UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

VARIABILIDADE QUÍMICA DAS ÁGUAS NA BACIA DO ALTO PARAGUAI:
Uma Compartimentação do Pantanal Mato-grossense

ARY TAVARES REZENDE FILHO

São Paulo
2011

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

VARIABILIDADE QUÍMICA DAS ÁGUAS NA BACIA DO ALTO PARAGUAI:

Uma Compartimentação do Pantanal Mato-grossense

Ary Tavares Rezende Filho

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientador: Profª. Drª. Sonia Furian

São Paulo
2011

DEDICATÓRIA

Dedico a essência deste trabalho aos meus pais, em especial aos meus irmãos, sobrinhos, cunhados e às pessoas que contribuíram de certa forma para minha formação, demonstrando paciência, carinho e amizade ao longo desta caminhada.

AGRADECIMENTOS

À Profª. Drª. Sonia Furian, pela orientação deste trabalho sem medir esforços para a consolidação do meu conhecimento, o meu muito OBRIGADO.

Ao Prof. Dr. Laurent Barbiero, IRD; LMTG, Université de Toulouse, France; Cena/USP Piracicaba, pela co-orientação e pela presença constante nas missões de campo fundamental para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Antonio Carlos Colângelo, por me aceitar como orientando no momento da seleção do Doutorado.

Ao Prof. Dr. Vincent Valles, Laboratoire d'Hydrogéologie, Université d'Avignon et des Pays du Vaucluse Avignon, France, pelo apoio nas análises estatísticas.

À Banca de Qualificação, os Professores Dr. Archimedes Perez Filho e Drª. Célia Regina Montes, pelas contribuições relevantes e pertinentes para a finalização deste trabalho.

À Profª. Drª. Rosely Pacheco Dias Ferreira, pela amizade e apoio incondicional.

Ao Prof. Dr Fernando Ximenes de Tavares Salomão, UFMT, pelo auxilio na logística de campo em Mato Grosso.

Ao Elder de Lucena Madruga, UFMT, pelo auxilio em deslocamentos na nossa primeira missão em Mato Grosso.

À Elisângela Rosemeri Curti Martins e Tatiana Mascari Parizotto, colegas de Pós-graduação.

À Magnífica Reitora da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Profª. Drª. Célia Maria da Silva Oliveira e ao Pró-reitor de Pesquisa e Pós-graduação Prof. Dr. Dercir Pedro de Oliveira pelo apoio institucional e logístico.

Ao Prof. Me Jodenir Calixto Teixeira, ao Prof. Dr. Marcelino de Andrade Gonçalves, ao Prof. Dr Denis Richter, à Profª. Me Mara Aline dos Santos Ribeiro, ao Prof. Dr. Paulo

Duarte Paes, companheiros de trabalho no curso de Geografia do Câmpus de Nova Andradina/UFMS, pelo apoio, companheirismo e amizade.

Ao Professores do curso de Administração do Câmpus de Nova Andradina/UFMS, à Profª. Me Lia Moretti e Silva, à Profª. Waléria Andrade Martins, à Profª. Me Solange Fachin, à Profª. Me Edrilene Barbosa Lima Justi e ao Prof. Me José Aparecido Moura Aranha, pelo companheirismo e amizade.

Aos servidores Jacqueline Maciel Corrêa, Assistente do Gabinete - PROPP e Antonio Lopes de Oliveira, Secretário da Coordenadoria de Estudos do Pantanal - PROPP, pelo apoio nas missões de campo no Pantanal.

À Tatiana Mizusaki, pela compreensão nos momentos de minha ausência, e por todos os sentimentos a mim dedicados.

À Marinha do Brasil, o 6º Distrito Naval (Ladário-MS), sob o comando do Contra-Almirante Domingos Sávio Almeida Nogueira pelo apoio institucional e logístico. Ao Comandante Inácio do Navio de Assistência Hospitalar Tenente Maximiniano – NASH U28 – incluindo toda tripulação, pelo apoio nas missões, no trecho de Porto Murtinho a Ladário (MS) no Rio Paraguai, e o trecho de Ladário (MS) a Santo Antonio do Leverger (MT) nos rios Paraguai e Cuiabá. Ao Comandante Rudá do Navio Paraguassu – G 16 – e toda tripulação, pelo apoio institucional e logístico na missão do trecho entre Ladário (MS) e Cáceres (MT).

Ao Laboratório de Ecologia Ambiental e Geoprocessamento - NUPEGEL - CENA/ESALQ/USP, por realizar as análises químicas das águas utilizadas neste trabalho.

À CAPES, pelo apoio financeiro no período maio a setembro de 2008, com a bolsa demanda social.

À FAPESP pelo apoio financeiro nos quadros dos Projetos de Pesquisa FAPESP 2008/09086-7, 2008/58089-9 e 2009/53524-1, sem os quais este trabalho não seria realizado.

À Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-graduação - PROPP/UFMS, pelo apoio logístico e financeiro.

RESUMO

A Bacia do Alto Paraguai é definida pelo trecho compreendido entre as nascentes do Rio Paraguai e a confluência deste com o Rio Apa, e abrange planaltos, depressões e a vasta planície do Pantanal, a maior zona úmida continental do planeta. O objetivo geral deste trabalho é propor uma compartimentação do Pantanal com base em seu funcionamento atual. Para isto, utilizou-se de um conjunto de métodos, análise em componentes principais (ACP), análise em fatores de correspondência (AFC), e análise de deconvolução pelo modelo EMMA (End-Members Mixing Analysis). Essas análises foram aplicadas em amostragens de águas coletadas sob diferentes escalas, desde a da Bacia do Alto Paraguai até a da Nhecolândia, uma sub-região do Pantanal (MS). Esses procedimentos permitiram discriminar, hierarquizar e espacializar os fatores responsáveis pela variabilidade química das águas. Os resultados mostram que a composição química das águas que alimentam a planície pode ser considerada como uma mistura de três perfis químicos, definidos pelo tipo de rocha (calcário, arenito, cristalino) que explica 50% da variância total, e pelo uso e ocupação do solo (adubação de nitrogênio no planalto) responsável por 15% da variância total. As distribuições dos perfis químicos permitiram identificar grandes regiões, e áreas limítrofes entre elas com justaposição de perfis químicos contrastados, tanto no planalto quanto na planície. Apesar de ter-se observado algumas modificações na composição química das águas entre as estações seca e úmida, essas duas amostragens mantém discriminadas as mesmas regiões. Na sub-região da Nhecolândia, a evaporação e as precipitações salinas a ela associadas (calcita e Mg-calcita, Mg-silicatos K-silicatos) respondem por 76% da variância total. A influência antrópica (adubação com potássio e nitrogênio nas zonas agrícolas do planalto) respondem por cerca de 10% da variância total. Evaporação, processos redox, uso e ocupação do solo foram apontados como as principais fontes de variabilidade na composição química das águas na Nhecolândia.

Palavras-chave: Análises Multivariadas; Espacialização; Hidroquímica; Fatores de Variabilidades; Pantanal

ABSTRACT

The Upper Paraguay Basin is defined by the stretch from the headwaters of the Paraguay River to the confluence with the Apa River. It includes plateaus, depressions and the vast floodplain of the Pantanal, the world largest continental wetland. The aim of this work is to propose a partitioning of the Pantanal based on its current functioning. A set of methods was used, including, principal components analysis (PCA), correspondence factor analysis (CFA), and A PCA-based EMMA procedure (End-Members Mixing Analysis). These methods were applied to water sampling collected at different scales, from the Upper Paraguay River Basin to the Nhecolândia, a sub-region of the Pantanal (MS). It allowed discriminating, prioritizing and spatializing the factors responsible for the variability in water chemistry. The results show that the chemical composition of the waters that supply the floodplain can be considered as a mixture of three end-members, defined by the type of rock (limestone, sandstone, crystalline), which explains 50% of the total variance, and the land use (nitrogen fertilization on the plateau), which accounted for 15% of the total variance. The distributions of chemical profiles discriminated large regions, and areas with juxtaposition of contrasting chemical profiles, both in the highlands and the floodplain. Although some changes occur in the chemical composition of water between dry and wet seasons, these two sets of samples have drawn the same regions. In the sub-region of the Nhecolândia, evaporation and associated salt precipitations (Mg-calcite and calcite, Mg-silicates silicates K) account for 76% of the variance. The anthropogenic influence (K and N-fertilization in agricultural areas of the plateau) accounts for about 10% of the variance. Evaporation, redox processes, land use were identified as major sources of variability in the chemical composition of surface waters in the Nhecolândia.

Keywords: Multivariate Analysis; Spatialization; Hydrochemistry; Sources of Variability; Pantanal

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Mapa das Regiões Fisiográficas da Bacia do Alto Paraguai..... 7

Figura 2 Mapa Geológico da Bacia do Alto Paraguai..... 10

Figura 3 Mapa Geomorfológico da Bacia do Alto Paraguai..... 14

Figura 4 Mapa dos principais tributários da Bacia do Alto Paraguai que atravessam o Pantanal..... 19

Figura 5 Mapa de localização dos biomas na Bacia do Alto Paraguai 22

Figura 6 Bacia do Alto Paraguai e suas províncias fitogeográficas, segundo Adámoli, 1986..... 23

Figura 7 Sucessão vegetal do Cerrado, segundo Coutinho, 1990..... 24

Figura 8 Mapa do uso e ocupação do solo da Bacia do Alto Paraguai..... 25

Figura 9 Mapa da Subdivisão do Pantanal Mato-grossense, segundo Adámoli, 1982..... 28

Figura 10 Mapas das Áreas de Acumulação Inundáveis sob regimes de chuvas e estiagens, Projeto RADAMBRASIL, 1984..... 29

Figura 11 Mapa dos Pantanais Mato-grossenses, Projeto RADAMBRASIL, 1984..... 30

Figura 12 Mapa da subdivisão do Pantanal Mato-grossense, segundo Silva e Abdon, 1998..... 31

Figura 13 Localização dos pontos de amostragens no entorno do Pantanal.. 36

Figura 14 Distribuição das variáveis químicas no primeiro plano fatorial da ACP 1..... 49

Figura 15 Distribuição das amostras de águas no primeiro plano fatorial da ACP 1..... 50

Figura 16 Distribuição das variáveis químicas no segundo plano fatorial da ACP 1..... 51

Figura 17 Distribuição das amostras de águas no segundo plano fatorial da ACP 1..... 51

Figura 18 Distribuição das variáveis químicas no primeiro plano fatorial da ACP 2..... 56

Figura 19 Distribuição das amostras de águas no primeiro plano fatorial da ACP 2..... 57

Figura 20 Distribuição das variáveis químicas no segundo plano fatorial da ACP 2..... 58

Figura 21 Distribuição das amostras de águas no segundo plano fatorial da ACP 2..... 58

Figura 22 Distribuição das variáveis químicas e das amostras de águas no primeiro plano fatorial da AFC – estação seca..... 60

Figura 23 Distribuição das variáveis químicas e das amostras de águas no segundo plano fatorial da AFC – estação seca..... 61

Figura 24 Distribuição das variáveis químicas no primeiro plano fatorial da ACP 3..... 71

Figura 25 Distribuição das amostras de águas no primeiro plano fatorial da ACP 3..... 71

Figura 26 Distribuição das variáveis químicas no segundo plano fatorial da ACP 3..... 72

Figura 27 Comparação da condutividade elétrica de 37 amostras da águas das estações seca e úmida..... 73

Figura 28 Distribuição das variáveis químicas das estações seca e úmida no primeiro plano fatorial da ACP 4 com dados modificados..... 76

Figura 29 Distribuição das amostras de águas das estações seca e úmida no primeiro plano fatorial da ACP 4 com dados modificados..... 76

Figura 30 Fórmula para calcular a contribuição de cada reservatório: exemplo de um triângulo (3 pólos)..... 80

Figura 31 Os 3 pólos de influência identificados pelo EMMA a partir do primeiro plano fatorial da ACP 2: estação seca..... 81

Figura 32 Os 3 pólos químicos identificados pelo EMMA a partir do primeiro plano fatorial da ACP 3: estação úmida..... 84

Figura 33 Mapa da condutividade elétrica das águas medidas no campo nas estações seca (a) e úmida (b)..... 88

Figura 34 Mapa com os três pólos químicos discriminados através do EMMA (End Member Mixing Analysis) na estação seca..... 90

Figura 35 Mapa dos pólos químicos discriminados através do EMMA (End Member Mixing Analysis) na estação úmida..... 93

Figura 36 Mapa dos principais tipos de rochas..... 95

Figura 37 Diagrama de Stabler com a composição iônica dos perfis químicos que caracterizam os pólos 2 e 3..... 96

Figura 38	Mapa das rochas areníticas a leste do Pantanal.....	97
Figura 39	Mapa das rochas areníticas e cristalinas ao norte e ao sul do Pantanal.....	98
Figura 40	Mapa das rochas calcárias ao norte e ao sul do Pantanal.....	100
Figura 41	Composição química da água do Rio Negro (MS) nas duas estações.....	102
Figura 42	Mapa do uso e ocupação do solo na borda leste da Bacia do Alto Paraguai em 2008.....	104
Figura 43	Relação entre área drenada e vazão. (Fonte dos dados: ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2004).....	106
Figura 44	Discriminação de bacias hidrográficas em função das misturas de águas.....	108
Figura 45	Organograma das misturas de águas.....	109
Figura 46	Mapa de localização dos pontos de coleta, de mistura e de extrapolação na planície do Pantanal.....	111
Figura 47	Mapa de distribuição dos pólos químicos no planalto e extrapolação das misturas de águas na planície - estação úmida..	112
Figura 48	Localização dos pontos de amostragens na Nhecolândia.....	116
Figura 49	Relação entre soma das cargas positivas e negativas das águas..	123
Figura 50	Relação entre condutividade elétrica e soma das cargas positivas das águas.....	123
Figura 51	Distribuição das variáveis no primeiro plano fatorial da ACP 5.....	126
Figura 52	Distribuição das amostras no primeiro plano fatorial da ACP 5.....	127
Figura 53	Distribuição das variáveis no segundo plano fatorial da ACP 5.....	128
Figura 54	Distribuição das amostras no segundo plano fatorial da ACP 5.....	128
Figura 55	Diagrama de concentração da alcalinidade e do cálcio.....	130
Figura 56	Diagrama de concentração do magnésio e do potássio.....	131
Figura 57	Diagrama de concentração do cloreto e do sulfato.....	133

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Localização dos rios amostrados.....	38
Tabela 2	Dados físico-químicos (T°C, pH e CE) das águas no momento da coleta.....	44
Tabela 3	As análises na estação seca: resultados analíticos de laboratório.	46
Tabela 4	Estatística descritiva com dados brutos.....	47
Tabela 5	Matriz de correlação dos dados brutos.....	48
Tabela 6	Distribuição de valores próprios da ACP 1.....	48
Tabela 7	Dados da divisão dos elementos maiores pela CE (concentrações corrigidas [C*] e pH*): estação seca.....	53
Tabela 8	Estatística descritiva com dados modificados.....	54
Tabela 9	Matriz de correlação dos dados modificados.....	54
Tabela 10	Distribuição de valores próprios da ACP 2.....	55
Tabela 11	Distribuição de valores próprios da AFC – estação seca.....	59
Tabela 12	Características físico-químicos (T°C, pH e CE) das águas medidas no campo.....	62
Tabela 13	Resultados brutos das análises químicas das águas da estação úmida	64
Tabela 14	Dados dos elementos químicos divididos pela condutividade elétrica (concentrações corrigidas [C*] e pH*): estação úmida.....	67
Tabela 15	Estatística descritiva dos dados modificados.....	69
Tabela 16	Matriz de correlação dos dados modificados.....	69
Tabela 17	Distribuição de valores próprios da ACP 3.....	70
Tabela 18	Dados das análises estatísticas descritivas das águas nas estações seca e úmida.....	74
Tabela 19	Distribuição de valores próprios da ACP 4.....	75
Tabela 20	Coordenadas dos 3 pólos químicos decorrentes do primeiro plano fatorial da ACP 2.....	82
Tabela 21	Contribuição (em %) dos 3 pólos químicos para cada amostra de água dos rios na estação seca.....	82

Tabela 22 Coordenadas dos 3 pólos químicos decorrentes do primeiro plano fatorial da ACP 3..... 84

Tabela 23 Contribuição (em %) dos pólos químicos para cada amostra de água: estação úmida..... 85

Tabela 24 Localização das águas superficiais amostradas..... 117

Tabela 25 Dados físico-químicos (T°C, pH, CE) das águas no momento das coletas..... 119

Tabela 26 Resultados analíticos brutos das águas..... 120

Tabela 27 Resultados da análise estatística descritiva (dados brutos)..... 124

Tabela 28 Matriz de correlação dos dados brutos..... 125

Tabela 29 Distribuição de valores próprios da ACP 5..... 125

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Tipos de famílias químicas das águas (BARBIERO et al., 2004, modificado de VALLES et al., 1991)..... 4

Quadro 2 Coleta de águas dos rios da Bacia do Alto Paraguai..... 37

LISTA DE FOTOS

Foto 1 Coleta de água no Rio Bento Gomes (MT)..... 40

Foto 2 Medidas de parâmetros físico-químicos e filtragem de amostras de água..... 41

Foto 3 Volume de água durante os dois períodos de coleta..... 91

Foto 4 Rio dos Macacos no períodos de coletas..... 103

SUMÁRIO

Agradecimentos..... i
Resumo..... iii
Abstract..... iv
Lista de Figuras..... v
Lista de Tabelas..... viii
Lista de Quadros..... x

APRESENTAÇÃO..... 1

CAPÍTULO I
A BACIA DO ALTO PARAGUAI E O PANTANAL

INTRODUÇÃO..... 3

I - QUADRO GEOGRÁFICO..... 6
A - Área de estudo..... 6
B - Geologia e Relevo..... 8
1 - Geologia..... 8
2 - Relevo..... 12
C - Clima e Hidrografia..... 16
1 - Clima..... 16
2 - Hidrografia..... 17
D - Solos e Vegetação..... 20
1 - Solos..... 20
2 - Vegetação..... 21
E - Uso e Ocupação do Solo..... 24

II - AS COMPARTIMENTAÇÕES DO PANTANAL..... 26

III - CONSIDERAÇÕES GERAIS..... 32

CAPÍTULO II
AS ÁGUAS QUE ENTRAM NO PANTANAL

INTRODUÇÃO..... 34

I - MATERIAIS E MÉTODOS..... 34

A - Conjunto 1: Campo e Laboratório..... 34

1 - Elaboração da rede de drenagem..... 34

2 - Rios amostrados..... 35

3 - Coletas e análises de águas no campo..... 38

4 - Análises das águas em laboratório..... 41

B - Conjunto 2: Tratamentos Estatísticos..... 41

1 - Princípios e procedimentos..... 41

2 - Análise em componentes principais (ACP)..... 42

3 - Análise em fatores de correspondência (AFC)..... 43

II - AS ÁGUAS NA ESTAÇÃO SECA..... 44

A - Análise em Componentes Principais (ACP)..... 47

1 - Estatística descritiva dos dados brutos..... 47

2 - ACP 1..... 48

a) Primeiro plano fatorial da ACP 1..... 49

b) Segundo Plano Fatorial da ACP 1..... 50

3 - Estatística descritiva com dados modificados..... 52

4 - ACP 2..... 55

a) Primeiro plano fatorial da ACP 2..... 55

b) Segundo plano fatorial da ACP 2..... 57

B - Análise em Fatores de Correspondência (AFC)..... 59

1 - Primeiro plano fatorial da AFC..... 59

2 - Segundo plano fatorial da AFC..... 60

C - Considerações sobre a ACP 2 e a AFC..... 61

III - AS ÁGUAS NA ESTAÇÃO ÚMIDA..... 62

A - Análise em Componentes Principais (ACP)..... 66

1 - Estatística descritiva com dados brutos..... 66

2 - ACP 3..... 70

a) Primeiro plano fatorial da ACP 3..... 70

b) Segundo plano fatorial da ACP 3..... 72
3 - Considerações sobre a ACP 3..... 72

IV - AS ÁGUAS NAS ESTAÇÕES SECA E ÚMIDA..... 73
A - Análise em Componentes Principais (ACP) para as Estações Seca e Úmida..... 75
1 - ACP 4..... 75
a) Primeiro plano fatorial da ACP 4..... 75

V - CONSIDERAÇÕES GERAIS..... 77

CAPÍTULO III
AS ÁGUAS E SUAS EXPRESSÕES ESPACIAIS

INTRODUÇÃO..... 78

I - IDENTIFICAÇÃO DOS PÓLOS..... 78
A - Princípios da Deconvolução pelo modelo EMMA (End-Members Mixing Analysis)..... 78
1 - Identificação dos pólos na estação seca..... 81
2 - Identificação dos pólos na estação úmida..... 83
B - Expressões Espaciais dos Pólos Químicos..... 87
1 - Carga iônica das águas..... 87
2 - Expressões espaciais dos pólos da estação seca..... 89
3 - Expressões espaciais dos pólos da estação úmida..... 91
4 - Reflexões sobre os reservatórios..... 94
a) Influência da litologia..... 94
b) Influência do uso e ocupação do solo..... 101

II - ESPACIALIZAÇÃO: UMA NOVA COMPARTIMENTAÇÃO DO PANTANAL..... 105
A - Fundamentos e Hipóteses de Trabalho..... 105
1 - Conservatividade dos elementos químicos..... 105
2 - Proporcionalidade entre vazão e área drenada..... 106
B - Área de drenagem e pontos de misturas..... 107

1 - Identificação dos pontos de misturas de águas..... 107
2 - Cálculo da composição da mistura..... 109
C - Representação Cartográfica..... 110
1 - **Discussão..... 113**

III - CONSIDERAÇÕES GERAIS..... 114

CAPÍTULO IV
INFLUÊNCIA DAS ÁGUAS NA PLANÍCIE: A SUB-REGIÃO DA NHECOLÂNDIA

INTRODUÇÃO..... 115

I - AS ÁGUAS NA NHECOLÂNDIA..... 115
A - Características das Águas..... 119
1 - Medidas no campo..... 119
2 - Medidas em laboratório..... 120
3 - Validação dos dados..... 122
B - Análises em Componentes Principais (ACP)..... 124
1 - Estatística descritiva com dados brutos..... 124
2 - ACP 5..... 125
a) Primeiro plano fatorial da ACP 5..... 125
b) Segundo plano fatorial da ACP 5..... 127

II - VARIABILIDADE QUÍMICA DAS ÁGUAS NA NHECOLÂNDIA..... 129
A - Análise da Composição Química das Águas..... 129
1 - Precipitação da calcita..... 129
2 - Controle do magnésio e do potássio..... 130
a) Magnésio..... 130
b) Potássio..... 131
3 - Comportamento do cloreto e do sulfato..... 132
a) Cloreto..... 132
b) Sulfato..... 133
4 - Outros processos e dispersão das amostras..... 134

B - Variabilidade intra-regional da Nhecolândia..... 134

III - CONSIDERAÇÕES GERAIS..... 136

CONCLUSÃO..... 138

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 143

APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

Este doutorado representa uma mudança de escala e de metodologia, e de algum modo um aprofundamento, das pesquisas que participei na Fazenda Nhumirim da Embrapa Pantanal (MS), das quais uma parte resultou em meu mestrado defendido em 2006. O objetivo do mestrado era fazer um mapeamento geofísico da condutividade elétrica do solo (CE) em três áreas distintas, formando uma seqüencia de três unidades de paisagens: banhado (baía/vazante), lagoa salina e lagoa salitrada, e sob as mesmas condições climáticas. Essas unidades apresentaram grandes variações de condutividade elétrica e de pH, decorrentes tanto das águas circulantes, quanto do tipo de solo presente em cada área. A coleta desses dados foi feita em malhas regulares de 10x10 metros, cujos pontos georeferenciados permitiram realizar uma espacialização dos resultados.

As pesquisas realizadas na Fazenda Nhumirim salientaram a necessidade de uma mudança de escala de abordagem, e estender os estudos para a composição química das águas que saem dos planaltos e entram na planície. A partir disto, elaborou-se o projeto do presente doutorado, que se insere, igualmente, num quadro maior de pesquisas sobre as águas e os solos no Pantanal. O principal objetivo deste trabalho é estudar, de um lado, a variabilidade da composição química das águas que entram no Pantanal provenientes dos planaltos que o circundam, e de outro, identificar as fontes de variabilidade química. O objetivo específico é testar uma compartimentação do Pantanal com base nas diferentes composições químicas das águas.

Este trabalho se organiza em quatro capítulos, a saber:

No primeiro capítulo apresenta-se o quadro geográfico da área de estudo, a Bacia do Alto Paraguai, e um inventário das diversas compartimentações do Pantanal propostas até o presente momento por diversos autores.

O segundo capítulo apresenta o estudo das águas que entram no Pantanal, os materiais e métodos utilizados, no campo e em laboratório, mas também as análises multivariadas usadas para tratamentos estatísticos dos dados, tais como:

Análise em Componentes Principais (ACP), e Análise em Fatores de Correspondência (AFC).

O capítulo três aborda os estudos que levaram à identificação de pólos, ou famílias químicas, das águas dos rios, e as análises utilizadas, como as de deconvolução pelo modelo EMMA (End-Members Mixing Analysis), que permitiram uma espacialização de tais pólos. Portanto, este capítulo é fechado por uma representação cartográfica das áreas de influências desses pólos químicos.

Por último, o capítulo quatro apresenta um teste de mudança de escala, isto é, da Bacia do Alto Paraguai para a Nhecolândia, para verificar o que acontece com as águas dos planaltos que atingem essa região.

Esta pesquisa se desenvolveu no quadro do Projeto FAPESP 2008/09086-7, e teve apoios institucionais e logísticos da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), sob Gestão da Magnífica Reitora Profª. Drª. Célia Maria da Silva Oliveira e do Pró-reitor de Pesquisa e Pós-graduação Prof. Dr. Dercir Pedro de Oliveira, bem como da Marinha Brasileira, o 6º Distrito Naval de Ladário (MS), sob gestão do Contra-Almirante Domingos Sávio Almeida Nogueira.

CAPÍTULO – I

A BACIA DO ALTO PARAGUAI E O PANTANAL

INTRODUÇÃO

A compreensão do funcionamento de zonas úmidas, naturais ou construídas, parece ser mais acessível para as de pequeno a médio porte (HAYASHI et al., 1998; BERZAS et al., 2000) do que para as de grande porte, como é o caso do Pantanal Mato-grossense. Efetivamente, dado o tamanho da superfície atingida pela inundação, a descrição e a análise dessas áreas envolvem a escolha de métodos que contemplem, simultaneamente, um apanhado global, ou geográfico, e uma compartimentação, ou cortes, desses ambientes.

Apesar de o Pantanal ser reconhecido como a maior zona úmida continental do planeta (POR, 1995; ASSINE, 2003; AB'SÁBER, 2006), pesquisas têm mostrado que em algumas de suas regiões, a evaporação se destaca como um dos principais processos de evolução da paisagem (BARBIERO et al., 2002). Estes autores calcularam que até 92% da variabilidade na composição química das águas de uma vasta região, como a baixa Nhecolândia, pode ser explicada pelo processo de evaporação. Consequentemente, a presença local de salinidade não pode ser atribuída a processos antigos, mas a uma dinâmica atual de funcionamento dessa região (Jornal da FAPESP, dezembro 2005), onde o déficit hídrico anual (P-ETP) é da ordem de 300 mm (ALFONSI e PAES de CAMARGO, 1986).

As águas superficiais submetidas à evaporação evoluem em uma via alcalina-carbonatada (VALLES et al., 1991), e favorecem a precipitação de argilas magnesianas, típicas de ambientes alcalinos concentrados (DARRAGI e TARDY, 1987; BIRSOY, 2002), como mostrou recentemente Furquim (2007) na Nhecolândia (MS). Além disto, o estudo do regime hídrico entre duas lagoas vizinhas indica que o processo de concentração é ainda hoje ativo (BARBIERO et al, 2007). As características morfológicas da cobertura pedológica no entorno das lagoas explicam a co-existência de lagoas salinas e não-salinas nesse ambiente, principalmente pela presença de horizontes endurecidos que funcionam, localmente, como soleiras hídricas (REZENDE FILHO, 2006; BARBIERO et al., 2008). Em outros termos, a concentração das águas pela evaporação produz acumulações de elementos químicos, mesmo daqueles que acima dos limites de toxicidade podem afetar seres vivos (BARBIERO et al., 2007). Portanto, nesta região é possível relacionar tipo de água circulante com mineralogia da fase sólida secundária do solo (FURQUIM et al., 2004 e 2008).

Uma das ferramentas utilizadas para discriminar e hierarquizar processos hidroquímicos e pedológicos hoje atuantes no Pantanal é o estudo da variabilidade química regional das águas (BARBIERO et al, 2002). Para isto é freqüente o uso de métodos geofísicos e geoestatísticos com base em indicadores físico-químicos, como medidas de condutividade elétrica (CE), pH, dentre outros. Essas medidas são quase imediatas e facilmente realizáveis no campo por meio de instrumentos geofísicos portáteis (BARBIERO et al, 2001a; REZENDE FILHO, 2006). O tratamento geoestatístico preconiza um mínimo de 80 pontos de observação, e coletas georeferenciadas de amostras (GASCUEL-ODOUX e BOIVIN, 1994).

Recentemente, novos critérios geoquímicos para discriminar a evolução das águas submetidas à evaporação foram propostos por Valles et al., (1991) e Barbiero et al., (2004), com base no modelo da Alcalinidade Residual, o chamado AR (DROUBI et al., 1980). Dois aspectos desses novos critérios chamam a atenção: (a) **um é qualitativo:** a evolução da água durante a evaporação depende do sinal positivo ou negativo da Alcalinidade Residual, que condiciona o tipo de precipitação secundária no solo (DOSSO, 1980; GUEDDARI, 1984). A partir disto distinguem-se 5 grandes famílias químicas de águas (Quadro 1), testadas por Gonzalez Barrios (1992) para confeccionar uma cartografia hidroquímica da Comarca Lagunera no México; (b) **outro é quantitativo:** a alcalinidade residual é uma grandeza conservativa, cujo aumento é proporcional à diminuição do volume da água durante sua concentração por evaporação. Conseqüentemente, a alcalinidade residual pode ser utilizada como um traçador da concentração (CHRISTOPHERSEN et al., 1992; RIBOLZI et al, 1996; CORNIELES, 1997; MOHAMEDOU et al., 1999; BARBIERO et al., 2001b e 2004).

Quadro 1: Tipos de famílias químicas das águas (BARBIERO et al., 2004, modificado de VALLES et al., 1991)

Alc < 0	**Alc > 0**			
Grupo Ácido	**Alc. – Ca < 0 Grupo Salino**		**Alc. – Ca > 0 Grupo Alcalino**	
	Alc. – Ca + SO_4 < 0	**Alc. – Ca + SO_4 > 0**	**Na – SO_4 < 0**	**Na – SO_4 > 0**
(1)	**(2)**	**(3)**	**(4)**	**(5)**
Família Ácida	**Família Salina Cálcica**	**Família Salina Sulfatada**	**Família Alcalina Sulfatada**	**Família Alcalina Carbonatada**

Alc. = alcalinidade (concentrações em meq/L)

Esses critérios ainda não foram aplicados na Geografia como uma ferramenta de espacialização de dados medidos no campo. Portanto, um dos objetivos deste trabalho, de ordem metodológica, é testá-los.

Para finalizar e parafraseando Ab'Sáber (2006), lembramos que os rios que chegam ao Pantanal provém dos planaltos e escarpas circundantes, de onde suas águas trazem cargas poluidoras, agrotóxicos e fertilizantes, adquiridas durante suas passagens por áreas agrícolas e urbanas em expansão. Dada a dificuldade de escoamento característica da drenagem no Pantanal, podem ocorrer processos acumulativos de poluição hídrica que vão afetar as águas das planícies inundáveis. Segundo o autor, *"um maior controle das condições das águas que entram no Pantanal Mato-grossense, a partir das passagens obsequentes dos rios nascidos nos planaltos, parece ser uma medida inadiável, para garantir uma maior integridade física, hidrogeoquímica e geoecológica para a diversidade biológica dos "pantanais"*, e aqui reside a principal justificativa do presente trabalho.

O objetivo geral deste trabalho é propor uma compartimentação do Pantanal com base em seu funcionamento atual. Os objetivos específicos são de ordem metodológica de um lado, testar o aspecto qualitativo do conceito de alcalinidade residual (AR) para discriminar diferentes famílias químicas das águas; de outro, estudar variáveis funcionais para identificar, hierarquizar e espacializar a variabilidade da composição química das águas. Este trabalho foi realizado nas escalas da Bacia do Alto Paraguai e da sub-região Nhecolândia (MS).

Sabe-se que as águas em um determinado ambiente são derivadas de diferentes fontes, em conseqüência podem apresentar diferentes composições químicas. Essas variações são resultantes não apenas das diferentes fontes de solutos, mas também das diferentes inter-relações entre reações físicas, como evaporação ou misturas de águas com composições diferentes; reações químicas, como precipitação e/ou dissolução de sais, interações diversas entre fases sólidas e líquidas; e reações bioquímicas, pela síntese de matéria orgânica, respiração e fotossíntese (HEM, 1985). O conjunto das fontes, e das reações, define as características físico-químicas da água de um reservatório. Estudar tais características é um pré-requisito para identificar a procedência da água e os processos responsáveis, no tempo e no espaço, por sua variabilidade. Daí as premissas gerais deste trabalho: **(a)** a água de um rio é uma mistura de águas

provenientes de diferentes reservatórios; **(b)** a carga de elementos em solução nos rios provém, em grande parte, das áreas-fontes do sistema de drenagem (FAURE, et al., 1967).

Com base nessas premissas foram formuladas as pesquisas que resultaram neste doutorado.

I – QUADRO GEOGRÁFICO

A – Área de estudo

A Bacia da Prata, a segunda maior Bacia da América do Sul depois da Amazônica, tem o Rio Paraguai como um dos principais tributários, e uma área total de 3.100.000 km².

A chamada Bacia do Alto Paraguai é definida pelo trecho compreendido entre as nascentes do Rio Paraguai e a confluência deste com o Rio Apa, nas coordenadas geográficas de 14º e 22º de latitude Sul, e de 53º e 59º longitude Oeste.

No Brasil, os seus limites são dados pela Chapada dos Parecis e trechos da Província Serrana ao norte, por partes do Planalto dos Guimarães a nordeste; pelas bordas da Bacia do Rio Paraná a leste; pela Serra de Maracaju a sudeste; pelo Rio Paraguai a oeste; e por fim, seu limite sul se faz ao longo do Rio Apa (ALVARENGA et al, 1984). Ainda segundo este autor, sua área de drenagem é de aproximadamente 397.760 km², com o formato de um imenso anfiteatro, e altitudes que variam de 80 a 1065 metros. Ela abrange três macrorregiões fisiográficas: os Planaltos, com altimetria entre 250 e 1065 metros em ponto isolado do maciço do Urucum; as Depressões, entre 150 a 250 metros; e a Planície do Pantanal, com altitudes de 80 a 150 metros (Figura 1).

