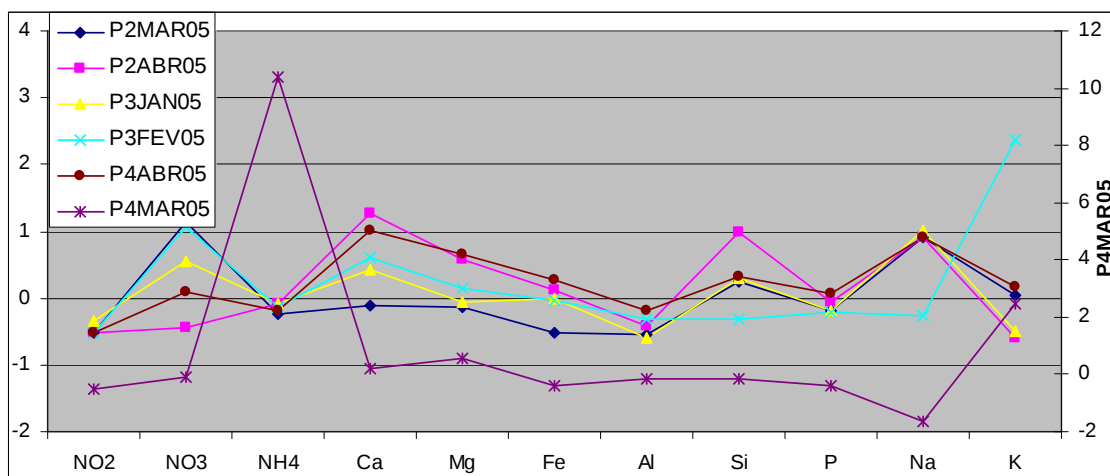


Figura 69 – Gráfico resultante da padronização das observações do Grupo 2 no Córrego Cedro.

No Ribeirão do Gama, assim como o Córrego do Cedro, sólidos totais, sólidos suspensos, alcalinidade e DQO são os parâmetros que provocam alteração na qualidade de água (Figura 70). Nessa mesma figura pode-se concluir que a junção do Ribeirão do Gama com o Córrego Cedro provoca uma queda na concentração dos íons carbonato e bicarbonato (alcalinidade).

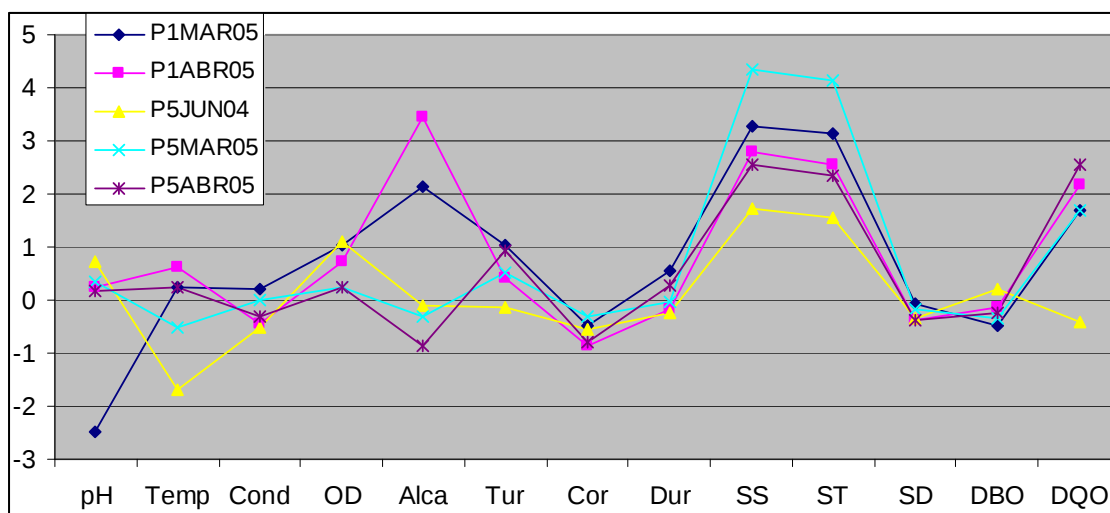


Figura 70 – Gráfico resultante da padronização das observações do Grupo 2 no Ribeirão do Gama.

O Ribeirão do Gama (Figura 71) não possui um *trend* no comportamento dos elementos, como foi observado no Córrego Cedro (Figura 69). A ausência desse padrão ocorre tanto entre os pontos quanto entre o período de registro. Se a análise for focada no tempo, em março de 2005, a concentração de nitrato, Na e K foram bem superiores



(influência do núcleo rural a montante) que no mês seguinte, registrando um ligeiro aumento do Si. Em junho de 2004, o ponto 5 apresentou uma condição de qualidade de água bem singular, com concentração elevada de nitrito, Al, K e queda na DQO e temperatura. Essa condição sugere lançamento de esgoto recente, entre os pontos 4 e 5, com alta concentração de Al. Nesse ribeirão a origem dos sólidos presentes nas águas é mais diversificada que no Córrego Cedro, uma vez que mais espécies químicas têm suas concentrações variadas ao longo dos pontos e do tempo. Esse padrão diversificado mantém-se após a mistura das águas do ribeirão e do córrego.

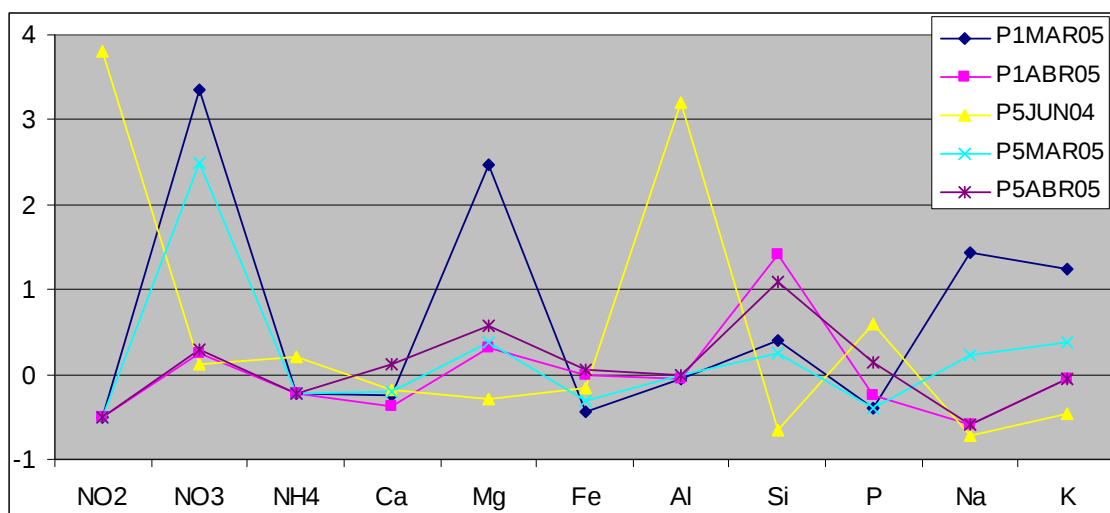


Figura 71 – Gráfico resultante da padronização das observações do Grupo 2 no Ribeirão do Gama.



Análise Discriminante (DA)

A classificação não-hierárquica k-médias separou as observações em dois grupos bem distintos entre si. Com a DA é possível obter uma função que diferencie esses grupos (variável independente) a partir dos parâmetros (variáveis dependentes). A DA foi aplicada sobre os dados originais, nos modos *standard* e *stepwise*.

Funções Discriminantes (*Canonical Discriminant Functions*)

Uma função discriminante foi gerada para os dois modos de análise. Na Tabela 11 estão os pesos de cada variável dependente para cada função discriminante, de cada modo, necessários para o cálculo do escore de cada observação.

Tabela 11 – Pesos para classificação por análise discriminante da qualidade de água do Córrego Cedro e Ribeirão do Gama.

Parâmetros	Standard	Stepwise
	FD	FD
pH	-0,158	-
Temp	0,047	-
Cond	-0,009	-
OD	-0,197	-
Alca	0,024	-
Tur	-0,011	-
Cor	-0,002	-
Dur	0,280	-
NO2	22,962	-
NO3	-0,339	-0,331
NH4	-2,298	-1,705
SS	0,309	0,113
ST	-0,195	-
SD	0,200	-
DBO	0,360	-
DQO	0,071	-
Ca	-0,727	-
Mg	-1,027	-
Fe	1,188	-
Al	1,293	1,434
Si	0,132	-
P	0,403	-
Na	0,255	-
K	0,526	-
Constante	-1,305	-1,177



No modo *standard* todas as vinte e quatro variáveis foram usadas nos cálculos dos respectivos pesos, enquanto que, no modo *stepwise*, apenas nitrato, amônia, sólidos suspensos e Al participaram nos cálculos e esses parâmetros são interpretados como as variáveis que melhor contribuem para o cálculo da função.

Na Tabela 12 está detalhado o quanto cada modo conseguiu alocar as observações nos grupos corretamente.

Tabela 12 – Matriz de classificação para a análise discriminante de qualidade de água do Córrego Cedro e Ribeirão do Gama.

Grupo	% Acerto	Grupos alocados pela DA	
		Grupos	
Modo Standard		1	2
1	100	104	0
2	100	0	11
Total	100	104	11
Modo Stepwise		1	2
1	100	104	0
2	100	0	11
Total	100	104	11

As vinte e quatro variáveis usadas pelo modo *standard* e as quatro variáveis do modo *stepwise* alocaram corretamente todas as observações, ou seja, não foi necessário realocar nenhuma observação para outro grupo. Portanto, a DA sugere que nitrato, amônia, sólidos suspensos e Al são os parâmetros mais significantes para discriminar os dois grupos de qualidade de água, além de que, esses quatro parâmetros explicam as maiores variações nos dados de qualidade de água.

A partir das duas funções definidas pelos modos *standard* e *stepwise*, os escores de cada observação foram calculados e representados em histogramas (Figuras 72 e 73).

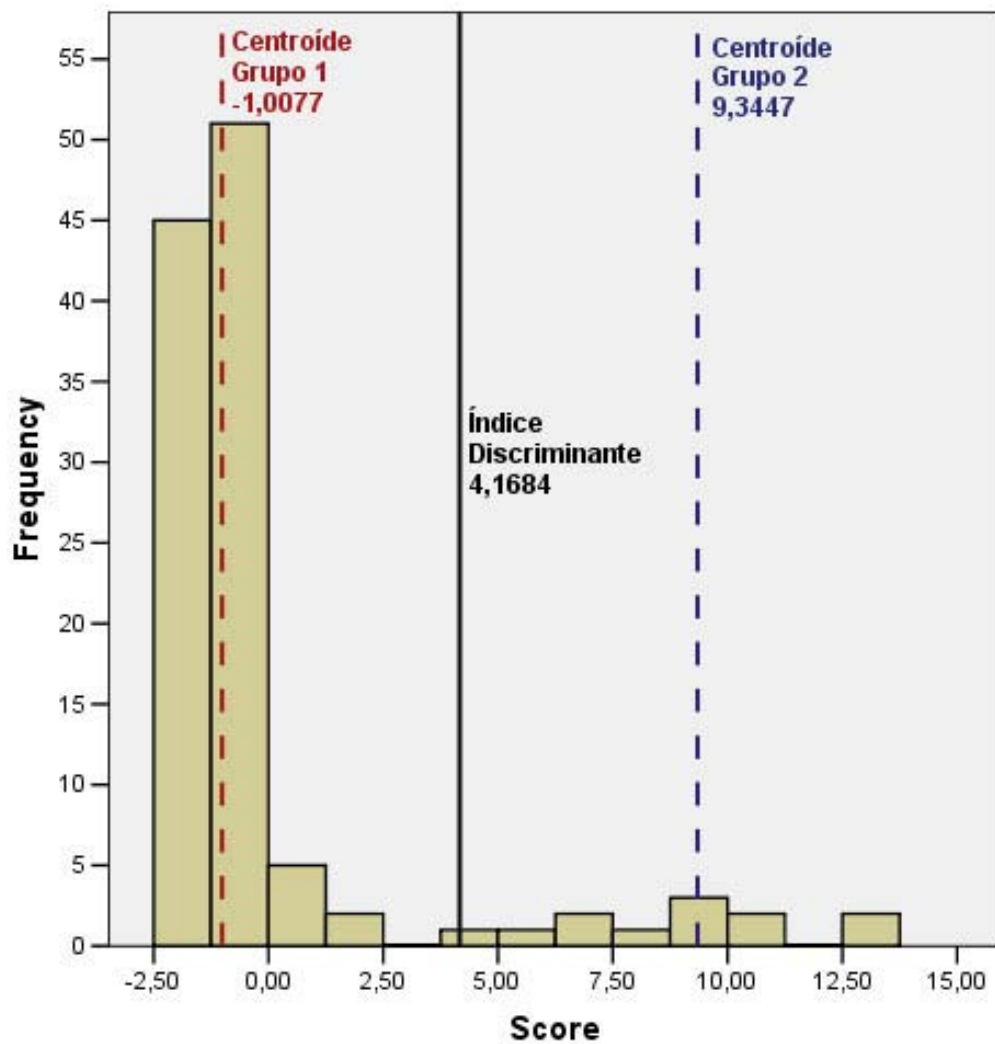


Figura 72 – Histograma dos escores calculados pela função discriminante gerada pelo modo *standard*. Valores maiores e menores que o índice discriminante pertencem ao Grupo 2 e ao Grupo 1, respectivamente.