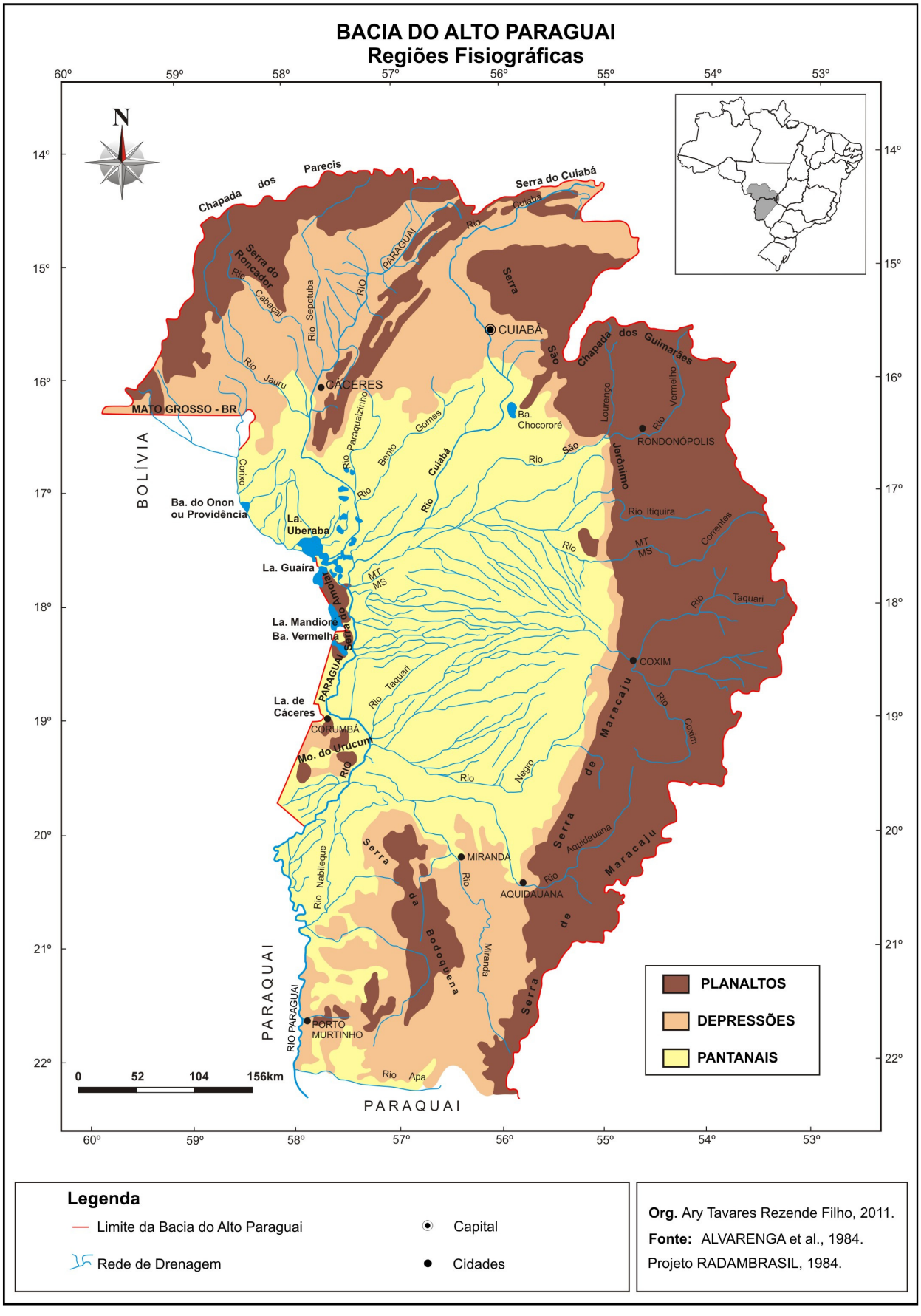


Figura 1: Mapa das Regiões Fisiográficas da Bacia do Alto Paraguai

B – Geologia e Relevo

A evolução da geologia e do relevo da Bacia do Alto Paraguai remonta ao Terciário, e integra o surgimento da Depressão do Alto Paraguai e da Planície do Pantanal. As primeiras unidades formadas na região fazem parte do chamado "Craton Amazônico", descrito por Almeida (1978), que data do Pré-Cambriano Inferior a Médio, ou Proterozóico Médio (DEL'ARCO et al, 1982). Para alguns autores, essas áreas funcionavam, no Cretáceo, como divisores de águas entre as Bacias do Paraná e do Chaco (ALMEIDA, 1965; AB'SÁBER, 1988, ASSINE, 2003).

1 – Geologia

A origem e as etapas evolutivas da Bacia do Alto Paraguai ainda não estão totalmente esclarecidas, mas se integram ao quadro geotectônico sul-americano. Neste quadro o Brasil ocupa, quase inteiramente, uma área cratônica, e participa com o Pantanal, das bacias marginais pericratônicas, como os Pampas argentino, o Chaco boliviano e os "llanos" colombiano e venezuelano.

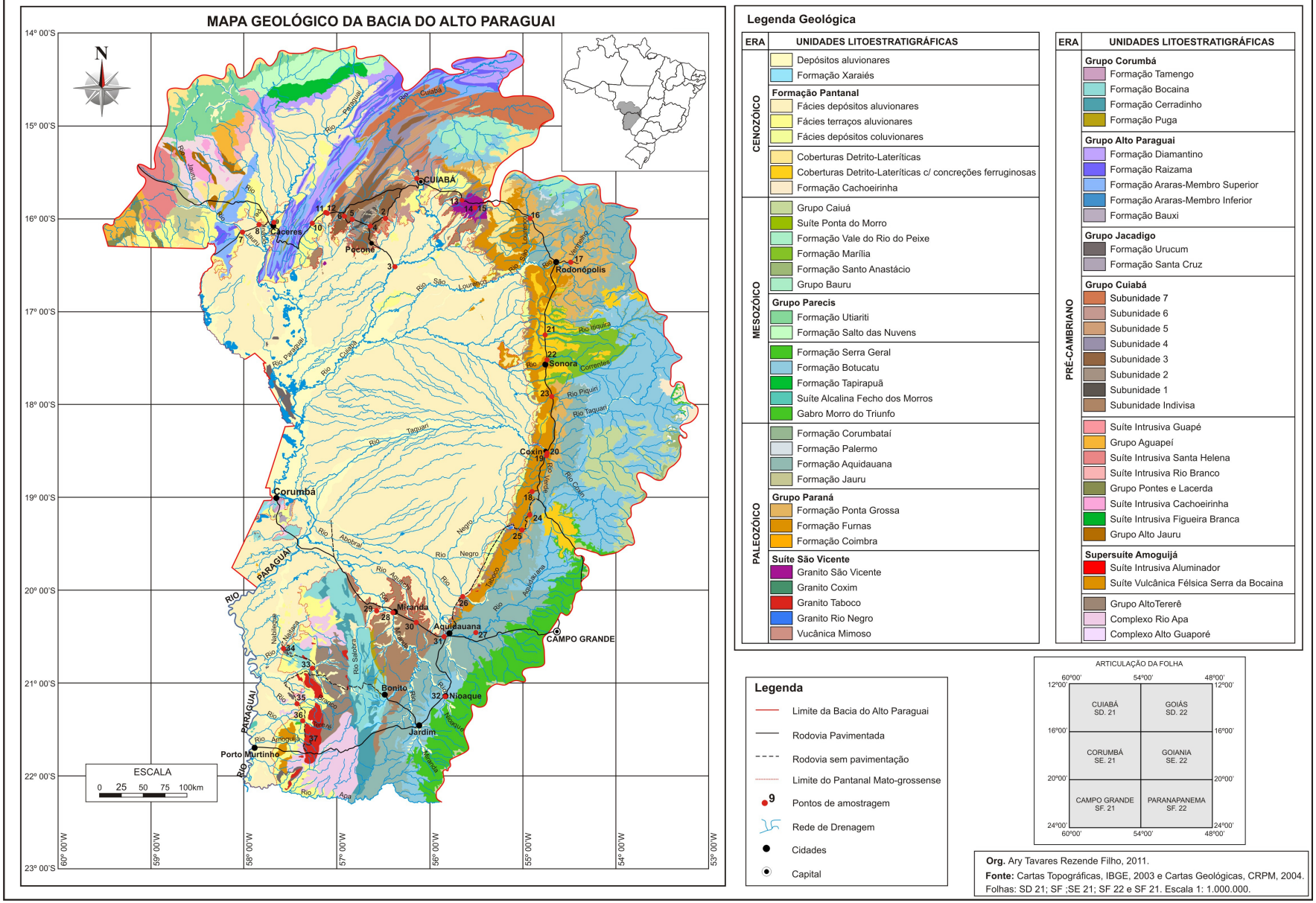
Há um consenso em associar essa origem aos soerguimentos epirogenéticos ligados à fase orogênica andina no final do Terciário, que formou várias bacias ou fossas em diversas áreas da Plataforma Brasileira, como a Depressão do Guaporé e a Depressão do Rio Paraguai que engloba, em particular, as Planícies e Pantanais Mato-grossenses (FREITAS, 1951; ALMEIDA, 1965 e 1968; DNOS, 1974; ORELLANA, 1979; BARROS et al., 1982; DEL'ARCO et al., 1982; ARAUJO et al, 1982; AB'SÁBER, 1988; POR, 1995; ASSINE, 2003; AB'SÁBER, 2006). Considera-se que na Bacia do Alto Paraguai uma de suas principais áreas abatidas é a chamada Depressão do Rio Paraguai, onde importantes falhamentos, apesar de limitados no espaço, afetaram o eixo da abóbada regional de escudo (ALMEIDA, 1965; AB'SÁBER, 1988 e 2006). Os estudos do embasamento magnético da bacia realizados por Hales (1981) sugerem a existência de um sistema de *grábens* e *horstes*. Os controles estruturais, incluindo-se subsidências recentes, aparecem no traçado de alguns trechos da rede de drenagem, como no Rio Paraguai ao sul da Província Serrana, e no comportamento direcional de alguns outros rios (DEL'ARCO et al., 1982). Há indícios de que os processos de subsidência que têm afetado o

arcabouço estrutural da planície do Pantanal, não sejam apenas de ordem flexural, mas também ligados a falhamentos (SHIRAIWA, 1994; USSAMI et al. 1999).

Na borda ocidental da bacia, falhas favorecem o afloramento de formações Pré-Cambrianas e definem as principais direções estruturais NE e NW. A margem oeste da planície aluvial na sub-região Paraguai-Paiaguás também é condicionada por falhas que separam, de forma abrupta, planície e planalto residual do Urucum-Amolar (ASSINE, 2003). Na planície também foram registradas falhas ativas, associadas ao Lineamento Transbrasiliano (TLB), que a atravessa obliquamente na direção NE-SW, e que cruza a América do Sul do Nordeste do Brasil até a Bacia do Chaco no Paraguai, (SHOBBENHOUSE et al., 1984, apud SOARES et al.1998).

Portanto, o arcabouço geológico da Bacia do Alto Paraguai compreende unidades representativas da evolução litoestratigráfica ocorrida desde o Arqueano até o Holoceno, sendo que as mais antigas se inserem no complexo cristalino brasileiro, substrato no qual ocorreram os sucessivos eventos geológicos (ALMEIDA, 1945; PCBAP, 1997). Em suas bordas foram mapeadas 32 formações do Pré-Cambriano, 12 do Paleozóico, e 13 do Mesozóico. Na planície mapearam-se 8 formações ligadas ao Cenozóico (Figura 2).

As formações do Pré-Cambriano Superior se situam sob extensos depósitos Quaternários, mas com importantes afloramentos rochosos observáveis: **(i) nas bordas da bacia**: ao norte, na Província Serrana, nas Serras do Aguapei e Santa Barbara, no Morro do Triunfo; a leste, nos limites entre planaltos e planícies associadas às subunidades indivisas do Grupo Cuiabá, e ao sul, na Serra da Bodoquena; **(ii) na planície**: nos vários Morros Residuais (Conselho, Pugo, Grande, Coimbra), no Maciço Residual de Urucum-Amolar, nas Morrarias (Santa Cruz, Zanetti, Rabichão), e no Domo da Baía Vermelha, dentre outros.



Legenda Geológica

ERA	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS
CENOZÓICO	Depósitos aluvionares
	Formação Xaraiés
	Formação Pantanal
	Fácies depósitos aluvionares
	Fácies terraços aluvionares
	Fácies depósitos coluvionares
	Coberturas Detrito-Lateríticas
	Coberturas Detrito-Lateríticas c/ concreções ferruginosas
	Formação Cachoeirinha
MESOZÓICO	Grupo Caiuá
	Suíte Ponta do Morro
	Formação Vale do Rio do Peixe
	Formação Marília
	Formação Santo Anastácio
	Grupo Bauru
	Grupo Parecis
	Formação Utiariti
	Formação Salto das Nuvens
	Formação Serra Geral
	Formação Botucatu
	Formação Tapirapuã
	Suíte Alcalina Fecho dos Morros
	Gabro Morro do Triunfo
PALEOZÓICO	Formação Corumbataí
	Formação Palermo
	Formação Aquidauana
	Formação Jauru
	Grupo Paraná
	Formação Ponta Grossa
	Formação Furnas
	Formação Coimbra
	Suíte São Vicente
	Granito São Vicente
	Granito Coxim
	Granito Taboco
	Granito Rio Negro
	Vucânica Mimoso

ERA	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS
PRÉ-CAMBRIANO	**Grupo Corumbá**
	Formação Tamengo
	Formação Bocaina
	Formação Cerradinho
	Formação Puga
	Grupo Alto Paraguai
	Formação Diamantino
	Formação Raizama
	Formação Araras-Membro Superior
	Formação Araras-Membro Inferior
	Formação Bauxi
	Grupo Jacadigo
	Formação Urucum
	Formação Santa Cruz
	Grupo Cuiabá
	Subunidade 7
	Subunidade 6
	Subunidade 5
	Subunidade 4
	Subunidade 3
	Subunidade 2
	Subunidade 1
	Subunidade Indivisa
	Suíte Intrusiva Guapé
	Grupo Aguapeí
	Suíte Intrusiva Santa Helena
	Suíte Intrusiva Rio Branco
	Grupo Pontes e Lacerda
	Suíte Intrusiva Cachoeirinha
	Suíte Intrusiva Figueira Branca
	Grupo Alto Jauru
	Supersuíte Amoguijá
	Suíte Intrusiva Aluminador
	Suíte Vulcânica Félsica Serra da Bocaina
	Grupo AltoTererê
	Complexo Rio Apa
	Complexo Alto Guaporé

Legenda

- Limite da Bacia do Alto Paraguai
- Rodovia Pavimentada
- Rodovia sem pavimentação
- Limite do Pantanal Mato-grossense
- 9 Pontos de amostragem
- Rede de Drenagem
- Cidades
- Capital

ARTICULAÇÃO DA FOLHA

60°00' 54°00' 48°00' | 12°00' 16°00' 20°00' 24°00'

CUIABÁ SD. 21 | GOIÁS SD. 22 | CORUMBÁ SE. 21 | GOIANIA SE. 22 | CAMPO GRANDE SF. 21 | PARANAPANEMA SF. 22

Org. Ary Tavares Rezende Filho, 2011.

Fonte: Cartas Topográficas, IBGE, 2003 e Cartas Geológicas, CRPM, 2004. Folhas: SD 21; SF ;SE 21; SF 22 e SF 21. Escala 1: 1.000.000.

Figura 2: Mapa Geológico da Bacia do Alto Paraguai

Em particular, ao norte da bacia, a Província Serrana vem sendo esculpida em rochas do Pré-Cambriano Superior ligadas, sobretudo, às Formações Araras, Raizama e Diamantino do Grupo Alto Paraguai compostas de rochas como granitos, gnaisses, xistos, calcários calcíticos e dolomíticos, arenitos, arcósios, siltitos, folhelhos, e secundariamente, à Formação Puga do Grupo Corumbá, com siltitos e margas. Ao sul, o planalto da Bodoquena apresenta rochas do Pré-Cambriano Inferior, pertencentes ao Complexo Rio Apa, composto de micaxistos, quartizitos anfibolíticos, anfibolito, biotita gnaisse, gnaisses graníticos, que sustentam os relevos escarpados de sua borda oeste. Já nas superfícies mais dissecadas, com formas convexas, aparecem rochas calcárias e mármores pertencentes à Formação Bocaina, e nas superfícies pediplanadas, rampeadas, sobressaem rochas do tipo arenito, arcóseo e folhelho da Formação Cerradinho, ambas pertencentes ao Grupo Corumbá (ALVARENGA, et al., 1982 e 1984; PCBAP, 1997).

Na borda oeste da bacia, no Maciço Urucum-Amolar, aparece o Grupo Jacadigo, cujas Formações Urucum e Santa Cruz, do final do Pré-Cambriano Superior, apresentam arcóseos calcíferos e/ou ferruginosos e manganesíferos, grauvacas, paraconglomerados, siltitos, jaspilitos ferruginosos, hematita, arenitos e siltitos que se assentam diretamente sobre granitos e gnaisses do chamado “Complexo Fundamental” (VALVERDE, 1972, ALVARENGA et al., 1982 e 1984). Em sua borda leste, nos planaltos do Taquari-Itiquira e Maracaju-Campo Grande, ocorrem seqüências: **(i)** principalmente paleozóicas da Formação Aquidauana, e com menor expressão, as do Grupo Paraná, em especial as Formações Furnas e Ponta Grossa, basicamente compostas de arenitos, siltitos, argilitos, folhelhos e; **(ii)** seqüências mesozóicas do Grupo São Bento com basaltos e arenitos diretamente sobre rochas cristalinas Pré-Cambrianas.

A Depressão apresenta litologias dos Grupos: **(i)** Cuiabá, com metaconglomerados, metarenitos, quartzitos, filitos, xistos; **(ii)** Aguapei, com metarenitos, metasiltitos, filitos, ardósea; e **(iii)** da Formação Araras, com calcários dolomíticos e calcíticos, margas, siltitos, todos eles do Pré-Cambriano. Além dessas também ocorrem rochas Pleistoceno-Holocênicas da Formação Pantanal, composta por alternâncias de camadas arenosas, síltico-argilosas e argilosas, inconsolidadas ou semi-consolidadas (DEL’ARCO et al, 1982). Durante o Cretáceo Superior a Depressão sofreu processos de afundamentos tectônicos, que

facilitaram a erosão das rochas Pré-Cambrianas do Grupo Cuiabá, e de rochas Paleozóicas do Grupo Paraná (ALVARENGA et al., 1982 e 1984).

O embasamento da planície é formado, principalmente, de rochas metamórficas de baixo-grau, metarenitos, quartzitos, filitos, xistos, e de intrusões como as Suítes Intrusivas São Vicente e Mimoso do Grupo Cuiabá, do final do Pré-Cambriano e início do Paleozóico (PCBAP, 1997; ASSINE, 2003). Esse embasamento é recoberto por sedimentos, cuja espessura máxima encontrada é de cerca de 550 metros, inferido a partir de dados sísmicos (USSAMI et al., 1999), e pelas perfurações feitas pela Petrobrás (DNOS 1966/72). O início dessa sedimentação, relacionado ao Plioceno, não é precisamente definido, pois faltam dados cronoestratigráficos, além da subsidência e sedimentação serem ainda ativas (DEL'ARCO et al., 1982; ALVARENGA et al., 1982 e 1984; ASSINE, 2003).

Os levantamentos geológicos regionais em áreas adjacentes à Depressão do Rio Paraguai, e em parte dela sob a denominação de Formação Pantanal, indicam a presença de sedimentos colúvios-aluviais, arenosos e conglomeráticos, nas áreas de inundações, e de depósitos aluvionais recentes, areno-siltosos, distribuídos de forma contínua na planície, que se estende por 400 km de extensão e 250 km de largura (DEL'ARCO et al., 1982). Além dos sedimentos aluvionares do "pantanal", Almeida (1964 e 1965) também identificou depósitos de leques aluviais, de taludes e lateritas ferruginosas, salientando que essas acumulações, nas áreas não inundáveis circunvizinhas, originaram-se sob condições climáticas distintas da atual, provavelmente no Quaternário Antigo.

2 – Relevo

A morfologia da Bacia do Alto Paraguai revela tanto atividades tectônicas, quanto processos de dissecação e sedimentação dos rios obsequentes e subsequentes que drenam a sua área. O relevo da planície do Pantanal também é ligado à tectônica, que é tida como responsável pelos níveis de base locais, pelos gradientes topográficos, e pelos encaixes, e estrangulamentos, de alguns cursos de rios, em especial o do Paraguai, principalmente na borda oeste da bacia (ALMEIDA, 1945, 1946 e 1948; AB'SÁBER, 1968; VALVERDE, 1972; ROSS e SANTOS, 1982; ALVARENGA et al, 1984; AB'SÁBER, 1988; ASSINE, 2003).

As cotas altimétricas do relevo da Bacia do Alto Paraguai vão de 80 a 1.065 metros, distribuídas por três regiões fisiográficas: **(i)** Planaltos, **(ii)** Depressões, e **(iii)** Planícies. Dada as divergências que se percebe na literatura sobre as cotas altimétricas que definem as unidades fisiográficas da Bacia do Alto Paraguai (ALVARENGA et al, 1984), optou-se neste trabalho em manter as cotas de altitudes definidas pelo Projeto RADAMBRASIL (1984), isto é, os Planaltos entre as cotas de 250 e 1.065 metros, as Depressões entre as de 150 e 250 metros, e as Planícies ou Pantanais entre as cotas de 80 e 150 metros.

Um dos primeiros mapeamentos geomorfológicos realizados na bacia foi o do Projeto RADAMBRASIL (1982), que identificou 13 unidades distribuídas em três compartimentos principais (Figura 3), a saber:

(i) os Planaltos

A Depressão do Rio Paraguai e a Planície são cercadas por planaltos. Ao norte, o Planalto dos Parecis se configura como o grande divisor de águas entre as bacias hidrográficas da Amazônica e do Alto Paraguai. Ele apresenta relevo dissecado, cujos topos são, em sua maior parte, convexos, e limitados por escarpas estruturais, mas também amplos interflúvios com topos aplainados a tabulares (FRANCO e PINHEIRO, 1982; ALVARENGA et al, 1982 e 1984; PCBAP, 1997).

Os Planaltos dos Guimarães, Taquari-Itiquira, Caiapônia e Maracaju-Campo Grande constituem os grandes divisores de águas entre as bacias do Paraná e do Alto Paraguai. Esse conjunto de planaltos limita-se com as depressões por escarpas estruturais e frentes de cuestas. No reverso da cuesta, na serra de Maracaju, o relevo é mais dissecado, a altimetria mais elevada, e os interflúvios são amplos e aplanados. Em suas porções mais rebaixadas aparecem colinas e interflúvios tabulares.

Os Planaltos isolados, com características de relevos residuais, como a Província Serrana, Planalto da Bodoquena, Planaltos Residuais do Urucum-Amolar e Planaltos Residuais do Alto Guaporé, são esculpidos, ou modelados, em rochas Pré-Cambrianas. Destaca-se a Província Serrana com direção estrutural dominante NE-SO, com escalonamentos em cristas assimétricas, paralelas e alongadas, em concordância com estruturas anticlinais. A Serra da Bodoquena é constituída de relevos isolados sob forma de pequenas serras, cujas bordas oeste são escarpadas.

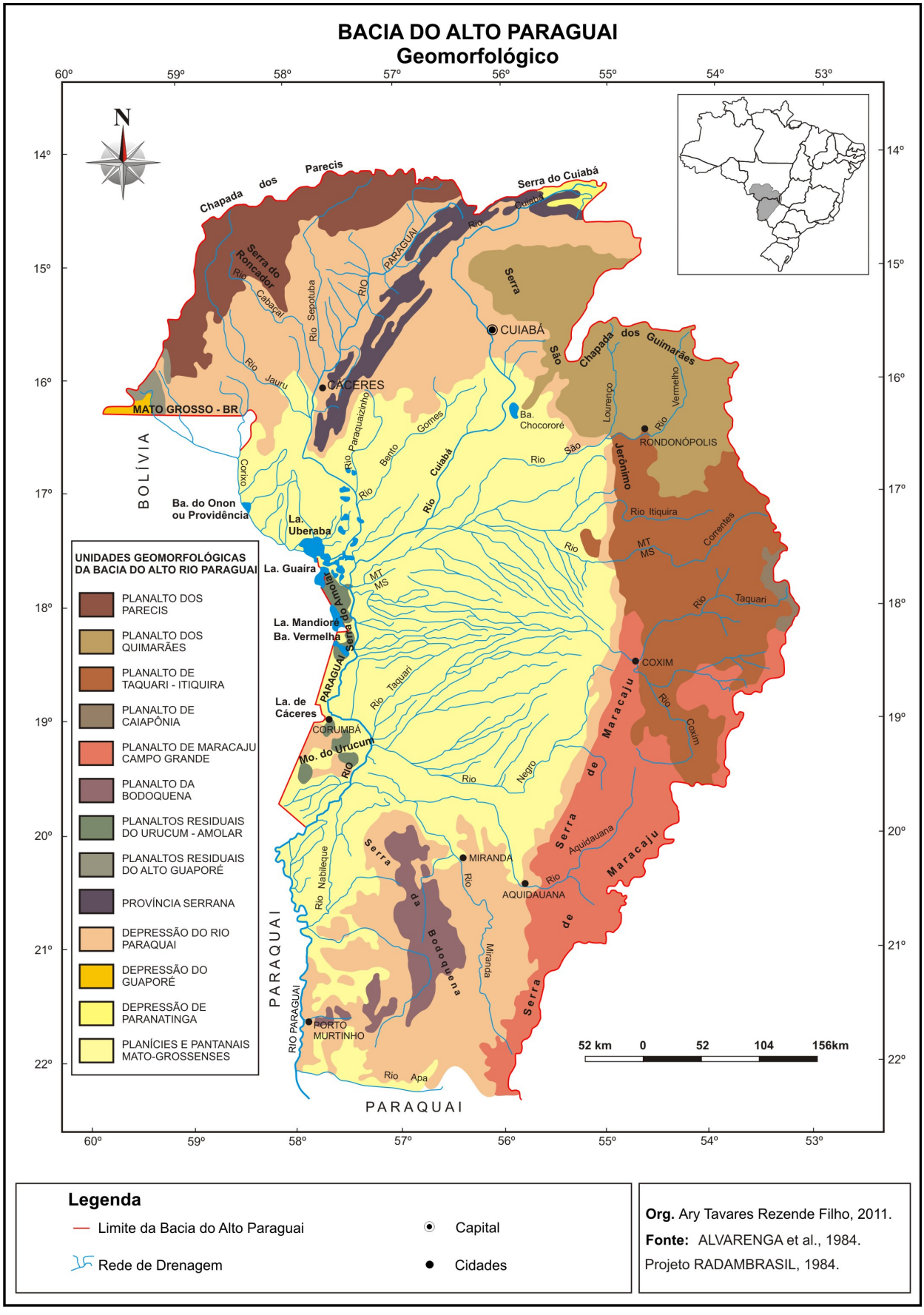


Figura 3: Mapa Geomorfológico da Bacia do Alto Paraguai

(ii) as Depressões

Os limites das depressões com a planície são marcados pela cota de 150 metros, e com os planaltos pela cota de 250 metros. A maior parte dessa unidade é denominada de Depressão do Rio Paraguai, e apresenta extensas superfícies aplanadas, com trechos em forma de pedimentos muito dissecados e topos planos, a convexos, localmente, em cristas (MELO et al, 1978; KUX et al, 1979; ROSS e SANTOS, 1982; FRANCO e PINHEIRO, 1982; ALVARENGA et al, 1982 e 1984). Em termos de área, essa unidade geomorfológica é bastante irregular, pois bastante extensa ao norte e ao sul, respectivamente no entorno da província Serrana e da Serra da Bodoquena, e extremamente estreita em toda a faixa leste, onde coincide com as escarpas das bordas dos planaltos. A oeste, ela aparece em pontos isolados, ocupando áreas muito restritas ao redor dos morros de Urucum e Amolar.

As Depressões do Guaporé e de Paranatinga também ocupam áreas muito restritas nos extremos noroeste e nordeste da bacia. A Depressão do Guaporé corresponde ao pediplano centro ocidental brasileiro, com formas dissecadas e topos tabulares (MELO et al, 1978). Já a chamada Depressão Interplanáltica de Paranatinga, uma extensa superfície rebaixada entre a Província Serrana e o Planalto dos Parecis, apresenta cotas mais elevadas, entre 450 a 500 metros e, portanto, fora das cotas que definem as Depressões.

(iii) as Planícies

A planície apresenta altimetrias de 80 metros nas margens do rio Paraguai, e de 150 metros junto às Depressões. Ela perfaz uma largura média de 200 a 250 km no sentido leste-oeste, e de 450 a 500 km no sentido norte-sul (ALVARENGA, 1984).

As dimensões da planície combinadas à rede fluvial que nela se instalou têm favorecido o desenvolvimento de uma complexa morfologia fluvial, muitas vezes caracterizada pela presença de leques aluviais, que ainda constituem sistemas deposicionais ativos, e dos quais o mais notável é o do Rio Taquari. A sedimentação atual ocorre principalmente na planície meandrante do Rio Paraguai, e nas bordas dos leques do Cuiabá e do São Lourenço, e nos lobos distributários atuais do leque do Taquari, áreas sujeitas a grandes inundações (ASSINE, 2003). Nos períodos de cheias o Rio Taquari exibe padrões distributários

de drenagem, e muitos pontos de avulsão tal como o Rio Cuiabá. Há uma grande migração lateral dos canais dos rios, responsável por sucessivos canais abandonados, mas também por braços de rios, corixos, vazantes e lagoas. Estas, em particular, apresentam formas e dimensões variadas, das quais muitas ainda são conectadas ao sistema fluvial, e outras não. As lagoas podem facilmente isolar-se e tornar-se circulares, atingindo, às vezes, isolamento completo que facilita a concentração de sais (AB'SÁBER, 1968 e 2006). Além dessas aparecem outras formas ligadas à morfologia fluvial como os terraços.

C – Clima e Hidrografia

1 – Clima

A Bacia do Alto Paraguai se insere no Centro Oeste brasileiro que é considerado um centro térmico de ação negativa, depressionaria, da circulação geral da atmosfera no continente Sul-americano. No transcorrer do ano, duas características bem distintas se instalam, uma é influenciada pelas altas pressões do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, responsável pela estação seca no outono e inverno, a outra é influenciada pela Zona de Convergência Intertropical (CIT) responsável pela estação chuvosa na primavera e verão (NIMER, 1989; ZAVATINI, 1990; HUBERT e MENDONÇA, 1990; SETTE, 2000). Em síntese, a circulação atmosférica da Bacia do Alto Paraguai é fortemente influenciada por massas de ar equatorial e tropical. O clima é do tipo tropical com duas estações alternadas, uma seca de abril a setembro, e outra úmida de outubro a março, correspondendo à categoria Aw de Köppen.

Em função das influências das massas de ar, as temperaturas são elevadas durante todo o ano. No verão, a temperatura no planalto é de 26°C, e de 29°C na planície. No inverno, as temperaturas variam de um ponto a outro da bacia, e atingem 20°C em suas bordas leste e sul, e 23°C no centro e ao norte (HASENACK et al, 2003). As incursões de fluxos polares atingem diretamente a Bacia quando se deslocam pela rota do interior, e propiciam quedas de temperaturas que atingem 10ºC em certas regiões, e condições ou mais chuvosas ou mais secas decorrentes dos sistemas atmosféricos a eles associados (ZAVATINI, 1990).

As médias pluviométricas anuais são de 800 a 1600 mm. Nos planaltos que circundam a Bacia do Alto Paraguai, o período chuvoso se estende por 04 meses, de novembro a fevereiro, e o seco por 3 meses de maio a julho, quando os termômetros atingem as menores temperaturas. A bacia é mais chuvosa nos extremos norte e sul e nos planaltos, com índices médios superiores a 1600 mm por ano, e mais seca na porção centro-oeste, com índices médios entorno de 800 mm por ano (SALVI-SAKAMOTO, 2001).

As enchentes ocorrem logo após o período de chuvas, isto é, de março a abril ao norte da bacia, e de maio a agosto ao sul (ALVARENGA et al, 1984).

A evapotranspiração média anual varia de 3,6 a 4,3 mm/dia. No período de novembro a janeiro, onde a precipitação excede a evapotranspiração em toda bacia, o excedente hídrico é da ordem de 20 mm em novembro, e de 150 mm em janeiro. Ocorre o inverso no período de abril a outubro, onde a evapotranspiração excede a precipitação. Consequentemente, o déficit hídrico é mais acentuado no período seco, de junho a agosto, com taxas que variam de 80 a 130 mm (PCBAP, 1997), e localmente, de 300 mm (ALFONSI e PAES de CAMARGO, 1986).

2 – Hidrografia

O Pantanal apresenta uma suave inclinação, da ordem de 0,3 a 0,5 m/km, de leste para oeste, e de 0,03 a 0,15 m/km de norte para sul (FRANCO e PINHEIRO, 1982). A planície é drenada pelo Rio Paraguai e seus afluentes, em sua maioria localizados na margem esquerda, de onde provém o caráter assimétrico da rede de drenagem (SILVA, 1986). Esses rios são submetidos a barragens decorrentes de discretos sistemas de deformações ligados a reativações recentes das falhas e fraturas das montanhas em blocos da região (AB'SÁBER, 1968).

Os maiores tributários do Rio Paraguai (Figura 4) que atravessam o Pantanal são: **(i)** na margem direita, os rios Jaurú e Padre Inácio, que nascem no Planalto dos Parecis, e drenam a porção noroeste do Pantanal; **(ii)** na margem esquerda, os rios Paraguaizinho e Bento Gomes nascem na Serra das Araras, na Província Serrana, e drenam as águas da porção norte da bacia. O sistema de drenagem do Cuiabá, principal afluente do Rio Paraguai, tem suas nascentes na Serra Azul, e drenam os planaltos localizados ao norte, nordeste e leste da bacia, e toda porção nordeste da

planície. O Taquari nasce na Serra Saudade, e antes de atingir a planície recebe águas do Rio Coxim, e ambos drenam a porção leste da bacia. O conjunto de rios, Negro, Miranda, Aquidauana, Aquidabã, Branco, Tereré e Amonguijá nascem nas Serras Maracaju – Campo Grande e Bodoquena e drenam os planaltos localizados a leste e sudeste do Pantanal. Na planície, o Rio Negro recebe águas do Taboco.

Nesse quadro ocorrem casos particulares de rios que nascem na planície, como o Abobral que drena uma área de inundação localizada entre o Negro e o Miranda, com descarga apenas sazonal. Há também braços de rios funcionais apenas nos períodos de cheias, como o Piraim, braço do Cuiabá, e o Paraguai-Mirim e Nabileque alimentados pelas águas de transbordamento do Paraguai.

O Paraguai se enquadra na categoria dos rios de planície, com perfil longitudinal contínuo e leito com declividade média muito fraca, de apenas 0,04 a 0,05 cm por quilômetro, caracterizando cursos lentos. Essas características são responsáveis por numerosos meandros e lagoas marginais alimentadas nas cheias pelo extravasamento dos rios, cujo espraiamento é muito lento (RADESCA, 1968). O regime do Rio Paraguai é complexo, e segundo este autor, é tipicamente tropical austral, com máxima de fevereiro e mínima de julho a agosto. Em Corumbá, a 740 km ao sul de Cáceres, observa-se um regime quase oposto, com máxima em julho, e mínima de dezembro a janeiro. O regime dos afluentes não justifica esse descompasso cujas verdadeiras causas são, de um lado, a inversão do extravasamento das águas do Paraguai para o Pantanal durante o verão, e de outro, a fraca declividade do leito do rio, que juntas retardam, de quatro a cinco meses, as máximas e mínimas no curso médio e inferior do Paraguai. Em seu curso superior e de seus afluentes, que também apresentam regime tropical austral, as cheias ocorrem de dezembro a março, ou de janeiro a março. Em síntese, é a morfologia da bacia, e não a repartição das chuvas, que controlam o volume das cheias que não ultrapassam, por exemplo, 3.700m³/s em Corumbá. Levando-se em conta a área da bacia, essa cifra é muito pequena, principalmente para cheias excepcionais (RADESCA, 1968). Essas condições hidrodinâmicas da planície refletem na capacidade dos rios em realizar trabalhos seja de remoção e transporte, seja de deposição de sedimentos. A instabilidade das calhas aluviais traduz-se por migrações dos leitos e formações de cordões aluviais observáveis nos diversos rios que compõem a Bacia do Alto Paraguai.