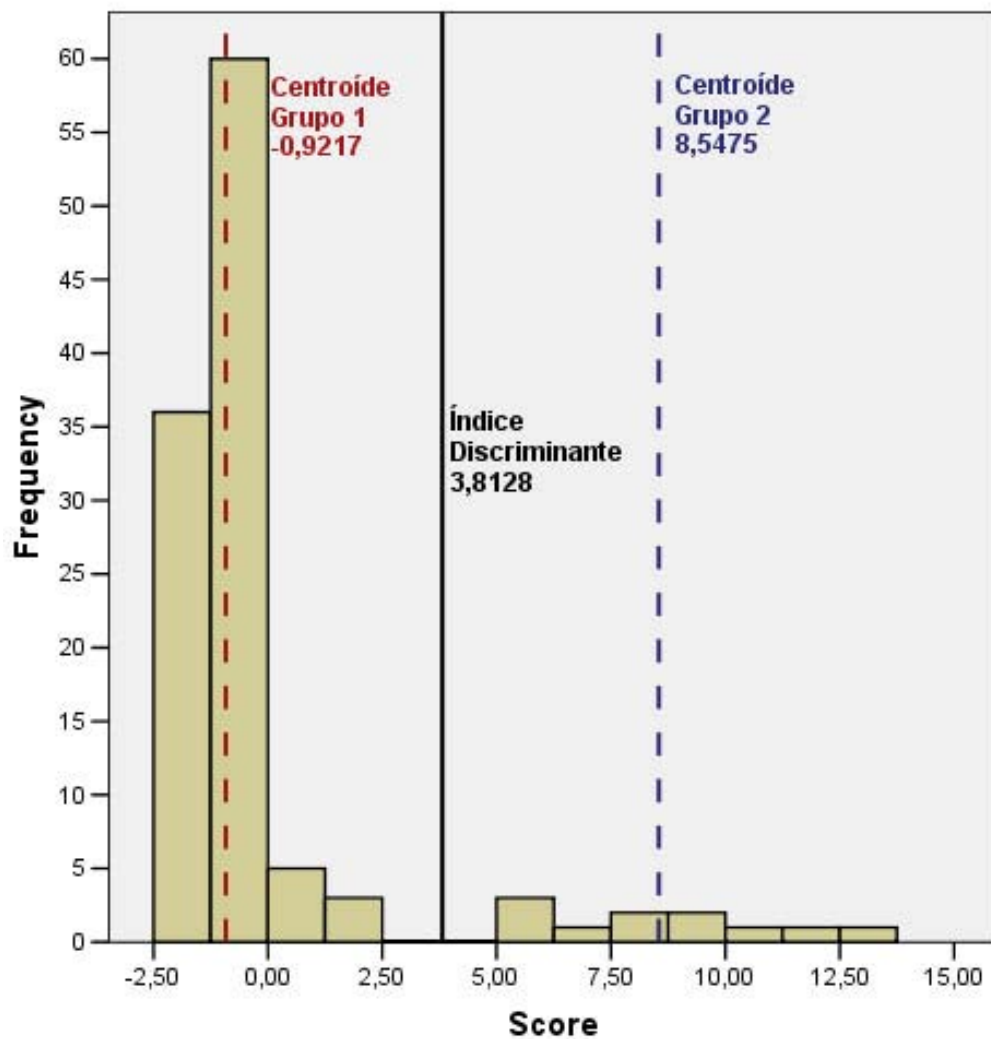


Figura 73 – Histograma dos escores calculados pela função discriminante gerada pelo modo *stepwise* usando os parâmetros nitrato, amônia, sólidos suspensos e alumínio. Valores maiores e menores que o índice discriminante pertencem ao Grupo 2 e ao Grupo 1, respectivamente.



Função Discriminante de Fisher (*Fisher's Linear Discriminant Functions*)

A diferença principal da função discriminante canônica da função discriminante de Fisher é o fato de a última gerar uma função para cada grupo, conseqüentemente, dois escores para cada observação são calculados. O maior escore calculado pela respectiva função é que determina o grupo que a observação pertencerá. A função de Fisher permite uma leitura quase que imediata dos resultados, posto que não é necessário comparar com centróides e o índice discriminante. A Tabela 13 contém os pesos necessários para o cálculo dos escores nos dois modos de análise discriminante.

Tabela 13 – Pesos de Fisher para classificação por análise discriminante da qualidade de água do Córrego Cedro e Ribeirão do Gama.

Parâmetros	Modo Standard		Modo Stepwise	
	FD1	FD2	FD1	FD2
pH	22,682	21,043		
Temp	13,583	14,075		
Cond	-0,089	-0,180		
OD	-2,052	-4,094		
Alca	-0,390	-0,139		
Tur	0,746	0,627		
Cor	-0,063	-0,087		
Dur	14,160	17,059		
NO2	687,403	925,120		
NO3	-8,066	-11,579	2,102	-1,035
NH4	-0,778	-24,571	1,461	-14,684
SS	0,972	4,169	0,006	1,077
ST	-0,876	-2,891		
SD	0,811	2,884		
DBO	9,013	12,744		
DQO	-0,763	-0,033		
Ca	-30,980	-38,504		
Mg	-53,664	-64,299		
Fe	-23,158	-10,856		
Al	12,593	25,975	5,201	18,780
Si	10,845	12,207		
P	25,520	29,695		
Na	0,541	3,178		
K	20,946	26,388		
Constante	-220,580	-279,469	-1,796	-51,278



CAPÍTULO 7

CONCLUSÃO

Os dois corpos hídricos avaliados nesse estudo mostraram-se afetados pelo uso e ocupação do solo na Bacia do Ribeirão do Gama. Apesar da região agrícola, representada pelo Núcleo Rural Vargem Bonita, estar distante do ponto de coleta, foi detectado componentes associados aos insumos dessa atividade. O núcleo urbano Setor de Mansões ParkWay, juntamente com as obras de ampliação da segunda pista do Aeroporto Internacional de Brasília, deixaram marcadores nas águas do Córrego Cedro e também no Ribeirão do Gama. A ausência de mata ciliar, removida em função da construção civil, é determinante na qualidade de água e na proteção contra os processos erosivos atuantes na bacia.

Ca, Mg, Fe, Al e Si apresentaram valores crescentes em relação ao tempo, indicando o processo contínuo de ocupação urbana na área. Fe, Al e Si são provenientes de argilominerais contidos nas ardósias do Grupo Paranoá e denunciam a ocorrência de processos erosivos em função da ausência de mata ciliar. Ca e Mg tem tripla proveniência, uma majoritariamente relacionada aos materiais de construção civil, em menor escala aos argilominerais e aos insumos agrícolas. K e P marcam o uso de fertilizante, o P diminui sua concentração à medida que se afasta do núcleo rural e o K correlaciona-se com o nitrato, no Ribeirão do Gama. As concentrações dos elementos químicos fazem com que a qualidade de água na Bacia do Ribeirão do Gama seja melhor que na Bacia do Descoberto e na Bacia do Bananal. Quanto ao pH, condutividade e alcalinidade há maior proximidade com a Bacia do Lago Paranoá.

Os parâmetros turbidez e cor são influenciados pela ausência/presença da mata ciliar, uma vez que impedem os sedimentos de atingirem as drenagens. A condutividade revelou um fenômeno particular na bacia. No ponto 3, a interação do solo hidromórfico com o nível freático raso provoca a inundação da área nas épocas de chuva, elevando a condutividade em função da matéria orgânica depositada no período seco. Os compostos nitrogenados (nitrito, nitrato e amônia) sugerem a ausência de poluição por esgoto, porém, no Ribeirão do Gama, pode-se concluir o uso de fertilizantes provenientes do núcleo rural. Apesar do estudo concluir a ausência de poluição por



esgoto, situações locais foram registradas através de picos elevados de amônia e DBO no ponto 4, cuja área se trata de uma pequena invasão de casebres.

Quanto ao estudo estatístico realizado, as técnicas empregadas discriminaram os parâmetros mais representativos e permitiram propor um modelo de avaliação entre a interface água impactada/não-impactada pelo uso e ocupação do solo na Bacia do Ribeirão do Gama.

Neste estudo, o método de principais componentes reduziu a matriz de dados originais para oito PCs, que juntas explicam 70,88% da variação dos dados. A rotação, segundo o critério Varimax, aumentou ainda mais a significância das variáveis mais importantes, reduzindo a influência das variáveis menos significantes. A PC1 e a PC2, principais, explicando 29% da variação dos dados, apontam a origem dos materiais transportados pelas drenagens, Ca e Mg associados a construção civil, Al e Si aos minerais presentes no solo de Brasília e ao nitrato, ora associado a matéria orgânica em decomposição no Córrego Cedro, ora o uso de fertilizantes em núcleo rural (nitrato e K), cujo excesso é transportado ao Ribeirão do Gama. A PC3 e a PC4 registram o processo de oxidação da matéria orgânica, PC5 e PC6 relacionam o macro e o micro nutriente presente em fertilizantes. A PC7 tem a cor como principal variável e a PC8 o Fe, sendo que o último é responsável pela variação de cor.

A análise de agrupamento hierárquico permitiu verificar a similaridade entre as variáveis estudadas, agrupando-as em três grupos. O grupo A representa variáveis indicadoras da geoquímica de rochas e solos, o grupo C são parâmetros de controle de qualidade de água e o grupo B é um misto de parâmetros geoquímicos e de qualidade de água. A análise de agrupamento não-hierárquico (K-médias) separou as observações, usando os pesos obtidos no modo-Q da análise de principais componentes, e as agrupou em dois grupos, que refletiam duas condições de qualidade de água: o *background*, ou água não-impactada e a anômala, água impactada.

Aproveitando os dados gerados pelo k-médias e a matriz de dados originais, esses foram submetidos à análise discriminante. Além de fornecer o modelo matemático para a distinção das duas condições de qualidade de água, a análise discriminante confirmou em 100% o agrupamento das observações realizado pelo k-médias. O modelo matemático *standard* usou todos os vinte e quatro parâmetros para o cálculo da equação, enquanto que o modelo *stepwise* gerou a equação selecionando os melhores parâmetros para o cálculo da mesma: nitrato, amônia, sólidos suspensos e Al.



Este estudo usou dos métodos estatísticos para avaliar a relação entre os parâmetros usados no estudo de qualidade de água do Ribeirão do Gama e Córrego Cedro. Com os métodos foi possível também gerar um modelo de interpretação de qualidade de água usando quatro parâmetros apenas. O modelo proposto nesta pesquisa deve ser usado como acessório a futuras avaliações de qualidade de água nos corpos hídricos. Nitrato, amônia, sólidos suspensos e Al foram os parâmetros apontados pelos métodos estatísticos empregados, segundo cálculos baseados na variação dos dados e não na importância da informação que cada parâmetro fornece.

Se a intenção é continuar a monitorar o impacto da operação da segunda pista do Aeroporto Internacional de Brasília e a expansão urbana, sugere-se eliminar os seguintes parâmetros:

- Nitrito, DBO e P, parâmetros indicadores de poluição por esgoto, poderiam ser substituídos por cloreto, aliado ao nitrato e amônia;
- Mn e Cu, por serem indicadores de atividades industriais, ausentes na região;
- Dureza, Sólidos Suspensos e Sólidos Totais podem ser eliminados, pois são parâmetros derivados do Ca e Mg (Dureza) e Sólidos Dissolvidos.

Para o monitoramento de possível derramamento de derivados de petróleo, sugere-se análise de Cd e Pb com metodologia diferenciada dos outros elementos químicos. Fe, Al, Si, Na e K são bons indicadores de processos erosivos, uma vez que são elementos presentes em argilominerais dos solos locais. Ca e Mg indicam e indicariam a expansão urbana, através do emprego de materiais típicos de construção civil, como calcário e cimento. Para o monitoramento da qualidade de água propriamente dita, desejando o aproveitamento desses mananciais para abastecimento público, a combinação dos parâmetros pH, condutividade, oxigênio dissolvido, alcalinidade, turbidez, cor, sólidos dissolvidos, nitrato, amônia e cloreto é satisfatória, pois definiriam o melhor uso dessas águas.

Ademais, é necessário dar atenção a preservação da mata de galeria ou mata ciliar do Córrego Cedro e Ribeirão do Gama, respeitando a legislação atual que obriga uma faixa marginal de largura mínima de 30 m, as chamadas Áreas de Preservação Permanente (APP), que reduziriam a influência dos processos erosivos nas águas. A aplicação correta de insumos agrícolas, de modo a evitar que o excesso dessas substâncias atinja tanto os recursos hídricos superficiais quanto os subterrâneos, torna-se uma medida mitigadora na alteração da qualidade da água.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdi, H. 2003. Factor Rotations in Factor Analysis. In: Lewis-Beck M., Bryman, A., Futing T. (Eds.). Encyclopedia of Social Sciences Research Methods. Thousand Oaks (CA): Sage.

Almeida, F. F. M.de; Hasui, Y.; Brito Neves, B.B.de; Fuck, R.A. - 1981 - Brazilian structural provinces: na introduction. Earth-Sci. Reviews, 17:1-21.

ANA, 2005. Estudo de Consolidação dos Procedimentos Metodológicos na Elaboração do Relatório de Conjuntura de Recursos Hídricos / Relatório Final. – Brasília: ANA, SPR, 118p.

APHA-AWWA-WPCF. 1999. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 20th edition. USA.

Araújo Filho, M.C., Meneses, P.R. & Sano, E.E. 2007. Proposta de um sistema hierárquico de classificação de cobertura da terra baseado na análise de imagens de satélite. Anais XIII Simp. Bras. de Sens. Rem., p. 2291-2298.

Araújo Filho, J.O. 2000. The Pirineus Syntaxis: an example of the intersection of two Brasiliano fold-thrust belts in Central Brazil and its implications for the tectonic evolution of western Gondwana. Rev. Bras. Geoc.30(1):144-148.

Aucour, A. -M., Tao, F.X., Moreira-Turcq, P., Seyler, P., Sheppard, S., & Benedetti, M.F. 2003. 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, v. 197, (1-4), 271-285p.

Baptista, G.M.M, 1998. Caracterização Climatológica do Distrito Federal. In: IEMA/SEMATEC/UnB. Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal. Brasília. Vol.1, parte I. 86p.



Barros, C.B. 2002. Validação dos métodos analíticos. *O Biológico*. São Paulo, v.64, n.2, p.175-177.

Beauchaine, T.P. & Beauchaine III, R.J. 2002. A Comparison of Maximum Covariance and K-Means Cluster Analysis in Classifying Cases Into Known Taxon Groups. *Psychological Methods*, Vol. 7, 2:245–261p.

Bisinoti, M.C.; Yabe, M.J.S. & Gimenez, S.M.N. 2004. Avaliação da Influência de Metais Pesados no Sistema Aquático da Bacia Hidrográfica da Cidade de Londrina-PR. *Revista Analytica*, Vol. 8, 22-27p.

Boaventura, G.R. 1997. Caracterização Geoquímica de Águas e Sedimentos de Corrente do Distrito Federal. Relatório Final. WWF/FINATEC. 455p.

Boaventura, G.R. & Freitas, A.L.S., 2006. Inorganic Parameters as Water Quality Indicators in Acidic Groundwater In A Tropical Region-Brasília-DF (Brazil). *Water, Air and Soil Pollution*. Volume 171, p. 135-171.

Boaventura, G.R., Souza, R.S., Pontes, C.H.C. & Pinelli, M.P. 1999. Estudo Geoquímico em Águas da Bacia do Bananal – Brasília, DF. VII Congr. Bras. Geoq. e V Congr. Geoq. dos Países de Língua Portuguesa. Porto Seguro-BA. Resumo Expandido, SBGq. 41-43.

Campana, N.A., Monteiro, M.P., Koide, S., Neto, O.C. 1998a. Avaliação Quantitativa dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal. In: MMA/SRH, SEMATEC/DF, IEMA/DF. 1998. Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal :: relatório técnico. Brasília: 1998. v. 3.

Campana, N.A., Monteiro, M.P., Brandão, C.C., Koide, S. 1998b. Avaliação Qualitativa dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal. In: MMA/SRH, SEMATEC/DF, IEMA/DF. 1998. Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal :: relatório técnico. Brasília: 1998. v. 3.



Campana, N.A., Monteiro, M.P., Koide, S., Neto, O.C. 1998c. Caracterização Sócio-Econômica do Distrito Federal. In: MMA/SRH, SEMATEC/DF, IEMA/DF. 1998. Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal :: relatório técnico. Brasília: 1998. v. 2.

Campos, J. E. G. 2004. Hidrogeologia do Distrito Federal: bases para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 34, n. 1, p. 41-48.

Campos, J.E.G & Freitas-Silva, F.H. 2002a. Solos In: Fonseca, F.O. (Coord.) Olhares sobre o lago Paranoá. Brasília: Secr Meio Ambiente Rec Hidr, 2002. 425 p.

Campos, J.E.G & Freitas-Silva, F.H. 2002b. Hidrogeologia. In: Fonseca, F.O. (Coord.) Olhares sobre o lago Paranoá. Brasília: Secr Meio Ambiente Rec Hidr, 2002. 425 p.

Campos, J.E.G & Freitas-Silva, F.H. 2002c. Geologia. In: Fonseca, F.O. (Coord.) Olhares sobre o lago Paranoá. Brasília: Secr Meio Ambiente Rec Hidr, 2002. 425 p.

Carvalho Júnior, O.A.C., Boaventura, G.R., Martins, E.S., Pereira, F.J., Brito, Bispo, V.E.B. & Bispo, R.S. 1998a. Caracterização de Elementos Traços em Águas Superficiais conforme o Uso da Terra por Meio de Análise de Principais Componentes. Estudo de Caso: Ribeirão do Gama, Distrito Federal. REM: Rev. Escola Minas. 51(3):76-79.

Carvalho Júnior, O.A.C., Boaventura, G.R., Martins, E.S., Pereira, F.J., Brito, Bispo, V.E.B. & Bispo, R.S. 1998b. Caracterização por Análise de Grupos de Assinaturas Geoquímicas Naturais de Águas Superficiais da Bacia do Taquara, DF. REM: Rev. Escola Minas. 51(4):47-50.

Cattell, R.B. 1966. The Scree Test for the Number of factors. Multivariate Behavioral Research (April): 247-276p.



Chen, K., Jiao, J.J., Huang, J. & Huang, R. 2007. Multivariate statistical evaluation of trace elements in groundwater in a coastal area in Shenzhen, China. *Environmental Pollution*, Volume 147, Issue 3, p. 771-780

Correia, J.R., Reatto, A. & Spera, S.T. 2004. Sobre as suas relações com uso e manejo. In: Sousa, D.M. & Iobato, E. *Cerrado: Correção do Solo e Adubação*. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica. 2ª Ed. 416p.

Dardenne, M.A. - 2000 - The Brasília Fold Belt. In: Cordani, U.G.; Milani, E.J.; Thomaz Filho, A.; Campos, D.A. (eds.). *Tectonic Evolution Of South America*. Rio de Janeiro, 231-263. (Intern. Geol. Congr.,31).

Davis, J. C. 2002. *Statistics and data analysis in geology*. 3 ed. New York: J Wiley, 638p.

Do Carmo, M.S., Boaventura, G.R., Oliveira, E.C. 2005. Geoquímica das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Descoberto, Brasília/DF-Brasil. *Química Nova*, 28 (4):555-574.

Echeverria, R. M. 2007. *Avaliação de Impactos Ambientais nos Tributários do Lago Paranoá, Brasília-DF*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. 132p.

Eiten, G. 1990. O Cerrado: Vegetação. In: Pinto, M. N. *Cerrado: Caracterização, ocupação e perspectivas*. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 657 p.

EMBRAPA, 1978. *Levantamento de reconhecimento dos solos do distrito federal*. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 455 p.

EPA, United States Environmental Protection Agency. 2005. *National Water Quality Inventory: 2000 Report*. Assessment and Watershed Protection Division. Washington D.C. 200 p.



Faria A. 1995. Estratigrafia e sistemas deposicionais do Grupo Paranoá nas áreas de Cristalina, Distrito Federal e São João D'Aliança-Alto Paraíso de Goiás. Brasília. 199p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília).

Fernandes, P.G., Carreira, P. & da Silva, M.O. 2006. Identification of Anthropogenic Features Through Application of Principal Component Analysis to Hydrochemical Data from the Sines Coastal Aquifer, SW Portugal. *Mathematical Geology*, Vol. 38, 6:765-780p.

Ferrante, J.E.T., Rancan, L., Netto, P.B. 2001. Hidrografia. In: Olhares sobre o Lago Paranoá. Brasília: Secr. Meio Ambiente Rec. Hidr., 425 p.

Ferreira, A.B., Santos, C.R., Brito, J.L.S. & Rosa, R. 2005. Análise comparativa do uso e ocupação do solo na área de influência da Usina Hidrelétrica Capim Branco I a partir de técnicas de geoprocessamento. *Anais XII Simp. Bras. de Sens. Rem.*, INPE, p. 2997-3004.

Fisher, R.A. 1936. The use of multiple measurements in Taxonomic Problems. *Ann. Eugen. London*, 7:179-188p.

Fraley, C. & Raftery, A.E. 1998. How many clusters? Which Clustering Method? Answers Via-Model Based Cluster Analysis. *The Comp. Journal*. Vol. 41(8): 578-588p.

Freitas-Silva F.H. & Campos J.E.G. 1998a. Geologia do Distrito Federal. In: IEMA/SEMATEC/UnB. Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal. Brasília. Vol.1, parte I. 86p.

Freitas-Silva F.H. & Campos J.E.G. 1998b. Hidrogeologia do Distrito Federal. In: IEMA/SEMATEC/UnB. Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal. Brasília. Vol.4, p. 01-85.



Freitas-Silva F. H. & Dardenne, M. A. 1994. Proposta de subdivisão estratigráfica formal para o Grupo Canastra no oeste de Minas Gerais e leste de Goiás. In: SBG, Simp. Geol. Centro-Oeste, 4. Brasília, 1991. Anais...Brasília, SBG-DF/CO, p.164-165.

Fuck, R.A.; Pimentel, M.M.; D'el-Rey Silva, L.J.H.; - 1994 - Compartimentação Tectônica na Porção Oriental da Província Tocantins. In: Congr. Bras. Geol., 38, Balneário Camboriú, 1994. Anais... Balneário Camboriú...

Güler, C. 2007. Characterization of Turkish bottled waters using pattern recognitions methods. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 86:86-94.

Hair, J. F. 1998. Multivariate data analysis. 5 ed. New Jersey: Prentice Hall, 730 p.

Hermes, L.C & Silva, A. S. 2004. Avaliação da Qualidade das Águas – Manual Prático. Brasília. Embrapa. 55p.

Hirata, R. 2000. Recursos Hídricos. In: Teixeira, W.; Toledo, M.C.M.; Fairchild, T.R.; Taioli, F. (eds). Decifrando a Terra. São Paulo: Oficina de Textos. 421-442p.

Jayakumar, R. & Siraz. 1997. Factor Analysis in hydrogeochemistry of coastal aquifers – a preliminary study. Environmental Geology, Vol. 31,3:174-177.

Kaiser, H.F. 1958. The Varimax Criteria for Analytical Rotation in Factor Analysis. Psychometrika, v.23, 187-200p.

Kieffer, F.1991. Metal as essential Trace Elements for Plants, Animals and Humans. In: Merian, E. (Ed) Metals and their Compounds in the Environment: Occurrence, Analysis and Biological Relevance. VCH Publishers. New York. 481-489p.

Klecka, W.R., 1975. Discriminant Analysis. In: Nie, N.H. (Ed.) SPSS: Statistical Package for the Social Sciences. 2 ed. New York. McGraw-Hill. 675p.



Lima, J.E.F.W. 2001. Recursos Hídricos no Brasil e no Mundo. Planaltina: Embrapa Cerrados. 46p.

Llamas, M.R. 1991. A água – Escassez ou mau uso? Revista da Cultura Científica. Fundação Calouste Gulbenkian. Dez:52-68p.

Maia, P.D. 2003. Estudo geoquímico de metais em sedimentos do Lago Paranoá. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. 112p.

Maia, P.D.; Guimarães, E.M.; Moreira, R.C.A. & Boaventura, G.R. 2005. Estudo Mineralógico dos Sedimentos de Fundo do Lago Paranoá – DF, Brasil. Rev. Bras. Geociências, 35 (4) 535-541p.

Mallet, Y., Coomans, D. & de Vel, O. 1996. Recent developments in discriminant analysis on high dimensional spectral data. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, Vol. 35, 157-173p.

Martins, E.S. & Baptista, G.M.M. 1998. Compartimentação Geomorfológica e Sistemas Morfodinâmicos do Distrito Federal. In: IEMA/SEMATEC/UnB. Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal. Brasília. Vol.1, parte I. 86p.

Moita Neto, J.M. 2004. Estatística Multivariada: Uma visão didática-metodológica. Filosofia da Ciência. 9p.

Moreira, R.C. 2002. Referência Geoquímica Regional para a Interpretação das Concentrações de Elementos Químicos em Sedimentos na Bacia do Lago Paranoá – DF. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília. 94p.

Moreira, R. C. & Boaventura, G.R. 2003. Referência Geoquímica Regional para a Interpretação das Concentrações de Elementos Químicos em Sedimentos na Bacia do Lago Paranoá – DF. Química Nova, Vol.26, n.0, 1-8p.



Nascimento, M.A.L.S. 1991. Geomorfologia do Estado de Goiás. Boletim Goiano de Geografia. Goiânia: UFG, V.12, n.1. Jan./Dez.