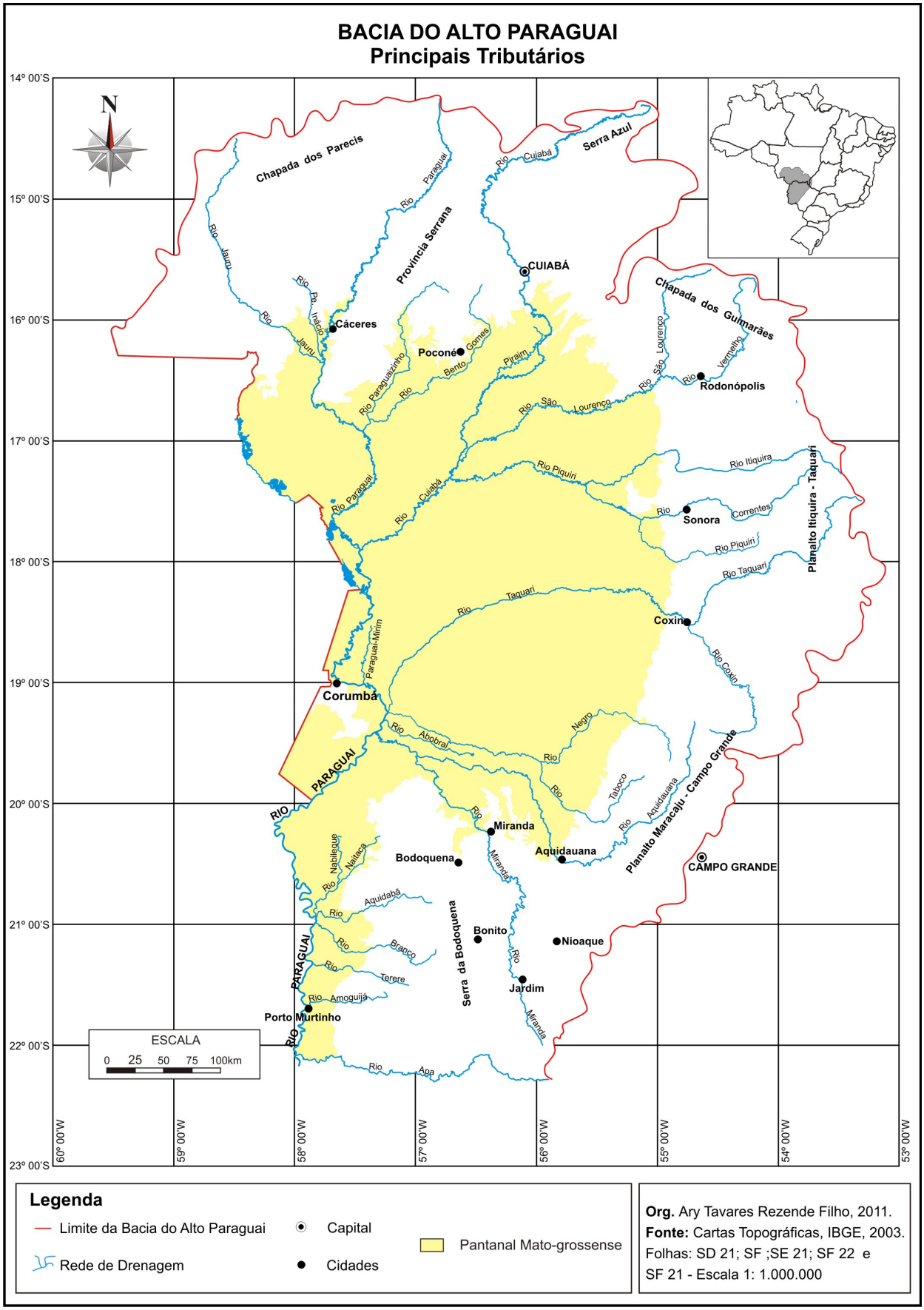


Figura 4: Mapa dos principais tributários da Bacia do Alto Paraguai que atravessam o Pantanal

O principal fator que controla as condições de escoamento é o contato brusco existente entre os planaltos e os terrenos planos da planície, onde fracas declividades, e localmente, soleiras estruturais, ou arrombados, impedem o escoamento das águas e freiam o trânsito de material sólido particulado que se acumula, ou sobre sedimentos pré-existentes, ou dentro das próprias calhas dos rios. Os espraiamentos podem ser ativos ou inativos, dependendo da cobertura vegetal, e apresentar marcas de leitos abandonados, alternados com braços defluentes ou confluentes descontínuos, denominados “vazantes” e “corixos”, colonizados por vegetação aquática, e alimentados por “baias”. As partes mais elevadas das acumulações, com poucos metros de altura, constituem as “cordilheiras”, que são alcançadas pelas águas somente nas cheias excepcionais (SILVA, 1986).

D – Solos e Vegetação

1 – Solos

A primeira aproximação das classes de solos na Bacia do Alto Paraguai foi feita na escala 1: 1.000.000 pelo Projeto RADAMBRASIL (1982). Com base nesse levantamento, Amaral Filho (1986) compilou as principais ocorrências de tipos de solos na planície do Pantanal. Mais recentemente, o Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (PCBAP, 1997) apresentou as principais classes de solos na bacia, a seguir apresentadas:

De um modo geral, nos planaltos foram mapeados solos cujas classes dominantes são representadas pelos Latossolos Roxos, Vermelhos-Escuros, e Vermelhos-Amarelos, Terra Roxa Estruturada, Podzólicos Vermelhos-Amarelos, Cambissolos e Areias Quartzosas. Nas área com relevo mais dissecado, predomínam os Podzólicos Vermelhos-Amarelos, e ocorrem manchas isoladas de solos litólicos e concressionários.

Nos Planaltos Residuais e na Província Serrana, ao norte, assim como a oeste na morraria do Urucum-Amolar, e ao sul, nos morros residuais da Serra da Bodoquena, predominam os Solos Litólicos, os Podzólicos Vermelhos-Amarelos e os Rendzinas.

Na Depressão do Rio Paraguai aparece duas faixas distintas de solos. A primeira, no sentido NE-SO ao longo da borda da Serra de Maracaju, onde ocorrem Latossolos Roxos, Vermelhos-Escuros, Podzólicos Vermelhos-Amarelos, Areias Quartizosas e Regossolos. A segunda, no limite da Depressão com a Planície, onde aparecem solos predominantemente hidromórficos, tais como Areias Quartzosas Hidromórficas, Lateritas Hidromórficas, Gleis Pouco Húmicos, Gleis Húmicos, Solos Aluviais, mas também Planossolos, e Vertissolos, solódicos ou não, Solonetz Solodizado e Solos Orgânicos.

A Planície, que ocupa toda parte oeste da bacia, é quase totalmente recoberta por solos hidromórficos, que refletem a deficiência da drenagem responsável por sua inundação periódica e prolongada, e por isto podem apresentar diferentes classes, isto é, Lateritas Hidromóficas, Podzólicos Vermelhos-Amarelos, Podzóis Hidromórficos, Areias Quartzosas Hidromórficas, Planossolos, Vertissolos, Solonetz Solodizados, Gleis Pouco Húmicos e Solos Aluviais. A principal diferença entre os solos que ocorre na planicie é relacionada à textura, pois em suas porções norte e sul eles são mais argilosos, e em sua porção central é mais arenoso.

2 – Vegetação

Na Bacia do Alto Paraguai predominam três grandes biomas brasileiros, Amazônico, Cerrado e Pantanal, com encraves de Mata Atlântica (IBGE, 2004/07). A distribuição desses biomas concorda, grosso modo, com as grandes unidades fisiográficas da bacia (ALVARENGA et al, 1984; PCBAP, 1997), isto é, (Figura 5):

(i) os Planaltos, de um modo geral, são revestidos por Florestas Estacional Semidecidual e Estacional Decidual, Savanas, e contatos Savana-Floresta Estacional, Floresta Ombrófila-Floresta Estacional. Nos Planaltos Residuais de Urucum-Amolar e da Bodoquena predomina cobertura vegetal típica de áreas de tensão ecológica e contato Savana-Floresta Estacional.

(ii) na Depressão do Rio Paraguai a cobertura vegetal engloba desde Florestas Estacional Decidual, Estacional, Cerradão, até Cerrado e Campo Sujo, e núcleos de vegetação Chaquena. Ao norte da bacia, na Depressão Interplanáltica de Paranatinga, ocorrem vegetações de Savana Parque, e a noroeste, na Depressão do Guaporé, Savana Arbórea Aberta e Cerradão.

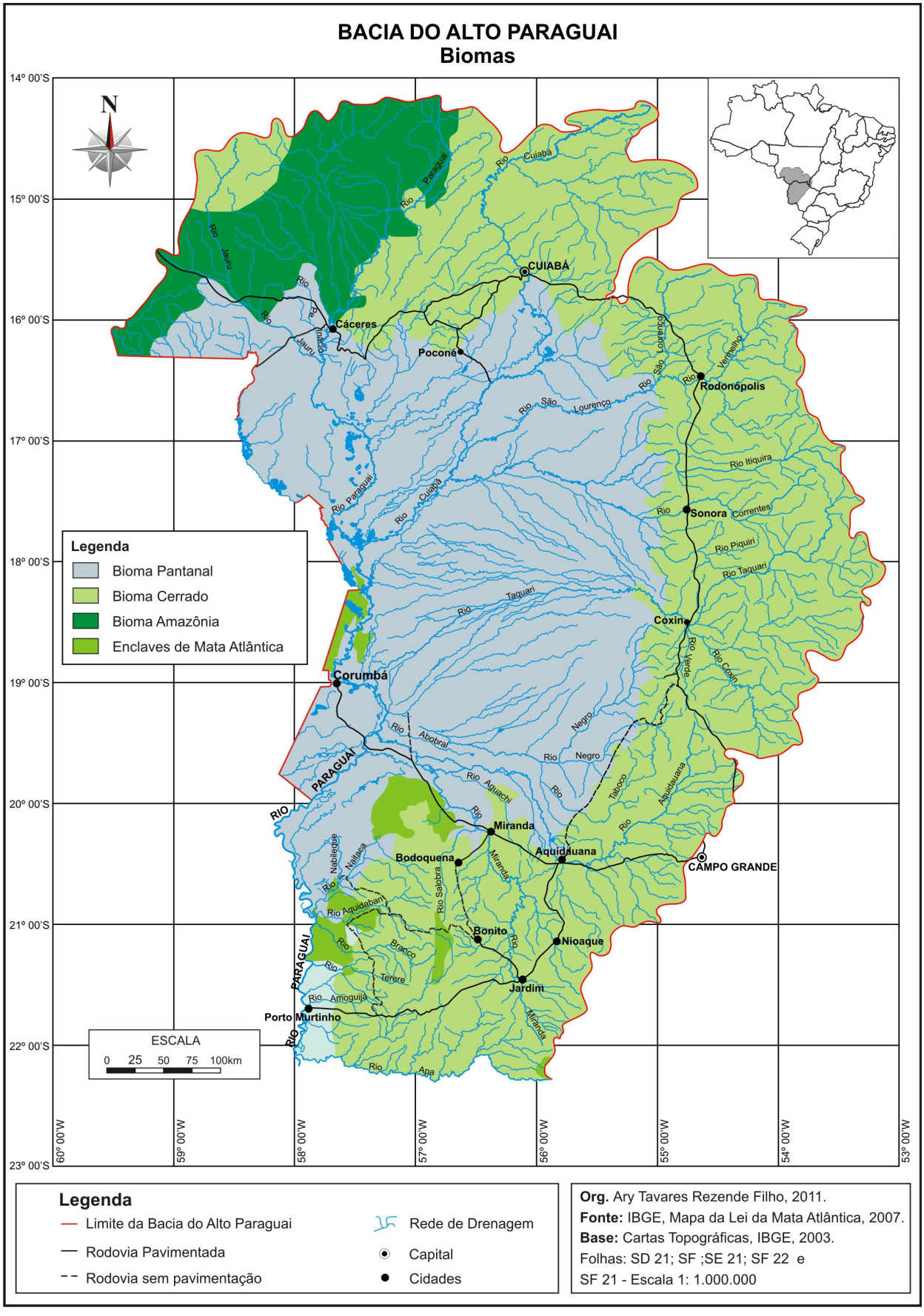


Figura 5: Mapa de localização dos biomas na Bacia do Alto Paraguai

(iii) a Planície do Pantanal é recoberta pelo chamado “Bioma Pantanal”. Tradicionalmente, o termo “Complexo Pantanal” é usado para denominar as diferentes fisionomias vegetacionais que ocorrem na planície, que englobam cactos e epífitas. A cobertura vegetal é composta por uma mistura de campo inundável, vegetação aquática, capão, mata ciliar, cerrado, cerradão e floresta seca. A distribuição espacial desse mosaico depende das diferenças de níveis topográficos, das características pedológicas, mas também do nível de alagamento (POTT e POTT, 2004).

Para compreender a diversidade fitogeográfica do Pantanal é necessário recorrer a um enfoque continental, pois dada sua localização nele se convergem quatro das principais províncias fitogeográficas da América do Sul (Figura 6). O norte apresenta influência da Amazônia, o leste a dos Cerrados, o sul a das Florestas Meridionais, e o oeste a do Chaco Boliviano e Paraguaio. A maior ou menor expressão dessas províncias no Pantanal vai depender dos condicionantes ambientais que atuam localmente (ADÁMOLI, 1986). Contudo, o Cerrado constitui a sua maior expressão fitogeográfica, que se alterna com o Cerradão, Campos Cerrados, Campos, Campos inundáveis, Mata de galeria (Figura 7), mosaico este que compõe o Complexo do Pantanal (COUTINHO, 1990).

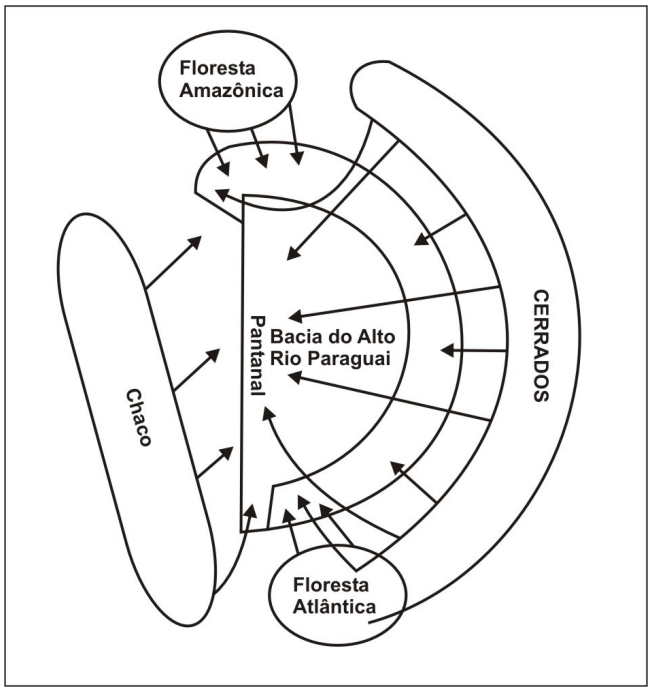


Figura 6: Bacia do Alto Paraguai e suas províncias fitogeográficas, segundo Adámoli, 1986

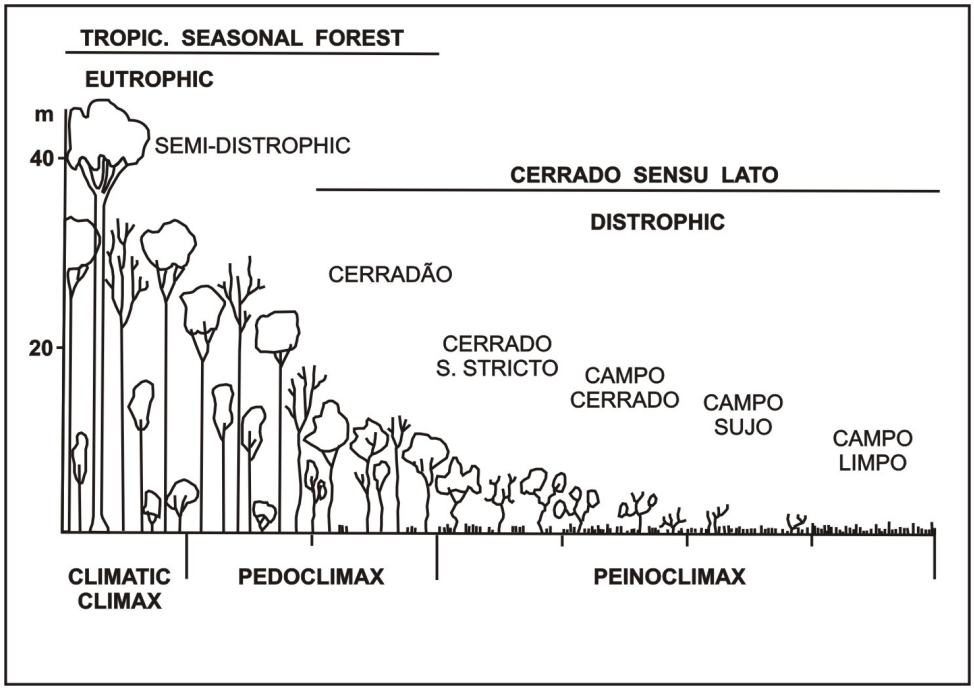


Figura 7: Sucessão vegetal do Cerrado, segundo Coutinho, 1990

As proporções de cada tipo de vegetação no Pantanal foram estimadas por Silva et al. (2000), que as colocou em 16 classes fitofisionômicas: cerradão (22,1%), campo seco (20,3%), cerrado (14,3%), campo inundado (10,8%), brejo (7,4%), mata semi-decídual (3,9%), cambarazal (3,1%), mata de galeria (2,4%), baceiro ou batume (2,4%), carandazal (2,3%), paratudal (1,7%), canjiqueiral (1,2%), pirizal/caetezal (1,2%), chaco (0,5%), babaçual (0,3%), buritizal (0,2%), e outras não classificadas (5,9%).

E – Uso e Ocupação do Solo

Nas últimas três décadas, a área ocupada pela Bacia do Alto Paraguai vem sofrendo as conseqüências da expansão da pecuária e da agricultura, sobretudo nos planaltos. O leito Rio do Taquari foi completamente desfigurado e se espraia por uma grande superfície, em decorrência do assoreamento provocado por intensos processos erosivos no planalto (PCBAP, 1997; ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2004; CI-Brasil/ECOA/AVINA/SOS-Pantanal/WWF-Brasil, 2009).

A partir do levantamento da cobertura vegetal e do uso do solo na bacia (Figura 8) observa-se:

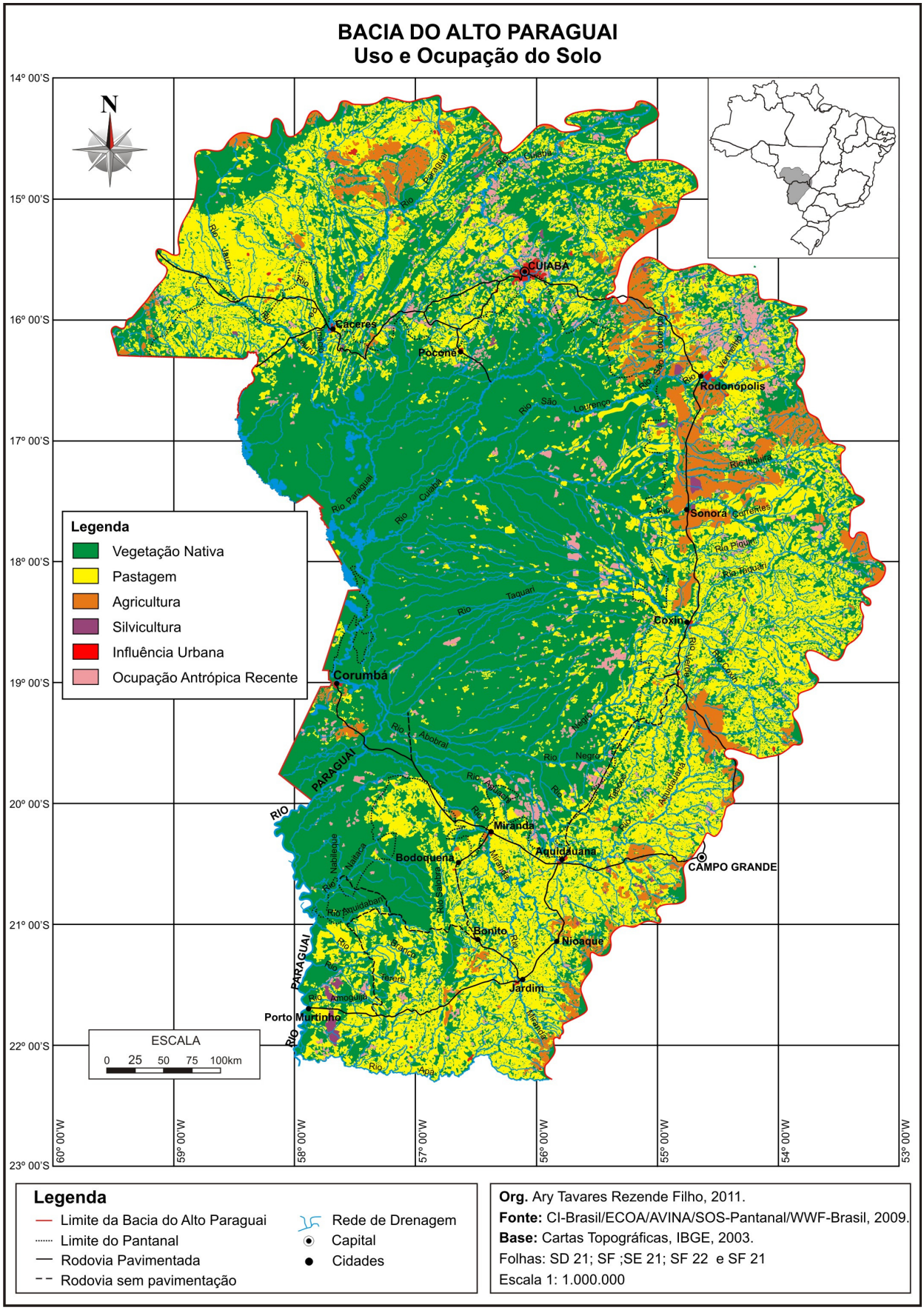


Figura 8: Mapa do uso e ocupação do solo da Bacia do Alto Paraguai

(i) no planalto, a vegetação nativa corresponde a 41,8% da área total, sendo a restante ocupada por pastagens 43,50 %, agricultura 9,9% e 4,8% somam alteração antrópica recente, influência urbana e silvicultura;

(ii) na planície a vegetação nativa ocupa 86,6% de sua área total, e 11,1% corresponde a pastagens, 2% alteração antrópica recente e influência urbana, e apenas 0,3% é ocupada pela agricultura (CI-Brasil/ECOA/AVINA/SOS-Pantanal/WWF-Brasil, 2009).

No planalto essas áreas são cultivadas com soja, milho, sorgo, algodão, arroz e cana de açúcar. Em particular, a cultura de cana de açúcar destina-se à produção de açúcar e álcool. As áreas desse plantio se encontram próximas às destilarias e usinas, como nos municípios de Nova Olímpia e Jaciara em Mato Grosso, e o de Sonora em Mato Grosso do Sul. Já o cultivo da soja, milho e algodão concentram-se, principalmente, em duas áreas na porção central do planalto, uma entre Rondonópolis (MT) e Sonora (MS) e outra, nas proximidades de São Gabriel do Oeste (MS).

II – AS COMPARTIMENTAÇÕES DO PANTANAL

A planície do Pantanal tem sido recortada em compartimentos homogêneos, definidos como sub-regiões. Já na década de 1940 apareceram as primeiras nomenclaturas subdividindo-o em regiões. A primeira foi apresentada por Moura (1943), que demonstrou ser o pantanal constituído por uma diversidade de tipos de vegetação passíveis de serem agrupadas em diferentes regiões, marcadas inclusive pela presença de divisores de águas. Por esse motivo ele utilizou nomes locais para denominá-las, ou seja: o Pantanal do Nabileque, o do Miranda, o do Taquari, o do São Lourenço, o do Mutum, dentre outros. Outra subdivisão foi proposta por Pereira (1944), que levou em conta aspectos florísticos, fitofisionômicos e posições relativas das principais sub-bacias do Rio Paraguai, a partir dos quais delimitou 10 Pantanais: o do Cuiabá; São Lourenço; Taquari; Rio Negro; Aquidauana; Miranda; Corumbá; Nabileque; Tereré; e Apa.

Estabelece-se um hiato entre os anos 40 e 60 onde a delimitação de compartimentos parece ter sido deixada de lado. Somente a partir dos anos 70 é

que a questão foi retomada com o advento de imagens de satélite. A partir dessa época, várias compartimentações do Pantanal foram propostas.

A primeira parece é atribuída a Sanchez (1977) que distingue 17 sub-regiões, delimitadas a partir de critérios geomorfológicos, incluindo-se os de morfologia fluvial, com base em leituras de imagens radar e de cartas topográficas escala 1: 100.000. Com os mesmos critérios e as mesmas ferramentas analíticas, Brasil (1979) delimitou 15 sub-regiões. Em seguida, uma nova compartimentação, com 8 sub-regiões, foi apresentada na síntese do projeto Radambrasil (FRANCO e PINHEIRO, 1982; ALVARENGA et al., 1982). Além dos aspectos geomorfológicos, topográficos e fluviais, esses estudos também se instrumentalizaram com critérios de altimetria relativa, de litologia e de pedologia. Baseando-se nos trabalhos de Brasil (1979), e também com base em imagens de satélite (Landsat-MSS), Adámoli (1982) introduziu critérios fitogeográficos e hidrológicos que permitiram distinguir 10 sub-regiões no Pantanal (Figura 9). A compilação final desses dados do projeto RADAMBRASIL foi difundida em 1984 (ALVARENGA et al., 1984), por dois modelos de compartimentação, um onde aparecem 5 sub-regiões delineadas em função do tipo de inundação (Figura 10), e outro baseado no conjunto de critérios do RADAMBRASIL (1982) aos quais acrescentou dados de cobertura vegetal, e que resultou em 12 sub-regiões (Figura 11). Finalmente, Amaral Filho (1986) propôs uma síntese expressa por 6 regiões principais considerando-se os regimes de inundações. A partir desses estudos, essencialmente fundamentados em aspectos físicos e ambientais, Silva e Abdon (1998) propuseram, recentemente, uma compartimentação onde incluíram uma dimensão político-administrativa que resultou em 11 sub-regiões (Figura 12).

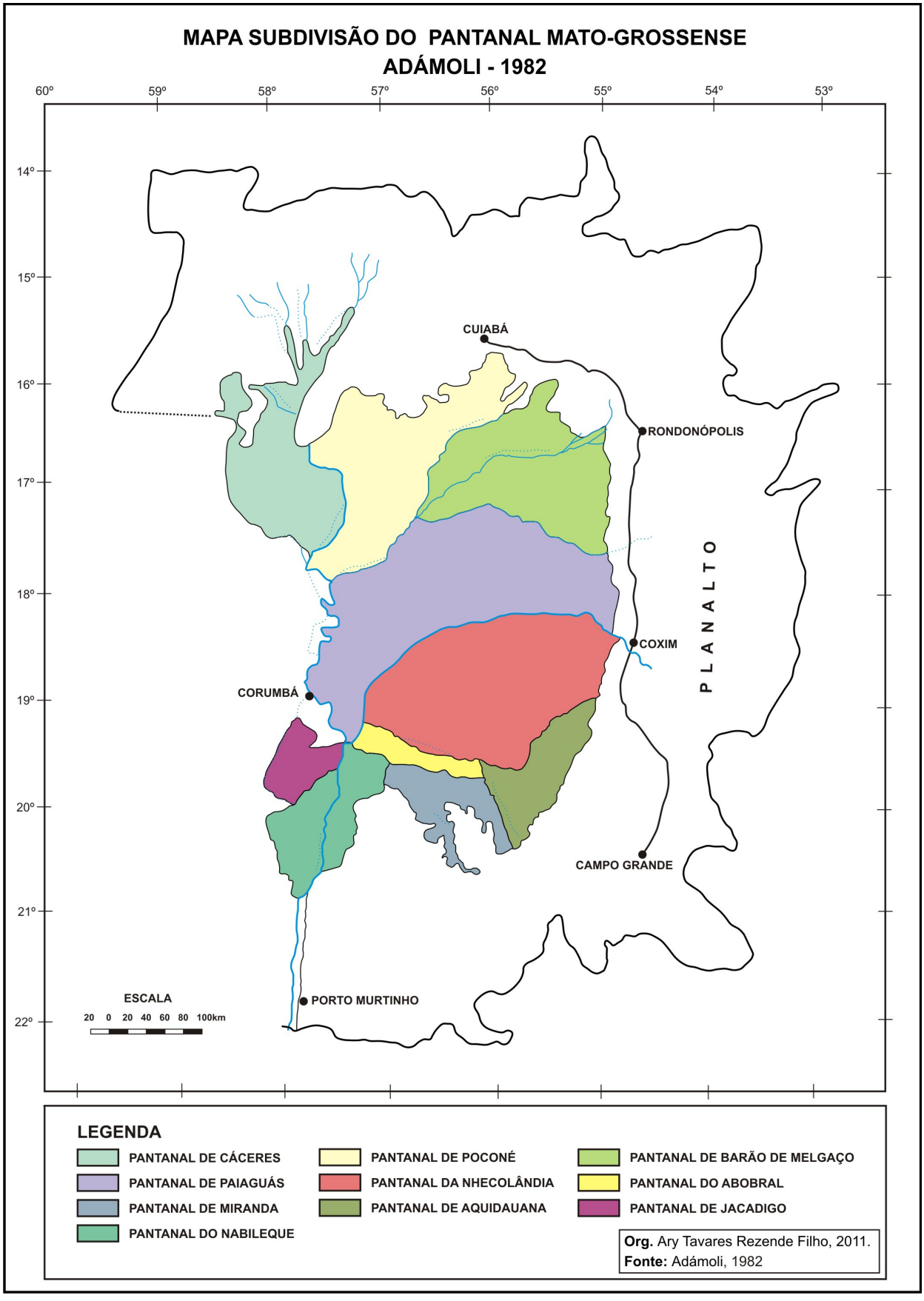


Figura 9: Mapa da Subdivisão do Pantanal Mato-grossense, segundo Adámoli, 1982

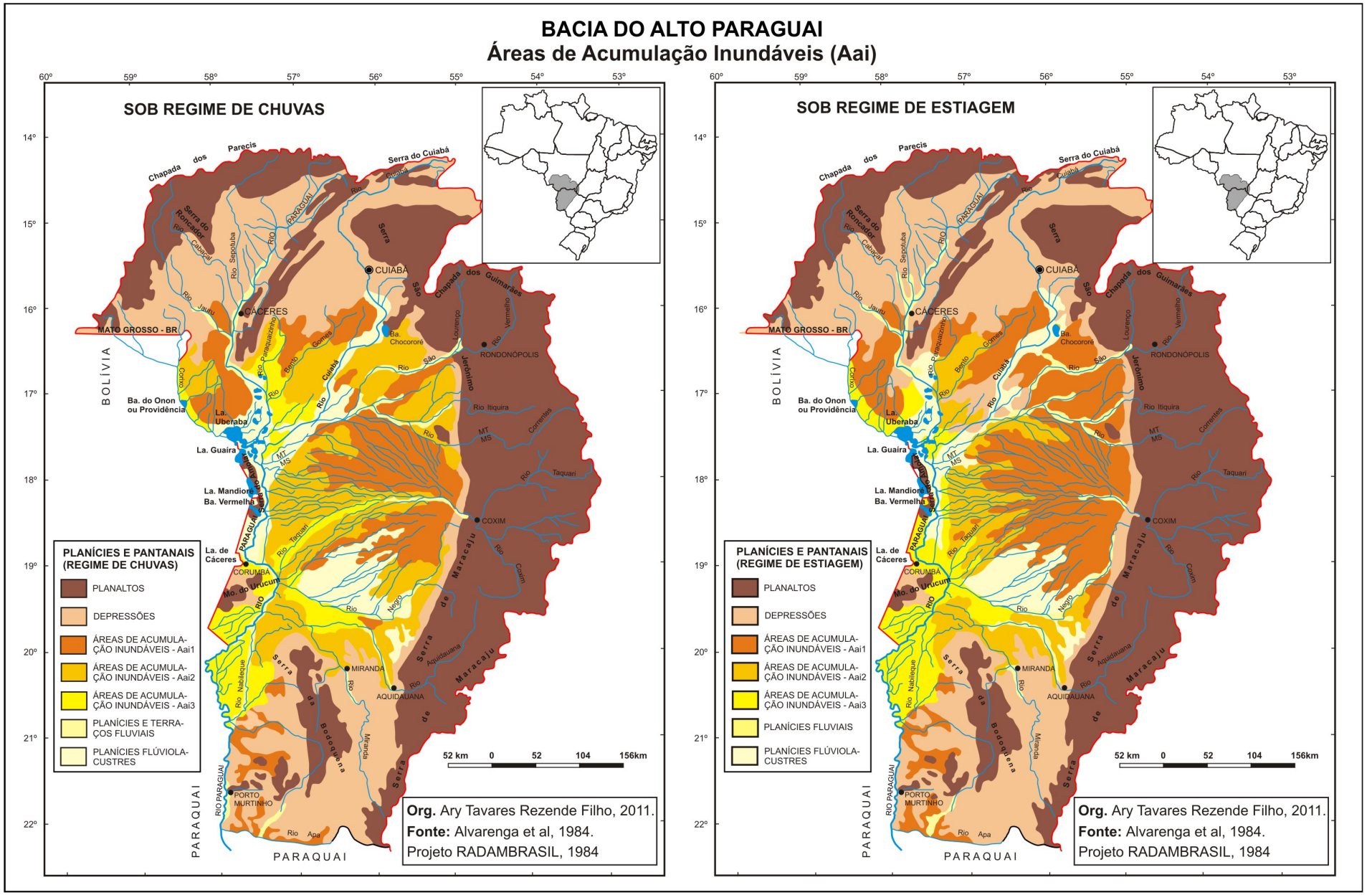


Figura 10: Mapas das Áreas de Acumulação Inundáveis sob regimes de chuvas e estiagens, Projeto RADAMBRASIL, 1984

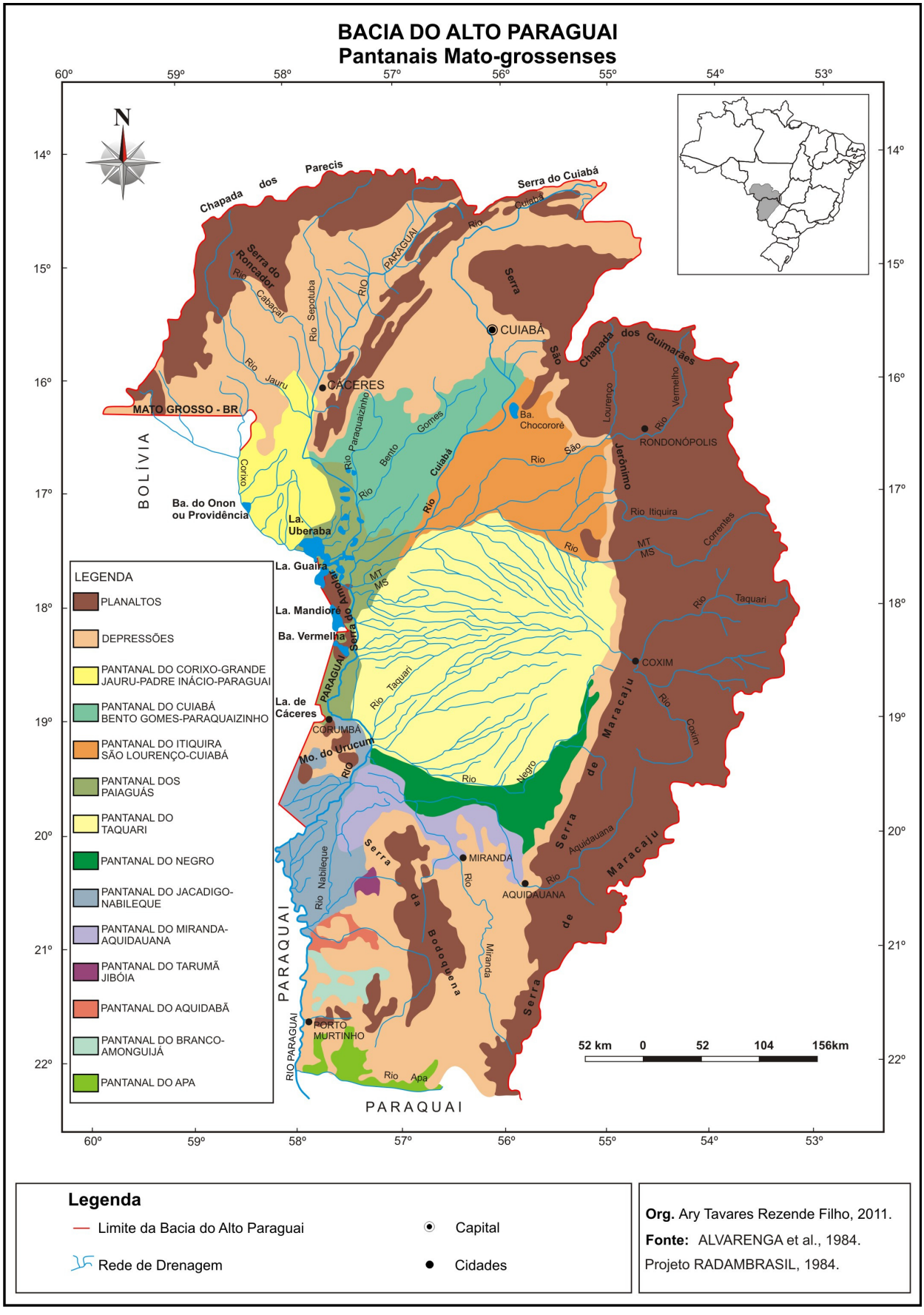


Figura 11: Mapa dos Pantanais Mato-grossenses, Projeto RADAMBRASIL, 1984

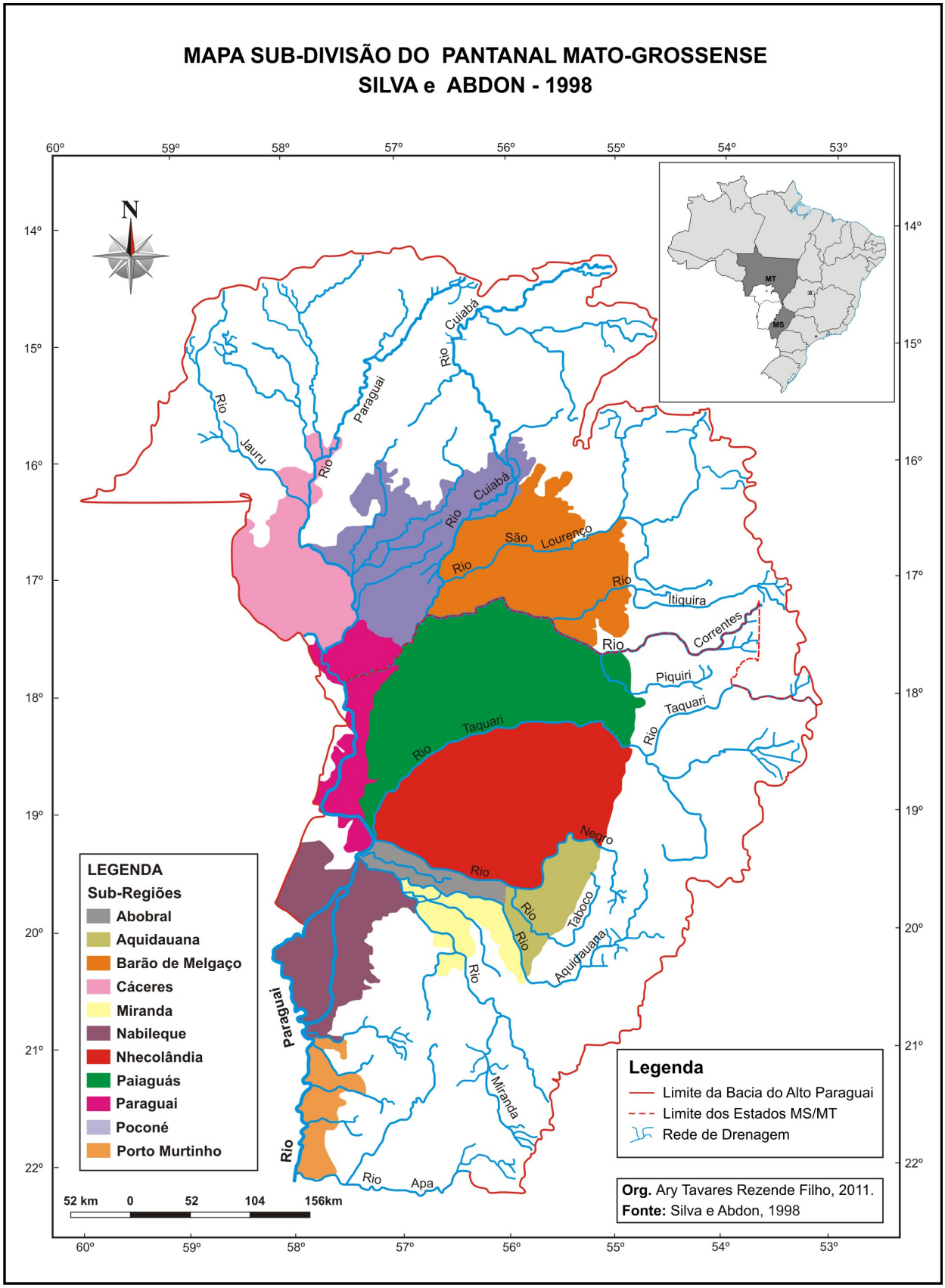


Figura 12: Mapa da subdivisão do Pantanal Mato-grossense, segundo Silva e Abdon, 1998

As questões ligadas à compartimentação do Pantanal não são simples, pois além do problema da escala de abordagem, inclui-se também a definição de critérios a serem abordados. Por exemplo, apenas o cone aluvial do Taquari representa 37% da área total do Pantanal. Também nesta escala, várias compartimentações foram propostas. A primeira é fornecida por Braun (1977), que distingue nesse cone 5 sub-regiões, seguido por Assine (2003) que identifica uma sucessão de 7 diferentes lobos para os quais estabeleceu cronologias relativas usando critérios sedimentológicos-estruturais. A Nhecolândia, que corresponde à metade sul do cône aluvial do Taquari, foi subdividida em 5 regiões a partir desses mesmos critérios (ASSINE, 2003), em seguida retomados por Zani et al. (2006). Nessa mesma área, Fernandes (2000) delimitou 3 principais compartimentos com base em critérios topográficos: a alta, a média e a baixa Nhecolândia.