Nonato, E.A., Viola, Z.G.G., Almeida, K.C.B., Schor, H.H.R. 2007. Tratamento Estatístico dos Parâmetros da Qualidade de das Águas da Bacia do Alto Curso do Rio das Velhas. Quim. Nova, Vol.30, n.4, 797-804p.

Novaes Pinto, M. 1987. Superfícies de Aplainamento do Distrito Federal. Rev. Bras. Geogr. 49: 9-26.

Petersen, W., Bertino, L., Callies, U. & Zorita E. 2001. Process identification by principal component analysis of river water-quality data. Ecological Modelling, 138: 193-213p.

Pimentel, M.M.; Jost, H.; Fuck, R.A.- 2004 - O Embasamento da Faixa Brasília e o Arco Magmático de Goiás. In: Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, C.D.R.; Neves, B.B.B (eds.). Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo, Beca. 356-368.

Pinelli, M.P. 1999. Geoquímica de Águas e Sedimentos da Bacia do São Bartolomeu, Brasília-DF. Brasília. Dissertação de Mestrado. 86p.

Prado, P.I., Lewinsohn, T.M., Do Carmo, R.L., Hogan, D.J. 2002. Ordenação Multivariada na Ecologia e seu Uso em Ciências Ambientais. Amb. & Soc., Ano 5(10):1-15.

Ratter, J.A., Ribeiro, J.F. & Bridgewater, S. 1997. The Brazilian Cerrado Vegetation and Threats to its Biodiversity. Annals of Botany 80: 223-230.

Ribeiro, J.F. & Walter, B.M.T. 1998. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Almeida, S. P. & Sano, S. M. (Eds) Cerrado: Ambiente e flora. Planaltina: EMBRAPA, 556 p.



Regunath, R., Sreedhara Murthy, T.R., Raghavan, B.R. 2002. The Utility of Multivariate Statistical Techniques in Hydrogeochemical Studies: an Example from Karnataka, India. *Water Research*, 36:2437-2442.

Rosa Filho, E.F., Bittencourt, AV.L, Hindi, E.C & Aravena, R. 2005. Caracterização Hidroquímica do Aquífero Guarani na Porção Centro-Norte do Estado do Paraná, Brasil. *Águas Subterrâneas*, v. 19, n. 1, p. 87-94.

Scheinberg, H.I. 1991. Copper. In: Merian, E. (Ed) *Metals and their Compounds in the Environment: Occurrence, Analysis and Biological Relevance*. VCH Publishers. New York. 893-907p.

Schobbenhaus, C. & Brito Neves, B.B. 2003. A Geologia do Brasil no Contexto da Plataforma Sul-Americana In: Bizzi, L.A., Schobbenhaus, C., Vidotti, R.M. & Gonçalves, J.H.(eds) *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil : texto, mapas & SIG*, Brasília : CPRM Serviço Geológico do Brasil, 692 p.

SEMATEC, Secretaria de Meio Ambiente Ciência e Tecnologia do Distrito Federal. 1999. *Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do distrito federal*. Brasília: Sematec/DF. 1V. CD-ROM

Setti, A.A., Lima, J.E.F.W., Chaves, A.G.M & Pereira, I.C. 2001. *Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Brasília: ANEEL/SIH, 225p.

Shresta, S. & Kazama, F. 2007. Assesment of surface water quality using multivariate statistical tecniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. *Environ. Modelling Software*, 22(4):464–475.

Silva, F.C., Boaretto, A.E., Berton, R.S., Zotelli, H.B., Pexe, C.A. & Bernardes, E.M. 2001. Efeito de lodo de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. *Pesq. Agropec. Bras.*, vol.36, no.5, p.831-840.



Silva, M.K.A, Brito, J.L.S. & Rosa, R. 2005. Mapeamento do uso do solo no município de Pedrinópolis – MG. Anais XII Simp. Bras. de Sens. Rem., INPE, p. 285-291.

Silva Júnior, L.G.A, Gheyi, H.R & Medeiros, J.F. 1999. Composição Química de Águas do Cristalino do Nordeste Brasileiro. Rev. Bras. de Eng. Agrícola e Ambiental, v.3, n.1, p.11-17

Singh, K.P., Malik, A. & Sinha, S. 2005. Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti river (India) using multivariate statistical techniques – a case study. Analytica Chimica Acta, 538:355-374p.

Souza, M.A.A. & Felizatto, M.R. 2006. Qualidade de Água. In: ANA- Agência Nacional de Águas. Brasília. Vesticon. 107p.

StatSoft, Inc. 1999. STATISTICA for Windows [Computer program manual]. Tulsa, OK.

Strapasson, E., Vencovsky, R. & Batista, L.A.R. 2000. Seleção de Descritores na Caracterização de Germoplasma de *Paspalum sp.* por meio de Componentes Principais. Revista Bras. Zootecnia, 29, 2:373-381p.

Toledo, L.G. & Nicolella, G. 2002. Índice de Qualidade de Água em Microbacia sob Uso Agrícola e Urbano. Scientia Agrícola, 59, n1, 181-186.

Valeriano, C.M.; Dardenne, M.A.; Fonseca, M.A.; Simões, L.S.A.; Seer, H.J. - 2004 - A Evolução Tectônica da Faixa Brasília. In: Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, C.D.R.; Neves, B.B.B (eds.). *Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, Beca. 576-592

Vega, M., Pardo, R., Barrado, E. & Debán, L. 1998. Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. Water Research, Vol. 32,12:3581-3592p.



Voudouris, K., Panagopoulos, A. & Koumantakis, J. 2000. Multivariate Statistical Analysis in the Assessment of Hydrochemistry of the Northern Korinthia Prefecture Alluvial aquifer System (Peloponnese, Greece). Natural Resources Research, Vol. 9, 2: 135-146p.

Walter, B. M. T. 2006. Fitofisionomias do bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas. 373 p. Tese (doutorado) - Universidade de Brasília.

White, W. M. 2006. Geochemistry. International Mine Water Association. Disponível em: <http://www.imwa.info/Geochemie/Chapters.HTML>.



ANEXO 1

Tabelas de Dados de Análise de Água

Ponto 1

Parâmetro	Unidades	2003	2004												2005											
		nov	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out		
pH	-	6,30	6,40	6,70	6,70	6,70	5,90	6,46	6,69	5,88	5,93	5,65	6,48	6,12	7,11	5,80	4,62	6,14	6,76	5,55	6,32	6,36	5,61	6,04		
Temperatura	oC	23,3	21,3	22,0	20,8	20,7	20,6	18,5	18,0	18,0	18,5	20,0	20,5	21,5	21,0	21,5	21,0	21,5	22,0	21,0	21,0	21,5	21,0	20,0		
Condutividade	µS/cm	29	16	12	13	11	14	11	7	16	22	22	24	26	47	62	22	13	15	14	16	17	18	20		
Oxig. Dissolv.	mg/L	7,0	8,4	7,9	8,1	6,6	6,9	7,6	7,7	5,9	4,9	7,5	7,2	7,6	7,2	6,6	7,5	7,2	7,4	6,9	6,5	7,2	7,0	7,4		
Alcalinidade	mg/L CaCO3	16	10	18	10	18	10	10	9	18	10	11	10	6	18	24	23	30	4	14	16	11	7	12		
Turbidez	uT	9,0	19,6	15,0	31,0	24,0	7,0	5,0	7,0	5,0	6,0	8,0	11,0	12,0	17,0	40,0	21,0	15,0	7,0	11,0	8,0	7,0	2,0	4,0		
Cor	uH	1	14	8	21	14	4	12	11	4	1	49	3	17	16	26	6	1	65	14	8	12	5	0		
Dureza	mg/L CaCO3	8,17	6,84	1,70	1,40	4,10	5,20	4,30	4,80	5,50	6,00	9,70	6,80	8,20	7,50	7,90	6,80	5,20	5,20	5,00	7,70	6,70	8,30	8,70		
Nitrito	mg/L	0,004	0,002	0,014	0,010	0,001	0,000	0,017	0,018	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000		
Nitrato	mg/L	2,96	2,09	2,09	2,28	2,45	1,60	1,05	1,08	1,18	1,47	0,60	0,00	0,60	4,37	2,37	3,90	1,45	1,30	1,98	1,65	0,69	0,98	1,60		
Amonia	mg/L	0,05	0,01	0,02	0,08	0,03	0,03	0,05	0,01	0,06	0,00	0,12	0,02	0,05	0,03	0,06	0,00	0,01	0,05	0,09	0,04	0,05	0,03	0,05		
Solid. Susp.	mg/L	2,00	6,80	3,20	26,64	5,07	1,82	16,40	1,00	0,43	0,60	0,68	0,90	1,53	3,60	10,20	104,20	90,50	0,61	1,31	1,10	1,18	0,56	0,55		
Sólidos Totais	mg/L	16,00	16,80	11,20	34,64	13,07	7,82	22,60	15,05	8,03	10,10	10,78	11,50	13,53	97,80	40,00	113,80	96,80	7,61	8,11	8,60	9,08	8,16	9,15		
Sólidos Diss	mg/L	14,00	10,00	8,00	8,00	8,00	6,00	6,20	14,05	7,60	9,50	10,10	10,60	12,00	94,20	29,80	9,60	6,30	7,00	6,80	7,50	7,90	7,60	8,60		
DBO	mg/L O2	0,10	0,70	0,45	0,30	0,20	0,50	0,90	0,90	0,80	0,70	0,27	0,70	0,80	0,50	0,30	0,30	0,70	0,20	0,20	0,35	0,40	0,10	0,20		
DQO	mg/L O2	6,28	3,40	3,04	5,60	6,40	2,48	3,20	2,80	2,40	2,64	3,48	4,28	5,90	6,20	5,60	8,40	9,60	3,40	2,60	2,40	5,00	1,00	0,80		
Calcio	ppm	2,6000	2,1740	0,6600	0,5500	1,2300	1,6000	1,3310	1,4910	1,7740	1,9480	3,2400	2,2300	2,6150	2,3090	2,4100	1,6400	1,5600	1,6700	1,5400	2,2970	2,1020	2,5800	2,7230		
Magnésio	ppm	0,4100	0,3440	<LD	<LD	0,2400	0,2900	0,2289	0,2592	0,2574	0,2777	0,3800	0,2900	0,4060	0,4233	0,3538	0,6500	0,3200	0,2600	0,2800	0,4730	0,3545	0,4502	0,4548		
Ferro	ppm	0,1600	0,9650	<LD	<LD	0,1100	0,1600	0,0724	0,0695	0,0086	0,0070	0,0200	0,1100	0,1250	0,1299	0,1240	0,0400	0,1000	0,1100	0,0900	0,1459	0,1228	0,0857	0,1491		
Alumínio	ppm	0,1000	0,1120	<LD	<LD	0,2400	0,0300	0,0163	0,0655	0,0599	0,1638	0,1900	0,0500	0,1580	0,1762	0,1737	0,1400	0,1400	0,0800	0,0400	0,4850	0,1952	0,2610	0,3316		
Silicio	ppm	2,8200	2,5780	1,2800	1,2200	1,8700	2,4100	2,3520	1,7940	2,1850	2,2260	2,4100	2,3000	2,6540	2,6510	2,7350	2,3200	2,9700	2,4000	2,5000	2,4190	3,3560	3,1430	3,2330		
Fosforo	ppm	0,0100	<LD	<LD	<LD	0,1000	0,0600	0,1300	0,2013	0,3509	0,0192	0,0600	<LD	0,0370	0,0300	0,0294	0,0200	0,0340	0,0300	0,0300	0,7420	0,1920	<LD	<LD		
Sódio	ppm	0,4650	0,5330	0,4370	0,4690	0,8930	0,2840	0,3290	0,6720	0,2850	0,3400	0,6400	0,3920	0,5310	0,5860	0,5310	0,8840	0,4650	0,4730	0,3510	0,7520	0,4820	0,4260	0,4620		
Potássio	ppm	0,4080	0,4910	0,2870	0,3840	0,2100	0,1910	0,2670	0,2670	0,1960	0,2270	0,5800	0,3190	0,4740	0,8330	0,7720	0,5440	0,2760	0,3160	0,3000	0,2030	0,2520	0,2930	0,2320		
Manganês	ppm	0,0100	<LD	<LD	<LD	0,0090	0,0100	<LD	<LD	<LD	0,0048	<LD	<LD	0,0030	0,0048	0,0079	0,0035	<LD	0,0024	<LD	0,0128	0,0037	0,0023	0,0035		
Cobre	ppm	0,0100	<LD	<LD	<LD	<LD	0,0100	<LD	<LD	<LD	0,0019	<LD	0,0020	<LD	0,0022	0,0025	<LD	<LD	<LD	0,0036	0,0126	0,0030	0,0024	<LD		
Cadmio	ppm	0,0100	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,0227	0,0082	<LD	0,0020	0,0137	0,0179	0,0071	<LD	0,0081	0,0094	<LD	0,0073	0,0415	0,0462		
Chumbo	ppm	0,0700	<LD	<LD	<LD	<LD	0,0700	0,1163	0,1990	0,5811	0,4578	0,7680	<LD	0,0580	0,3237	0,7610	0,1904	0,4477	0,1967	0,1694	<LD	<LD	0,5740	0,7700		
VAZAO	m3/s	0,671	1,654	4,438	4,581	5,910	2,102	1,473	0,985	0,674	0,569	0,669	0,729	2,319	1,323	2,124	3,978	2,098	1,578	1,240	1,004	0,796	0,744	0,998		