Dos exemplos aqui apresentados, pode-se notar que das diferentes compartimentações propostas, apenas aquelas baseadas em critérios de tipo de inundação, e eventualmente, tipo de vegetação, refletem compartimentações funcionais da paisagem, como são os casos, de Adámoli em 1982 (Figura 9), e do Alvarenga et al. em 1984 (Figura 10). Isto justifica buscar e desenvolver “critérios funcionais”. Considerando que o Pantanal representa uma vasta planície de inundação, critérios funcionais podem ser pesquisados por estudos da qualidade química da água que aí entra, circula, ou é retida, mas também na influência da água para a gênese e evolução de solos, como veremos a seguir.

III – CONSIDERAÇÕES GERAIS

Vimos, neste capítulo, que os principais rios da Bacia do Alto Paraguai que atravessam a planície do Pantanal são provenientes dos planaltos. Esses planaltos apresentam grande diversidade litológica, com núcleos de rochas calcárias ao norte e ao sul, e arenitos e rochas cristalinas a leste da bacia, bem como diferentes estados de dissecação, e diversas formas de uso e ocupação dos solos.

O clima é tropical com duas estações bem definidas, uma seca de abril a setembro, e outra úmida de outubro a março, com médias anuais de 1600 mm nos planaltos, e de 600 mm na planície. As enchentes se instalam de março a abril ao norte da bacia, e ao sul de maio a agosto, ou seja, em plena estação seca.

O regime dos afluentes não justifica esse descompasso cujas verdadeiras causas são, de um lado, a inversão do extravasamento das águas do Paraguai para o Pantanal durante o verão, e de outro, a fraca declividade do leito do rio, que juntas retardam, de quatro a cinco meses, as máximas e mínimas no curso médio e inferior do Paraguai.

Nota-se que o Rio Paraguai e alguns de seus afluentes, como o Cuiabá, são submetidos a barragens decorrentes de discretos sistemas de deformações ligados a reativações recentes de falhas, dos quais decorrem as deficiências de escoamento características da drenagem no Pantanal. A Planície reflete essa deficiência, pois os solos que recobrem, quase totalmente, sua área são hidromórficos, indicadores de inundações periódicas e prolongadas.

A temperatura média anual varia de 20°C a 29°C. A evapotranspiração média anual varia de 3,6 a 4,3 mm/dia, e o excedente hídrico é da ordem de 20 a 150 mm entre novembro e janeiro. O déficit hídrico é mais acentuado nos meses de junho a agosto, com taxas que variam de 80 a 130 mm, e de 300 mm localmente.

Em síntese, dada a presença de duas estações bem definidas, os fatores impostos pela sazonalidade devem ser considerados nas pesquisas da Bacia do Alto Paraguai, sobretudo quando tratarem de estudos de águas e solos.

CAPÍTULO – II

AS ÁGUAS QUE ENTRAM NO PANTANAL

INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão abordados os procedimentos de campo para coletas de águas, e de medidas de variáveis físico-químicas, e igualmente, as análises das amostras em laboratório, os tratamentos geoestatísticos dos dados analíticos, e as análises multivariadas: **(i)** análises em componentes principais (ACP); **(ii)** análises em fatores de correspondência (AFC).

O objetivo é identificar as características físico-químicas das águas que entram no Pantanal em duas estações, uma seca e outra úmida.

I - MATERIAIS E MÉTODOS

Para estudar as águas que entram no Pantanal foram realizadas várias etapas de trabalhos, cada qual com diferentes métodos. Por isto, agrupou-se os materiais e os métodos em dois conjuntos, a saber: **(a) conjunto 1**: integra materiais e métodos de campo, gabinete e laboratório utilizados para confeccionar cartas, coletar águas e analisar o pH e a condutividade elétrica (CE) das águas no campo, fazer análises químicas dos elementos maiores das águas em laboratório; **(b) conjunto 2**: apresenta os tratamentos de dados efetuados por análises multivariadas (ACP e AFC), e pela análise de deconvolução "End-Members Mixing Analysis" (EMMA).

A – Conjunto 1: Campo e Laboratório

1 – Elaboração da rede de drenagem

Os rios que abastecem a planície do Pantanal constituem suas principais vias de entrada de águas e de elementos químicos. Assim, a primeira etapa de trabalho consistiu em elaborar cartas digitais da drenagem e litologia, a partir de documentos de base pré-existentes, e auxílio de softwares:

- Documentos de base: cartas topográficas (IBGE, 2003), e geológicas (CPRM, 2004), em escala 1: 1.000.000, Folhas: SD 21 Cuiabá; SD 22 Goiás; SE 21 Corumbá; SE 22 Goiânia; SF 21 Rio Apa/Campo Grande e SF 22 Paranapanema;

- Softwares: Arc View Gis; ArcExibe; AutoCAD; Track Maker; CorelDraw; Surfer.

Em 1º lugar construiu-se uma base digital a partir de cartas topográficas 1: 1.000.000. Em seguida, digitalizou-se e retificou-se a rede de drenagem por meio de imagens de satélite (LANDSAT), e inseriu-se a litologia e outros dados, como rodovias, cidades e pontos plotados no campo pelo GPS, na base digital. Por último, elaborou-se um banco de dados para que as informações pudessem ser disponibilizadas e cruzadas quando necessário.

2 – Rios amostrados

As etapas de trabalho acima mencionadas permitiram escolher para amostragens os principais rios que entram na planície, considerando-se sua importância, por área, seu acesso, e sempre que possível, respeitando-se os limites planalto-planície. Dada a dificuldade de circulação no Pantanal, seja pela ausência de estradas, seja pelas cheias, foram aproveitados todos os cruzamentos dos rios com as principais rodovias da região. Esta rota deu acesso a 36 rios na estação seca, dos quais foram coletadas 37 amostras de águas, e a 66 rios na estação úmida, dos quais resultaram em 70 amostras (Figura 13). As coletas foram georreferenciadas com auxílio de um GPS, modelo GPSMAP 60 da Garmin.

Os rios foram integrados às bacias hidrográficas, e as amostragens nos dois períodos de coletas (seco e úmido) abrangeram um total de doze sub-bacias (Quadro 2). Essas bacias foram ordenadas de montante para jusante, segundo sua confluência com o Rio Paraguai, a saber:

(a). pela margem direita, as sub-bacias do Rio Padre Inácio (amostra n° 16), e a do Jauru (n° 17), ambos com amostragens nos dois períodos;

(b). pela margem esquerda, as sub-bacias do Rio Paraguaizinho (amostras n°s 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13 e 14, em um total de 11 amostras); do Cuiabá (n°s 1, 5, 18, 19, 20, 21, 22, 22*, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33 e 34, com 20 amostras); do Taquari (n°s 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41 e 42, com 8 amostras), do Negro (n°s 43, 44, 45, 46, 47 e 48, com 6 amostras), do Miranda (n°s 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58 e 69, com 11 amostras); do Aquidabã (n° 59, 60 e 61, com 3 amostras); do Nabileque (n° 62 e 63) e do Amanguijá (n° 66 e 67) ambos com 2 amostras, e dos rios Branco (n° 64) e Tereré (n° 65) cada um com 1 amostra.

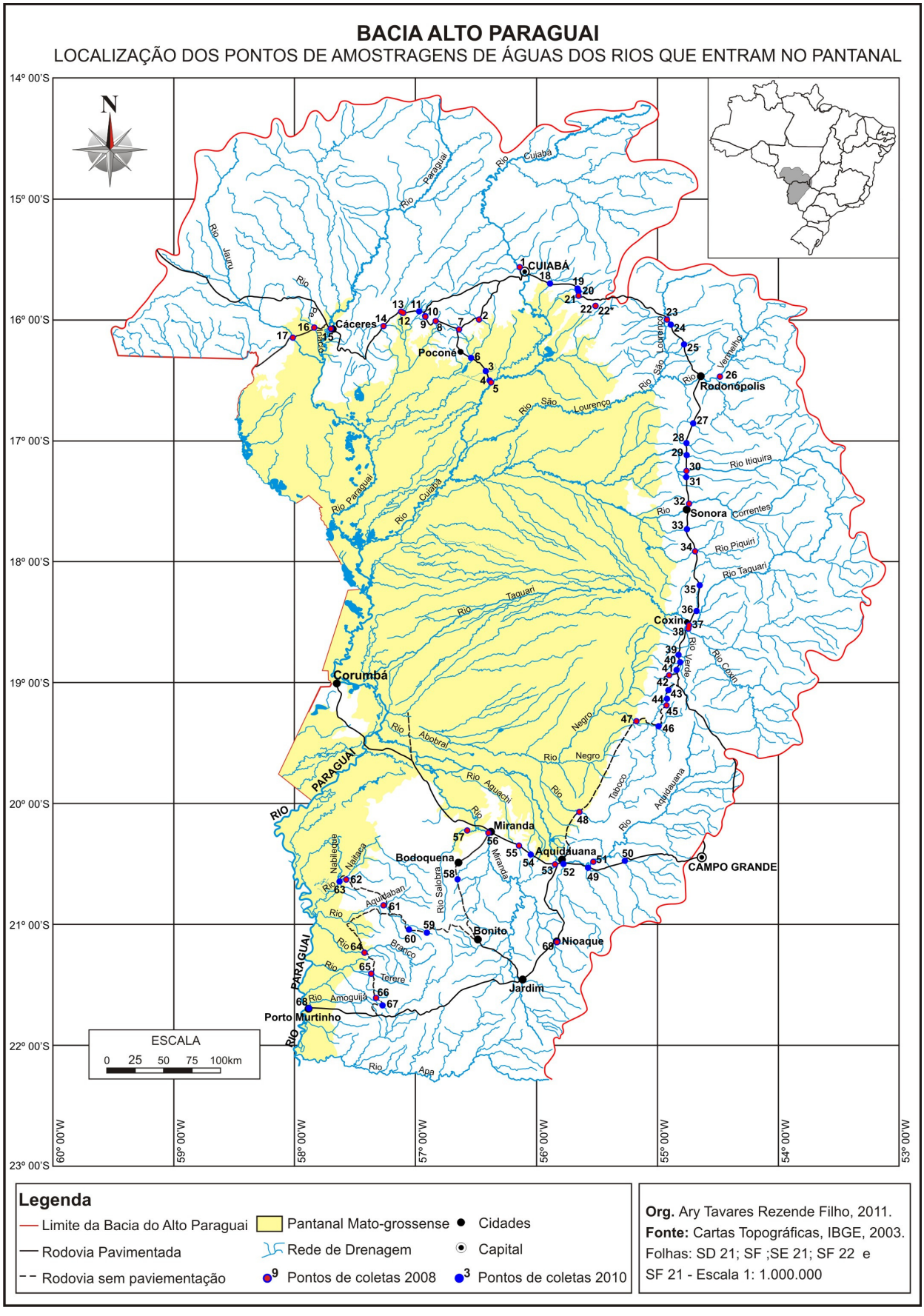


Figura 13: Localização dos pontos de amostragens no entorno do Pantanal

Quadro 2: Coleta de águas dos rios da Bacia do Alto Paraguai

SUB-BACIAS	Localização dos pontos amostrados	Nº da amostra	Períodos	
			Seco	úmido
	Rio Paraguai - Cáceres	15	X	X
	Rio Paraguai - Porto Murtinho (1)	68	---	X
Rio Padre Inácio	Rio Padre Inácio	16	X	X
Rio Jauru	Rio Jauru	17	X	X
Rio Paraguaizinho	Rio Bento Gomes	2	X	X
	Rio Maneta I (1)	3	---	X
	Rio Boca do Vale (1)	4	---	X
	Rio Bento Gomes (1)	6	---	X
	Córrego das Traíras	7	X	X
	Rio Formiga	8	X	X
	Ribeirão Figueira	9	X	X
	Afluente Ribeirão Figueira (1)	10	---	X
	Rios dos Macacos (1)	11	---	X
	Córrego Sangradouro	12	X	X
	Córrego Sangradorzinho	13	X	X
	Córrego das Flexas	14	X	X
Rio Cuiabá	Rio Cuiabá	1	X	X
	Rio Cuiabá	5	X	X
	Rio Aricá (1)	18	---	X
	Afluente Rio Aricá Mirim (1)	19	---	X
	Rio Aricá Mirim (1)	20	---	X
	Córrego do Cervo	21	X	X
	Águas Quentes-Córrego dos Macacos	22	X	X
	Águas Quentes-Nascente	22*	X	X
	Rio São Lourenço	23	X	X
	Rio Areial (1)	24	---	X
	Rio Tugoré (1)	25	---	X
	Rio Vermelho	26	X	X
	Rio Inhumas (1)	27	---	X
	Rio Ponte de Pedra (1)	28	---	X
	Rio Cachoeira (1)	29	---	X
	Rio Itiquira	30	X	X
	Rio Sozinho (1)	31	---	X
	Rio Correntes	32	X	X
	Córrego Benjamin (1)	33	---	X
	Rio Piquiri	34	X	X
Rio Taquari	Rio Claro (1)	35	---	X
	Rio Claro (1)	36	---	X
	Rio Taquari	37	X	X
	Rio Coxin	38	X	X
	Rio Riacho Claro (1)	39	---	X
	Córrego Fundo (1)	40	---	X
	Rio Verde BR (1)	41	---	X
	Rio Verde	42	X	X
Rio Negro	Rio Negrinho (1)	43	---	X
	Afluente do Rio Negrinho	44	---	X
	Córrego Mumbuca	45	X	X
	Córrego Garimpo (1)	46	---	X
	Rio Negro	47	X	X
	Rio Taboco	48	X	X

Continuação

Continuação

SUB-BACIAS	Localização dos pontos amostrados	Nº da amostra	Períodos	
			Seco[1]	Umido
Rio Miranda	Rio Dois Irmãos [1]	49	---	X
	Rio Cachoeirão [1]	50	---	X
	Rio Aquidauana	51	X	X
	Rio Taquarussu [1]	52	---	X
	Córrego Acogô	53	X	X
	Córrego Laranjal [1]	54	---	X
	Córrego Agachi	55	X	X
	Rio Miranda	56	X	X
	Rio Salobra	57	X	X
	Córrego Bertione [1]	58	---	X
	Rio Nioaque	69	X	X
Rio Nabileque	Rio Naitaca	62	X	X
	Rio Nabileque [1]	63	---	X
Rio Aquidabã	Córrego Igrejinha [1]	59	---	X
	Córrego Catitu [1]	60	---	X
	Rio Aquidabã	61	X	X
Rio Branco	Rio Branco	64	X	X
Rio Tereré	Rio Tereré	65	X	X
Rio Amanguijá	Rio Amanguijá	66	X	X
	Rio São Lourenço [1]	67	---	X

[1] Rios que estavam secos na estação seca, ou incorporados na amostragem apenas no período úmido.

3 – Coletas e análises de águas no campo

As amostras de águas foram coletadas em duas ocasiões, uma em julho de 2008, na estação seca, e a outra em março de 2010, na estação úmida (Tabela 1). Esse tipo de amostragem não constitui um monitoramento da qualidade das águas, mas um inventário, num momento dado da coleta, dos tipos de águas que entram na planície.

Tabela 1: Localização dos rios amostrados

Nº das Amostras	LOCALIZAÇÃO		UTM (SAD 69)	
			Coordenadas (X)	Coordenadas (Y)
1	Rio Cuiabá	MT	591992	8278978
2	Rio Bento Gomes	MT	555756	8231155
3	Rio Maneta I	MT	561608	8184171
4	Rio Boca do Vale	MT	565022	8175578
5	Rio Cuiabá	MT	566337	8173770
6	Rio Bento Gomes	MT	548710	8196169
7	Córregos das Traíras	MT	538175	8222180
8	Rio Formiga	MT	517540	8230031
9	Ribeirão Figueira	MT	508275	8233985
10	Afluente Ribeirão Figueira	MT	508141	8234616

Continuação

Continuação

Nº das Amostras	RIOS		UTM (SAD 69)	
			Coordenadas (X)	Coordenadas (Y)
11	Rio dos Macacos	MT	502847	8238699
12	Córrego Sangradouro	MT	488769	8237437
13	Córrego Sangradorzinho	MT	486839	8238410
14	Córrego das Flexas	MT	471355	8225208
15	Rio Paraguai - Cáceres	MT	424761	8222717
16	Rio Padre Inácio	MT	410123	8223775
17	Rio Jauru	MT	391309	8214515
18	Rio Aricá	MT	618670	8264051
19	Afluente Rio Aricá Mirim	MT	643214	8259231
20	Rio Aricá Mirim	MT	643986	8256529
21	Córrego do Cervo	MT	644011	8252503
22	Águas Quentes-Córrego dos Macacos	MT	659092	8243162
22*	Águas Quentes-Nascente	MT	659092	8243162
23	Rio São Lourenço	MT	722310	8230205
24	Rio Areial	MT	725672	8225462
25	Rio Tugoré	MT	737175	8207253
26	Rio Vermelho	MT	768431	8177496
27	Rio Inhumas	MT	744340	8134806
28	Rio Ponte de Pedra	MT	738269	8116883
29	Rio Cachoeira	MT	738334	8105777
30	Rio Itiquira	MT	737941	8091244
31	Rio Sozinho	MT	737773	8085673
32	Rio Correntes	MS	739894	8061356
33	Córrego Benjamin	MS	737791	8038055
34	Rio Piquiri	MS	744750	8017762
35	Rio Claro	MS	748376	7986646
36	Rio Claro	MS	745182	7963080
37	Rio Taquari	MS	738629	7950094
38	Rio Coxim	MS	737903	7947151
39	Rio Riacho Claro	MS	728939	7923208
40	Córrego Fundo	MS	730344	7916226
41	Rio Verde BR	MS	727168	7909208
42	Rio Verde	MS	720637	7904625
43	Rio Negrinho	MS	719870	7890980
44	Afluente do Rio Negrinho	MS	718384	7882929
45	Córrego Mumbuca	MS	718067	7877005
46	Córrego Garimpo	MS	710840	7857975
47	Rio Negro	MS	691628	7862831
48	Rio Taboco	MS	641526	7780008
49	Rio Dois Irmãos	MS	648429	7728861
50	Rio Cachoeirão	MS	680237	7735017
51	Rio Aquidauana	MS	653171	7734398
52	Rio Taquarussu	MS	627188	7732732
53	Córrego Acogô	MS	620001	7732233
54	Córrego Laranjal	MS	599105	7741379
55	Córrego Agachi	MS	588936	7749514
56	Rio Miranda	MS	562568	7761352

Continuação

Continuação

Nº das Amostras	RIOS		UTM (SAD 69)	
			Coordenadas (X)	Coordenadas (Y)
57	Rio Salobra	MS	544374	7763661
58	Córrego Bertione	MS	535998	7718894
59	Córrego Igrejinha	MS	509329	7670101
60	Córrego Catitu	MS	494183	7672968
61	Rio Aquidabã	MS	472150	7695152
62	Rio Naitaca	MS	439952	7718740
63	Rio Nabileque	MS	434088	7716911
64	Rio Branco	MS	455872	7651866
65	Rio Tereré	MS	461640	7632796
66	Rio Amonguijá	MS	465962	7610405
67	Rio São Lourenço	MS	471392	7603639
68	Rio Paraguai - Porto Murtinho	MS	408505	7600872
69	Rio Nioaque	MS	621074	7661114

As águas, coletadas no centro do canal (Foto 1), foram filtradas com seringas estéreis munidas de filtros 0.42µm de acetato de celulose, e em seguida armazenadas em garrafas de politileno Nalgene® de 125 ml (Foto 2), e preservadas ao abrigo da luz, a uma temperatura de 4°C, até suas análises em laboratório.

Foto 1: Coleta de água no Rio Bento Gomes (MT)

Os parâmetros físico-químicos como temperatura (T ºC), pH, e condutividade elétrica (CE) foram diretamente medidos no campo com um pHmetro modelo HI 9835, e com um condutivímetro modelo HI 98140, ambos do HANNA Instruments (Foto 2).

Foto 2: Medidas de parâmetros físico-químicos e filtragem de amostras de água

4 – Análises das águas em laboratório

As análises dos elementos maiores (Ca^{2+}, K^{+}, Mg^{2+}, Na^{+}, Si, F^{-}, Cl^{-}, NO_2^{-}, SO_4^{2-}, NO_3^{-}, NH_4^{+}, Alc) foram realizadas no Laboratório de Ecologia Ambiental e Geoprocessamento-NUPEGEL (CENA/ESALQ/USP).

O Cálcio (Ca^{2+}), Potássio (K^{+}), Magnésio (Mg^{2+}), Sódio (Na^{+}) e Sílica (Si), foram analisados por ICP. O Fluoreto (F^{-}), Cloreto (Cl^{-}), Nitrito (NO_2^{-}), Sulfato (SO_4^{2-}), e o Nitrato (NO_3^{-}) foram analisados por Cromatografia Iônica (Dionex). O Amônio (NH_4^{+}) foi analisado por injeção em fluxo contínuo (FIA), e a Alcalinidade Carbonatada (Alc_c) foi obtida por meio de um Analisador de Carbono Total (SHIMADZU).

B – Conjunto 2: Tratamentos Estatísticos

1 – Princípios e procedimentos

O objetivo dos tratamentos estatísticos é discriminar assinaturas químicas das águas dos rios que alimentam o Pantanal, assim como identificar e hierarquizar processos por elas responsáveis.

Em um determinado ambiente as águas não apresentam, necessariamente, a mesma composição química. Essas variações são resultantes de reações físicas, como evaporação ou misturas de águas com composições diferentes, e/ou reações químicas, como precipitação e/ou dissolução de sais, interações diversas entre fases sólidas e líquidas, e/ou reações bioquímicas, como síntese de matéria orgânica, respiração e fotossíntese. Diante do número, e da complexidade das reações que podem ocorrer, torna-se imprescindível usar ferramentas adequadas, e complementares, para melhor discriminar processos e quantificar suas influências na variabilidade química da amostragem. Dentre tais ferramentas, métodos estatísticos de análises multivariadas têm sido muito empregados (CORNIELES, 1997), pois permitem fazer tratamentos de múltiplas variáveis ao mesmo tempo (ANDERSON et al., 2005). Considerando isto, dois métodos de análises multivariadas serão abordados: a análise em componentes principais (ACP) e a análise em fatores de correspondência (AFC).

2 – Análise em componentes principais (ACP)

A análise em componentes principais (ACP) é uma abordagem estatística usada para estabelecer relações entre grandes números de variáveis, explicando-as em termos de suas dimensões comuns. O objetivo é encontrar meios de condensar informações em conjuntos menores de variáveis estatísticas, chamados fatores, com perda mínima de informações (ANDERSON et al., 2005).

A ACP é um tratamento clássico de dados hidroquímicos, pois permite discriminar e hierarquizar, no tempo e/ou no espaço, processos responsáveis por suas variabilidades. Esta análise coloca em evidência eixos fatoriais, sendo que cada eixo representa uma certa porcentagem, ou fonte, de variabilidade química da amostragem. A contribuição de cada fonte, na variabilidade total da amostragem, é representada pelo valor próprio de cada eixo fatorial. O estudo desses valores permite hierarquizar fontes de variabilidade, bem como identificar processos a elas associados. Assim, o primeiro eixo fatorial é aquele que tem maior peso e valor próprio mais elevado, seguido pelo segundo e terceiro eixos, com valores próprios respectivamente menores. Por sua vez, os eixos fatorias 1 e 2 delimitam o primeiro plano fatorial, e os eixos 1 e 3, o segundo plano fatorial.

O método da ACP mais pertinente para o presente estudo é aquele baseado em matriz de correlações, onde as variáveis são normalizadas em função da média e do desvio padrão. Duas características deste método podem ser destacadas:

1°. Cada variável tem o mesmo peso, independente do tipo de unidade escolhida mol/L, mmol/L, Meq/L, µS/m, µS/cm. Conseqüentemente, pode-se tratar e comparar variáveis com unidades diferentes, sejam parâmetros físico-químicos (condutividade elétrica, temperatura, Ca^{2+}, Na^{+} dentre outros), sejam parâmetros sem unidade como o pH.

2°. Os eixos são ortogonais em um multi-espaço, e isto traduz, teoricamente, processos independentes entre si. A hierarquização é feita em função do valor próprio apresentado por cada eixo. Em geral, nas ciências da terra é difícil, delicado, interpretar eixos fatoriais que representam menos de 10% da variabilidade total.

O limite desse tipo de análise é que ela não permite colocar em correspondência amostras e variáveis. Consequentemente, a distribuição dos resultados nos planos fatoriais é apresentada separadamente por variáveis e por amostras. Para resolver esta questão, correspondência entre variáveis e amostras, utilizam-se análises em fatores de correspondência (AFC).

3 – Análise em fatores de correspondência (AFC)

Percebe-se na literatura científica que o método da AFC é menos utilizado para tratamentos de dados hidroquímicos que o método da ACP, e isto apesar de poder confirmar os resultados da ACP, e de fornecer informações complementares.

A AFC não é feita com matriz de correlações, ou de co-variância, mas com um quadro de contingências no qual, e ao mesmo tempo, são normalizados parâmetros e amostras. Em conseqüência, os tratamentos das variáveis e das amostras são equivalentes, e os resultados aparecem em um mesmo gráfico. A AFC possibilita, do mesmo modo que a ACP, caracterizar e discriminar eixos fatoriais. Contudo, no caso da AFC, os resultados são fortemente influenciados pelo tipo de unidade escolhida. Por exemplo, uma variável expressa em mmol/L será bem mais influente que a mesma variável expressa em mol/L, pois neste caso, o valor da unidade é mil vezes mais elevado.

II – AS ÁGUAS NA ESTAÇÃO SECA

Em primeiro lugar serão apresentados dados físico-químicos de temperatura, pH e condutividade elétrica da água medidos durante as amostragens de águas no campo (Tabela 2).

Tabela 2: Dados físico-químicos (T°C, pH e CE) das águas no momento da coleta

Nº das Amostras	RIOS		ESTAÇÃO SECA		
			TºC	pH	CE µS/cm
1	Rio Cuiabá	MT	25,7	7,68	84
2	Rio Bento Gomes	MT	21,4	7,62	188
3	Rio Maneta I (1)	MT	---	---	---
4	Rio Boca do Vale (1)	MT	---	---	---
5	Rio Cuiabá	MT	27,4	7,47	74
6	Rio Bento Gomes (1)	MT	---	---	---
7	Córregos das Traíras	MT	24,2	7,43	108
8	Rio Formiga	MT	25,4	7,6	335
9	Ribeirão Figueira	MT	25,6	7,47	297,4
10	Afluente Ribeirão Figueira (1)	MT	---	---	---
11	Rio dos Macacos (1)	MT	---	---	---
12	Córrego Sangradouro	MT	26,5	8,18	354
13	Córrego Sangradorzinho	MT	23,7	8,01	505
14	Córrego das Flexas	MT	27,2	8,13	262
15	Rio Paraguai - Cáceres	MT	28,2	6,95	44
16	Rio Padre Inácio	MT	24,6	7,33	320
17	Rio Jauru	MT	24,8	7,5	59,2
18	Rio Aricá (1)	MT	---	---	---
19	Afluente Rio Aricá Mirim (1)	MT	---	---	---
20	Rio Aricá Mirim (1)	MT	---	---	---
21	Córrego do Cervo	MT	24,2	6,8	47,9
22	Águas Quentes-Córrego dos Macacos	MT	23,2	6,64	27,8
22*	Águas Quentes-Nascente	MT	37,5	6	65,2
23	Rio São Lourenço	MT	24,5	6,97	18,17
24	Rio Areial (1)	MT	---	---	---
25	Rio Tugoré (1)	MT	---	---	---
26	Rio Vermelho	MT	25,9	7,2	26,5
27	Rio Inhumas (1)	MT	---	---	---
28	Rio Ponte de Pedra (1)	MT	---	---	---
29	Rio Cachoeira (1)	MT	---	---	---
30	Rio Itiquira	MT	20,5	6,7	16,18
31	Rio Sozinho (1)	MT	---	---	---
32	Rio Correntes	MS	22,7	6,38	5,05
33	Córrego Benjamin (1)	MS	---	---	---
34	Rio Piquiri	MS	21,4	6,81	17,3
35	Rio Claro (1)	MS	---	---	---
35	Rio Claro (1)	MS	---	---	---
36	Rio Claro (1)	MS	---	---	---
37	Rio Taquari	MS	23,1	6,9	17,6

Continuação

Continuação

Nº das Amostras	RIOS		ESTAÇÃO SECA		
			TºC	pH	CE µS/cm
38	Rio Coxim	MS	24,1	6,8	32
39	Rio Riacho Claro [(1)]	MS	---	---	---
40	Córrego Fundo [(1)]	MS	---	---	---
41	Rio Verde BR [(1)]	MS	---	---	---
42	Rio Verde	MS	24,2	5,5	3,55
43	Rio Negrinho [(1)]	MS	---	---	---
44	Afluente do Rio Negrinho [(1)]	MS	---	---	---
45	Córrego Mumbuca	MS	23,2	6,5	17,1
46	Córrego Garimpo [(1)]	MS	---	---	---
47	Rio Negro	MS	24,6	6,92	33,7
48	Rio Taboco	MS	23,4	6,71	19,53
49	Rio Dois Irmãos [(1)]	MS	---	---	---
50	Rio Cachoeirão [(1)]	MS	---	---	---
51	Rio Aquidauana	MS	23,8	7,59	74,6
52	Rio Taquarussu [(1)]	MS	---	---	---
53	Córrego Acogô	MS	22,8	6,75	36,5
54	Córrego Laranjal [(1)]	MS	---	---	---
55	Córrego Agachi [(1)]	MS	23,1	7,44	200
56	Rio Miranda	MS	25,3	7,97	249
57	Rio Salobra	MS	22,8	7,75	568
58	Córrego Bertione [(1)]	MS	---	---	---
59	Córrego Igrejinha [(1)]	MS	---	---	---
60	Córrego Catitu [(1)]	MS	---	---	---
61	Rio Aquidabã	MS	22,3	7,4	245
62	Rio Naitaca	MS	23,2	6,76	144,3
63	Rio Nabileque [(1)]	MS	---	---	---
64	Rio Branco	MS	25,9	7,35	77,8
65	Rio Tereré	MS	29,1	8,54	131,5
66	Rio Amonguijá	MS	26,6	7,73	92,2
67	Rio São Lourenço [(1)]	MS	---	---	---
68	Rio Paraguai - Porto Murtinho [(1)]	MS	---	---	---
69	Rio Nioaque	MS	24,3	7,69	155

[(1)] Rios que estavam secos na estação seca, ou incorporados na amostragem apenas no período úmido.

Em segundo lugar, os resultados brutos das análises dos elementos maiores das águas da estação seca estão na Tabela 3. Estes dados receberam tratamentos estatísticos a fim de melhor extrair e interpretar as informações neles contidas, conforme segue.

TABELA 3: As análises na estação seca: resultados analíticos de laboratório

Nº	Ca^{2+} mmol/L	K^{+} mmol/L	Mg^{2+} mmol/L	Na^{+} mmol/L	Cl^{-} mmol/L	SO_4^{2-} mmol/L	Alc meq/l	Si mg/L	NO_3^{-} mmol/L	NH_4^{+} mmol/L	NO_2^{-} mmol/L
1	0,175847415	0,025210628	0,153970859	0,031950668	0,014230986	0,005766667	0,683177262	5,224685706	0,003354839	0,001045944	0
2	0,31221381	0,093414867	0,546520181	0,235682558	0,024653521	0,007741667	1,984840198	11,39713255	0,006574194	0,003427944	0
5	0,153173567	0,025957458	0,13683759	0,045099984	0,021340845	0,00599375	0,605416944	5,061418405	0,006587097	0	0
7	0,18227519	0,034295497	0,21008294	0,270930541	0,027402817	0,00976875	1,030570339	8,219596641	0,00466129	0,001703333	0
8	0,82264534	0,206864354	0,743095402	0,622571276	0,055028169	0,059578125	3,740557418	11,0530449	0,020241935	0,002224556	0
9	0,578239352	0,108411618	0,821964042	0,346828854	0,031084507	0,013822917	3,169549368	14,26844954	0,008516129	0,001017	0
12	0,985139127	0,039904743	0,930184899	0,079867264	0,046028169	0,018520833	3,842373266	6,593214056	0	0,000338833	0
13	1,406089426	0,041028731	1,551693402	0,057143646	0,04971831	0,018927083	5,888927867	5,894805389	0,017290323	0	0
14	0,723703973	0,050862549	0,655447153	0,090737942	0,025025352	0,0140625	2,834569864	6,366760105	0	$6{,}94444\ 10^{-6}$	0
15	0,069078496	0,01618302	0,078827773	0,030808678	0,022115493	0,004539583	0,306421173	4,505922252	0,002520968	0,001395722	0
16	0,614419122	0,090899343	0,87343211	0,221680626	0,052915493	0,032479167	3,155481323	7,560302893	0	0,001230611	0
17	0,09197502	0,013715396	0,084634996	0,07287444	0,022005634	0,018680208	0,375006696	6,532099818	0,001630645	0,001161944	0
21	0,063976684	0,059019199	0,026456901	0,12932256	0,013895775	0,002490625	0,339249164	9,639679712	0,0063	0,001069889	0
22	0,034527807	0,066196956	0,008641837	0,168735857	0,018633803	0,002325	0,297174004	12,99545544	0,002775806	0,009245722	0
22*	0,068325217	0,110409319	0,015521113	0,215807518	0,009771831	0,007441667	0,460178697	14,04046884	0,001487097	0,002337778	0
23	0,026770231	0,023931707	0,01859159	0,013581092	0,006738028	0,004270833	0,106482954	6,012196277	0,001840323	0,001996278	0,002008696
26	0,044212311	0,032423527	0,034828564	0,017610005	0,009428169	0,003613542	0,185749257	6,516027778	0,001480645	0,000753056	0,002167391
30	0,024172883	0,016282001	0,023238836	0,01110852	0,007228169	0,001925	0,108634177	5,927680447	0,002240323	0,004121889	0,002167391
32	0,006733783	0,009103777	0,001809383	0,011004719	0,015188732	0,001957292	0,014406367	5,21246072	0,003640323	0,004127944	0,001204348
34	0,02333873	0,025059342	0,017130018	0,017939889	0,006630986	0,003772917	0,102775855	6,227446747	0,002093548	0	0,001832609
37	0,031309218	0,033848147	0,015453249	0,014477261	0,010011268	0,002366667	0,122721642	7,472528558	0,002519355	0,0043975	0,003004348
38	0,046618896	0,036401824	0,029441874	0,017938647	0,011529577	0,00215625	0,18514938	8,039020575	0,001545161	0,002303556	0,00265
42	0,005791823	0,005078582	0,000461317	0,010481046	0,005408451	0,001982292	0,009528399	4,32982401	0,006659677	0,001397833	0,00115
45	0,005612797	0,077342212	0,000593324	0,014878223	0,005109859	0,001960417	0,087888479	8,989047975	0,003783871	0	0,002171739
47	0,030632735	0,088127951	0,037473824	0,0300514	0,016411268	0,014932292	0,196620518	8,145055207	0,005698387	0	0,00246087
48	0,021221776	0,029276947	0,021585996	0,025237919	0,015943662	0,004377083	0,10559561	5,526442764	0,004235484	0	0,001780435
51	0,149992545	0,060425692	0,118101165	0,069301032	0,019042254	0,00386875	0,627202937	13,05374125	0,003077419	0,001551	0,006826087
53	0,028066308	0,038558901	0,022928639	0,09626402	0,040033803	0,002177083	0,191562485	17,00916954	0,010190323	0,014127389	0,002215217
55	0,57403289	0,088978405	0,319233989	0,425253568	0,029194366	0,010533333	2,204976149	14,29232133	0	0,011609667	0,039243478
56	0,845509718	0,052961869	0,466605593	0,163575379	0,056887324	0,012229167	2,71675898	10,13692642	0,021725806	$7{,}34444\ 10^{-5}$	0,02101087
57	2,207336102	0,021785755	1,289008724	0,065479929	0,048140845	0,022125	6,919830802	5,06649017	0	0,001903611	0,048847826
61	0,945999046	0,066320575	0,224309639	0,2286815	0,05243662	0,012052083	2,486725093	7,234246379	0,014419355	0	0,03825
62	0,255702422	0,142316498	0,260677359	0,277744547	0,283425352	0	1,141508583	8,580047804	0,006754839	0,003087389	0,012008696
64	0,160655649	0,066917223	0,081822606	0,245158206	0,060861972	0,003916667	0,721987254	8,057770508	0,003574194	0,012463944	0,00663913
65	0,220693674	0,067316322	0,204180829	0,504840849	0,028630986	0,008595833	1,338884839	14,31894376	0,006541935	0	0,013730435
66	0,116681325	0,08317082	0,100205554	0,36972596	0,021504225	0,0039625	0,838470664	13,69509558	0,003751613	0,006661056	0,008069565
69	0,435896927	0,066860785	0,244026636	0,223315761	0,048383099	0,0077625	1,543834508	17,07144429	0,025341935	0	0,01693913

A – Análise em Componentes Principais (ACP)

1 – Estatística descritiva dos dados brutos

A Tabela 4 apresenta os resultados da análise estatistica descritiva.

Nota-se que uma forma do nitrogênio, o nitrito (NO_2^-), apresenta o maior coeficiente de variação (1,87), e secundariamente, o magnésio (Mg^{2+}), o cálcio (Ca^{2+}), o cloreto (Cl^-) e o amônio (NH_4^+), com 1,39, 1,40, 1,37 e 1,40 respectivamente.

A condutividade elétrica (CE) varia de 3,55 a 568,0 µS/cm e isto traduz uma larga gama de carga iônica nas águas.

Tabela 4: Estatística descritiva com dados brutos

	Unidade	Mínimo	Máximo	Média	Variância*	Desvio Padrão*	Coeficiente de variação
CE	µS/cm	3,55	568	134	20405	143	1,07
pH	-	5,50	8,5	7,22	0,4	0,62	0,09
Ca^{2+}	mmol/L	$5\ 10^{-3}$	2,2	0,34	0,22	0,47	**1,40**
K^+	mmol/L	$5\ 10^{-3}$	0,2	0,057	$1,7\ 10^{-3}$	0,04	0,72
Mg^{2+}	mmol/L	$4\ 10^{-4}$	1,5	0,28	0,15	0,38	**1,39**
Na^+	mmol/L	0,01	0,6	0,14	0,02	0,15	1,04
Cl^-	mmol/L	$5\ 10^{-3}$	0,28	0,033	0,002	0,045	**1,37**
SO_4^{2-}	mmol/L	0	0,059	0,009	10^{-4}	0,01	1,16
Alc	$mmol_c$	$9\ 10^{-3}$	6,9	1,36	2,8	1,68	1,23
Si	mg/L	4,3	17,0	8,9	13,6	3,68	0,41
NO_3^-	mmol/L	0	0,025	0,005	$4\ 10^{-5}$	0,006	1,09
NH_4^+	mmol/L	0	0,014	0,002	10^{-5}	0,003	**1,40**
NO_2^-	mmol/L	0	0,048	0,006	10^{-4}	0,012	**1,87**

Onde:	
Fórmula da Variância: $v = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2$	Fórmula do Desvio Padrão: **S =** $\sqrt{v}$
v = variância	S = desvio padrão
$\sum$ = soma	v = variância
x_i = dado estatístico	
$\bar{x}$ = média dos dados estatísticos	
n = número de amostras	

A Tabela 5 apresenta a matriz de correlações. Nota-se que há uma correlação positiva (0,997) entre condutividade elétrica (CE) e alcalinidade (Alc), indicando que a carga iônica das amostras é, muito provavelmente, dominada pela alcalinidade.

Secundariamente, a boa correlação entre alcalinidade (Alc), cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) indicam que as águas com cargas mais elevadas apresentam maiores proporções de teores em cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}).

Tabela 5: Matriz de correlação dos dados brutos

	CE	pH	Ca^{2+}	K^{+}	Mg^{2+}	Na^{+}	Cl^{-}	SO_4^{2-}	Alc	Si	NO_3^{-}	NH_4^{+}	NO_2^{-}
CE	1,000												
pH	0,616	1,000											
Ca^{2+}	**0,958**	0,550	1,000										
K+	0,290	0,133	0,137	1,000									
Mg^{2+}	**0,966**	0,575	**0,889**	0,224	1,000								
Na^{+}	0,337	0,392	0,199	0,769	0,229	1,000							
Cl^{-}	0,729	0,576	0,685	0,352	0,637	0,480	1,000						
SO_4^{2-}	0,670	0,394	0,570	0,582	0,637	0,514	0,588	1,000					
Alc	**0,997**	0,596	**0,970**	0,261	**0,965**	0,311	0,706	0,650	1,000				
Si	0,002	0,155	-0,090	0,527	-0,068	0,608	0,207	0,005	-0,017	1,000			
NO_3^{-}	0,324	0,261	0,300	0,340	0,265	0,348	0,566	0,341	0,314	0,337	1,000		
NH_4^{+}	-0,195	-0,173	-0,186	0,092	-0,227	0,224	0,145	-0,213	-0,183	0,422	-0,128	1,000	
NO_2^{-}	0,460	0,285	0,615	0,061	0,262	0,264	0,429	0,112	0,477	0,140	0,178	0,130	1,000

2 – ACP 1

Na Tabela 6, abaixo, observa-se que o primeiro eixo fatorial é responsável por 47,31% da variância explicada, enquanto que o segundo e o terceiro eixos respondem, respectivamente, por 18,80% e 10,08%. Portanto, os dois primeiros planos fatoriais, formados pelos eixos 1 e 2, e 1 e 3, explicam 76,20% da variância total da amostragem.

Tabela 6: Distribuição de valores próprios da ACP 1

Vetor próprio	Valor próprio	Variância explicada (%)	Porcentagem acumulada
1	6,15	**47,31**	47,31
2	2,45	**18,80**	66,12
3	1,31	**10,08**	76,20
4	0,87	6,73	82,93
5	0,68	5,28	88,21
6	0,63	4,91	93,12
7	0,45	3,48	96,60
8	0,15	1,22	97,82
9	0,14	1,12	98,94
10	0,11	0,87	99,81

a) Primeiro plano fatorial da ACP 1

O primeiro plano fatorial é composto pelos eixos 1 e 2 (Figuras 14 e 15), e discrimina as águas dos rios em função de suas cargas totais (CE), sendo que as mais concentradas apresentam perfil químico Ca+Mg+Alc.

O eixo 1 coloca em oposição dois grupos de amostras. O primeiro é formado pelas amostras 8 (Rio Formiga), 12 (Rio Sangradouro), 13 (Rio Sangradorzinho) e 57 (Rio Salobra), e o segundo, por um conjunto de amostras, onde se distinguem a 42 (Rio Verde), 32 (Rio Correntes) e 30 (Rio Itiquira).

O eixo 2 é definido pelos teores de sílica (Si) e coloca em oposição, de um lado, águas com teores maiores de Na+K+Si, e de outro, águas alcalinas com perfil químico do tipo Ca+Mg+Alc. Este eixo também coloca em oposição rios com condutividade elétrica intermediária, como o 53 (Rio Acogô), 55 (Rio Aguachi) e 66 (Rio Amonguijá), e rios com condutividade elétrica maior, como o 12 (Rio Sangradouro), 13 (Rio Sangradorzinho) e 57 (Rio Salobra), já discriminados pelo eixo 1.

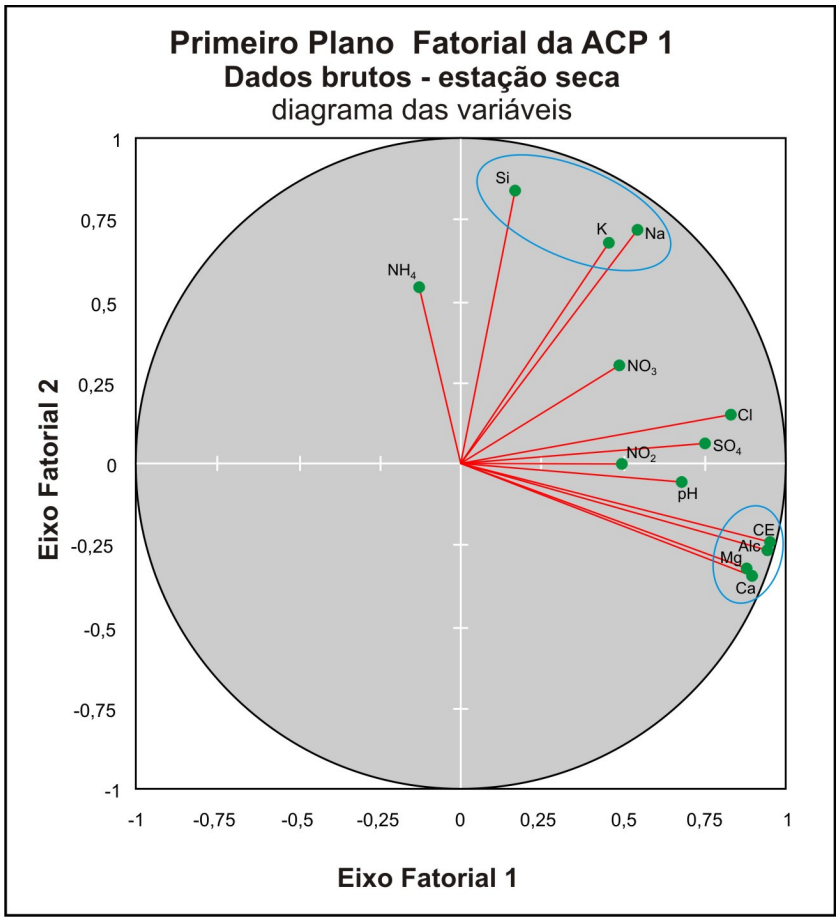


Figura 14: Distribuição das variáveis químicas no primeiro plano fatorial da ACP 1

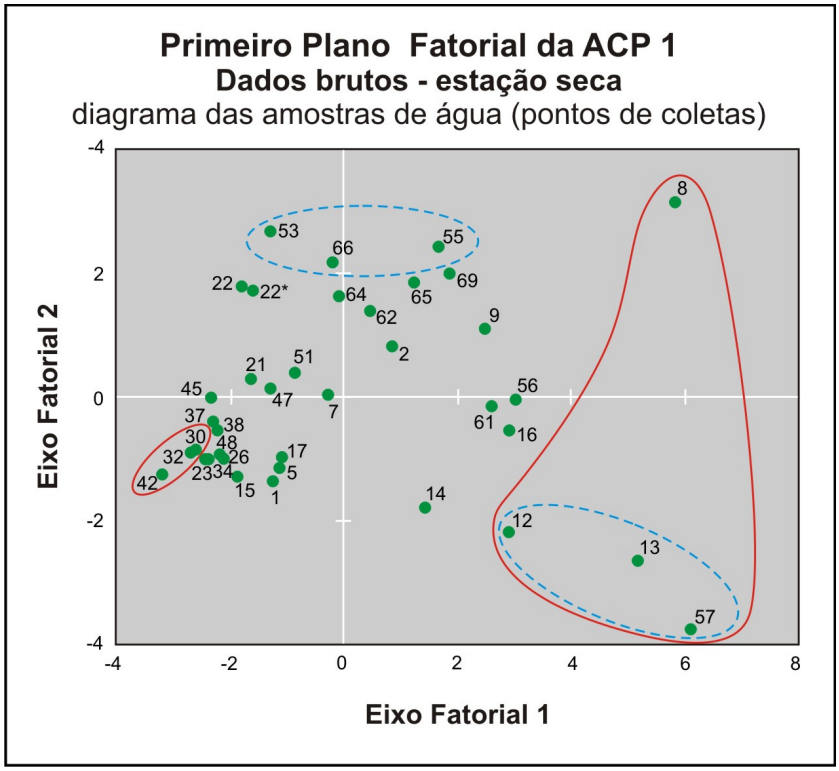


Figura 15: Distribuição das amostras de águas no primeiro plano fatorial da ACP 1

b) Segundo Plano Fatorial da ACP 1

O segundo plano fatorial é composto pelos eixos fatoriais 1 e 3 (Figuras 16 e 17). O peso do eixo 3 é pequeno, pois corresponde a apenas 10,08% da variância explicada (Tabela 6), próximo portanto do ruído químico da amostragem, o que dificulta atribuir-lhe um processo. Este eixo coloca em oposição formas reduzidas do nitrogênio, amônio (NH_4^+) e nitrito (NO_2^-), com o próprio nitrato (NO_3^-). Com certa prudência, este eixo 3 poderia estar indicando processos locais de redução do nitrato pelo uso e ocupação do solo (Figura 16).

Na Figura 17, nota-se que o plano fatorial 2 coloca em oposição dois grupos de amostras com perfis químicos semelhantes. Um grupo constituído pelos pontos 55 (Córrego Agachi), 57 (Rio Salobra) e 61 (Rio Aquidabã), que correspondem a rios localizados ao sul do Pantanal, com águas mais concentradas. O outro grupo, constituído pelos pontos 8 (Rio Formiga), 9 (Ribeirão Figueira) e 16 (Rio Padre Inácio) com águas igualmente concentradas, mas provenientes de rios localizados ao norte do Pantanal.

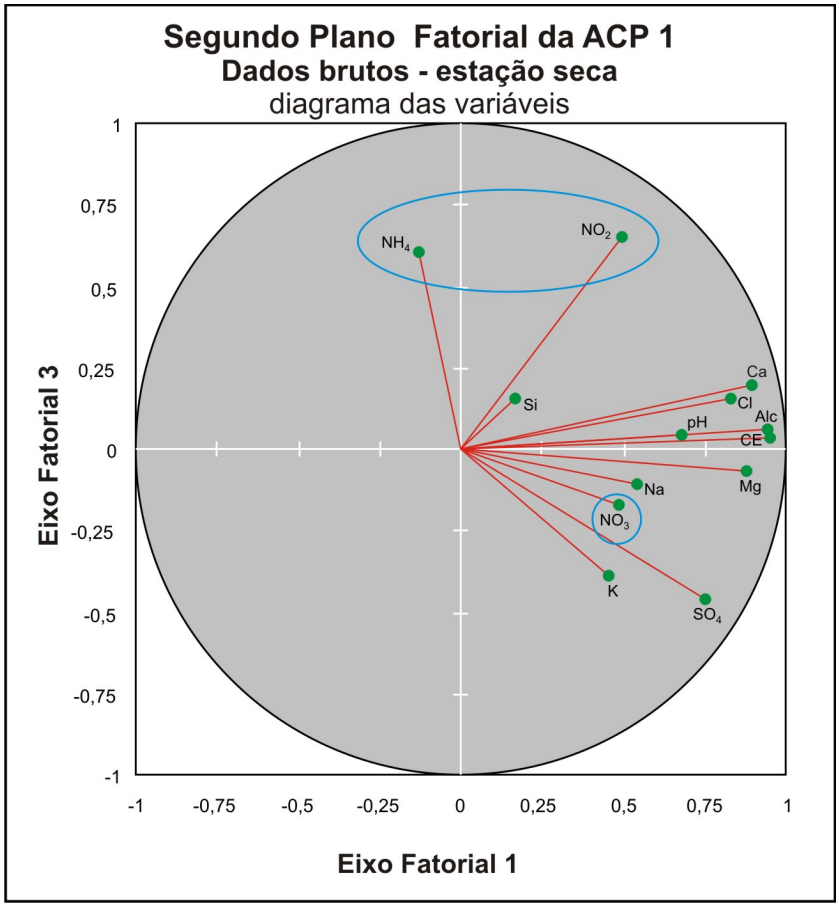


Figura 16: Distribuição das variáveis químicas no segundo plano fatorial da ACP 1

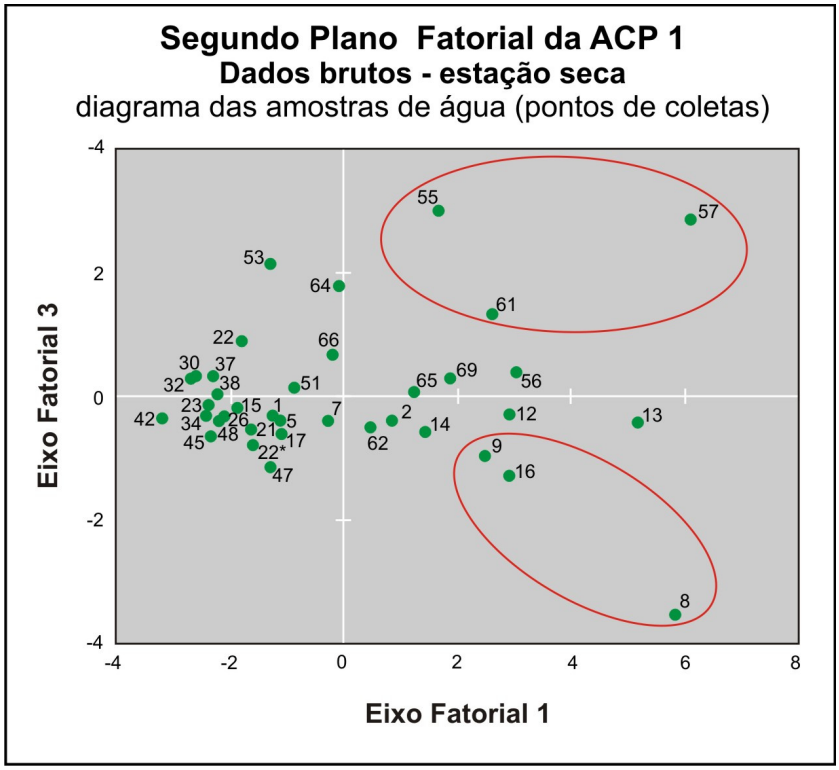


Figura 17: Distribuição das amostras de águas no segundo plano fatorial da ACP 1

Considerando-se que as coletas de águas foram realizadas em série, e que a marcação dos pontos de amostragens seguem uma ordem numérica, o agrupamento desses pontos nos planos fatoriais da ACP indica tendências regionais na composição química das águas. Isto justifica passar para o estágio seguinte, que é o de espacialização dos dados, a fim de identificar essas tendências.

3 – Estatística descritiva com dados modificados

O primeiro tratamento ACP 1, realizado a partir dos dados brutos resultantes das análises químicas das águas, mostra que embora o eixo 1 discrimine águas com um perfil químico comandado pelo Ca^{2+}, Mg^{2+} e Alc, ele é fortemente influenciado pela carga total. Isto indica, muito provavelmente, que este eixo incorpora duas coisas ao mesmo tempo: de um lado, a própria discriminação dos perfis químicos das águas, de outro, o processo de concentração por evaporação. Para verificar isto e atenuar uma possível influência da evaporação, dividiu-se os dados químicos brutos pela condutividade elétrica (CE), segundo a fórmula:

$$[C^*] = [C] / CE, \text{ e } pH^* = pH - Log_{10}(CE)$$

onde [C*] é a concentração dos elementos químicos maiores e da sílica.

Deste modo, as proporções iônicas das amostras não são modificadas, mas modera-se os efeitos relacionados à concentração das águas sob influência da evaporação (Tabela 7).

Tabela 7: Dados da divisão dos elementos maiores pela CE (concentrações corrigidas [C*] e pH*): estação seca

N°	pH	Ca^{2+}	K^{+}	Mg^{2+}	Na^{+}	Cl^{-}	SO_4^{2-}	Alc	Si	NO_3^{-}	NH_4^{+}	NO_2^{-}
1	5,76	0,00209342	0,00030013	0,00183299	0,00038037	0,00016942	6,8651 10^{-5}	0,00813306	0,06219864	3,9939 10^{-5}	1,2452 10^{-5}	0
2	5,35	0,00166071	0,00049689	0,00290702	0,00125363	0,00013114	4,1179 10^{-5}	0,01055766	0,06062305	3,4969 10^{-5}	1,8234 10^{-5}	0
5	5,60	0,00206991	0,00035078	0,00184916	0,00060946	0,00028839	8,0997 10^{-5}	0,00818131	0,06839755	8,9015 10^{-5}	0	0
7	5,40	0,00168773	0,00031755	0,00194521	0,00250862	0,00025373	9,0451 10^{-5}	0,00954232	0,07610738	4,316 10^{-5}	1,5772 10^{-5}	0
8	5,07	0,00245566	0,00061751	0,0022182	0,00185842	0,00016426	0,00017785	0,01116584	0,03299416	6,0424 10^{-5}	6,6405 10^{-6}	0
9	5,00	0,00194432	0,00036453	0,00276383	0,0011662	0,00010452	4,6479 10^{-5}	0,01065753	0,0479773	2,8635 10^{-5}	3,4196 10^{-6}	0
12	5,73	0,00155363	0,00023168	0,00142965	0,00123099	0,00037172	0,00031554	0,00633457	0,11033952	2,7545 10^{-5}	1,9627 10^{-5}	0
13	4,82	0,00192006	0,00028406	0,00272948	0,00069275	0,00016536	0,0001015	0,00986088	0,02362595	0	3,8457 10^{-6}	0
14	5,31	0,00156997	0,0003678	0,00179154	0,0007002	0,00050263	0,00010317	0,00696412	0,10240732	5,7295 10^{-5}	3,1721 10^{-5}	0
15	5,71	0,00276223	0,00019413	0,00250171	0,00034633	9,5517 10^{-5}	5,3674 10^{-5}	0,01081897	0,02430061	0	2,6506 10^{-8}	0
16	5,31	0,00278434	8,1245 10^{-5}	0,00307266	0,00011316	9,8452 10^{-5}	3,7479 10^{-5}	0,01166124	0,01167288	3,4238 10^{-5}	0	0
17	5,63	0,00278288	0,00011273	0,00262764	0,00022561	0,00013002	5,2319 10^{-5}	0,01085416	0,0186249	0	9,5716 10^{-7}	0
21	5,12	0,00133563	0,00123213	0,00055234	0,00269985	0,0002901	5,1996 10^{-5}	0,00708245	0,20124592	0,00013152	2,2336 10^{-5}	0
22	5,20	0,00124201	0,00238119	0,00031086	0,00606964	0,00067028	8,3633 10^{-5}	0,01068971	0,46746243	9,9849 10^{-5}	0,00033258	0
22*	4,19	0,00104793	0,00169339	0,00023805	0,00330993	0,00014988	0,00011414	0,00705796	0,21534461	2,2808 10^{-5}	3,5856 10^{-5}	0
23	5,71	0,00147332	0,0013171	0,0010232	0,00074745	0,00037083	0,00023505	0,00586037	0,33088587	0,00010128	0,00010987	0,00011055
26	5,78	0,00166839	0,00122353	0,00131429	0,00066453	0,00035578	0,00013636	0,00700941	0,24588784	5,5873 10^{-5}	2,8417 10^{-5}	8,1788 10^{-5}
30	4,95	0,0016315	0,00143059	0,00012995	0,00295241	0,00152351	0,00055839	0,00268406	1,21966874	0,00187597	0,00039376	0,00032394
32	5,29	0,00145684	0,00113756	0,00092006	0,00056058	0,0003603	6,7383 10^{-5}	0,00578592	0,25121939	4,8286 10^{-5}	7,1986 10^{-5}	8,2813 10^{-5}
34	5,65	0,00177893	0,00192319	0,00087803	0,00082257	0,00056882	0,00013447	0,00697282	0,42457549	0,00014315	0,00024986	0,0001707
37	5,49	0,001494	0,0010063	0,00143627	0,00068656	0,00044674	0,00011897	0,0067141	0,3663585	0,00013846	0,00025475	0,00013396
38	5,68	0,00133342	0,00180273	0,00035829	0,00217915	0,00300767	0,00038758	0,00285275	1,03217044	0,00072086	0,00081742	0,00023849
42	5,57	0,00134906	0,00144852	0,00099017	0,00103699	0,00038329	0,00021809	0,0059408	0,35996802	0,00012101	0	0,00010593
45	5,27	0,00032823	0,00452294	3,4697 10^{-5}	0,00087007	0,00029882	0,00011464	0,00513968	0,52567532	0,00022128	0	0,000127
47	5,39	0,00090898	0,00261507	0,00111198	0,00089173	0,00048698	0,0004431	0,00583444	0,24169303	0,00016909	0	7,3023 10^{-5}
48	5,42	0,00108662	0,00149908	0,00110527	0,00129226	0,00081637	0,00022412	0,00540684	0,28297198	0,00021687	0	9,1164 10^{-5}
51	5,72	0,00201062	0,00081	0,00158313	0,00092897	0,00025526	5,186 10^{-5}	0,00840755	0,17498313	4,1252 10^{-5}	2,0791 10^{-5}	9,1503 10^{-5}
53	5,57	0,00339562	0,0002127	0,00187392	0,00065693	0,00022846	4,9113 10^{-5}	0,01091068	0,04071055	8,7252 10^{-5}	2,9496 10^{-7}	8,4381 10^{-5}
55	5,00	0,00388616	3,8355 10^{-5}	0,00226938	0,00011528	8,4755 10^{-5}	3,8953 10^{-5}	0,0121828	0,00891988	0	3,3514 10^{-6}	8,6E-05
56	5,14	0,00287016	0,00044489	0,00159617	0,00212627	0,00014597	5,2667 10^{-5}	0,01102488	0,07146161	0	5,8048 10^{-5}	0,00019622
57	5,19	0,00076894	0,00105641	0,00062818	0,00263737	0,00109682	5,9646 10^{-5}	0,00524829	0,46600465	0,00027919	0,00038705	6,0691 10^{-5}
61	5,50	0,00281224	0,00043136	0,00157437	0,00144075	0,00031215	5,0081 10^{-5}	0,00996022	0,11013835	0,0001635	0	0,00010929
62	5,01	0,00386122	0,0002707	0,00091555	0,00093339	0,00021403	4,9192 10^{-5}	0,0101499	0,02952754	5,8855 10^{-5}	0	0,00015612
64	4,60	0,00177202	0,00098625	0,0018065	0,00192477	0,00196414	0	0,00791066	0,05945979	4,6811 10^{-5}	2,1396 10^{-5}	8,322 10^{-5}
65	5,46	0,00206498	0,00086012	0,0010517	0,00315113	0,00078229	5,0343 10^{-5}	0,00928004	0,10357032	4,5941 10^{-5}	0,00016021	8,5336 10^{-5}
66	6,42	0,00167828	0,00051191	0,00155271	0,00383909	0,00021773	6,5368 10^{-5}	0,01018163	0,10888931	4,9749 10^{-5}	0	0,00010441
69	5,77	0,00126552	0,00090207	0,00108683	0,00401004	0,00023324	4,2977 10^{-5}	0,00909404	0,14853683	4,069 10^{-5}	7,2246 10^{-5}	8,7522 10^{-5}

Os dados modificados obtidos constam na Tabela 8. Nota-se que o coeficiente de variação se mantem elevado para o nitrato (NO_3^-) e o amônio (NH_4^+), de 2,19 e 1,77 respectivamente, que indica estarem ligados a processos independentes da carga total (CE) das águas.

Tabela 8: Estatística descritiva com dados modificados

	Unidade	Mínimo	Maximo	Média	Variância	Desvio Padrão	Coeficiente de variação
CE	µS/cm	3,550	568,000	133,840	19854	140,903	1,05
Ph	-	4,186	6,421	5,372	0,153	0,391	0,07
Ca^{2+}	mmol/l	$3,28\ 10^{-4}$	0,004	0,002	$6,35\ 10^{-8}$	0,001	0,42
K^+	"	$3,83\ 10^{-5}$	0,005	0,001	$7,75\ 10^{-9}$	0,001	0,92
Mg^{2+}	"	$3,46\ 10^{-5}$	0,003	0,001	$6,46\ 10^{-8}$	0,001	0,55
Na^+	"	$1,13\ 10^{-4}$	0,006	0,002	$1,66\ 10^{-7}$	0,001	0,83
Cl^-	"	$8,47\ 10^{-5}$	0,003	$4,31\ 10^{-4}$	$2,70\ 10^{-8}$	0,001	1,20
SO_4^{2-}	"	$3,74\ 10^{-5}$	0,001	$1,25\ 10^{-4}$	$1,45\ 10^{-9}$	$1,20\ 10^{-4}$	0,96
Alc	meq/l	0,003	0,012	0,008	$6,02\ 10^{-7}$	0,002	0,30
Si	mg/l	0,009	1,220	0,220	0,068	0,261	1,19
NO_3^-	mmol/l	$1,76\ 10^{-7}$	0,002	$1,43\ 10^{-4}$	$9,85\ 10^{-9}$	$3,13\ 10^{-4}$	**2,19**
NH_4^+	"	$2,65\ 10^{-8}$	0,001	$9,14\ 10^{-5}$	$2,61\ 10^{-9}$	$1,61\ 10^{-4}$	**1,77**
NO_2^-	"	$1,98\ 10^{-7}$	$3,23\ 10^{-4}$	$7,71\ 10^{-5}$	$5,21\ 10^{-10}$	$7,22\ 10^{-5}$	0,94

Na Tabela 9, observa-se uma mudança, e diminuição, nos coeficientes de correlação, que permite identificar novos grupos. Em outros termos, estabeleceu-se uma correlação negativa entre, de um lado, sílica (Si), e de outro, alcalinidade (Alc). Também aparece uma boa correlação entre sílica (Si), cloreto (Cl^-), nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+), bem como entre amônio (NH_4^+) e cloreto (Cl^-).

Tabela 9: Matriz de correlação dos dados modificados

	CE	pH	Ca^{2+}	K^+	Mg^{2+}	Na^+	Cl^-	SO_4^{2-}	Alc	Si^-	NO_3^-	NH_4^+	NO_2
CE	1,000												
pH	-0,212	1,000											
Ca^{2+}	0,757	-0,016	1,000										
K^+	-0,574	-0,102	-0,691	1,000									
Mg^{2+}	0,749	0,079	0,543	-0,721	1,000								
Na^+	-0,333	-0,112	-0,362	0,251	-0,490	1,000							
Cl^-	-0,428	0,084	-0,324	0,321	-0,513	0,261	1,000						
SO_4^{2-}	-0,411	0,018	-0,370	0,385	-0,424	0,051	0,610	1,000					
Alc	0,781	-0,061	0,696	-0,581	0,715	-0,027	-0,655	-0,704	1,000				
Si	-0,556	-0,013	-0,484	0,585	-0,698	0,301	**0,824**	0,710	**-0,780**	1,000			
NO_3^-	-0,301	-0,110	-0,195	0,262	-0,444	0,210	0,662	0,725	-0,587	**0,851**	1,000		
NH_4^+	-0,411	0,039	-0,334	0,361	-0,534	0,360	**0,927**	0,479	-0,565	**0,838**	0,601	1,000	
NO_2^-	-0,347	0,061	-0,027	0,344	-0,571	0,139	0,593	0,515	-0,496	0,732	0,703	0,589	1,000

4 – ACP 2

A Tabela 10 apresenta a porcentagem da variância explicada pelos eixos fatoriais da ACP 2. Comparando-se estes valores com aqueles obtidos na ACP 1 (Tabela 6), nota-se que a variância acumulada dos 3 primeiros eixos passa de 76,20%, na ACP 1, para 75,59% na ACP 2. Percebe-se, igualmente, que a variância explicada pelo eixo 1 aumentou para 52,05%, e que diminuíram as porcentagens explicadas pelos eixos 2 e 3, com 14,08% e 9,46% respectivamente. O eixo 3, sobretudo, passa a integrar o ruído geoquímico da amostragem.

Tabela 10: Distribuição de valores próprios da ACP 2

Vetor próprio	Valor próprio	Variância explicada (%)	Porcentagem acumulada
1	6,767	**52,05**	52,05
2	1,830	**14,08**	66,13
3	1,229	**9,46**	75,59
4	1,026	7,89	83,48
5	0,687	5,29	88,77
6	0,537	4,13	92,90
7	0,395	3,04	95,94
8	0,238	1,83	97,77
9	0,142	1,09	98,86
10	0,080	0,62	99,48

a) Primeiro plano fatorial da ACP 2

O primeiro plano fatorial da ACP 2 é formado pelos eixos 1 e 2.

O eixo 1 coloca em oposição um grupo de variáveis formado pelo Ca^{2+}, Mg^{2+}, Alc e CE, com as outras variáveis. Isto confirma, com maior peso e nitidez, os resultados obtidos na ACP 1.

O eixo fatorial 2 discrimina águas com maior proporção de Ca^{2+}, mas sem necessariamente com maior proporção de Mg^{2+} e Alcalinidade. Portanto, ele coloca em oposição o Ca^{2+} com o Na^{2+} e K^{+} (Figura 18).