Ponto 2

Parâmetro	Unidades	2003	2004												2005											
		nov	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out		
pH	-	6,28	6,05	6,55	6,86	7,22	6,77	6,63	6,69	5,22	5,19	4,74	5,72	6,34	5,00	6,70	5,01	6,18	6,08	5,67	6,23	5,81	5,24	5,38		
Temperatura	oC	23,2	21,9	23,3	20,7	21,1	20,8	19,9	19,0	18,5	19,0	21,0	21,0	21,5	21,5	21,0	22,0	21,5	22,0	21,5	21,0	21,0	21,0	20,0		
Condutividade	µS/cm	8	8	14	16	16	19	14	8	15	15	15	17	17	62	48	18	19	18	16	16	15	13	13		
Oxig. Dissolv.	mg/L	6,0	6,2	6,00	5,9	6,1	5,6	6,8	6,7	5,2	4,1	6,8	5,8	5,9	5,7	5,6	5,5	6,0	6,2	6,6	5,7	5,9	6,8	6,1		
Alcalinidade	mg/L CaCO3	6	6	18	10	10	14	11	11	10	9	12	8	7	22	20	12	24	5	11	14	8	7	9		
Turbidez	uT	5,0	5,1	1,0	1,0	1,0	7,0	5,0	8,0	5,0	4,0	14,0	7,0	8,0	6,0	7,0	5,0	7,0	5,0	11,0	7,0	4,0	3,0	4,0		
Cor	uH	10	6	7	11	72	3	9	10	9	3	46	2	1	11	38	1	0	10	12	8	3	12	5		
Dureza	mg/L CaCO3	2,62	5,06	2,00	2,40	5,70	8,10	7,00	4,80	4,90	4,50	5,70	4,60	5,22	5,59	6,45	5,30	8,00	6,20	8,00	9,00	4,70	5,80	5,80		
Nitrito	mg/L	0,000	0,000	0,013	0,009	0,001	0,001	0,018	0,010	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,015	0,001	0,000	0,001		
Nitrato	mg/L	0,97	0,81	1,090	1,320	0,920	0,560	0,800	1,340	0,780	0,810	0,400	0,000	0,100	1,760	1,220	2,160	0,900	1,210	1,430	1,230	0,370	1,960	0,440		
Amonia	mg/L	0,08	0,03	0,02	0,06	0,03	0,03	0,04	0,05	0,03	0,01	0,05	0,01	0,06	0,03	0,02	0,00	0,04	0,05	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01		
Solid. Susp.	mg/L	5,00	0,40	0,76	2,60	0,53	0,24	5,60	0,50	0,51	0,90	0,79	0,70	0,98	1,00	1,90	86,90	65,20	0,41	0,74	1,39	0,75	0,85	0,82		
Sólidos Totais	mg/L	11,00	8,40	9,76	12,60	9,53	9,24	13,20	16,35	7,51	7,80	7,29	8,40	8,18	30,20	22,30	94,70	75,10	8,71	8,14	8,49	7,35	6,05	6,32		
Sólidos Diss	mg/L	6,00	8,00	9,00	10,00	9,00	9,00	7,60	15,85	7,00	6,90	6,50	7,40	7,20	29,20	20,40	7,80	9,90	8,30	7,40	7,10	6,60	5,20	5,50		
DBO	mg/L O2	0,60	1,10	1,00	0,40	0,20	0,60	0,10	1,80	1,00	0,90	0,14	0,13	0,80	0,20	1,70	1,10	1,30	1,40	1,40	0,50	0,90	1,10	0,80		
DQO	mg/L O2	3,52	1,20	2,96	5,60	5,80	2,76	2,84	5,44	2,00	2,40	8,80	4,00	5,40	6,00	5,60	6,40	7,20	3,60	3,50	2,00	2,40	2,40	1,40		
Calcio	ppm	0,8400	1,8160	0,8000	0,9500	1,9300	2,8300	2,1800	1,6130	1,6870	1,5490	1,9500	1,6000	1,8450	1,9570	2,2370	1,7300	2,6100	2,1200	2,7200	2,5480	1,6090	1,8090	1,7410		
Magnésio	ppm	0,1300	0,1264	<LD	<LD	0,2200	0,2600	0,3845	0,1926	0,1752	0,1644	0,1900	0,1400	0,4060	0,1694	0,2055	0,2500	0,3600	0,2300	0,2000	0,6390	0,1651	0,2999	0,3454		
Ferro	ppm	0,1200	<0,0013	<LD	<LD	0,1200	0,1000	0,0699	0,0681	0,0105	0,0053	0,0100	0,0800	0,1250	0,1014	0,1216	0,0300	0,1200	0,1400	0,1300	0,1435	0,1132	0,1113	0,1320		
Alumínio	ppm	0,0500	<0,0139	<LD	<LD	0,1700	<LD	<LD	0,0230	0,0409	0,1397	0,1300	<LD	0,0470	<LD	0,0766	0,0600	0,0800	0,0300	0,0500	0,5880	0,0962	0,2452	0,4410		
Silicio	ppm	1,9600	0,7310	1,1500	1,2300	1,8600	2,2300	2,2710	1,4810	1,8760	1,8430	1,7800	1,8100	2,1780	2,5390	2,1960	2,2300	2,6900	2,1500	2,0200	3,0910	2,5950	2,5970	2,6810		
Fosforo	ppm	0,0200	<LD	<LD	<LD	0,1200	0,0300	0,1500	0,2000	0,2100	0,0125	0,0300	0,0000	0,0100	0,1694	0,0407	0,0400	0,0510	0,0100	0,0200	0,1059	0,1920	0,0000	0,0000		
Sódio	ppm	0,4160	0,4990	0,5680	0,8170	1,4360	0,6020	0,7430	0,3590	0,4940	0,5050	0,6200	0,4800	0,5860	0,7970	0,5680	0,7740	0,7740	0,8840	0,6520	0,3920	0,6840	0,6090	0,5350		
Potássio	ppm	0,1240	0,1640	0,1540	0,2870	0,1350	0,1730	0,1910	0,4230	0,0750	0,1100	0,3000	0,1630	0,1680	1,6210	0,1310	0,2980	0,1660	0,2100	0,2190	0,2180	0,1750	0,1110	0,2120		
Manganês	ppm	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<0,0017	0,0053	0,0024	<LD	<LD	0,0033	0,0151	0,0181	<LD	0,0177	0,0170	0,0166	0,0140	0,0031	0,0051		
Cobre	ppm	0,0030	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,0100	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,0028	0,0031		
Cadmio	ppm	0,0100	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,0064	<LD	<LD	0,0303	0,0157	<LD	<LD	0,0082	0,0414	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,0555	0,0659		
Chumbo	ppm	0,1600	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,0374	0,1909	0,1179	0,4404	0,4297	<LD	<LD	0,1736	0,7610	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,6570	0,8740		
VAZAO	m3/s	0,057	0,222	0,311	0,445	0,496	0,242	0,188	0,161	0,15	0,056	0,09	0,099	0,229	0,185	0,255	0,371	0,232	0,186	0,180	0,176	0,140	0,123	0,283		

Ponto 3

Parâmetro	Unidades	2003	2004												2005											
		nov	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out		
pH	-	6,20	6,20	6,65	5,70	6,45	4,74	6,80	6,42	5,19	5,31	4,76	5,71	5,69	6,62	5,54	5,91	5,23	6,06	5,81	6,01	5,79	5,45	5,45		
Temperatura	oC	23,1	22,0	23,8	21,2	23,0	21,0	18,8	18,5	18,0	18,5	21,5	21,0	21,0	21,0	21,5	21,0	20,0	20,5	19,5	19,0	19,5	20,0	20,5		
Condutividade	µS/cm	10	9	14	32	81	9	13	7	13	15	13	16	16	51	46	19	15	18	15	15	14	11	12		
Oxig. Dissolv.	mg/L	5,5	8,5	7,4	6,2	4,7	1,3	7,1	7,3	4,8	4,3	6,8	6,3	6,1	5,8	5,3	5,8	5,7	5,4	5,9	6,0	6,0	5,9	6,2		
Alcalinidade	mg/L CaCO3	6	8	22	7	5	14	15	12	8	8	8	8	6	24	20	10	8	4	9	10	8	8	8		
Turbidez	uT	9,0	20,9	11,0	10,0	0,0	1,0	10,0	17,0	7,0	8,0	11,0	10,0	7,0	9,0	18,0	4,0	59,0	14,0	9,0	8,0	6,0	4,0	7,0		
Cor	uH	14	1	7	8	5	5	10	6	9	3	17	5	73	22	12	1	14	47	21	11	0	5	6		
Dureza	mg/L CaCO3	3,48	4,02	1,70	0,50	1,30	1,80	5,60	4,30	4,20	4,30	7,80	4,60	4,94	6,23	6,63	5,70	3,00	6,20	5,50	8,40	4,50	5,10	5,00		
Nitrito	mg/L	0,009	0,000	0,014	0,012	0,001	0,001	0,013	0,015	0,004	0,000	0,004	0,000	0,001	0,002	0,000	0,000	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000		
Nitrato	mg/L	1,03	0,66	0,87	1,02	0,81	0,13	0,91	1,08	0,59	1,15	0,300	0,000	0,200	1,680	2,080	2,030	1,870	1,100	1,310	0,300	0,070	0,410	0,460		
Amonia	mg/L	0,07	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,06	0,14	0,00	0,00	0,150	0,020	0,050	0,040	0,030	0,000	0,260	0,040	0,090	0,050	0,040	0,250			
Solid. Susp.	mg/L	11,00	14,80	8,00	3,80	0,66	4,03	12,40	1,10	0,81	2,30	3,82	5,90	0,73	1,80	9,00	79,69	69,40	0,79	0,91	1,21	1,41	0,62	0,96		
Sólidos Totais	mg/L	17,00	21,80	8,40	7,80	3,66	8,03	19,80	15,55	7,01	8,10	9,72	12,80	7,73	29,80	31,40	78,09	77,00	8,69	7,71	7,20	7,61	5,22	5,96		
Sólidos Diss	mg/L	6,00	7,00	0,40	4,00	3,00	4,00	7,40	14,45	6,20	6,80	5,90	6,90	7,00	28,00	22,40	8,40	7,60	7,90	6,80	6,60	6,20	4,60	5,00		
DBO	mg/L O2	0,80	0,40	0,70	2,50	2,40	11,70	1,10	1,40	0,50	2,05	0,54	0,12	1,40	0,10	0,90	1,20	1,30	0,90	0,80	0,70	1,50	1,30	1,10		
DQO	mg/L O2	3,36	1,20	7,40	2,60	2,80	1,52	1,40	5,28	1,40	2,36	8,88	9,40	5,30	4,00	6,40	6,80	12,40	2,80	3,80	1,80	3,00	2,20	1,80		
Calcio	ppm	1,1400	1,3980	0,7900	0,1900	0,3700	0,5800	1,8710	1,3400	1,4050	1,4000	2,7100	1,5300	1,6620	2,0720	2,1820	1,8200	0,7500	2,0200	1,7800	2,3050	1,4930	1,5630	1,5050		
Magnésio	ppm	0,1500	0,1290	<LD	<LD	0,0900	0,0800	0,2281	0,2199	0,1702	0,1962	0,2600	0,1800	0,1930	0,2629	0,2937	0,2800	0,2700	0,2700	0,2500	0,6520	0,1937	0,2816	0,3044		
Ferro	ppm	0,1300	<LD	<LD	<LD	0,0600	0,0200	0,0744	0,0666	0,0096	0,0076	0,0100	0,0600	0,1050	0,1002	0,0990	0,0400	0,5500	0,1300	0,1900	0,1961	0,1136	0,0321	0,1393		
Alumínio	ppm	0,1100	<LD	<LD	<LD	0,1500	<LD	0,0179	0,0271	0,0501	0,2187	0,1700	0,0200	0,0660	0,0485	0,0954	0,0700	0,0800	0,0500	0,0400	0,6410	0,0682	0,2509	0,4482		
Silicio	ppm	2,1100	0,4133	1,0000	0,4200	0,5900	0,4100	0,8913	1,2610	1,5680	1,6900	1,6300	1,6000	1,7060	2,2520	1,8630	1,8900	0,8300	1,9100	2,1500	2,3230	2,1510	2,3520	2,1780		
Fosforo	ppm	0,0100	<LD	<LD	<LD	0,1100	<LD	0,0500	<LD	<LD	0,0199	0,0600	<LD	0,0290	0,0400	0,0370	0,0200	0,0630	0,0300	0,0300	0,1534	0,1920	<LD	<LD		
Sódio	ppm	0,5330	0,6010	0,6720	0,4370	0,5850	0,0930	0,6370	0,6020	0,4640	0,8290	0,8000	0,5730	0,6430	0,7970	0,5310	0,9590	0,6680	0,8110	0,5200	0,5960	0,6670	0,5710	0,5530		
Potássio	ppm	0,1440	0,3870	0,1540	0,2480	<LD	0,0800	0,1350	0,7930	0,0600	0,2270	0,5700	0,1930	0,1490	0,1870	0,7720	0,2540	0,8170	0,1660	0,1790	0,1580	0,1370	0,1110	0,1710		
Manganês	ppm	0,0030	<LD	<LD	<LD	0,0080	<LD	<LD	<LD	<LD	0,0058	0,0031	<LD	0,0030	0,0035	0,0104	0,0021	<LD	<LD	0,0014	0,0199	0,0015	0,0032	0,0053		
Cobre	ppm	0,0020	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,0025	<LD	0,0030	<LD	<LD	0,0018	0,0247	0,0019	0,0225	0,0183	0,0172	<LD	<LD	0,0020		
Cadmio	ppm	0,0100	<LD	<LD	<LD	0,0876	0,0030	0,0053	<LD	0,0174	0,0217	0,0266	<LD	0,0040	0,0169	0,0387	0,0139	<0,001	<0,001	0,0181	<LD	<LD	0,0450	0,0566		
Chumbo	ppm	0,1300	<LD	<LD	<LD	0,0540	<LD	0,0600	0,0928	0,0627	0,5920	0,0390	<LD	0,0580	0,4739	0,7060	0,3044	0,5940	0,3082	0,3540	<LD	<LD	0,7700	0,8220		

Ponto 4

Parâmetro	Unidades	2003	2004												2005											
		nov	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out		
pH	-	5,79	6,02	6,65	6,67	6,85	5,76	6,42	6,36	5,11	5,28	4,92	5,79	6,05	6,64	5,40	5,00	6,08	6,05	5,88	5,97	5,83	5,51	5,55		
Temperatura	oC	21,9	22,1	23,0	21,8	21,6	20,5	18,9	18,0	18,5	18,9	21,3	21,6	22,0	21,5	21,0	21,0	21,5	21,0	21,0	21,5	21,5	21,0	21,0		
Condutividade	µS/cm	8	8	13	23	19	8	9	6	12	15	13	15	15	58	20	21	18	16	14	14	13	12	13		
Oxig. Dissolv.	mg/L	6,8	7,5	7,5	8,1	7,3	6,4	7,2	7,6	4,4	4,3	6,9	6,9	6,7	6,2	6,0	6,1	6,3	5,7	5,9	6,1	6,3	6,0	6,0		
Alcalinidade	mg/L CaCO3	6	6	16	12	9	13	11	10	8	10	10	10	5	20	12	11	14	2	8	10	9	8	8		
Turbidez	uT	8,0	35,5	13,0	4,0	5,0	5,0	13,0	9,0	10,0	9,0	8,0	13,0	17,0	12,0	32,0	14,0	9,0	6,0	10,0	6,0	6,0	3,0	7,0		
Cor	uH	9	8	25	12	12	17	9	9	14	4	20	8	13	15	14	5	0	23	21	6	1	0	3		
Dureza	mg/L CaCO3	2,94	3,88	1,80	2,00	6,40	8,80	4,60	4,10	3,60	3,60	3,70	3,50	4,84	5,26	6,57	6,30	7,60	6,70	6,70	8,30	4,30	4,80	8,50		
Nitrito	mg/L	0,003	0,001	0,013	0,008	0,001	0,001	0,026	0,015	0,002	0,000	0,006	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001		
Nitrato	mg/L	1,07	0,97	1,12	1,41	1,95	0,76	1,41	1,49	0,68	1,18	0,100	0,600	1,400	1,610	1,680	1,200	1,320	1,280	1,220	1,100	1,020	0,530	1,190		
Amonia	mg/L	0,05	0,02	0,00	0,05	0,02	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,06	0,01	0,06	0,03	0,03	2,49	0,02	0,05	0,12	0,07	0,05	0,02	0,03		
Solid. Susp.	mg/L	8,00	10,40	8,00	3,92	0,87	23,45	29,60	1,30	1,37	2,40	1,43	1,00	1,64	10,40	16,70	138,90	115,20	0,58	7,93	0,85	1,18	0,90	0,85		
Sólidos Totais	mg/L	14,00	16,40	9,72	12,92	12,87	31,45	36,20	14,87	6,97	8,90	6,93	7,70	8,24	37,20	61,10	137,90	124,40	7,78	14,33	6,85	6,88	5,80	6,05		
Sólidos Diss	mg/L	6,00	6,00	1,72	9,00	12,00	8,00	6,60	13,57	5,60	6,50	5,50	6,70	6,60	26,80	44,40	9,00	9,20	7,20	6,40	6,00	5,70	4,90	5,20		
DBO	mg/L O2	0,80	0,40	1,40	3,60	0,60	0,10	0,50	0,90	0,70	0,80	0,82	0,78	1,00	0,70	0,10	0,10	1,80	1,00	1,00	0,50	1,00	1,20	1,00		
DQO	mg/L O2	4,16	2,00	4,20	5,20	4,64	2,60	5,60	2,60	1,90	2,88	13,80	6,00	5,80	3,60	6,20	6,20	13,60	2,20	3,90	1,00	2,60	1,40	2,20		
Calcio	ppm	0,8800	1,3130	0,7100	0,7800	2,0500	2,5700	1,4870	1,2450	1,1940	1,1360	1,2400	1,1500	1,6070	1,7270	2,2230	1,9300	2,4500	1,8300	2,0300	2,1430	1,4120	1,4950	2,8040		
Magnésio	ppm	0,1800	0,1453	<LD	<LD	0,3000	0,5900	0,2106	0,2319	0,1620	0,1843	0,1500	0,1500	0,2020	0,2255	0,2482	0,3600	0,3700	0,2700	0,3900	0,7080	0,1805	0,2634	0,3591		
Ferro	ppm	0,0800	0,0349	<LD	<LD	0,1100	0,0200	0,0716	0,6640	0,0079	0,0080	0,0200	0,0700	0,0850	0,0800	0,1062	0,0500	0,1400	0,1600	0,2000	0,1913	0,0788	0,1016	0,1454		
Alumínio	ppm	0,1100	0,1239	<LD	<LD	0,2800	0,0300	0,0685	0,7120	0,0874	0,2187	0,1500	0,0800	0,1070	0,0891	0,1586	0,1200	0,1200	0,1800	0,2100	0,7700	0,1189	0,1890	0,3705		
Silício	ppm	1,9700	1,7340	1,0400	1,0200	1,6000	2,6400	0,9399	1,4840	1,6670	1,6900	1,6200	1,6400	1,8760	2,1990	2,3530	1,9600	2,2700	2,2700	2,3400	2,5320	2,3450	2,2200	2,9570		
Fosforo	ppm	0,0300	<LD	<LD	<LD	0,0900	0,0700	0,0500	0,0400	0,0300	0,0199	0,0300	<LD	0,0130	0,0395	0,0671	0,0200	0,0630	0,0300	0,0100	0,1833	0,1920	<LD	<LD		
Sódio	ppm	0,5670	0,5500	0,6890	0,8740	1,5500	0,7070	0,5680	0,6890	0,4940	0,7930	0,3900	0,8680	0,6050	0,7380	0,6770	0,2540	0,7740	0,7920	0,5040	0,6730	0,6330	0,4440	0,4080		
Potássio	ppm	0,1640	0,1240	0,2100	0,3060	0,3060	0,2100	0,1540	0,2100	0,0600	0,3310	0,2100	0,3360	0,1680	0,2810	0,3390	0,7920	0,3200	0,2540	0,1790	0,1730	0,1950	0,2730	0,1920		
Manganês	ppm	0,0200	<LD	<LD	<LD	0,0090	<LD	<LD	0,0045	<LD	0,0058	0,0022	<LD	0,0030	0,0036	0,0098	0,0142	<LD	0,0079	0,0163	0,0234	<LD	0,0024	0,0050		
Cobre	ppm	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,0023	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,0131	0,0280	0,0064	0,0154	0,0212	<LD	<LD	<LD		
Cadmio	ppm	0,0200	<LD	<LD	<LD	0,0470	<0,001	0,0106	<LD	0,1110	0,0217	0,0115	<LD	0,0030	0,0124	0,0401	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,0462	0,0648		
Chumbo	ppm	0,1400	<LD	<LD	<LD	1,1680	1,4050	0,0712	0,0600	<LD	0,5920	0,4455	<LD	<LD	0,5290	0,8700	0,7301	0,4477	0,6247	0,8356	<LD	<LD	0,5230	0,9870		
VAZÃO	m3/s	0,103	0,39	0,567	0,602	0,634	0,359	0,287	0,233	0,175	0,156	0,149	0,160	0,330	0,230	0,300	0,392	0,3461	0,2741	0,2401	0,2176	0,1777	0,170	0,137		

Ponto 5

Parâmetro	Unidades	2003	2004												2005									
		nov	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out
pH	-	6,48	6,35	6,25	6,43	6,50	5,88	6,40	6,77	5,55	5,61	5,51	6,33	5,78	6,63	5,80	6,20	6,11	6,07	6,10	5,98	6,01	6,04	5,95
Temperatura	oC	21,5	21,7	22,3	21,1	21,0	20,5	18,4	17,5	18,0	18,7	19,5	19,0	19,5	19,5	19,0	20,0	21,0	21,0	20,0	21,0	21,0	21,5	20,5
Condutividade	µS/cm	23	16	14	13	12	14	12	11	17	22	25	24	25	83	43	19	15	16	16	17	19	9	21
Oxig. Dissolv.	mg/L	6,9	8,6	7,0	8,2	7,0	6,8	7,6	7,9	4,9	4,5	6,7	7,2	6,8	6,5	6,6	6,7	6,7	6,9	6,0	6,1	6,6	5,9	6,2
Alcalinidade	mg/L CaCO3	11	7	19	7	9	11	11	10	10	32	14	12	8	18	14	10	7	5	13	12	13	12	12
Turbidez	uT	8,0	14,3	20,0	34,0	32,0	12,0	10,0	9,0	13,0	57,0	39,0	10,0	16,0	18,0	32,0	16,0	20,0	7,0	18,0	8,0	11,0	5,0	5,0
Cor	uH	10	6	13	28	17	22	5	9	14	10	22	4	39	18	4	8	0	22	17	7	7	3	4
Dureza	mg/L CaCO3	6,75	6,96	1,70	1,70	4,50	5,90	5,10	5,50	5,80	7,50	9,20	8,40	7,89	9,26	6,57	5,50	6,20	5,70	5,70	12,40	7,30	8,60	5,00
Nitrito	mg/L	0,004	0,000	0,016	0,003	0,003	0,030	0,028	0,017	0,000	0,011	0,003	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Nitrato	mg/L	2,48	1,59	2,03	2,28	1,82	1,25	1,34	0,87	0,92	1,50	0,200	0,000	1,200	3,550	2,130	3,210	1,480	1,680	1,760	1,850	0,760	0,740	0,620
Amonia	mg/L	0,05	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,11	0,07	0,02	0,11	0,05	0,01	0,09	0,08	0,03	0,00	0,01	0,03	0,07	0,05	0,05	0,03	0,07
Solid. Susp.	mg/L	10,00	7,60	2,20	32,96	4,16	0,03	60,80	1,20	0,70	5,70	4,61	0,80	1,50	10,40	14,50	134,29	84,10	0,78	33,69	1,05	2,39	0,98	1,57
Sólidos Totais	mg/L	22,00	17,60	10,20	40,96	23,16	7,03	67,70	16,74	8,90	15,70	15,61	11,20	12,70	47,40	33,80	142,69	90,60	7,88	41,09	8,75	11,19	9,58	10,57
Sólidos Diss	mg/L	12,00	10,00	8,00	8,00	19,00	7,00	6,90	15,54	8,20	10,00	11,60	10,40	11,20	37,00	19,30	8,40	6,50	7,10	7,40	7,70	8,80	8,60	9,00
DBO	mg/L O2	0,80	1,50	0,60	0,40	0,10	0,10	1,10	0,10	0,60	0,80	0,14	1,50	0,70	0,10	0,10	0,45	0,60	1,20	1,30	0,70	0,60	0,20	0,60
DQO	mg/L O2	3,68	4,00	4,48	5,80	4,64	1,80	3,20	3,60	2,20	3,60	8,20	3,80	6,30	3,40	5,80	8,40	10,60	2,20	4,00	2,20	2,20	1,80	1,40
Calcio	ppm	1,9800	2,3000	0,6800	0,6600	1,4300	1,8700	1,6780	1,7030	1,9120	2,5030	3,1500	2,8500	2,5750	2,4380	2,2230	1,6600	1,8800	1,8300	1,9700	3,5290	2,4080	2,8310	1,5490
Magnésio	ppm	0,4400	0,2947	<LD	<LD	0,2400	0,2900	0,2264	0,3130	0,2385	0,3035	0,3200	0,3200	0,3540	0,7710	0,2482	0,3300	0,3600	0,2700	0,1800	0,8630	0,3093	0,3819	0,2771
Ferro	ppm	0,1700	<LD	<LD	<LD	0,1100	0,1700	0,0789	0,0722	0,1050	0,0128	0,0200	0,1400	0,1280	0,1418	0,1062	0,0600	0,1100	0,1200	0,0800	0,1817	0,9800	0,0601	0,1174
Alumínio	ppm	0,1500	<LD	<LD	<LD	0,2800	<0,0139	0,6850	0,0648	0,0888	0,2881	0,1900	0,1200	0,1540	0,1999	0,1586	0,1500	0,1500	0,1070	0,1400	0,8040	0,1375	0,3114	0,3460
Silicio	ppm	2,7100	1,8500	1,2000	1,2200	1,8400	2,3100	1,6440	1,9660	2,0690	2,1990	2,3400	2,3000	2,3390	3,3350	2,3530	2,2200	2,7700	2,5100	2,7400	3,2910	3,0130	3,0110	2,3700
Fosforo	ppm	0,0300	<LD	<LD	<LD	0,1200	0,0200	0,1100	0,0900	0,0400	0,0192	0,0400	0,0300	0,0170	0,0420	0,0671	0,0200	0,0700	0,0100	0,0200	0,1182	0,1920	<LD	<LD
Sódio	ppm	0,5840	0,5670	0,4690	0,5340	1,0510	0,2840	0,4370	0,5340	0,3370	0,3830	0,3300	0,3780	0,5680	0,6430	0,4590	0,6330	0,4650	0,5310	0,3960	0,5020	0,8600	0,5710	0,4800
Potássio	ppm	0,5120	0,4290	0,2290	0,4430	0,3250	0,2870	0,1910	0,2480	0,1500	0,3130	0,3000	0,3030	0,3770	0,7320	0,4160	0,3650	0,2760	0,3650	0,2600	0,1880	0,2910	0,1510	0,2520
Manganês	ppm	0,0030	<LD	<LD	<LD	0,0090	<LD	<LD	0,0056	<LD	0,0059	0,0018	0,0030	<LD	0,0086	0,0087	0,0727	<LD	0,0588	0,0381	0,0280	<LD	0,0032	0,0044
Cobre	ppm	0,0020	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,0031	<LD	0,0023	<LD	0,0040	<LD	<LD	0,0034	0,0337	<LD	0,0382	0,0418	0,0240	<LD	<LD	<LD
Cadmio	ppm	0,0200	<LD	<LD	<LD	0,0500	<LD	0,0053	<LD	0,0216	0,0254	0,0132	<LD	<LD	0,0082	0,0290	<LD	0,0029	<LD	<LD	<LD	<LD	0,0473	0,0531
Chumbo	ppm	0,1600	<LD	<LD	<LD	1,1860	<LD	0,1276	0,0572	<LD	0,6090	0,6030	<0,03	0,0690	0,4876	0,7610	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,6780	0,6980
VAZÃO	m3/s	0,685	1,707	5,426	4,615	7,288	2,341	1,513	1,081	0,726	0,642	0,597	0,814	2,231	1,917	2,671	4,343	3,0736	1,6768	1,4613	1,1566	0,9623	0,885	0,694