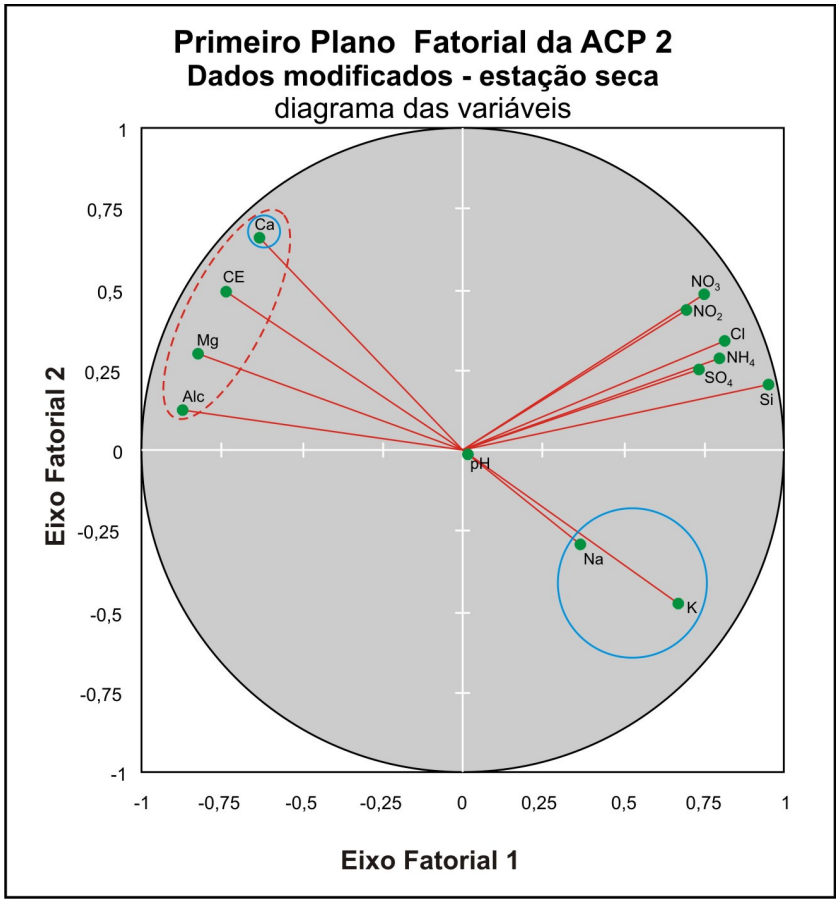


Figura 18: Distribuição das variáveis químicas no primeiro plano fatorial da ACP 2

Na Figura 19, diagrama das amostras de águas dos rios, pode-se observar que 4 pontos dão maior peso ao eixo 2. De um lado, os pontos 32 (Rio Correntes) e 42 (Rio Verde), e do outro, os pontos 13 (Rio Sangradorzinho) e 57 (Rio Salobra). Eliminando-se estes 4 pontos percebe-se uma correlação entre os eixos 1 e 2, pois uma boa parte da variância incorporada ao eixo 2 também faz parte do eixo 1.

Nota-se que nos pontos 32 (Rio Correntes) e 42 (Rio Verde) as águas têm cargas iônicas muito fracas, e uma certa proporção de formas do nitrogênio (NO_2^-, NO_3^- e NH_4^+), enquanto que os pontos 13 (Rio Sangradorzinho) e 57 (Rio Salobra) apresentam águas com maior proporção de Ca^{2+} e Mg^{2+}.

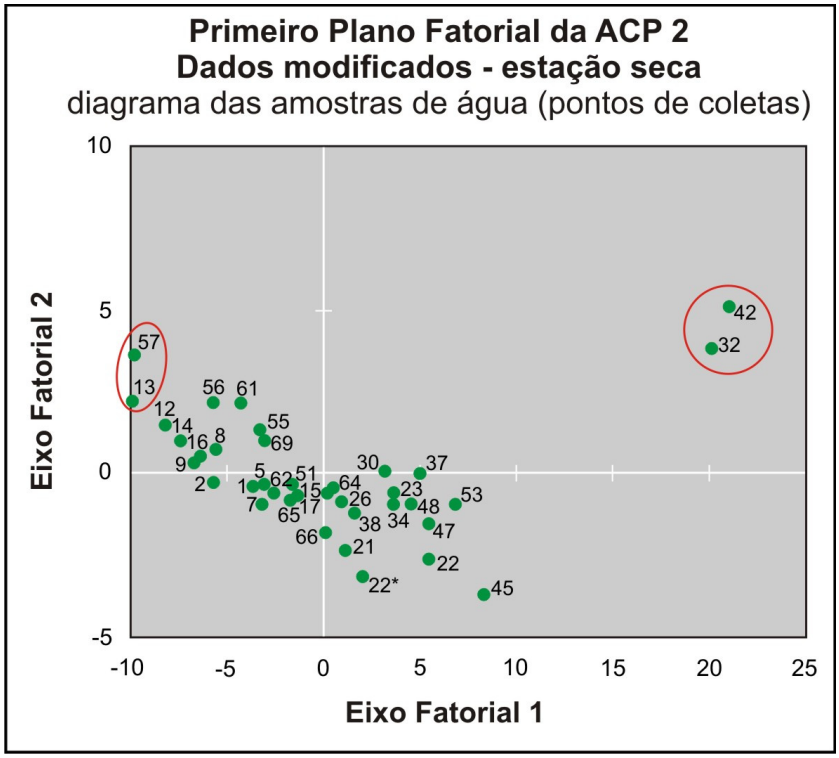


Figura 19: Distribuição das amostras de águas no primeiro plano fatorial da ACP 2

b) Segundo plano fatorial da ACP 2

O segundo plano fatorial da ACP 2 é composto pelos eixos 1 e 3.

O eixo 3, em particular, representa apenas 9,46% da variância explicada, e isto dificulta a interpretação dos processos a ele ligados (Tabela 10 e Figura 20). Contudo, nota-se na Figura 20 que o eixo 3 coloca em oposição águas, de um lado, com maior proporção de sódio (Na^+), de outro, com maior pH.

Na Figura 21, destacam-se dois grupos, um formado pelas amostras 22 (Águas Quentes-Córrego dos Macacos) e 22* (Águas Quentes-Nascente), e outro formado pelas amostras 17 (Rio Jauru), 23 (Rio São Lourenço), 26 (Rio Vermelho), 34 (Rio Piquiri) e 47 (Rio Negro).

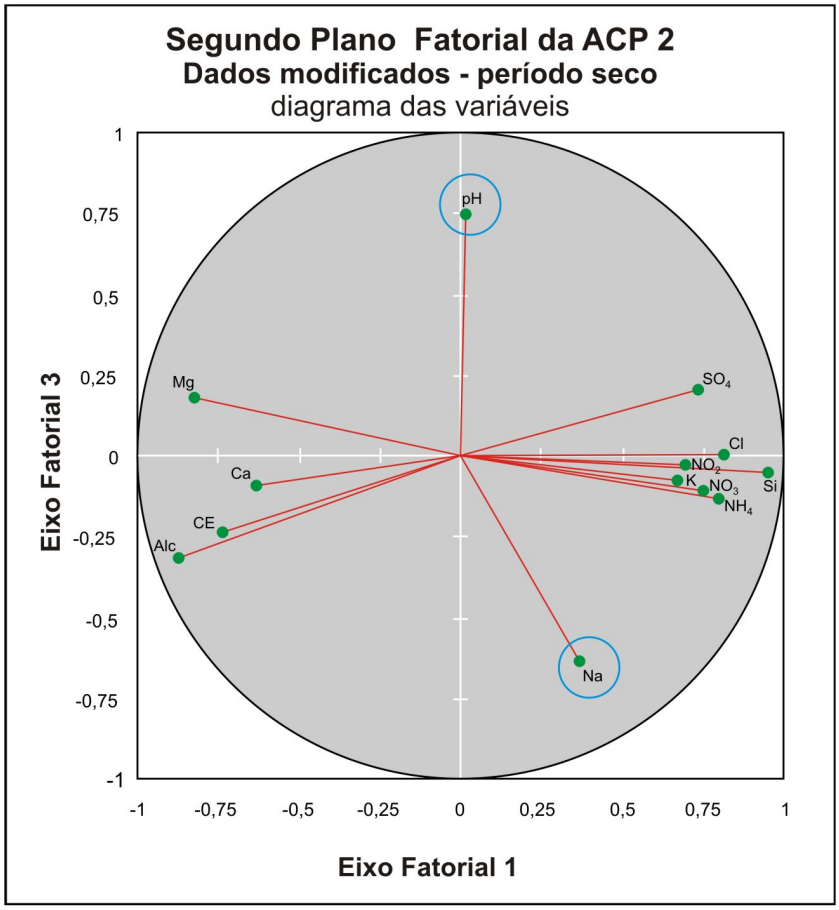


Figura 20: Distribuição das variáveis químicas no segundo plano fatorial da ACP 2

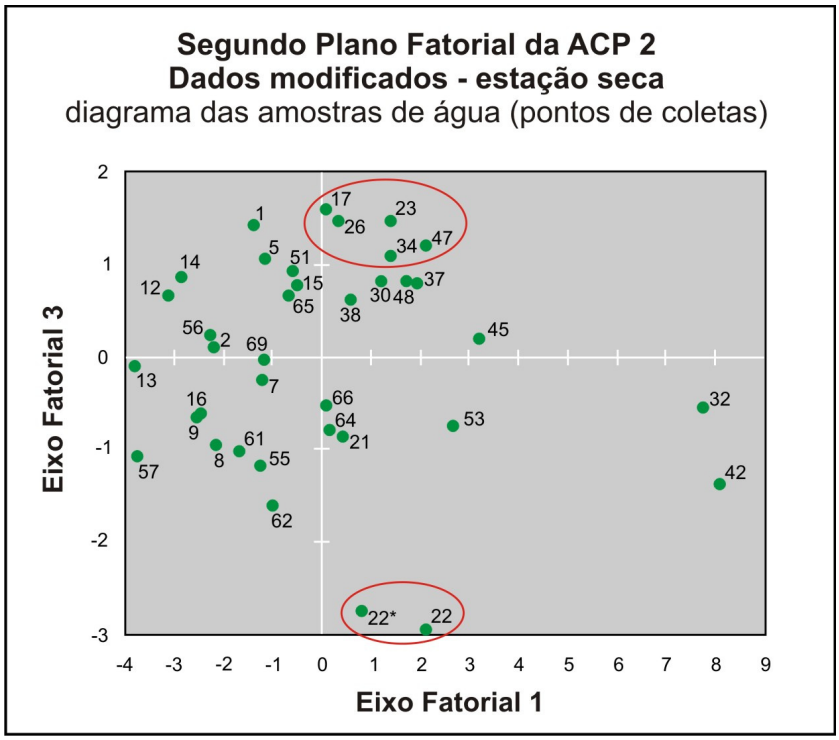


Figura 21: Distribuição das amostras de águas no segundo plano fatorial da ACP 2

Antes de entrar na interpretação dos resultados das ACPs (1 e 2), serão apresentados os resultados da Análise em Fatores de Correspondência (AFC). O objetivo é tentar confirmar a discriminação dos eixos, e verificar correspondências entre variáveis e amostras.

B – Análise em Fatores de Correspondência (AFC)

Antes de realizar esta análise, foi necessário fazer um pré tratamento dos dados, a saber:

1º) para cada variável, os resultados foram divididos pela média observada na amostragem. Isto permite diminuir a contribuição das variáveis mais fortes;

2º) para cada amostra, os dados foram divididos pelos valores de condutividade elétrica, a fim de diminuir o efeito do processo de concentração por evaporação, tal como realizado para a ACP 2.

A Tabela 11 apresenta os resultados da AFC, e mostra os 3 principais eixos discriminados. O primeiro explica 45,931%, o segundo e o terceiro explicam, respectivamente, 14,19 e 13,10 % da variância total.

Tabela 11: Distribuição de valores próprios da AFC – estação seca

Vetor próprio	Valor próprio	Variância explicada (%)	Porcentagem acumulada
1	0,28	**45,93**	45,93
2	0,09	**14,19**	60,12
3	0,08	**13,10**	73,22
4	0,06	8,98	82,20
5	0,04	6,93	89,13
6	0,03	5,34	94,47
7	0,02	3,93	98,40
8	0,01	1,00	99,40

1 – Primeiro plano fatorial da AFC

O primeiro plano fatorial da AFC distingue um triângulo e isto traduz a presença de 3 pólos (Figura 22). O primeiro pólo reune os maiores valores de nitrato (NO_3^-) do ponto 42 (Rio Verde), e os de sulfato (SO_4^{2-}) do ponto 47 (Rio Negro). O segundo pólo, discriminado pelos valores de amônio (NH_4^+), é formado pelos pontos 22 (Águas Quentes-Córrego dos macacos), 32 (Rio Correntes) e 53 (Córrego

Acogô). O pólo 3, discriminado pelos teores de magnésio (Mg^{2+}), agrega os pontos 12 (Córrego Sangradouro), 13 (Córrego Sangradorzinho), 14 (Córrego das Flechas), 16 (Rio Padre Inácio) e 57 (Rio Salobra).

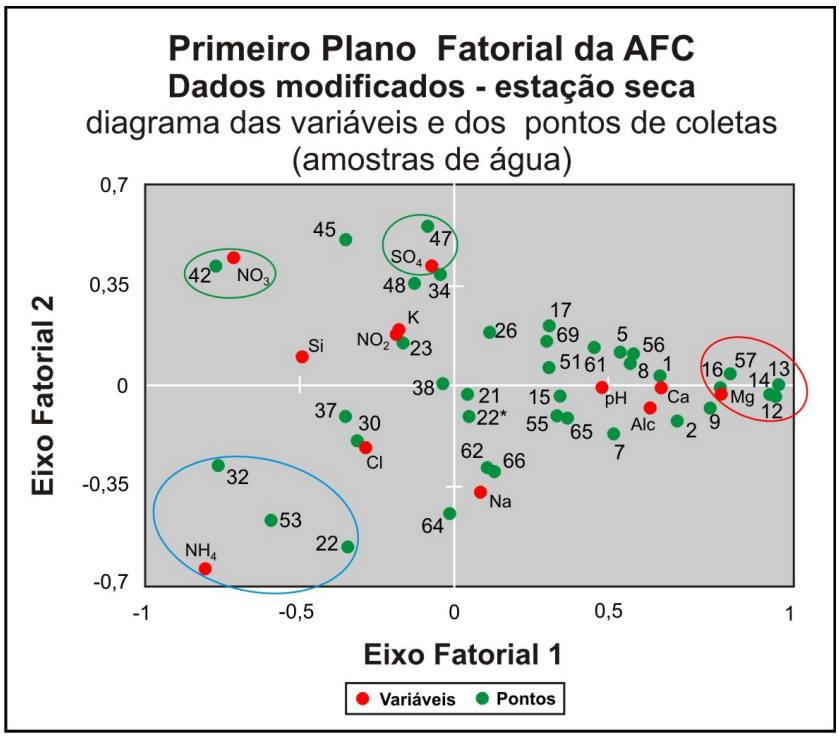


Figura 22: Distribuição das variáveis químicas e das amostras de águas no primeiro plano fatorial da AFC – estação seca

2 – Segundo plano fatorial da AFC

O segundo plano fatorial também é expresso por um triângulo, e portanto três pólos (Figura 23). O primeiro pólo, reune os maiores valores de nitrato (NO_3^-), do ponto 42 (Rio Verde), e os de amônio (NH_4^+) do ponto 32 (Rio Correntes). O segundo pólo, discriminado pelo teor em potássio (K^+), reúne os pontos 45 (Córrego Mumbuca) e 22* (Águas Quentes-Nascente). O terceiro pólo é discriminado pelos teores em magnésio (Mg^{2+}) dos pontos 12 (Córrego Sangradouro), 13 (Córrego Sangradorzinho), 14 (Córrego das Flechas) e 57 (Rio Salobra).

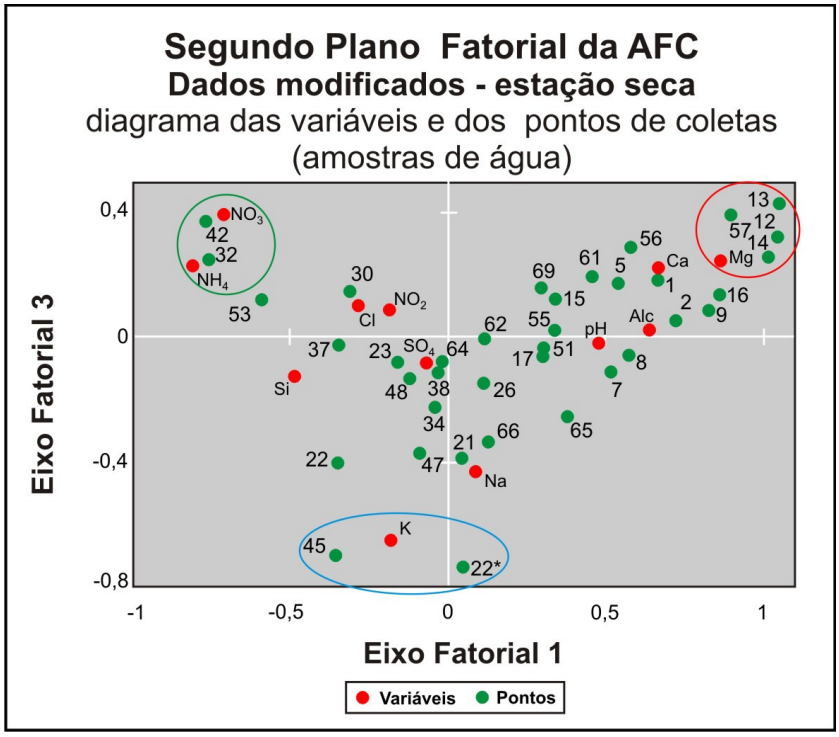


Figura 23: Distribuição das variáveis químicas e das amostras de águas no segundo plano fatorial da AFC – estação seca

C – Considerações sobre a ACP 2 e a AFC

Com base nas amostragens da estação seca de 2008, e em função das variáveis analisadas, manifestam-se tendências nos resultados das análises multivariadas, que veremos a seguir.

As análises revelam uma forte oposição entre dois tipos de águas. De um lado, uma água pouco carregada, e relativamente rica em Na^+, K^+ e Si, marcada por formas do nitrogênio; de outro, uma água mais mineralizada, dominada pelas variáveis Ca^{2+}, Mg^{2+}, e Alc. Tanto pela ACP 2 quanto pela AFC esta oposição representa aproximadamente 50% da variabilidade total. Portanto trata-se de um eixo significativo.

O segundo fator de variabilidade é dado pelas formas do nitrogênio. A comparação dos coeficientes de variabilidade entre dados brutos e dados modificados do NO_2^-, NO_3^- e NH_4^+ permitem mostrar que os teores em nitrogênio são independentes das cargas totais das águas. Este aspecto é confirmado pelo eixo 2 da ACP 2, e pelo eixo 3 da AFC.

Ademais, o eixo 2 da AFC opõe entre si as diferentes formas de nitrogênio, de maneira similar ao eixo 3 da ACP 1, que tendem a mostrar que os processos redox constituem fontes secundárias de variabilidade na composição química das águas.

Em seguida serão apresentados os estudos das águas amostradas na estação úmida, a fim de confirmar ou não essas tendências gerais registradas na estação.

III – AS ÁGUAS NA ESTAÇÃO ÚMIDA

Os dados físico-químicos de temperatura, pH e condutividade elétrica da água medidos durante as amostragens no campo estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12: Características físico-químicos (T°C, pH e CE) das águas medidas no campo

Nº das Amostras	RIOS		ESTAÇÃO ÚMIDA		
			TºC	pH	CE µS/cm
1	Rio Cuiabá	MT	28,5	7,19	175
2	Rio Bento Gomes	MT	26,3	7,36	110
3	Rio Maneta I	MT	28,3	6,19	32,2
4	Rio Boca do Vale	MT	28,5	6,55	72,4
5	Rio Cuiabá	MT	29,7	6,54	70,9
6	Rio Bento Gomes	MT	27,7	6,62	74,9
7	Córregos das Traíras	MT	26,7	7,16	103
8	Rio Formiga	MT	26,5	7,55	218
9	Ribeirão Figueira	MT	26,6	7,33	212
10	Afluente Ribeirão Figueira	MT	26,7	7,46	150
11	Rio dos Macacos	MT	26,8	7,05	75,4
12	Córrego Sangradouro	MT	27	6,80	62
13	Córrego Sangradorzinho	MT	26,6	6,92	67
14	Córrego das Flexas	MT	26,2	7,35	100
15	Rio Paraguai - Cáceres	MT	28,2	6,40	49
16	Rio Padre Inácio	MT	30,5	7,14	188,5
17	Rio Jauru	MT	27,9	6,83	115,6
18	Rio Aricá	MT	25,9	6,62	35,1
19	Afluente Rio Aricá Mirim	MT	26,8	7,12	50,4
20	Rio Aricá Mirim	MT	26,5	6,76	27,1
21	Córrego do Cervo	MT	27,4	6,65	41,2
22	Águas Quentes-Córrego dos Macacos	MT	26,3	6,96	31,4
22*	Águas Quentes-Nascente	MT	37,9	5,75	69,1
23	Rio São Lourenço	MT	27,1	7,02	38
24	Rio Areial	MT	26,6	6,94	44,3
25	Rio Tugoré	MT	26,3	7,03	51,5
26	Rio Vermelho	MT	26	7,02	39

Continuação

Continuação

Nº das Amostras	RIOS		ESTAÇÃO ÚMIDA		
			TºC	pH	CE µS/cm
27	Rio Inhumas	MT	25,4	5,23	15,3
28	Rio Ponte de Pedra	MT	26	5,69	13,6
29	Rio Cachoeira	MT	26,1	5,33	11,8
30	Rio Itiquira	MT	27,1	6,99	24,8
31	Rio Sozinho	MT	27,1	5,75	10,2
32	Rio Correntes	MS	29,2	6,05	10,8
33	Córrego Benjamin	MS	27,1	5,59	10,1
34	Rio Piquiri	MS	28,1	6,60	27,3
35	Rio Claro	MS	27,7	6,55	32
36	Rio Claro	MS	27,3	6,22	17,5
37	Rio Taquari	MS	28,7	6,95	29,2
38	Rio Coxim	MS	28,2	6,70	33
39	Rio Riacho Claro	MS	27,6	5,61	8,7
40	Córrego Fundo	MS	27,9	5,55	8,7
41	Rio Verde BR	MS	27,4	6,09	16,4
42	Rio Verde	MS	27,2	5,48	8,3
43	Rio Negrinho	MS	24,8	6,78	43,7
44	Afluente do Rio Negrinho	MS	25,2	7,32	55,3
45	Córrego Mumbuca	MS	25,5	6,38	21,5
46	Córrego Garimpo	MS	27,1	6,81	52,4
47	Rio Negro	MS	28	6,66	36,2
48	Rio Taboco	MS	28,4	6,49	44,9
49	Rio Dois Irmãos	MS	27,8	7,85	114,9
50	Rio Cachoeirão	MS	26,8	7,61	121
51	Rio Aquidauana	MS	27,3	7,53	78,8
52	Rio Taquarussu	MS	27	7,18	75,1
53	Córrego Acogô	MS	27,4	6.75	42,5
54	Córrego Laranjal	MS	29,5	7,56	134
55	Córrego Agachi	MS	28,5	7,77	203
56	Rio Miranda	MS	29,1	7,39	181
57	Rio Salobra	MS	28,3	7,64	459
58	Córrego Bertione	MS	26,8	8,21	515
59	Córrego Igrejinha	MS	25,4	8,23	222
60	Córrego Catitu	MS	26,4	7,39	55,5
61	Rio Aquidabã	MS	28,5	7,75	175,1
62	Rio Naitaca	MS	30,7	6,80	103,3
63	Rio Nabileque	MS	34,3	6,95	106
64	Rio Branco	MS	29,9	7,38	99,2
65	Rio Tereré	MS	32,6	7,72	68,2
66	Rio Amonguijá	MS	30	7,65	56,7
67	Rio São Lourenço	MS	29,4	7,59	69,3
68	Rio Paraguai - Porto Murtinho	MS	30,7	6,91	91,4
69	Rio Nioaque	MS	29	7,91	167

A Tabela 13 apresenta os resultados brutos das análises químicas, realizadas em laboratório, das águas coletadas na estação úmida.

TABELA 13: Resultados brutos das análises químicas das águas da estação úmida

Nº	Ca^{2+} mmol/L	K^{+} mmol/L	Mg^{2+} mmol/L	Na^{+} Mmol/L	Cl^{-} mmol/L	SO_4^{2-} mmol/L	Alc meq/l	Si mg/L	NO_3^{-} mmol/L	NH_4^{+} mmol/L	NO_2^{-} mmol/L
1	0,237989488	0,024673075	0,157264056	0,101713434	0,048563380	0,013224805	0,836759078	4,965271657	0,008343750	0,005388889	0,002166667
2	0,139721215	0,033317824	0,217995598	0,116641259	0,035830986	0,016147334	0,793971917	5,614187523	0,005656250	0,004777778	0,002416667
3	0,038261206	0,013069748	0,035284881	0,037994547	0,014788732	0,003779165	0,196201766	3,244106094	0,001031250	0,021944444	0,000520833
4	0,096388095	0,015240990	0,056699639	0,049357204	0,018845070	0,007277790	0,357357386	3,276977024	0,001265625	0,021833333	0,000583333
5	0,112686547	0,014452236	0,081849173	0,046017367	0,014563380	0,007370609	0,434897903	3,813341010	0,001046875	0,016333333	0,000625000
6	0,085116890	0,018251654	0,114397895	0,064366144	0,038000000	0,007716460	0,440412364	5,337718351	0,001531250	0,014333333	0,000604167
7	0,126957741	0,018729581	0,148506778	0,106296063	0,029070423	0,011512291	0,623116623	6,334666387	0,001812500	0,003111111	0,002041667
8	0,379494594	0,043969345	0,380248934	0,190757593	0,057352113	0,163740904	1,357178684	8,988110768	0,012312500	0,000277778	0,000166667
9	0,329881024	0,034660357	0,488909724	0,112333425	0,014535211	0,006117645	1,756113803	9,119142578	0,000718750	0,000777778	0,001750000
10	0,223124952	0,028961743	0,298118779	0,105987220	0,020845070	0,029711186	1,096576968	7,571247530	0,000078125	0,000277778	0,000791667
11	0,085940064	0,019214505	0,092033570	0,081765909	0,017070423	0,038220789	0,367195196	6,871422900	0,006109375	0,010388889	0,000500000
12	0,094984639	0,015684139	0,087416206	0,035729560	0,018788732	0,014631859	0,374058770	3,841488002	0,003187500	0,009500000	0,000416667
13	0,127064451	0,016232571	0,100447610	0,036554162	0,035746479	0,016677862	0,438293720	3,623904135	0,003609375	0,003944444	0,000750000
14	0,235686715	0,017262144	0,121894683	0,044421454	0,017774648	0,024315309	0,711685920	3,756844421	0,005921875	0,007833333	0,000666667
15	0,063237254	0,013484887	0,050354323	0,030974428	0,036197183	0,008805016	0,222187684	4,390884048	0,002765625	0,007722222	0,000604167
16	0,390159420	0,033895016	0,311402559	0,077910567	0,061859155	0,050039215	1,349637788	6,513493646	0,002562500	0,001500000	0,002291667
17	0,184134911	0,029284078	0,122129484	0,110139479	0,052056338	0,040749053	0,616276374	7,563601579	0,003343750	0,002055556	0,000833333
18	0,027281502	0,010321375	0,028221416	0,029514526	0,035211268	0,006583646	0,119850330	2,892833744	0,003328125	0,021277778	0,000562500
19	0,066588611	0,013707781	0,061554906	0,024642121	0,026084507	0,004769322	0,272748161	3,057282395	0,001765625	0,016166667	0,000666667
20	0,024670121	0,011201391	0,019926232	0,025479600	0,009802817	0,005247096	0,122936063	3,707022961	0,001828125	0,019666667	0,000479167
21	0,037647682	0,019630838	0,013367100	0,053419117	0,017690141	0,004956664	0,164359730	6,904330733	0,000671875	0,018055556	0,000500000
22	0,014939683	0,015989105	0,002411691	0,049386759	0,004084507	0,002896593	0,106789460	7,214956160	0,001578125	0,018666667	0,000500000
22*	0,065843064	0,034565131	0,012344541	0,104380633	0,005690141	0,017083203	0,267254360	12,158131114	0,002953125	0,015222222	0,000479167
23	0,043027802	0,013430536	0,041579833	0,019778753	0,016507042	0,059817624	0,077860394	4,295769115	0,008234375	0,020333333	0,000520833
24	0,045952372	0,025780567	0,057317697	0,022300779	0,057239437	0,082453834	0,052974379	4,073698983	0,002750000	0,023833333	0,000583333
25	0,059011802	0,019019243	0,070329825	0,023145093	0,022704225	0,090829219	0,115203676	3,643692653	0,002093750	0,021333333	0,000520833
26	0,043997102	0,014428418	0,043384108	0,020916669	0,031352113	0,054004190	0,091745281	3,776797619	0,001265625	0,022888889	0,000625000
27	0,007410305	0,007540940	0,004286853	0,015362990	0,023915493	0,004115405	0,036587704	2,929764467	0,001078125	0,023888889	0,000375000
28	0,005082910	0,007367684	0,003331269	0,014204710	0,009211268	0,003900043	0,043288703	4,559456875	0,000781250	0,023055556	0,000375000
29	0,003178826	0,006036860	0,000450169	0,013719811	0,005718310	0,002104437	0,039578796	4,385836222	0,001203125	0,023944444	0,000250000
30	0,028783714	0,009534119	0,024813410	0,014813407	0,007971831	0,003186405	0,135266577	4,420681013	0,003187500	0,021777778	0,000520833
31	0,004035509	0,005936385	0,001390493	0,013903559	0,003239437	0,002441569	0,044810695	4,663834677	0,001203125	0,023611111	0,000166667
32	0,003479231	0,006359460	0,000329914	0,013407134	0,003098592	0,002765601	0,041506829	4,016187187	0,002671875	0,025611111	0,000187500
33	0,002100335	0,006059453	0,000208333	0,017192699	0,021380282	0,002642553	0,026028753	3,665472118	0,001203125	0,026277778	0,000250000
34	0,021849637	0,014396259	0,023977159	0,018771040	0,018056338	0,036674147	0,060227025	4,069101461	0,001765625	0,029222222	0,000645833
35	0,015578192	0,019375544	0,034310789	0,020986792	0,019380282	0,040605938	0,054648834	4,005792097	0,012718750	0,028444444	0,000625000
36	0,007236302	0,010537752	0,011075682	0,017478408	0,016197183	0,014103045	0,036478176	3,804712894	0,010890625	0,027611111	0,000479167

Continuação

Continuação

Nº	Ca^{2+} mmol/L	K^{+} mmol/L	Mg^{2+} mmol/L	Na^{+} Mmol/L	Cl^{-} mmol/L	SO_4^{2-} mmol/L	Alc meq/l	Si mg/L	NO_3^{-} mmol/L	NH_4^{+} mmol/L	NO_2^{-} mmol/L
37	0,037601338	0,016236497	0,021830166	0,017526546	0,016478873	0,013568727	0,132343055	5,238748933	0,003937500	0,027833333	0,000562500
38	0,041486619	0,017696213	0,020220717	0,017576210	0,020056338	0,011474823	0,138375555	6,224164142	0,004312500	0,027611111	0,000604167
39	0,004001757	0,005771424	0,000208333	0,013441648	0,006619718	0,002646274	0,039373766	3,317285682	0,003062500	0,027111111	0,000395833
40	0,003015328	0,006042314	0,000208333	0,014151296	0,008535211	0,002741069	0,031226014	3,648224409	0,007078125	0,026055556	0,000375000
41	0,008446982	0,007268703	0,007893372	0,017898555	0,023605634	0,013290426	0,008585090	3,311069644	0,026062500	0,027444444	0,000458333
42	0,002474665	0,005543745	0,000203724	0,013483908	0,004535211	0,002498151	0,031585555	2,950567914	0,008718750	0,025722222	0,000270833
43	0,042995781	0,018023718	0,059860551	0,023003820	0,021521127	0,049080730	0,140604491	4,579964401	0,011453125	0,025500000	0,000500000
44	0,048912637	0,026985504	0,072903750	0,033685597	0,022647887	0,114161705	0,062900285	6,997033963	0,014578125	0,024666667	0,000520833
45	0,004000885	0,023360211	0,002432819	0,014747988	0,002028169	0,003033903	0,062879631	6,996423953	0,004125000	0,024500000	0,000375000
46	0,044317877	0,030817972	0,063981188	0,025884270	0,018225352	0,105530923	0,054990604	6,026030798	0,011078125	0,022722222	0,000666667
47	0,030226719	0,023783229	0,037062277	0,022069938	0,027521127	0,051002716	0,065177168	4,697431500	0,008671875	0,023611111	0,000666667
48	0,052389452	0,021401082	0,051703022	0,026842238	0,023492958	0,042568114	0,167215749	4,414981988	0,001125000	0,021000000	0,000458333
49	0,253579735	0,024993853	0,158349074	0,060768514	0,036450704	0,006876859	0,862040561	11,525570313	0,002500000	0,007166667	0,002041667
50	0,280152922	0,024413406	0,170597335	0,065648797	0,042422535	0,008100748	0,934643546	11,615345060	0,002906250	0,006611111	0,002000000
51	0,171094502	0,018575503	0,106781655	0,036269376	0,028647887	0,004703748	0,590029657	10,055055109	0,002296875	0,020555556	0,000770833
52	0,160620294	0,017395882	0,090960955	0,042873360	0,030535211	0,007835788	0,534702384	9,757090720	0,001703125	0,019722222	0,000541667
53	0,056686078	0,014079164	0,035880611	0,049567391	0,038760563	0,009674605	0,203581617	12,590500462	0,006921875	0,020500000	0,000666667
54	0,282037931	0,031491194	0,176695130	0,106456020	0,033971831	0,006114777	0,999100840	8,886081254	0,014250000	0,006222222	0,002083333
55	0,471727023	0,034065634	0,296441778	0,146132656	0,059267606	0,028433738	1,579498033	11,652468916	0,019000000	0,000888889	0,002791667
56	0,494816672	0,027139857	0,261120529	0,062122873	0,047549296	0,019743196	1,504191723	8,526682839	0,010812500	0,003277778	0,002375000
57	1,646238045	0,073647731	0,570156534	0,282468005	0,132394366	0,025966669	4,551424412	5,396757014	0,046875000	0,002888889	0,009166667
58	1,640305765	0,060308123	1,037004438	0,188352293	0,177746479	0,042684497	5,213950070	5,529951463	0,019062500	0,001388889	0,008541667
59	0,486342749	0,016573476	0,230873247	0,093867584	0,119436620	0,013869381	1,392593505	10,240421411	0,006187500	0,003500000	0,002416667
60	0,068927077	0,015690011	0,053370882	0,083591633	0,038056338	0,008237020	0,306336767	8,646150178	0,002281250	0,020000000	0,000729167
61	0,494967798	0,018708455	0,116614778	0,091251464	0,027605634	0,012669366	1,273437650	9,858530909	0,007937500	0,003444444	0,002250000
62	0,177553905	0,033071323	0,140159934	0,083807375	0,089070423	0,016212753	0,630136837	15,237488208	0,002937500	0,004722222	0,002458333
63	0,180497039	0,037013044	0,144624028	0,084224818	0,038422535	0,017381919	0,700234592	15,168989209	0,001218750	0,003888889	0,000729167
64	0,256928222	0,019336096	0,073629904	0,083458421	0,019774648	0,009419665	0,725112764	9,540363070	0,004281250	0,006388889	0,002291667
65	0,067903954	0,016283227	0,057401241	0,112482531	0,019154930	0,006754712	0,362470476	12,070451365	0,003671875	0,020055556	0,000625000
66	0,048218975	0,014499367	0,036994385	0,114186238	0,037323944	0,006053979	0,270102297	14,334892484	0,002015625	0,023166667	0,000729167
67	0,060788684	0,011612535	0,043566058	0,147152443	0,051098592	0,009500362	0,317744939	15,006170381	0,005046875	0,026000000	0,000583333
68	0,200787432	0,027148542	0,113958390	0,049611953	0,047943662	0,017394941	0,621463037	9,261609634	0,002250000	0,002611111	0,002416667
69	0,586691872	0,061252729	0,370849094	0,190707879	0,023323944	0,035371004	2,041098115	23,253689357	0,019531250	0,001611111	0,013958333

A – Análise em Componentes Principais (ACP)

1 – Estatística descritiva com dados brutos

Para realizar a análise em componentes principais (ACP 3), o tratamento dos dados seguiu os mesmos protocolos descritos acima para as águas da estação seca.

A Tabela 14 apresenta os resultados da ACP 3 realizada diretamente com dados modificados.