ANEXO 2

Tabelas de Correlação entre Parâmetros de Análise de Água

Ponto 1

	pH	Temp	Cond	OD	Alca	Turb	Cor	Dur	NO2	NO3	NH4	SS	ST	SD	DBO	DQO	Ca	Mg	Fe	Al	Si	P	Na	K	Mn	Cu	Vaz
pH	1,000																										
Temp	0,063	1,000																									
Cond	-0,087	0,279	1,000																								
OD	0,237	0,325	-0,192	1,000																							
Alca	-0,216	0,178	0,312	-0,157	1,000																						
Turb	0,038	0,321	0,492	0,193	0,472	1,000																					
Cor	0,162	0,166	0,120	0,247	-0,310	0,150	1,000																				
Dur	-0,379	0,126	0,506	-0,165	-0,047	-0,233	0,046	1,000																			
NO2	0,422	-0,314	-0,369	0,437	-0,150	-0,032	-0,039	-0,582	1,000																		
NO3	-0,029	0,323	0,381	0,046	0,497	0,498	-0,103	-0,082	-0,083	1,000																	
NH4	-0,080	0,046	0,113	0,086	-0,184	0,028	0,518	0,148	-0,079	-0,198	1,000																
SS	-0,440	0,126	-0,054	0,174	0,630	0,315	-0,176	-0,130	-0,053	0,356	-0,333	1,000															
ST	-0,190	0,162	0,333	0,150	0,669	0,420	-0,115	0,014	-0,100	0,642	-0,324	0,820	1,000														
SD	0,336	0,091	0,661	-0,003	0,210	0,253	0,066	0,220	-0,093	0,579	-0,059	-0,088	0,499	1,000													
DBO	0,219	-0,584	-0,174	0,004	-0,055	-0,169	-0,258	-0,198	0,395	-0,344	-0,370	0,041	0,046	0,018	1,000												
DQO	-0,024	0,416	0,272	0,153	0,617	0,559	-0,010	-0,069	-0,120	0,434	-0,186	0,707	0,751	0,237	0,015	1,000											
Ca	-0,279	0,111	0,488	-0,158	-0,137	-0,274	0,097	0,981	-0,543	-0,185	0,232	-0,264	-0,110	0,207	-0,173	-0,148	1,000										
Mg	-0,564	0,154	0,353	-0,115	0,169	-0,154	-0,132	0,821	-0,561	0,231	-0,147	0,294	0,367	0,194	-0,227	0,161	0,699	1,000									
Fe	0,128	0,222	0,004	0,368	-0,127	0,133	-0,020	0,195	-0,148	0,089	-0,239	-0,092	-0,069	0,018	0,130	-0,057	0,197	0,152	1,000								
Al	-0,121	0,095	0,178	-0,277	0,114	-0,111	-0,084	0,595	-0,474	0,028	-0,023	-0,074	-0,019	0,079	-0,350	-0,115	0,548	0,602	0,058	1,000							
Si	-0,295	0,242	0,325	-0,134	0,042	-0,310	-0,114	0,754	-0,563	-0,122	0,029	0,016	0,079	0,113	-0,186	0,009	0,719	0,683	0,231	0,465	1,000						
P	0,075	-0,256	-0,190	-0,299	0,082	-0,239	-0,103	0,070	-0,002	-0,155	0,051	-0,154	-0,200	-0,114	0,143	-0,227	0,043	0,139	-0,082	0,508	-0,035	1,000					
Na	-0,059	0,161	0,066	0,182	0,286	0,369	0,164	0,166	-0,072	0,399	-0,151	0,325	0,363	0,140	-0,262	0,421	0,066	0,416	0,052	0,486	-0,127	0,230	1,000				
K	-0,058	0,305	0,810	0,248	0,248	0,570	0,343	0,385	-0,162	0,513	0,166	0,141	0,535	0,716	-0,124	0,417	0,360	0,319	0,166	-0,008	0,121	-0,332	0,286	1,000			
Mn	-0,006	0,308	0,294	-0,426	0,178	0,120	-0,165	0,256	-0,362	0,331	-0,078	-0,163	-0,074	0,119	-0,382	0,063	0,202	0,321	-0,003	0,517	0,165	0,404	0,294	-0,015	1,000		
Cu	-0,058	0,319	0,054	-0,262	0,011	-0,202	-0,227	0,234	-0,244	0,132	0,022	-0,188	-0,188	-0,042	-0,304	-0,141	0,204	0,278	0,034	0,339	0,195	0,495	-0,011	-0,184	0,808	1,000	
Vaz	0,100	0,244	-0,155	0,283	0,296	0,633	0,035	-0,604	0,189	0,409	-0,138	0,365	0,267	-0,089	-0,189	0,443	-0,653	-0,338	-0,094	-0,170	-0,588	-0,209	0,451	0,030	0,066	-0,245	1,000

Correlações em Azul são significantes a 0,05

Correlações em Vermelho são significantes a 0,01

Ponto 2

	pH	Temp	Cond	OD	Alca	Turb	Cor	Dur	NO2	NO3	NH4	SS	ST	SD	DBO	DQO	Ca	Mg	Fe	Al	Si	P	Na	K	Mn	Cu	Vaz
pH	1,000																										
Temp	0,135	1,000																									
Cond	-0,135	0,076	1,000																								
OD	0,166	0,229	-0,235	1,000																							
Alca	0,065	0,098	0,647	-0,123	1,000																						
Turb	-0,325	-0,077	0,089	0,260	0,121	1,000																					
Cor	0,221	0,003	0,160	0,227	0,087	0,043	1,000																				
Dur	-0,019	-0,185	0,174	0,142	0,276	0,484	0,046	1,000																			
NO2	0,404	-0,144	-0,224	0,212	0,112	-0,157	-0,097	-0,011	1,000																		
NO3	-0,128	0,172	0,282	0,087	0,260	-0,205	0,016	0,046	0,059	1,000																	
NH4	0,358	0,169	-0,154	0,319	-0,183	0,092	0,105	-0,315	0,049	-0,167	1,000																
SS	-0,193	0,211	0,008	-0,119	0,341	0,013	-0,224	0,151	-0,169	0,366	-0,189	1,000															
ST	-0,175	0,206	0,221	-0,137	0,492	0,030	-0,183	0,156	-0,179	0,447	-0,178	0,970	1,000														
SD	0,059	-0,003	0,871	-0,081	0,642	0,071	0,150	0,034	-0,051	0,362	0,032	-0,045	0,201	1,000													
DBO	0,057	-0,031	-0,057	0,004	0,074	0,073	-0,214	0,086	-0,196	0,338	-0,103	0,199	0,217	0,092	1,000												
DQO	-0,017	0,156	0,336	0,177	0,442	0,389	0,430	-0,004	-0,162	0,132	0,323	0,414	0,499	0,379	-0,088	1,000											
Ca	0,004	-0,168	0,240	0,120	0,302	0,524	0,073	0,975	-0,112	0,012	-0,280	0,131	0,153	0,104	0,123	0,062	1,000										
Mg	0,022	-0,154	-0,042	0,100	0,088	0,247	-0,105	0,744	0,252	-0,031	-0,165	0,160	0,114	-0,174	-0,062	-0,102	0,613	1,000									
Fe	0,207	0,184	0,211	0,234	0,043	0,145	0,063	0,547	-0,195	-0,014	0,016	-0,069	-0,045	0,091	0,111	-0,048	0,495	0,562	1,000								
Al	-0,155	-0,156	-0,133	-0,029	-0,033	-0,022	0,093	0,386	0,167	0,025	-0,374	-0,075	-0,140	-0,268	-0,101	-0,281	0,213	0,680	0,379	1,000							
Si	-0,234	-0,088	0,294	-0,040	0,243	0,152	-0,122	0,625	-0,082	0,090	-0,264	0,216	0,221	0,037	-0,071	-0,021	0,518	0,736	0,722	0,574	1,000						
P	0,034	-0,475	0,182	0,019	0,195	0,005	0,111	0,130	0,247	0,065	0,013	-0,069	0,019	0,354	-0,039	0,014	0,104	0,118	0,046	-0,033	0,213	1,000					
Na	0,248	0,162	0,194	0,115	0,098	-0,345	0,584	0,081	-0,151	0,165	0,037	0,179	0,201	0,106	-0,267	0,376	0,134	-0,077	0,154	-0,131	0,045	0,086	1,000				
K	-0,288	0,061	0,726	0,009	0,439	0,111	-0,024	0,010	-0,053	0,355	0,028	-0,016	0,181	0,804	-0,236	0,313	0,041	-0,095	0,051	-0,141	0,151	0,341	0,128	1,000			
Mn	-0,164	0,160	0,194	-0,121	0,008	0,184	-0,062	0,425	-0,099	0,359	-0,446	0,222	0,219	0,009	0,384	-0,080	0,400	0,268	0,375	0,276	0,423	-0,031	0,028	-0,042	1,000		
Cu	0,087	0,000	-0,018	-0,100	0,123	0,098	-0,041	0,429	0,452	0,108	-0,234	-0,069	-0,085	-0,072	-0,121	-0,218	0,283	0,674	0,278	0,738	0,422	0,120	-0,255	-0,034	0,372	1,000	
Vaz	0,483	0,170	0,081	0,037	0,200	-0,489	0,342	-0,078	0,102	0,233	-0,073	0,270	0,290	0,107	-0,054	0,237	-0,049	-0,071	-0,062	-0,015	-0,181	-0,078	0,660	-0,010	0,008	-0,069	1,000

Correlações em Azul são significantes a 0,05

Correlações em Vermelho são significantes a 0,01

Ponto 3

	pH	Temp	Cond	OD	Alca	Turb	Cor	Dur	NO2	NO3	NH4	SS	ST	SD	DBO	DQO	Ca	Mg	Fe	Al	Si	P	Na	K	Mn	Cu
pH	1,000																									
Temp	0,220	1,000																								
Cond	0,283	0,370	1,000																							
OD	0,511	0,096	-0,179	1,000																						
Alca	0,327	0,150	0,186	0,062	1,000																					
Turb	-0,096	-0,071	-0,149	0,246	0,009	1,000																				
Cor	0,019	0,045	0,000	0,008	-0,157	0,042	1,000																			
Dur	-0,053	-0,367	-0,174	0,227	0,097	-0,046	0,247	1,000																		
NO2	0,458	0,063	-0,168	0,364	0,268	0,046	-0,113	-0,343	1,000																	
NO3	0,235	0,054	0,330	0,034	0,352	0,431	-0,035	0,048	0,063	1,000																
NH4	-0,221	-0,170	-0,247	0,223	-0,141	0,578	0,068	0,157	0,067	0,095	1,000															
SS	-0,057	0,067	-0,081	0,053	-0,014	0,530	-0,165	-0,038	-0,105	0,570	0,218	1,000														
ST	0,002	0,030	0,023	0,070	0,162	0,604	-0,112	0,075	-0,121	0,704	0,249	0,952	1,000													
SD	0,212	-0,125	0,346	0,043	0,581	0,155	0,131	0,433	-0,107	0,546	0,020	0,008	0,305	1,000												
DBO	-0,408	0,040	-0,051	-0,762	0,030	-0,210	-0,125	-0,434	-0,070	-0,232	-0,176	-0,056	-0,121	-0,225	1,000											
DQO	-0,163	0,240	-0,006	0,202	0,140	0,597	0,097	0,048	0,019	0,298	0,393	0,534	0,567	0,123	-0,242	1,000										
Ca	-0,035	-0,292	-0,177	0,272	0,154	-0,094	0,273	0,979	-0,292	0,040	0,092	-0,080	0,037	0,444	-0,454	0,070	1,000									
Mg	-0,049	-0,446	-0,126	0,095	-0,005	0,103	0,100	0,818	-0,348	0,065	0,294	0,088	0,156	0,274	-0,310	0,001	0,689	1,000								
Fe	-0,079	-0,166	-0,044	-0,013	-0,118	0,772	0,190	0,102	-0,180	0,330	0,670	0,462	0,514	0,105	-0,139	0,452	-0,015	0,402	1,000							
Al	-0,156	-0,210	-0,035	-0,029	-0,181	-0,141	-0,099	0,446	-0,312	-0,230	0,286	-0,147	-0,186	-0,121	-0,139	-0,227	0,312	0,757	0,183	1,000						
Si	-0,039	-0,259	-0,132	0,036	-0,001	-0,245	0,208	0,702	-0,351	0,026	0,134	-0,140	-0,065	0,310	-0,444	-0,033	0,669	0,628	0,118	0,477	1,000					
P	0,103	-0,148	0,265	-0,008	-0,102	-0,006	-0,050	0,265	-0,227	-0,170	0,044	-0,034	-0,032	-0,008	-0,099	-0,029	0,194	0,425	0,312	0,369	0,208	1,000				
Na	0,296	-0,025	0,078	0,459	-0,002	0,136	0,163	0,455	-0,095	0,379	0,070	0,364	0,392	0,227	-0,659	0,331	0,487	0,282	0,076	0,072	0,375	0,186	1,000			
K	-0,164	-0,077	-0,070	0,288	0,173	0,723	-0,064	0,174	0,135	0,473	0,508	0,361	0,496	0,420	-0,176	0,605	0,163	0,155	0,392	-0,119	-0,139	-0,068	0,162	1,000		
Mn	0,023	-0,059	0,316	-0,114	0,059	-0,150	-0,027	0,445	-0,308	-0,006	-0,049	-0,171	-0,127	0,157	-0,107	-0,176	0,327	0,716	0,124	0,811	0,348	0,497	0,035	-0,010	1,000	
Cu	0,088	-0,238	-0,080	0,015	-0,050	-0,075	0,014	0,474	-0,164	-0,118	-0,049	-0,014	-0,043	-0,049	-0,101	-0,162	0,341	0,791	0,211	0,715	0,316	0,475	0,057	-0,117	0,786	1,000

Correlações em Azul são significantes a 0,05

Correlações em Vermelho são significantes a 0,01

Ponto 4

	pH	Temp	Cond	OD	Alca	Turb	Cor	Dur	NO2	NO3	NH4	SS	ST	SD	DBO	DQO	Ca	Mg	Fe	Al	Si	P	Na	K	Mn	Cu	Vaz
pH	1,000																										
Temp	0,258	1,000																									
Cond	0,279	0,228	1,000																								
OD	0,622	0,405	-0,075	1,000																							
Alca	0,277	0,070	0,596	0,150	1,000																						
Turb	-0,091	0,144	0,020	0,115	-0,015	1,000																					
Cor	0,196	0,155	0,108	0,137	0,044	0,077	1,000																				
Dur	-0,123	-0,028	0,047	-0,303	-0,029	-0,103	-0,135	1,000																			
NO2	0,397	-0,351	-0,223	0,494	0,200	-0,033	0,181	-0,389	1,000																		
NO3	0,621	-0,007	0,376	0,173	0,179	0,161	0,006	0,202	0,131	1,000																	
NH4	-0,359	0,023	0,108	-0,080	0,047	0,073	-0,162	0,136	-0,131	0,031	1,000																
SS	-0,197	0,035	0,114	-0,049	0,275	0,099	-0,303	0,294	-0,070	0,119	0,737	1,000															
ST	-0,166	0,022	0,237	-0,057	0,366	0,212	-0,268	0,335	-0,094	0,241	0,674	0,967	1,000														
SD	0,039	-0,048	0,518	-0,051	0,381	0,472	0,096	0,195	-0,127	0,495	-0,015	0,049	0,300	1,000													
DBO	0,387	0,231	0,107	0,334	0,100	-0,368	-0,019	-0,389	0,147	0,072	-0,239	-0,083	-0,126	-0,232	1,000												
DQO	-0,144	0,196	0,090	0,219	0,249	0,059	0,052	-0,044	0,082	-0,130	0,114	0,476	0,493	0,099	0,180	1,000											
Ca	-0,121	0,000	0,097	-0,273	0,035	-0,022	-0,161	0,975	-0,383	0,246	0,125	0,325	0,386	0,271	-0,354	0,040	1,000										
Mg	-0,133	-0,074	-0,074	-0,276	0,002	-0,231	-0,165	0,883	-0,329	0,045	0,158	0,236	0,231	0,016	-0,406	-0,164	0,781	1,000									
Fe	0,217	-0,417	-0,165	0,178	-0,094	-0,105	-0,101	0,187	0,229	0,298	-0,085	-0,077	-0,036	0,139	-0,056	-0,155	0,137	0,222	1,000								
Al	0,035	-0,309	-0,193	-0,036	-0,145	-0,174	-0,248	0,357	0,005	0,169	-0,068	-0,184	-0,175	0,017	-0,181	-0,292	0,258	0,516	0,755	1,000							
Si	-0,355	0,128	0,089	-0,480	-0,128	-0,086	-0,230	0,790	-0,691	-0,059	0,031	0,076	0,120	0,181	-0,339	-0,193	0,771	0,689	0,097	0,266	1,000						
P	0,085	0,011	-0,012	-0,080	0,081	-0,198	-0,258	0,359	-0,106	0,143	-0,087	-0,023	0,011	0,113	-0,224	-0,108	0,284	0,489	0,124	0,392	0,324	1,000					
Na	0,636	0,126	0,192	0,249	0,094	-0,174	0,102	0,009	-0,046	0,521	-0,367	-0,237	-0,174	0,167	0,178	-0,021	0,009	-0,036	0,045	0,051	-0,220	0,231	1,000				
K	-0,221	0,098	0,305	-0,044	0,237	0,019	-0,223	0,139	-0,226	0,178	0,839	0,708	0,714	0,224	-0,072	0,257	0,157	0,083	-0,086	-0,111	0,019	-0,111	-0,030	1,000			
Mn	-0,129	0,112	-0,030	-0,182	-0,217	-0,072	0,004	0,337	-0,277	0,215	0,301	0,082	0,090	0,096	-0,283	-0,190	0,220	0,523	0,205	0,487	0,348	0,280	-0,059	0,183	1,000		
Cu	-0,055	0,118	0,030	-0,201	0,082	-0,127	-0,218	0,520	-0,266	0,096	0,271	0,605	0,564	-0,098	0,067	0,308	0,455	0,592	0,158	0,299	0,345	0,288	-0,081	0,257	0,440	1,000	
Vaz	0,599	0,366	0,118	0,542	0,243	0,104	0,289	-0,080	0,184	0,481	0,144	0,204	0,208	0,051	0,339	0,096	-0,037	-0,135	-0,173	-0,239	-0,433	-0,067	0,527	0,242	-0,163	0,012	1,000

Correlações em Azul são significantes a 0,05

Correlações em Vermelho são significantes a 0,01

Ponto 5

	pH	Temp	Cond	OD	Alca	Turb	Cor	Dur	NO2	NO3	NH4	SS	ST	SD	DBO	DQO	Ca	Mg	Fe	Al	Si	P	Na	K	Mn	Cu	Vaz
pH	1,000																										
Temp	0,144	1,000																									
Cond	0,092	-0,214	1,000																								
OD	0,662	0,227	-0,130	1,000																							
Alca	-0,261	-0,224	0,307	-0,574	1,000																						
Turb	-0,313	-0,169	0,143	-0,236	0,571	1,000																					
Cor	-0,146	-0,011	0,106	0,090	-0,145	0,223	1,000																				
Dur	-0,278	-0,151	0,350	-0,331	0,152	-0,113	-0,146	1,000																			
NO2	0,148	-0,215	-0,237	0,189	0,208	-0,002	0,055	-0,314	1,000																		
NO3	0,391	0,230	0,466	0,083	0,067	0,127	0,120	-0,161	-0,080	1,000																	
NH4	-0,064	-0,469	0,239	-0,271	0,459	0,163	0,179	0,243	0,299	-0,065	1,000																
SS	0,155	-0,028	-0,078	0,117	-0,191	0,032	-0,229	-0,223	-0,023	0,430	-0,209	1,000															
ST	0,233	-0,075	0,097	0,125	-0,148	0,066	-0,213	-0,182	-0,054	0,529	-0,166	0,980	1,000														
SD	0,364	-0,227	0,864	0,032	0,227	0,171	0,102	0,225	-0,152	0,447	0,226	-0,182	0,020	1,000													
DBO	0,048	0,087	-0,247	0,129	-0,112	-0,238	-0,150	0,034	-0,138	-0,168	0,007	0,037	-0,050	-0,431	1,000												
DQO	-0,045	-0,002	0,049	0,198	-0,147	0,429	0,089	-0,112	-0,220	0,203	-0,269	0,632	0,642	0,004	-0,152	1,000											
Ca	-0,392	-0,185	0,249	-0,340	0,171	-0,043	-0,134	0,972	-0,315	-0,318	0,223	-0,265	-0,247	0,116	0,095	-0,088	1,000										
Mg	0,064	-0,031	0,509	-0,224	0,087	-0,246	-0,145	0,843	-0,243	0,235	0,231	-0,088	0,000	0,439	-0,121	-0,143	0,695	1,000									
Fe	-0,056	0,120	0,042	-0,076	-0,038	-0,260	-0,126	0,198	-0,110	-0,174	0,061	-0,143	-0,149	-0,020	-0,023	-0,261	0,195	0,154	1,000								
Al	-0,064	-0,110	-0,031	-0,246	0,139	-0,119	-0,307	0,472	0,073	-0,033	0,460	0,064	0,055	-0,050	0,058	-0,223	0,408	0,519	0,021	1,000							
Si	-0,158	0,058	0,416	-0,436	0,053	-0,298	-0,196	0,783	-0,418	0,049	0,181	-0,082	-0,030	0,263	-0,067	-0,159	0,704	0,782	0,423	0,311	1,000						
P	0,132	-0,156	-0,031	0,033	-0,045	-0,068	-0,274	0,233	0,082	-0,112	0,186	0,000	0,025	0,119	-0,178	-0,063	0,198	0,262	0,690	0,419	0,246	1,000					
Na	0,457	0,349	0,052	0,227	-0,202	-0,049	0,005	-0,076	-0,292	0,294	-0,071	0,029	0,102	0,349	-0,212	-0,005	-0,145	0,110	0,431	0,046	0,091	0,490	1,000				
K	0,378	0,100	0,760	0,277	0,033	0,188	0,293	0,057	-0,235	0,647	0,056	0,035	0,182	0,715	-0,099	0,188	-0,043	0,279	-0,018	-0,314	0,159	-0,176	0,273	1,000			
Mn	0,024	0,065	-0,036	-0,102	-0,169	-0,140	0,037	0,029	-0,258	0,424	-0,179	0,488	0,472	-0,121	0,182	0,106	-0,019	0,119	-0,086	0,074	0,196	-0,122	0,097	0,052	1,000		
Cu	-0,019	0,077	-0,115	-0,134	-0,167	-0,182	0,071	0,075	-0,252	0,298	-0,089	0,343	0,302	-0,231	0,353	0,006	0,050	0,098	-0,065	0,107	0,256	-0,113	-0,046	-0,059	0,923	1,000	
Vaz	0,329	0,371	-0,109	0,319	-0,169	0,277	0,224	-0,586	0,060	0,462	-0,419	0,310	0,339	0,116	-0,298	0,391	-0,625	-0,354	-0,197	-0,204	-0,499	0,023	0,494	0,135	0,136	0,000	1,000

Correlações em Azul são significantes a 0,05

Correlações em Vermelho são significantes a 0,01