Tabela 14: Dados dos elementos químicos divididos pela condutividade elétrica (concentrações corrigidas [C*] e pH*): estação úmida

Nº	pH	Ca^{2+}	K^{+}	Mg^{2+}	Na^{+}	Cl^{-}	SO_4^{2-}	Alc	Si	NO_3^{-}	NH_4^{+}	NO_2^{-}
		mmol/L	mmol/L	mmol/L	mmol/L	mmol/L	mmol/L	meq/l	mg/L	mmol/L	mmol/L	mmol/L
1	4,95	0,001359940	0,000140989	0,000898652	0,000581220	0,000277505	0,000075570	0,004781480	0,028372981	0,000047679	0,000030794	0,000012381
2	5,32	0,001270193	0,000302889	0,001981778	0,001060375	0,000325736	0,000146794	0,007217927	0,051038068	0,000051420	0,000043434	0,000021970
3	4,68	0,001188236	0,000405893	0,001095804	0,001179955	0,000459277	0,000117365	0,006093223	0,100748636	0,000032026	0,000681504	0,000016175
4	4,69	0,001331327	0,000210511	0,000783144	0,000681729	0,000260291	0,000100522	0,004935875	0,045262114	0,000017481	0,000301565	0,000008057
5	4,69	0,001589373	0,000203840	0,001154431	0,000649046	0,000205407	0,000103958	0,006133962	0,053784782	0,000014766	0,000230371	0,000008815
6	4,75	0,001136407	0,000243680	0,001527342	0,000859361	0,000507343	0,000103024	0,005880005	0,071264597	0,000020444	0,000191366	0,000008066
7	5,15	0,001232599	0,000181841	0,001441813	0,001032001	0,000282237	0,000111770	0,006049676	0,061501615	0,000017597	0,000030205	0,000019822
8	5,21	0,001740801	0,000201694	0,001744261	0,000875035	0,000263083	0,000751105	0,006225590	0,041229866	0,000056479	0,000001274	0,000000765
9	5,00	0,001556043	0,000163492	0,002306178	0,000529875	0,000068562	0,000028857	0,008283556	0,043014823	0,000003390	0,000003669	0,000008255
10	5,28	0,001487500	0,000193078	0,001987459	0,000706581	0,000138967	0,000198075	0,007310513	0,050474984	0,000000521	0,000001852	0,000005278
11	5,17	0,001139789	0,000254834	0,001220604	0,001084428	0,000226398	0,000506907	0,004869963	0,091132930	0,000081026	0,000137784	0,000006631
12	5,01	0,001532010	0,000252970	0,001409939	0,000576283	0,000303044	0,000235998	0,006033206	0,061959484	0,000051411	0,000153226	0,000006720
13	5,09	0,001896484	0,000242277	0,001499218	0,000545585	0,000533530	0,000248923	0,006541697	0,054088121	0,000053871	0,000058872	0,000011194
14	5,35	0,002356867	0,000172621	0,001218947	0,000444215	0,000177746	0,000243153	0,007116859	0,037568444	0,000059219	0,000078333	0,000006667
15	4,71	0,001290556	0,000275202	0,001027639	0,000632131	0,000738718	0,000179694	0,004534443	0,089609879	0,000056441	0,000157596	0,000012330
16	4,86	0,002069811	0,000179814	0,001652003	0,000413319	0,000328165	0,000265460	0,007159882	0,034554343	0,000013594	0,000007958	0,000012157
17	4,77	0,001592863	0,000253322	0,001056483	0,000952764	0,000450314	0,000352500	0,005331111	0,065429079	0,000028925	0,000017782	0,000007209
18	5,07	0,000777251	0,000294056	0,000804029	0,000840870	0,001003170	0,000187568	0,003414539	0,082416916	0,000094818	0,000606204	0,000016026
19	5,42	0,001321203	0,000271980	0,001221328	0,000488931	0,000517550	0,000094629	0,005411670	0,060660365	0,000035032	0,000320767	0,000013228
20	5,33	0,000910337	0,000413335	0,000735285	0,000940207	0,000361728	0,000193620	0,004536386	0,136790515	0,000067458	0,000725707	0,000017681
21	5,04	0,000913779	0,000476477	0,000324444	0,001296581	0,000429372	0,000120307	0,003989314	0,167580843	0,000016308	0,000438242	0,000012136
22	5,46	0,000475786	0,000509207	0,000076805	0,001572827	0,000130080	0,000092248	0,003400938	0,229775674	0,000050259	0,000594480	0,000015924
22*	3,91	0,000952866	0,000500219	0,000178647	0,001510574	0,000082346	0,000247224	0,003867646	0,175949799	0,000042737	0,000220293	0,000006934
23	5,44	0,001132311	0,000353435	0,001094206	0,000520493	0,000434396	0,001574148	0,002048958	0,113046556	0,000216694	0,000535088	0,000013706
24	5,29	0,001037300	0,000581954	0,001293853	0,000503404	0,001292087	0,001861260	0,001195810	0,091957088	0,000062077	0,000537998	0,000013168
25	5,32	0,001145860	0,000369306	0,001365628	0,000449419	0,000440859	0,001763674	0,002236965	0,070751314	0,000040655	0,000414239	0,000010113
26	5,43	0,001128131	0,000369959	0,001112413	0,000536325	0,000803900	0,001384723	0,002352443	0,096840965	0,000032452	0,000586895	0,000016026
27	4,05	0,000484334	0,000492872	0,000280186	0,001004117	0,001563104	0,000268981	0,002391353	0,191487874	0,000070466	0,001561365	0,000024510
28	4,56	0,000373743	0,000541741	0,000244946	0,001044464	0,000677299	0,000286768	0,003182993	0,335254182	0,000057445	0,001695261	0,000027574
29	4,26	0,000269392	0,000511598	0,000038150	0,001162696	0,000484603	0,000178342	0,003354135	0,371681036	0,000101960	0,002029190	0,000021186
30	5,60	0,001160634	0,000384440	0,001000541	0,000597315	0,000321445	0,000128484	0,005454297	0,178253267	0,000128528	0,000878136	0,000021001
31	4,74	0,000395638	0,000581999	0,000136323	0,001363094	0,000317592	0,000239369	0,004393205	0,457238694	0,000117953	0,002314815	0,000016340
32	5,02	0,000322151	0,000588839	0,000030548	0,001241401	0,000286907	0,000256074	0,003843225	0,371869184	0,000247396	0,002371399	0,000017361
33	4,59	0,000207954	0,000599946	0,000020627	0,001702247	0,002116860	0,000261639	0,002577104	0,362918032	0,000119121	0,002601760	0,000024752
34	5,16	0,000800353	0,000527336	0,000878284	0,000687584	0,000661404	0,001343375	0,002206118	0,149051336	0,000064675	0,001070411	0,000023657
35	5,04	0,000486818	0,000605486	0,001072212	0,000655837	0,000605634	0,001268936	0,001707776	0,125181003	0,000397461	0,000888889	0,000019531

Continuação

Continuação

Nº	pH	Ca^{2+} mmol/L	K^{+} mmol/L	Mg^{2+} mmol/L	Na^{+} mmol/L	Cl^{-} mmol/L	SO_4^{2-} mmol/L	Alc meq/l	Si mg/L	NO_3^{-} mmol/L	NH_4^{+} mmol/L	NO_2^{-} mmol/L
36	4,98	0,000413503	0,000602157	0,000632896	0,000998766	0,000925553	0,000805888	0,002084467	0,217412165	0,000622321	0,001577778	0,000027381
37	5,48	0,001287717	0,000556044	0,000747608	0,000600224	0,000564345	0,000464682	0,004532296	0,179409210	0,000134846	0,000953196	0,000019264
38	5,18	0,001257170	0,000536249	0,000612749	0,000532612	0,000607768	0,000347722	0,004193199	0,188611035	0,000130682	0,000836700	0,000018308
39	4,67	0,000459972	0,000663382	0,000023946	0,001545017	0,000760887	0,000304169	0,004525720	0,381297205	0,000352011	0,003116220	0,000045498
40	4,61	0,000346589	0,000694519	0,000023946	0,001626586	0,000981059	0,000315065	0,003589197	0,419336139	0,000813578	0,002994891	0,000043103
41	4,88	0,000515060	0,000443214	0,000481303	0,001091375	0,001439368	0,000810392	0,000523481	0,201894490	0,001589177	0,001673442	0,000027947
42	4,56	0,000298152	0,000667921	0,000024545	0,001624567	0,000546411	0,000300982	0,003805489	0,355490110	0,001050452	0,003099063	0,000032631
43	5,14	0,000983885	0,000412442	0,001369807	0,000526403	0,000492474	0,001123129	0,003217494	0,104804677	0,000262085	0,000583524	0,000011442
44	5,58	0,000884496	0,000487984	0,001318332	0,000609143	0,000409546	0,002064407	0,001137437	0,126528643	0,000263619	0,000446052	0,000009418
45	5,05	0,000186088	0,001086521	0,000113154	0,000685953	0,000094333	0,000141112	0,002924634	0,325415068	0,000191860	0,001139535	0,000017442
46	5,09	0,000845761	0,000588129	0,001221015	0,000493975	0,000347812	0,002013949	0,001049439	0,115000588	0,000211415	0,000433630	0,000012723
47	5,10	0,000834992	0,000656995	0,001023820	0,000609667	0,000760252	0,001408915	0,001800474	0,129763301	0,000239555	0,000652241	0,000018416
48	4,84	0,001166803	0,000476639	0,001151515	0,000597823	0,000523228	0,000948065	0,003724181	0,098329220	0,000025056	0,000467706	0,000010208
49	5,79	0,002206960	0,000217527	0,001378147	0,000528882	0,000317239	0,000059851	0,007502529	0,100309576	0,000021758	0,000062373	0,000017769
50	5,53	0,002315313	0,000201764	0,001409895	0,000542552	0,000350599	0,000066948	0,007724327	0,095994587	0,000024019	0,000054637	0,000016529
51	5,63	0,002171250	0,000235730	0,001355097	0,000460271	0,000363552	0,000059692	0,007487686	0,127602222	0,000029148	0,000260857	0,000009782
52	5,30	0,002138752	0,000231636	0,001211198	0,000570884	0,000406594	0,000104338	0,007119872	0,129921315	0,000022678	0,000262613	0,000007213
53	5,12	0,001333790	0,000331274	0,000844250	0,001166292	0,000912013	0,000227638	0,004790156	0,296247070	0,000162868	0,000482353	0,000015686
54	5,43	0,002104761	0,000235009	0,001318620	0,000794448	0,000253521	0,000045633	0,007455976	0,066314039	0,000106343	0,000046434	0,000015547
55	5,46	0,002323778	0,000167811	0,001460304	0,000719865	0,000291959	0,000140068	0,007780778	0,057401325	0,000093596	0,000004379	0,000013752
56	5,13	0,002733794	0,000149944	0,001442655	0,000343220	0,000262703	0,000109078	0,008310452	0,047108745	0,000059738	0,000018109	0,000013122
57	4,98	0,003586575	0,000160453	0,001242171	0,000615399	0,000288441	0,000056572	0,009915957	0,011757641	0,000102124	0,000006294	0,000019971
58	5,09	0,003185060	0,000117103	0,002013601	0,000365733	0,000345139	0,000082883	0,010124175	0,010737770	0,000037015	0,000002697	0,000016586
59	5,88	0,002190733	0,000074655	0,001039970	0,000422827	0,000538003	0,000062475	0,006272944	0,046128024	0,000027872	0,000015766	0,000010886
60	5,65	0,001241929	0,000282703	0,000961638	0,001506156	0,000685700	0,000148415	0,005519581	0,155786490	0,000041104	0,000360360	0,000013138
61	5,51	0,002826772	0,000106844	0,000665990	0,000521139	0,000157656	0,000072355	0,007272631	0,056302290	0,000045331	0,000019671	0,000012850
62	4,79	0,001718818	0,000320148	0,001356824	0,000811301	0,000862250	0,000156948	0,006100066	0,147507146	0,000028437	0,000045714	0,000023798
63	4,92	0,001702802	0,000349180	0,001364378	0,000794574	0,000362477	0,000163980	0,006605987	0,143103672	0,000011498	0,000036688	0,000006879
64	5,38	0,002590002	0,000194920	0,000742237	0,000841315	0,000199341	0,000094956	0,007309604	0,096173015	0,000043158	0,000064404	0,000023101
65	5,89	0,000995659	0,000238757	0,000841660	0,001649304	0,000280864	0,000099043	0,005314816	0,176986090	0,000053840	0,000294070	0,000009164
66	5,90	0,000850423	0,000255721	0,000652458	0,002013867	0,000658271	0,000106772	0,004763709	0,252819973	0,000035549	0,000408583	0,000012860
67	5,75	0,000877182	0,000167569	0,000628659	0,002123412	0,000737353	0,000137090	0,004585064	0,216539255	0,000072826	0,000375180	0,000008418
68	4,95	0,002196799	0,000297030	0,001246810	0,000542800	0,000524548	0,000190317	0,006799377	0,101330521	0,000024617	0,000028568	0,000026441
69	5,69	0,003513125	0,000366783	0,002220653	0,001141963	0,000139664	0,000211802	0,012222144	0,139243649	0,000116954	0,000009647	0,000083583

Pela Tabela 15 nota-se que as formas de nitrogênio, principalmente, nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+), continuam apresentando os maiores coeficientes de variação, com 1,80 e 1,30 e secundariamente, com 1,26, o sulfato (SO_4^{2-}).

Tabela 15: Estatística descritiva dos dados modificados

	Unidade	Mínimo	Máximo	Média	Variância	Desvio Padrão	Coeficiente de variação
CE	µS/cm	8,300	515,000	85,324	8014	89,521	**1,05**
pH	-	3,911	5,896	5,119	0,168	0,409	0,08
Ca^{2+}	mmol/L	1,860 10^{-4}	0,004	0,001	6,233 10^{-7}	0,001	0,59
K^+	"	7,465 10^{-5}	0,001	3,632 10^{-4}	3,508 10^{-8}	1,872 10^{-4}	0,52
Mg^{2+}	"	2,062 10^{-5}	0,002	0,001	3,102 10^{-7}	0,001	0,56
Na^+	"	3,432 10^{-4}	0,002	0,001	1,750 10^{-7}	4,183 10^{-4}	0,48
Cl^-	"	6,856 10^{-5}	0,002	0,001	1,281 10^{-7}	3,579 10^{-4}	0,71
SO_4^{2-}	"	2,885 10^{-5}	0,002	**4,138 10^{-4}**	2,721 10^{-7}	0,001	**1,26**
Alc	meq/L	0,001	0,012	0,005	5,412 10^{-6}	0,002	0,46
Si	mg/L	0,011	0,457	0,144	0,012	0,107	0,75
NO_3^-	mmol/L	5,208 10^{-7}	0,002	1,373 10^{-4}	6,112 10^{-8}	2,47210^{-4}	**1,80**
NH_4^+	"	1,274 10^{-6}	0,003	0,001	6,459 10^{-7}	0,001	**1,30**
NO_2^-	"	7,645 10^{-7}	8,358 10^{-5}	1,677 10^{-5}	1,289 10^{-10}	1 13510^{-5}	0,68

Na Tabela 16 a matriz de correlações salienta uma correlação positiva (0,701) entre condutividade elétrica (CE) e alcalinidade (Alc). Secundariamente, há uma correlação positiva entre alcalinidade (Alc) e cálcio (Ca^{2+}), e negativa com o potássio (K^+). Outros elementos como a sílica (Si) e o amônio (NH_4^+) apresentam correlação positiva com o potássio (K^+), e negativa com o magnésio (Mg^{2+}).

Tabela 16: Matriz de correlação dos dados modificados

	CE	pH	Ca^{2+}	K^+	Mg^{2+}	Na^+	Cl^-	SO_4^{2-}	Alc	Si	NO_3^-	NH_4^+	NO_2^-
CE	1,000												
pH	0,175	1,000											
Ca^{2+}	**0,775**	0,366	1,000										
K+	-0,603	-0,362	-0,714	1,000									
Mg^{2+}	0,563	0,376	0,656	-0,612	1,000								
Na^+	-0,344	-0,136	-0,491	0,274	-0,570	1,000							
Cl^-	-0,359	-0,271	-0,429	0,329	-0,361	0,263	1,000						
SO_4^{2-}	-0,259	0,061	-0,298	0,377	0,076	-0,255	0,223	1,000					
Alc	**0,701**	0,259	**0,847**	**-0,664**	0,572	-0,187	-0,515	-0,657	1,000				
Si	-0,558	-0,303	-0,658	**0,712**	**-0,788**	0,660	0,359	-0,053	-0,424	1,000			
NO_3^-	-0,263	-0,200	-0,373	0,423	-0,360	0,248	0,369	0,219	-0,406	0,408	1,000		
NH_4^+	-0,518	-0,440	-0,684	**0,721**	**-0,748**	0,491	0,488	0,087	-0,509	**0,867**	0,589	1,000	
NO_2^-	-0,100	-0,088	0,008	0,362	-0,162	0,268	0,233	-0,051	0,102	0,408	0,376	0,447	1,000

2 – ACP 3

A Tabela 17 mostra que o primeiro eixo fatorial da ACP 3 é responsável por 47,36% da variância total da amostragem, e o segundo e terceiro eixos por 14,87% e 9,69% respectivamente. Portanto, somados os dois primeiros planos fatoriais (eixos 1 e 2, e eixos 1 e 3) explicam 71,92% da variância total. As proporções da variância total explicadas pelos três primeiros eixos da ACP 3 são similares àquelas obtidas pela ACP 2 para os dados da estação seca.

Tabela 17: Distribuição de valores próprios da ACP 3

Vetor próprio	Valor próprio	Variância explicada (%)	Porcentagem acumulada
1	6,16	**47,36**	47,36
2	1,93	**14,87**	62,23
3	1,26	**9,69**	71,92
4	0,94	7,24	79,16
5	0,76	5,88	85,04
6	0,59	4,55	89,59
7	0,39	3,03	92,62
8	0,39	2,99	95,61
9	0,23	1,74	97,35
10	0,17	1,31	98,66
11	0,12	0,89	99,55

a) Primeiro plano fatorial da ACP 3

O primeiro plano fatorial é formado pelos eixos 1 e 2 (Figuras 24 e 25). Ele coloca em oposição, de um lado, as variáveis cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e alcalinidade (Alc); do outro, o restante das variáveis, em particular, sílica (Si) e potássio (K^{+}), igualmente observado na estação seca. A principal diferença entre as duas estações reside no segundo eixo fatorial, que apresenta um aumento dos teores de sulfato (SO_4^{2-}) na estação úmida.

O primeiro eixo fatorial da ACP 3 também coloca em oposição dois grupos de amostras. O primeiro, composto pelas amostras 57 (Rio Salobra) e 58 (Córrego Bertione), e o segundo, pelas amostras 33 (Córrego Benjamin), 40 (Córrego Fundo) e 42 (Rio Verde).

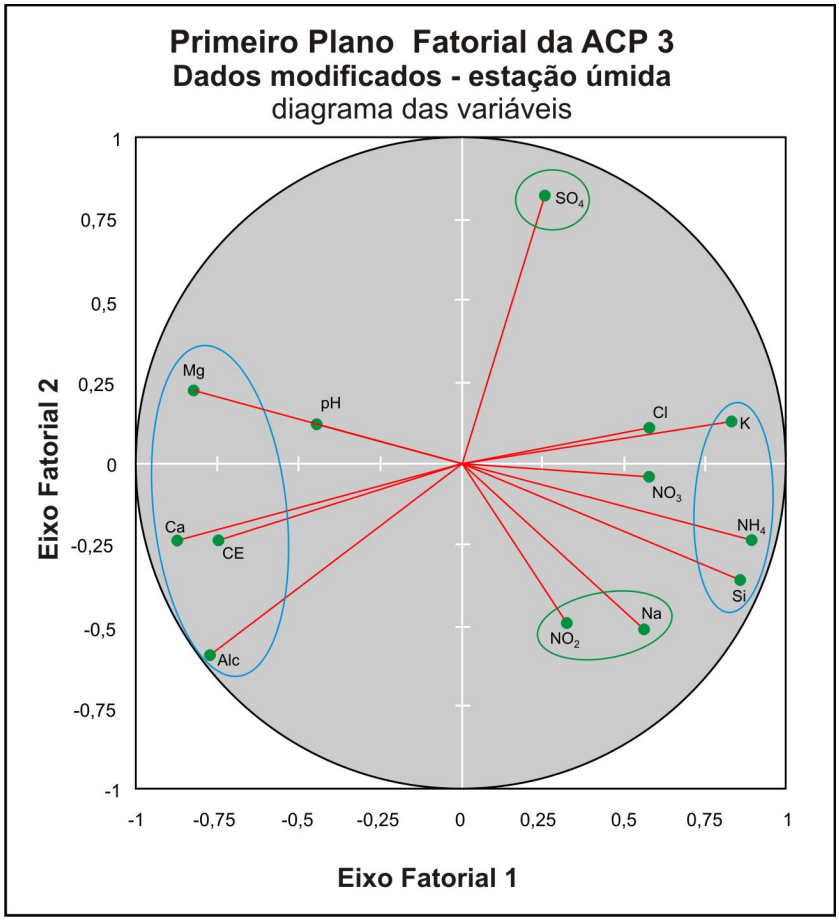


Figura 24: Distribuição das variáveis químicas no primeiro plano fatorial da ACP 3

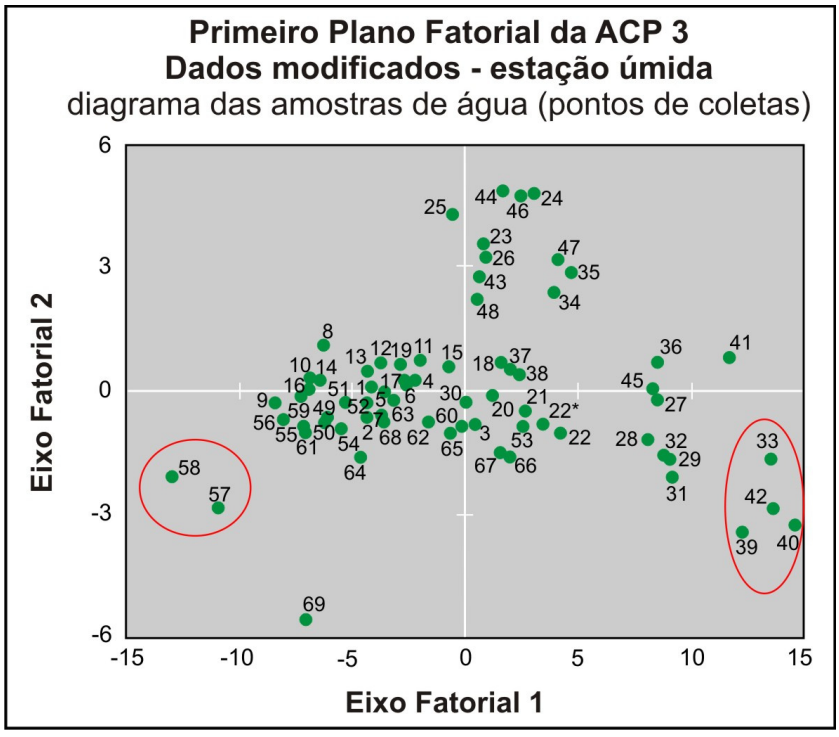


Figura 25: Distribuição das amostras de águas no primeiro plano fatorial da ACP 3

b) Segundo plano fatorial da ACP 3

O segundo plano fatorial é formado pelos eixos 1 e 3. Nota-se, em particular, que o terceiro eixo é marcado apenas pelas formas de nitrogênio, e nenhuma outra variável (Figura 26).

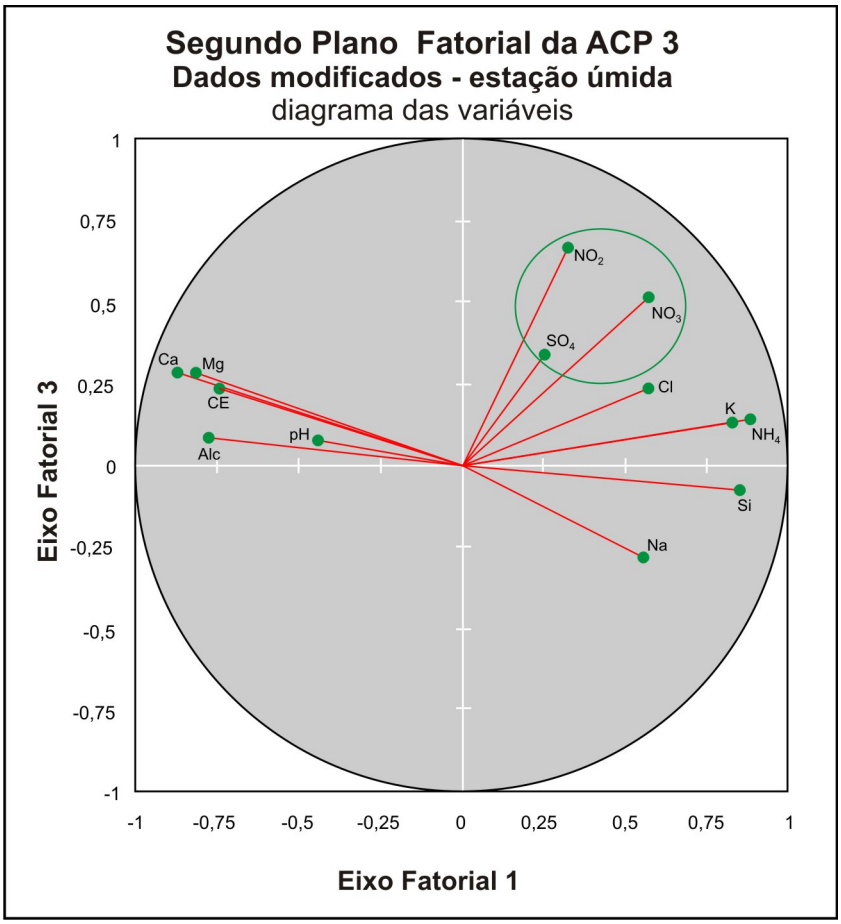


Figura 26: Distribuição das variáveis químicas no segundo plano fatorial da ACP 3

3 – Considerações sobre a ACP 3

O primeiro eixo da ACP 3, estação úmida, também discrimina duas famílias de águas, como a da estação seca. Isto indica uma certa constância, ao longo do ano, na distribuição regional dessas famílias. Entretanto, o segundo eixo da ACP 3 é fortemente marcado pela variável sulfato (SO_4^{2-}). Esta fonte de variabilidade não foi identificada na estação seca, mas representa, aproximadamente, 15% da variância total na estação úmida, e isto traduz uma fonte de variabilidade não negligenciável.

Em consequência, a distribuição espacial dessa variabilidade na Bacia do Alto Paraguai precisaria ser estudada mais detalhadamente em outro momento.

IV – AS ÁGUAS NAS ESTAÇÕES SECA E ÚMIDA

A gama de condutividade elétrica da água na estação úmida vai de 8,3 a 515 µS/cm, e é similar a da estação seca, que vai de 3,55 a 568 µS/cm. Estes intervalos são semelhantes, porém escondem aspectos importantes que aparecem na Figura 27. Nesta figura foram colocados os dados dos 37 rios amostrados na estação seca e na estação úmida. Observa-se que para as águas mais concentradas, a condutividade elétrica é menor na estação úmida, o que parece ser lógico se considera-se que a precipitação é a principal via de entrada de água nos rios, e portanto de diluição de sua água. Em contrapartida, para as amostras de águas mais diluídas, a condutividade elétrica é maior na estação úmida do que na estação seca, o que pode refletir diferentes cenários de alimentação dos rios. Este aspecto deveria ser estudado mais de perto, em função da composição química das amostras.

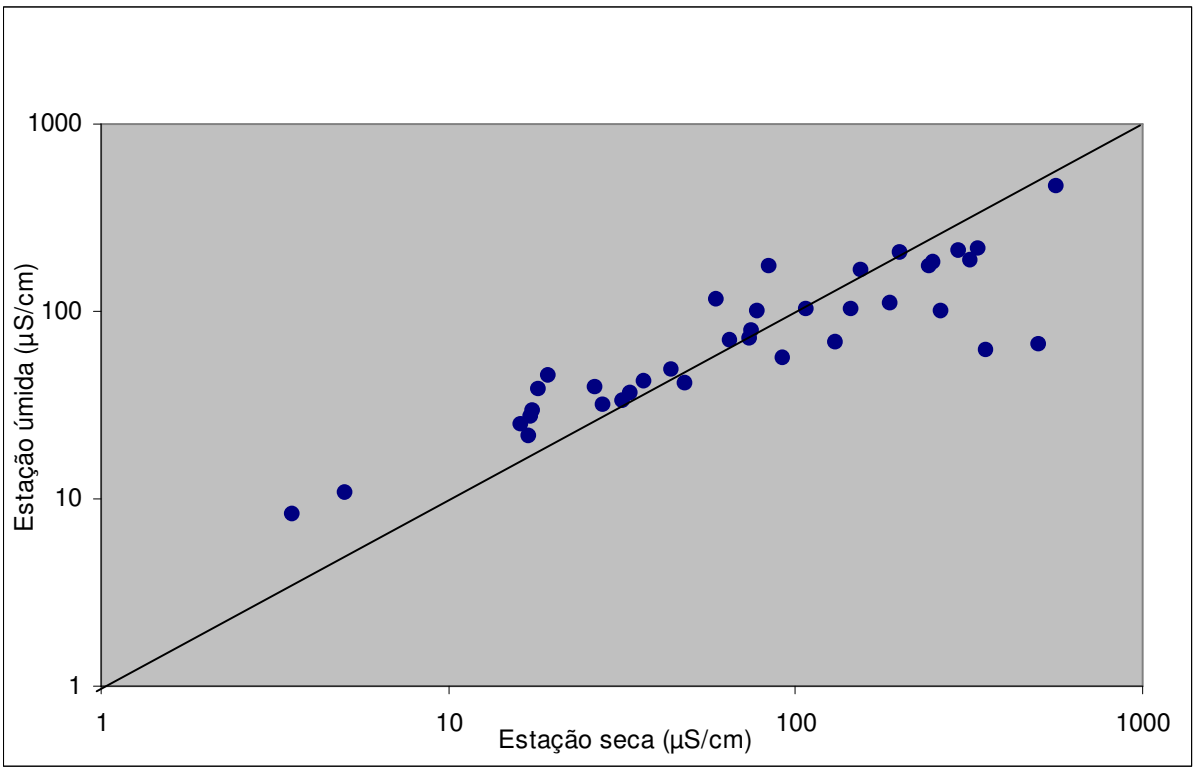


Figura 27: Comparação da condutividade elétrica de 37 amostras da águas das estações seca e úmida

Os resultados das análises estatísticas descritivas da estação seca, comparados aos da estação úmida, estão apresentados na Tabela 18. Observa-se um aumento dos teores de sulfato (SO_4^{2-}) na estação úmida, cujos valores médio e máximo aumentam na ordem de 5 vezes. Em detalhe, este aumento é muito mais nítido para as amostras pouco concentradas, onde os teores de sulfato (SO_4^{2-}) acrescem aproximadamente 10 vezes. Ao contrário, os outros elementos maiores oscilam em intervalos semelhantes nas duas estações. Consequentemente, pode-se esperar uma forte contribuição do sulfato (SO_4^{2-}) no aumento da condutividade elétrica. Este ponto será verificado por outros tratamentos estatísticos que serão apresentados a seguir.

Tabela 18: Dados das análises estatísticas descritivas das águas nas estações seca e úmida

	Unidade	Mínimo	Máximo	Média	Variância	Desvio Padrão	Coeficiente de variação
Estação Seca – 37 amostras							
CE	µS/cm	3,55	568	134	20405	143	1,07
pH	-	5,50	8,5	7,22	0,4	0,62	0,09
Ca^{2+}	mmol/L	$5\ 10^{-3}$	2,2	0,34	0,22	0,47	**1,40**
K^+	mmol/L	$5\ 10^{-3}$	0,2	0,057	$1,7\ 10^{-3}$	0,04	0,72
Mg^{2+}	mmol/L	$4\ 10^{-4}$	1,5	0,28	0,15	0,38	**1,39**
Na^+	mmol/L	0,01	0,6	0,14	0,02	0,15	1,04
Cl^-	mmol/L	$5\ 10^{-3}$	0,28	0,033	0,002	0,045	**1,37**
SO_4^{2-}	mmol/L	**0**	**0,059**	**0,009**	10^{-4}	0,01	1,16
Alc	$mmol_c$	$9\ 10^{-3}$	6,9	1,36	2,8	1,68	1,23
Si	mg/L	4,3	17,0	8,9	13,6	3,68	0,41
NO_3^-	mmol/L	0	0,025	0,005	$4\ 10^{-5}$	0,006	1,09
NH_4^+	mmol/L	0	0,014	0,002	10^{-5}	0,003	**1,40**
NO_2^-	mmol/L	0	0,048	0,006	10^{-4}	0,012	**1,87**
Estação Úmida – 70 amostras							
CE	µS/cm	8,3	515	86	7932	89	1,04
pH	-	5,23	8,23	6,87	0,47	0,69	0,10
Ca^{2+}	mmol/L	$4,2\ 10^{-3}$	3,29	0,34	0,32	0,57	**1,68**
K^+	mmol/L	$5,5\ 10^{-3}$	0,07	0,0211	0,0002	0,013	0,61
Mg^{2+}	mmol/L	$4\ 10^{-4}$	2,27	0,2348	0,1151	0,34	**1,45**
Na^+	mmol/L	$1,34\ 10^{-2}$	0,28	0,0618	0,0029	0,054	0,87
Cl^-	mmol/L	$2\ 10^{-3}$	0,18	0,0318	0,0008	0,029	0,91
SO_4^{2-}	mmol/L	**$4,2\ 10^{-3}$**	**0,33**	**0,046**	0,003	0,059	1,27
Alc	$mmol_c$	0.009	5.414	0.573	0.799	0.89	**1.56**
Si	mg/L	2.9	23.3	6.87	15.12	3.89	0.57
NO_3^-	mmol/L	0	0.047	0.0069	5.2 10-5	0.007	1.22
NH_4^+	mmol/L	0	0.029	0.016	9.2 10-5	0.01	0.61
NO_2^-	mmol/L	0	0.014	0.001	4.53 10-6	0.002	**1.61**

A – Análise em Componentes Principais (ACP) para as Estações Seca e Úmida

Tanto na estação seca quanto na estação úmida, os primeiros planos fatoriais das ACPs 2 e 3, feitas a partir de dados modificados, identificam 3 pólos e permitem explicar cerca de 65% da variância total da amostragem. Como as análises foram realizadas de forma independente para cada estação, é provável que os pólos identificados em cada uma apresentem variações em suas composições químicas. Por isto, realizou-se a ACP 4 com os dados da amostragem total, juntando-se, portanto, os dados das duas estações. O objetivo é verificar se há uma fonte de variabilidade que discrimine as duas amostragens, e diferencie diferentes perfis químicos para cada estação.

1 – ACP 4

A Tabela 19 apresenta os valores próprios da amostragem total, onde o primeiro eixo explica 39,77% da variância total, o segundo 18,57% e o terceiro 9,65%.

Tabela 19: Distribuição de valores próprios da ACP 4

Vetor próprio	Valor próprio	Variância explicada (%)	Porcentagem acumulada
1	5,17	**39,77**	39,77
2	2,41	**18,57**	58,33
3	1,25	9,65	67,98

a) Primeiro plano fatorial da ACP 4

Nas Figuras 28 e 29 o primeiro eixo fatorial coloca em oposição as mesmas variáveis das ACPs anteriores, a saber: de um lado, cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e alcalinidade (Alc), do outro, principalmente a sílica (Si). Esse primeiro eixo não faz uma separação entre amostras das estações seca e úmida. Em contrapartida, o segundo eixo fatorial separa, quase totalmente, as duas estações, a partir das variáveis sulfato e amônio (SO_4^{2-} e NH_4^+) e nitrito (NO_2^-). Os resultados mostram que entre as duas estações não há diferenças marcantes ao longo do eixo 1, porém as diferenças são significativas ao longo do eixo 2.

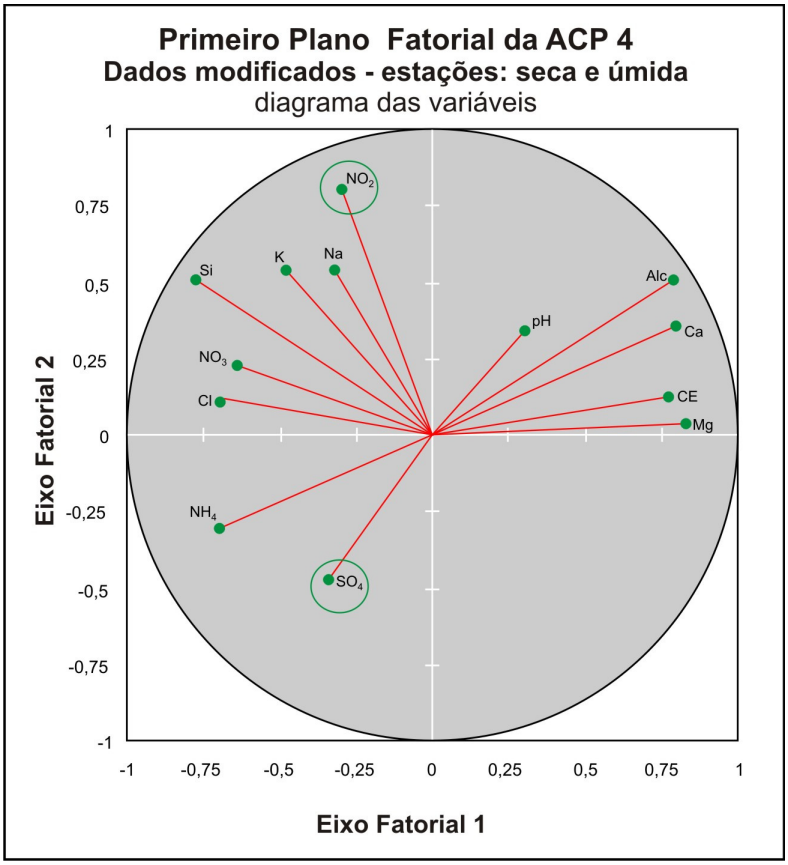


Figura 28: Distribuição das variáveis químicas das estações seca e úmida no primeiro plano fatorial da ACP 4 com dados modificados

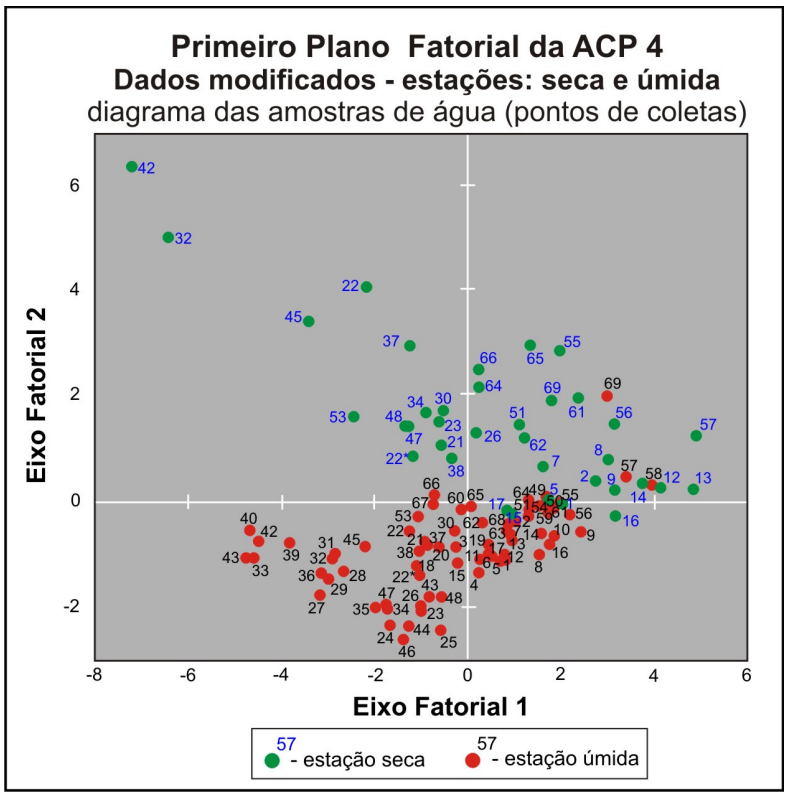


Figura 29: Distribuição das amostras de águas das estações seca e úmida no primeiro plano fatorial da ACP 4 com dados modificados

V – CONSIDERAÇÕES GERAIS

Neste capítulo foram abordados dois métodos de análises multivariadas: a análise em componentes principais (ACP) e a análise em fatores de correspondência (AFC).

Os resultados apresentados na pela ACP 1, da estação seca, colocam em evidência três perfis químicos: **(i)** o primeiro se diferencia pelas variáveis Ca+Mg+Alc, que discriminam as águas dos rios pelas cargas totais (CE) mais elevadas. Este perfil idividualiza duas áreas do Pantanal, uma localizada ao norte e a outra ao sul; **(ii)** o segundo se diferencia pelas variáveis Na+K+Si, e caracteriza águas mais diluídas com menores valores de CE. Este perfil aparece em toda porção central e noroeste, mas também abrange o extremo sul do Pantanal, onde aparecem amostras com condutividades elétricas intermediárias, e **(iii)** o terceiro perfil se diferencia pelas formas do nitrogênio (NO_2^-, NO_3^- e NH_4^+), e individualiza dois pontos isolados à leste do Pantanal.

A ACP 2, com dados modificados, igualmente confirma a presença dos três perfis químicos identificados pela ACP 1. No primeiro plano fatorial, as amostras nitidamente distribuem-se em um triângulo.

A AFC também discrimina um triângulo, e permite confirmar, de um lado, os resultados obtidos com a ACP 2, e do outro, a correspondência entre amostras e variáveis nos 3 pólos químicos.

Os resultados da ACP 3, estação úmida, são similares aos da estação seca, sendo a diferença principal um aumento do peso do sulfato (SO_4^{2-}). Este fato foi confirmado pelo tratamento simultâneo das duas amostragens (ACP 4): existe uma variabilidade química intersazonal das águas, que é marcada pelo aumento de teores em sulfato na estação úmida. A fonte dessa variabilidade é discriminada pelo conjunto SO_4^{2-} e $NH4^+$ em oposição ao pH e à alcalinidade (Figura 28).

No próximo capítulo serão utilizados os resultados aqui apresentados para espacializar as famílias, ou pólos químicos, das águas na área da planície.

CAPÍTULO – III

AS ÁGUAS E SUAS EXPRESSÕES ESPACIAIS

INTRODUÇÃO

No capÍtulo anterior, as análises em componentes principais (ACP), e em fatores de correspondência (AFC) permitiram identificar as características físico-químicas das águas nas estações seca e úmida.

Neste capítulo os eixos fatoriais das ACP e AFC serão utilizados para identificar e espacializar famílias, ou pólos, químicos das águas. Para isto, outro tipo de análise será abordado, como etapa, ou pré-requisito, de espacialização dos pólos.

O objetivo é propor uma compartimentação do Pantanal com base nos tipos de famílias químicas das águas.

I – IDENTIFICAÇÃO DOS PÓLOS

A – Princípios da Deconvolução pelo modelo EMMA (End-Members Mixing Analysis)

Até o início dos anos 90, a comunidade científica voltada aos estudos de misturas de águas provenientes de diferentes reservatórios, servia-se de “traçadores não conservativos” para marcá-los, que não permitiam quantificar a contribuição relativa de cada reservatório na mistura (NEAL e CHRISTOPHERSEN, 1989). Christophersen et al. (1990) introduziram nesses estudos os chamados “traçadores conservativos”, que abriram os caminhos para quantificar a contribuição de diferentes reservatórios em uma dada mistura de água, a partir dos quais desenvolveram o modelo EMMA (End-Members Mixing Analysis). O método consiste em identificar os pólos que são marcados pelas assinaturas químicas dos diferentes reservatórios contribuintes a uma dada mistura de águas.

Essa análise tem sido aplicada na deconvolução de hidrogramas de cheias, principalmente em micro bacias (HOOPER et al.,1990, DURAND e TORRES, 1996). Nos estudos hidroquímicos realizados por Ribolzi et al. (1996) essa análise foi empregada para tratar variáveis brutas de elementos químicos, e em combinações lineares de variáveis associadas ao modelo de Alcalinidade Residual (RA). Este modelo (RA), inicialmente desenvolvido por Droubi et al. (1980), foi retomado por Ribolzi et al. (1993) e por Barbiero et al. (2001b e 2004), com o objetivo de identificar

assinaturas químicas de reservatórios, e de transformar um conjunto de dados não conservativos (Ca^{2+}, Mg^{2+}e Alc) em grandezas conservativas. Nestes trabalhos, define-se grandeza conservativa como uma combinação linear de 3 grandezas não conservativas, isto é:

$$RA = Alc - Ca^{2+} - Mg^{2+} \text{ (em meq/L)}$$

Recentemente, Liu et al. (2004) aplicaram o modelo EMMA de deconvolução para maximizar a discriminação de pólos identificados pelos eixos fatoriais da ACP. Vimos, no capítulo anterior, que a ACP reduz o número de variáveis iniciais em alguns eixos fatoriais, e seleciona as de maior peso na variabilidade total. Têm-se utilizado esses resultados da ACP para análises de deconvolução (EMMA), a fim de identificar os pólos químicos das águas, sobretudo, em micro e meso bacias hidrográficas (NEAL e CHRISTOPHERSEN, 1989; HOOPER et al, 1990; RIBOLZI, 1996; CORNIELES, 1997; HOOPER et al, 1998; KATSUYAMA et al, 2001; HOOPER, 2003; LIU et al, 2004; KATSUYAMA et al, 2009).

Algumas condições são necessárias para empregar o modelo EMMA:

- A primeira é a presença de traçadores perfeitos, os chamados elementos conservativos, que não interagem com o ambiente.
- A segunda é a presença de reservatórios contribuintes com assinaturas químicas significativamente diferentes ou contrastadas, para que possam ser identificados na mistura.
- A terceira é a presença de assinaturas com certa estabilidade, ou constância, no tempo. Esta condição raramente é verificada, pois se trata, geralmente, de estudos de processos de curta duração, como é o caso das cheias em micro bacias. Entretanto, a variabilidade da assinatura química dos reservatórios também pode ser considerada, no tempo e no espaço, se aplicados os cálculos de precisão da deconvolução propostos por Genereux (1998).
- A última condição é que nenhuma amostra seja influenciada por um reservatório cuja composição química não tenha sido identificada.

Tendo essas condições reunidas, a análise consiste em identificar os pólos, a partir da composição química das amostras analisadas, que permitam melhor enquadrá-las, isto é, ou por um segmento de reta (dois pólos), ou por um triângulo

(três pólos), ou ainda por um quadrilátero (quatro pólos). Tais pólos permitem atribuir a cada processo, ou a cada reservatório de água, um peso dentro da composição química total de cada amostra. Por exemplo, e para ilustrar esta análise, se misturamos duas águas, uma com 20º C e a outra com 60º C, é impossível obter uma água com 0º C. Neste caso, a mistura deve situar-se entre 20 e 60º C, sendo que os dois pólos de influência correspondem, respectivamente, às temperaturas de 20ºC e 60º C dos dois reservatórios. A fórmula para calcular a contribuição de cada reservatório está contida na Figura 30.

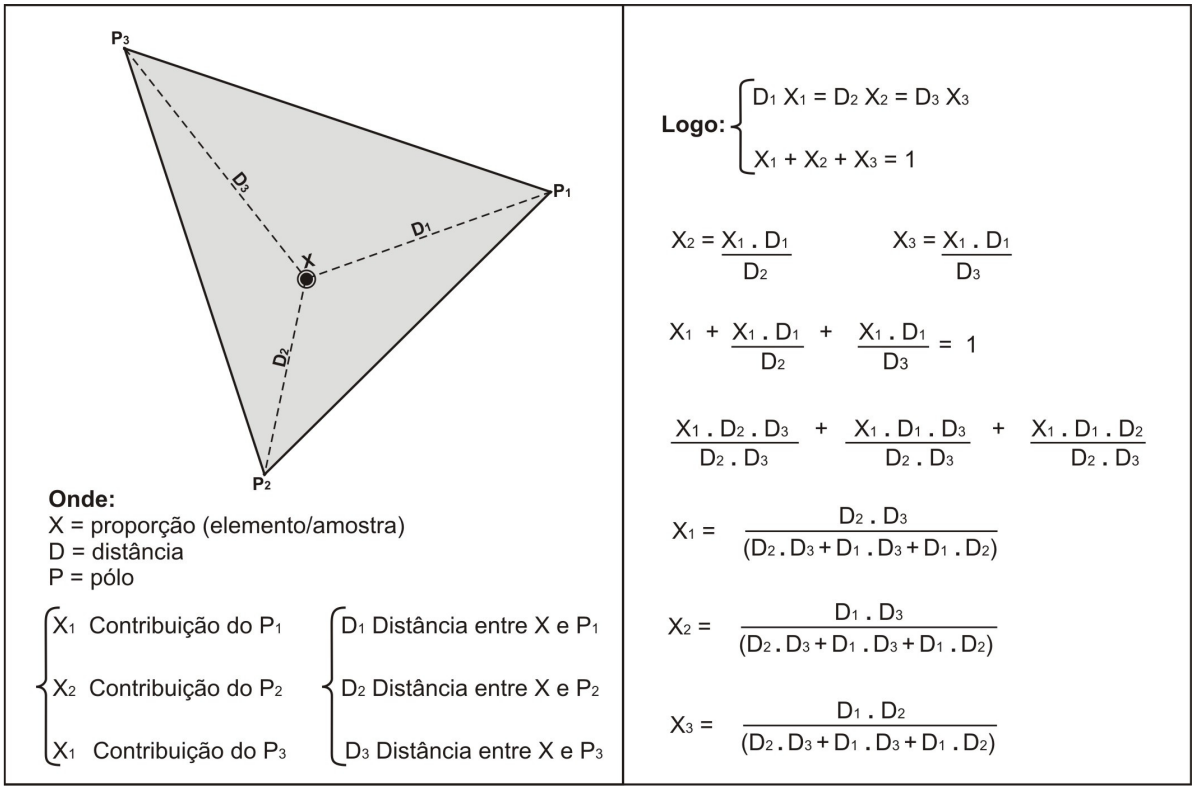


Figura 30: Fórmula para calcular a contribuição de cada reservatório: exemplo de um triângulo (3 pólos)

Em síntese, essa análise tem sido utilizada principalmente para estimar a contribuição de 2 ou 3 reservatórios numa mistura de águas. Entretanto, ela também pode ser pertinente quando um número limitado de 2 ou 3 processos influencia a assinatura química das águas numa determinada região. Neste sentido é que se testou essa análise neste trabalho, ou seja, para espacializar a influência dos pólos químicos identificados pelas ACPs. Portanto, no presente trabalho, a análise de misturas (EMMA) se baseia nos resultados das ACPs.

A Figura 13 mostra o conjunto dos rios cujas águas foram amostradas e analisadas.

1 – Identificação dos pólos na estação seca

Considerando-se os resultados das análises precedentes, ACP 1, ACP 2, AFC, aquele que melhor expressa a variabilidade química da amostragem é o primeiro plano fatorial da ACP 2, que explica 66,13% da variância. Por isto, ele serviu como base de análise para identificar pólos químicos.

No primeiro plano fatorial da ACP 2, a amostragem se encaixa em um triângulo definido por 3 pólos (Figura 31). O primeiro pólo agrupa as composições químicas das amostras 32 (Rio Correntes) e 42 (Rio Verde); o segundo, as das amostras 22* (Águas Quentes-Nascente) e 45 (Córrego Mumbuca); e o terceiro, as das amostras 13 (Córrego Sangradorzinho) e 57 (Rio Salobra).

As coordenadas desses 3 pólos químicos aparecem na Tabela 20.

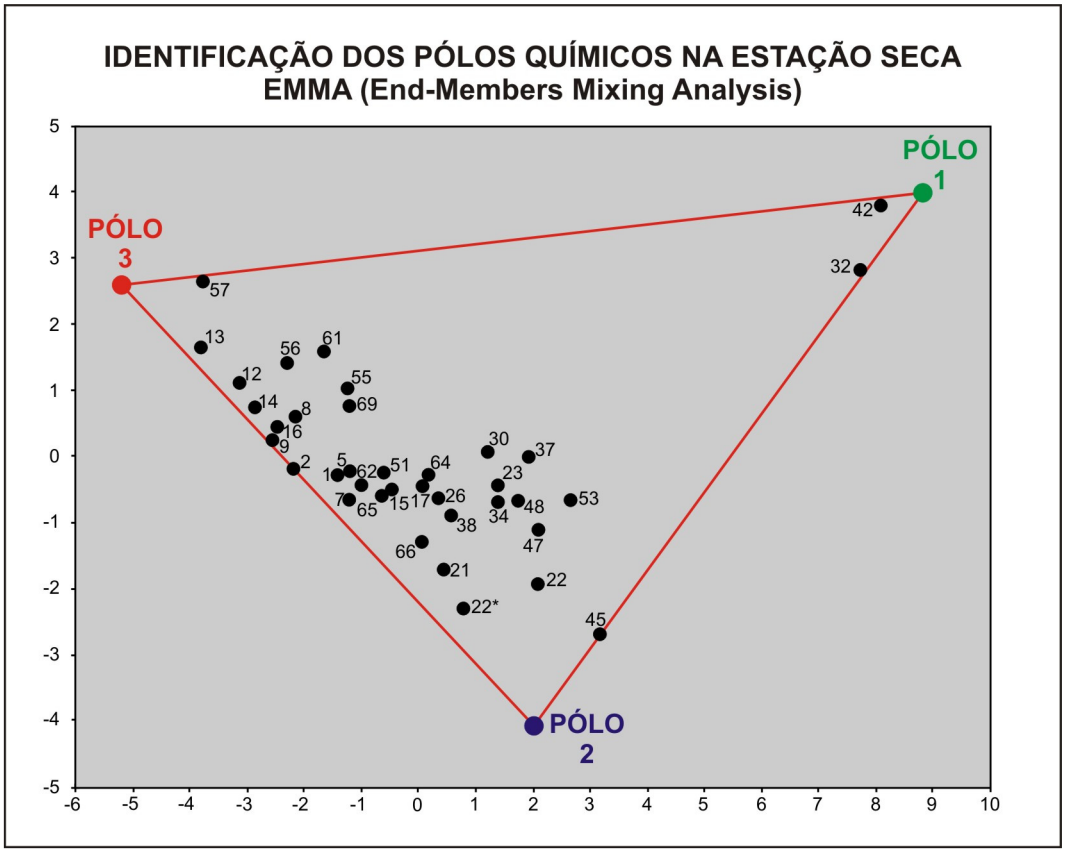


Figura 31: Os 3 pólos de influência identificados pelo EMMA a partir do primeiro plano fatorial da ACP 2: estação seca

Tabela 20: Coordenadas dos 3 pólos químicos decorrentes do primeiro plano fatorial da ACP 2

Pólo	Eixo 1	Eixo 2
1	8,8	4
2	2	- 4,1
3	-5,2	2,6

Partindo-se da premissa de que cada amostra de água representa uma mistura com influência desses três pólos químicos, então a fórmula descrita na Figura 30 permite calcular a contribuição (em %) de cada um deles. Os resultados são apresentados na Tabela 21.

Tabela 21: Contribuição (em %) dos 3 pólos químicos para cada amostra de água dos rios na estação seca

Pontos	Contribuição Pólo 1	Contribuição Pólo 2	Contribuição Pólo 3
1 Rio Cuiabá	0,18	0,39	**0,43**
2 Rio Bento Gomes	0,17	0,35	**0,48**
5 Rio Cuiabá	0,19	0,40	**0,41**
7 Córrego das Traíras	0,18	**0,43**	0,39
8 Rio Formiga	0,17	0,31	**0,52**
9 Ribeirão Figueira	0,16	0,30	**0,54**
12 Córrego Sangradouro	0,13	0,22	**0,64**
13 Córrego Sangradorzinho	0,10	0,15	**0,75**
14 Córrego das Flexas	0,15	0,26	**0,59**
15 Rio Paraguai - Cáceres	0,19	**0,45**	0,36
16 Rio Padre Inácio	0,16	0,30	**0,54**
17 Rio Jauru	0,20	**0,48**	0,32
21 Córrego do Cervo	0,17	**0,59**	0,24
22 Águas Quentes-Córrego dos Macacos	0,16	**0,67**	0,17
22* Águas Quentes-Nascente	0,14	**0,67**	0,19
23 Rio São Lourenço	0,22	**0,52**	0,26
26 Rio Vermelho	0,20	**0,50**	0,30
30 Rio Itiquira	0,23	**0,47**	0,29
32 Rio Correntes	**0.77**	0,13	0,10
34 Rio Piquiri	0,21	**0,54**	0,25
37 Rio Taquari	0,25	**0,49**	0,26
38 Rio Coxim	0,19	**0,53**	0,28
42 Rio Verde	**0,88**	0,07	0,05
45 Córrego Mambuca	0,15	**0,72**	0,13
47 Rio Negro	0,21	**0,58**	0,21
48 Rio Taboco	0,22	**0,54**	0,24
51 Rio Aquidauana	0,19	**0,43**	0,37
53 Córrego Acogô	0,24	**0,54**	0,22
55 Córrego Agachi	0,29	0,33	**0,48**
56 Rio Miranda	0,16	0,26	**0,58**
57 Rio Salobra	0,09	0,13	**0,78**
61 Rio Aquidabã	0,18	0,29	**0,53**
62 Rio Naitaca	0,19	**0,42**	0,39
64 Rio Branco	0,20	**0,47**	0,32
65 Rio Tereré	0,19	**0,45**	0,36
66 Rio Amonguijá	0,18	**0,54**	0,28
69 Rio Nioaque	0,19	0,35	**0,46**

Destaca-se nessa tabela, e em primeiro lugar, que todas as águas amostradas apresentam contribuições dos 3 pólos químicos. Contudo, a porcentagem de cada um é muito variável na composição química de cada amostra:

(i) observa-se uma pequena influência do pólo 1 no conjunto das amostras, já que este pólo aparece apenas em dois pontos isolados, o 32 (Rio Correntes) e o 42 (Rio Verde);

(ii) que a influência do pólo 2 abrange 21 amostras, das quais 12 apresentam contribuição superior a 50% deste pólo;

(iii) que a influência do pólo 3 é observada em 14 amostras, das quais 9 com contribuição superior a 50%. As distribuições destas amostras, no espaço, configuram duas áreas de abrangência do pólo 3, uma ao norte do Pantanal, formada por um grupo de 9 amostras, das quais 6 com contribuições superiores a 50%, e uma ao sul do Pantanal, formada por um grupo de 5 amostras, das quais 3 com mais de 50% de influência deste pólo.

2 – Identificação dos pólos na estação úmida

Como para a estação seca, a identificação dos pólos químicos da estação úmida também se baseou nos resultados da ACP, neste caso, no primeiro plano fatorial da ACP 3 feita com dados modificados. Esse primeiro plano fatorial explica 62,23% da variância total, e os seus dados tratados pelo EMMA configuram um triângulo, ou seja, 3 pólos químicos foram identificados (Figura 32).

O ponto 69 (Rio Nioaque) apresenta teores anormalmente elevados de alcalinidade (Alc) e sílica (Si), que podem estar ligados seja a uma poluição local, seja a um erro analítico. Portanto, esse ponto foi descartado do conjunto, pois, de qualquer modo, ele se posicionou fora do triângulo. As coordenadas dos três pólos químicos aparecem na Tabela 22.

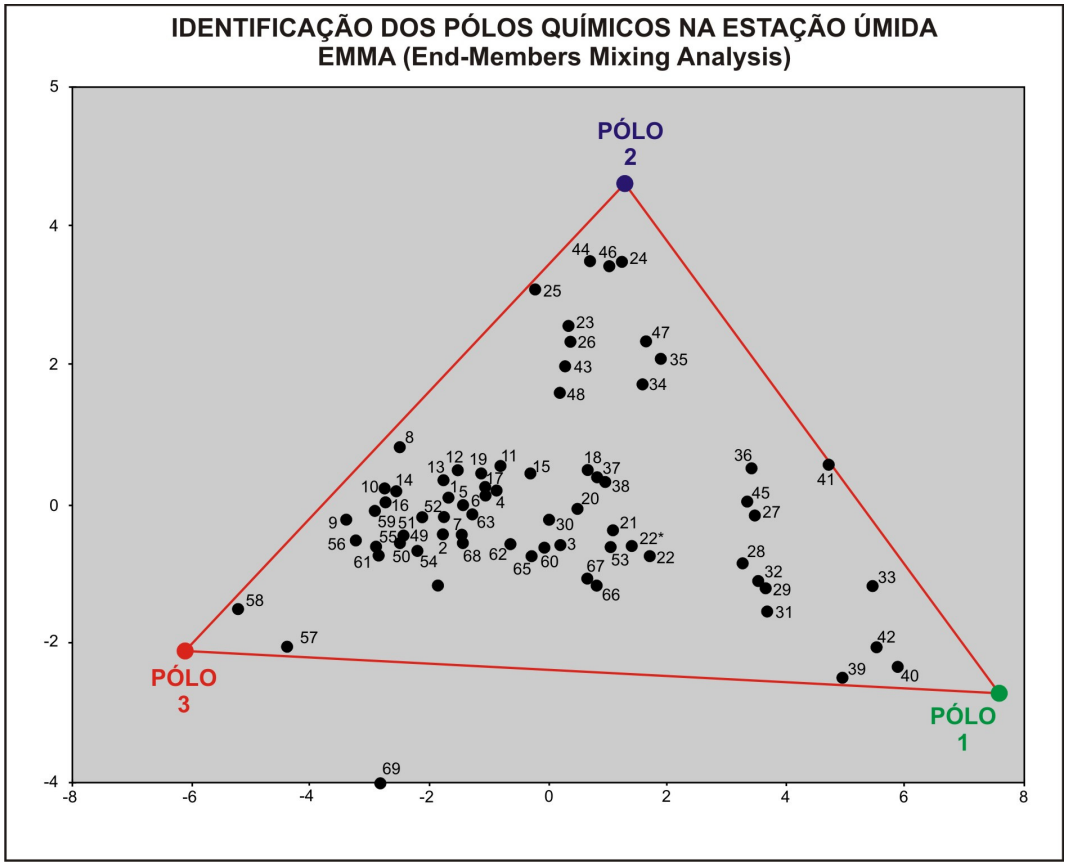


Figura 32: Os 3 pólos químicos identificados pelo EMMA a partir do primeiro plano fatorial da ACP 3: estação úmida

Tabela 22: Coordenadas dos 3 pólos químicos decorrentes do primeiro plano fatorial da ACP 3

Pólo	Eixo 1	Eixo 2
1	7,6	-2,7
2	1,3	4,6
3	-6,1	-2,1

Igualmente para essas amostras empregou-se a fórmula descrita na Figura 30, cujos resultados estão apresentados na Tabela 23.

Tabela 23: Contribuição (em %) dos pólos químicos para cada amostra de água: estação úmida

Pontos	Contribuição Pólo 1	Contribuição Pólo 2	Contribuição Pólo 3
1 Rio Cuiabá	0,21	0,38	**0,41**
2 Rio Bento Gomes	0,21	0,35	**0,44**
3 Rio Maneta I	0,27	**0,40**	0,33
4 Rio Boca do Vale	0,23	**0,41**	0,36
5 Rio Cuiabá	0,22	0,38	**0,40**
6 Rio Bento Gomes	0,22	**0,41**	0,37
7 Córregos das Traíras	0,22	0,36	**0,42**
8 Rio Formiga	0,19	0,38	**0,44**
9 Ribeirão Figueira	0,16	0,28	**0,56**
10 Afluente Ribeirão Figueira	0,18	0,33	**0,49**
11 Rio dos Macacos	0,22	**0,44**	0,34
12 Córrego Sangradouro	0,21	**0,41**	0,38
13 Córrego Sangradorzinho	0,21	0,39	**0,41**
14 Córrego das Flechas	0,19	0,34	**0,47**
15 Rio Paraguai - Cáceres	0,24	**0,45**	0,32
16 Rio Padre Inácio	0,18	0,32	**0,49**
17 Rio Jauru	0,22	**0,41**	0,37
18 Rio Aricá	0,26	**0,47**	0,27
19 Afluente Rio Aricá Mirin	0,22	**0,42**	0,36
20 Rio Aricá Mirim	0,27	**0,43**	0,30
21 Córrego do Cervo	0,30	**0,42**	0,28
22 Águas Quentes-Córrego dos Macacos	0,34	**0,39**	0,27
22* Águas Quentes-Nascente	0,32	**0,40**	0,27
23 Rio São Lourenço	0,16	**0,65**	0,18
24 Rio Areial	0,10	**0,80**	0,10
25 Rio Tugoré	0,15	**0,67**	0,18
26 Rio Vermelho	0,17	**0,63**	0,20
27 Rio Inhumas	**0,41**	0,38	0,21
28 Rio Ponte de Pedra	**0,43**	0,35	0,22
29 Rio Cachoeira	**0,47**	0,32	0,21
30 Rio Itiquira	0,26	**0,42**	0,32
31 Rio Sozinho	**0,49**	0,31	0,20
32 Rio Correntes	**0,46**	0,33	0,21
33 Córrego Benjamin	**0,63**	0,23	0,14
34 Rio Piquiri	0,22	**0,58**	0,19
35 Rio Claro	0,21	**0,61**	0,18
36 Rio Claro	0,37	**0,43**	0,20
37 Rio Taquari	0,27	**0,47**	0,27
38 Rio Coxim	0,27	**0,46**	0,27
39 Rio Riacho Claro	**0,64**	0,21	0,15
40 Córrego Fundo	**0,74**	0,16	0,11
41 Rio Verde BR	**0,45**	0,37	0,18
42 Rio Verde	**0,68**	0,19	0,13
43 Rio Negrinho	0,19	**0,59**	0,22
44 Afluente Rio Negrinho	0,11	**0,78**	0,11
45 Córrego Mumbuca	0,39	**0,40**	0,21
46 Córrego Garimpo	0,11	**0,79**	0,11
47 Rio Negro	0,19	**0,64**	0,17
48 Rio Taboco	0,21	**0,55**	0,24
49 Rio Dois Irmãos	0,19	0,31	**0,49**
50 Rio Cachoeirão	0,19	0,31	**0,50**
51 Rio Aquidauana	0,20	0,34	**0,46**
52 Rio Taquarussu	0,21	0,36	**0,43**

Continuação

Continuação

Pontos	Contribuição Pólo 1	Contribuição Pólo 2	Contribuição Pólo 3
53 Córrego Acogô	0,31	**0,40**	0,29
54 Córrego Laranjal	0,20	0,32	**0,48**
55 Córrego Agachi	0,18	0,29	**0,54**
56 Rio Miranda	0,17	0,27	**0,56**
57 Rio Salobra	0,11	0,15	**0,75**
58 Córrego Bertione	0,07	0,10	**0,83**
59 Córrego Igrejinha	0,18	0,31	**0,51**
60 Córrego Catitu	0,27	**0,39**	0,34
61 Rio Aquidabã	0,18	0,28	**0,54**
62 Rio Naitaca	0,25	**0,38**	0,37
63 Rio Nabileque	0,22	0,38	**0,40**
64 Rio Branco	0,21	0,31	**0,47**
65 Rio Tereré	0,26	**0,38**	0,36
66 Rio Amonguijá	0,31	**0,38**	0,31
67 Rio São Lourenço	0,30	**0,38**	0,32
68 Rio Paraguai - Porto Murtinho	0,22	0,36	**0,42**

Na Tabela 23, como na Tabela 21, nota-se que as águas apresentam influência de todos os pólos, contudo essa tabela:

(i) a influência do pólo 1 abrange 10 amostras, das quais 4 com peso acima de 50%. Observa-se também que dois pontos com forte influência deste pólo na estação seca, são menos marcados por ele na estação úmida. Este é o caso do rio Correntes (32) que passa de 77% de influência do pólo 1 na estação seca, a 46% na úmida; e do rio Verde (42) que passa de 88% influência do pólo 1 na estação seca para 68% na estação úmida.

(ii) nota-se a influência do pólo 2 em 35 amostras, das quais 11 apresentam contribuição superior a 50% deste pólo.

(iii) a influência do pólo 3 aparece em 24 amostras, das quais 8 com peso acima de 50%. As distribuições espaciais dessas amostras também individualizam duas áreas de abrangência deste pólo, uma ao norte do Pantanal, com 10 amostras, e uma ao sul do Pantanal, com 14 amostras. Estes dados da estação úmida corroboram os da estação seca.

B – Expressões Espaciais dos Pólos Químicos

1 – Carga iônica das águas

Antes de espacializar os resultados obtidos através da decomposição em pólos químicos de influência (EMMA), convêm lembrar que esta análise foi realizada com dados modificados dividindo-se os resultados analíticos brutos pela condutividade elétrica de cada amostra. O objetivo deste tratamento é reduzir a influência da concentração, por evaporação, e favorecer uma melhor discriminação do perfil químico das amostras.

Em decorrência deste tratamento, reduziram-se as informações sobre as cargas totais das amostras. Entretanto, nesta fase da análise torna-se necessário essas informações para verificar a distribuição das cargas totais na área estudada. A Figura 33 ilustra a distribuição da condutividade elétrica nas amostras das estações seca **(a)** e úmida **(b)**. Estes mapas colocam em evidência:

(i) a baixa condutividade elétrica das águas que entram na parte leste da planície do Pantanal;

(ii) em ambas as estações as águas que entram nas porções norte e sul da planície apresentam condutividades elétricas maiores. Contudo, na estação úmida há uma ligeira diminuição dos valores de condutividade elétrica na porção norte da planície, e um aumento perceptível em toda a porção leste;

(iii) no extremo Sul, na margem esquerda do Rio Paraguai, as águas apresentam condutividades intermediárias.

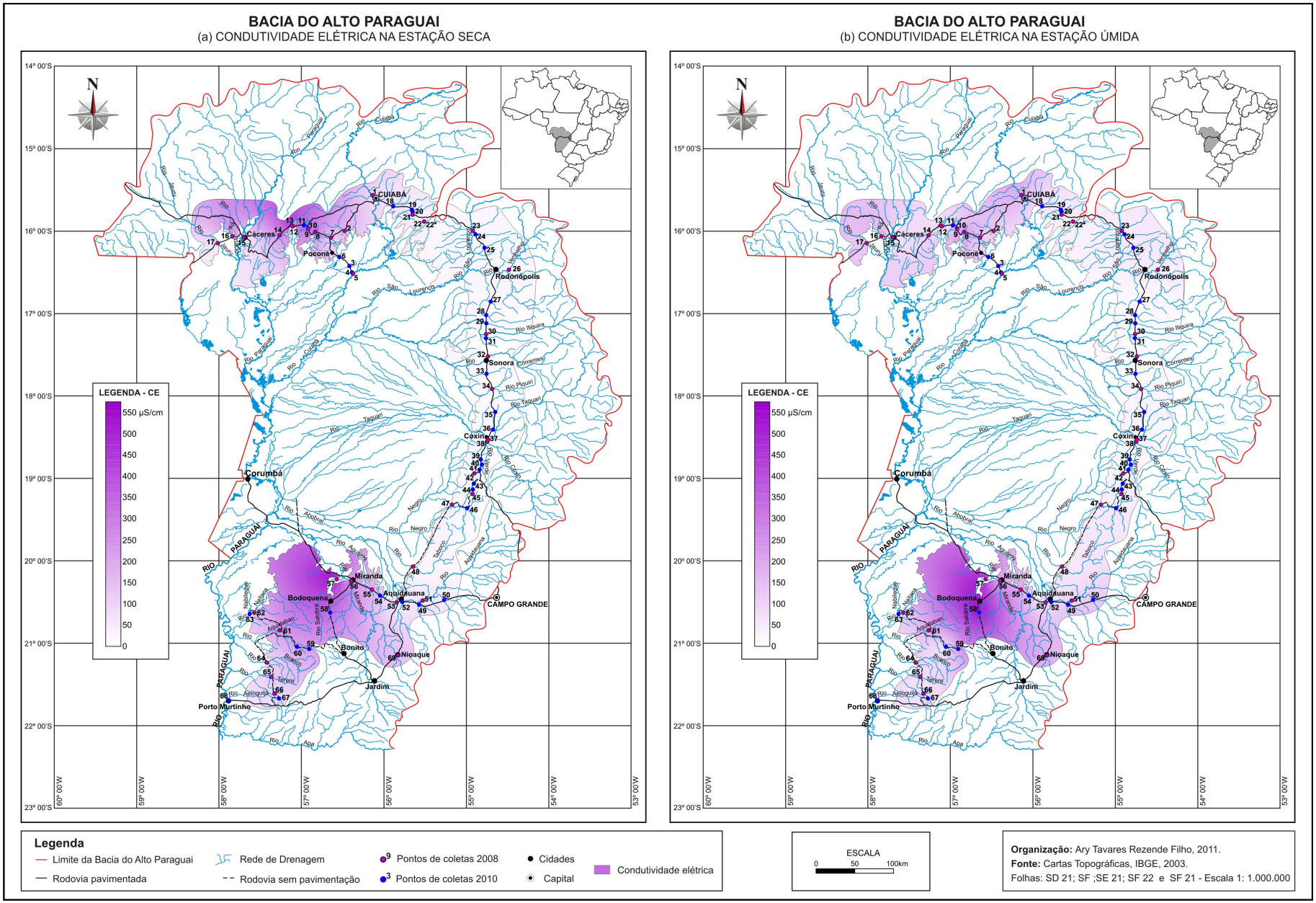


Figura 33: Mapa da condutividade elétrica das águas medidas no campo nas estações seca (a) e úmida (b)

Estas informações podem agora ser complementadas com a distribuição espacial dos diferentes pólos químicos, conforme veremos a seguir.

2 – Expressões espaciais dos pólos da estação seca

A repartição espacial dos 3 pólos químicos identificados na estação seca é apresentada na Figura 34. Neste mapa, atribuiu-se a cada pólo uma cor, cuja intensidade é proporcional à sua porcentagem de contribuição que varia de 0 a 100%.

Como se mencionou anteriormente, os números dos pontos de amostragens aparecem sempre agrupados nos resultados da ACP e da AFC. Isto demonstra que há uma distribuição regional dos perfis químicos discriminados, que é claramente mostrado na Figura 34, cujos dados se referem à estação seca. A distribuição do perfil químico do pólo 2, em azul, aparece principalmente na borda leste do Pantanal, e ao sul da Serra da Bodoquena, e em mais dois pontos isolados, um ligado ao rio Jauru (17) a noroeste, e outro ao Rio Paraguai (15), a jusante de Cáceres (MT). O pólo 3, representado no mapa pela cor vermelha, aparece claramente em duas áreas: uma ao norte, e outra ao sul da planície. O pólo 1, em verde no mapa, aparece somente em dois pontos, um ligado ao Rio Correntes (32), e outro ao Rio Verde (42), ambos localizados à leste da planície.

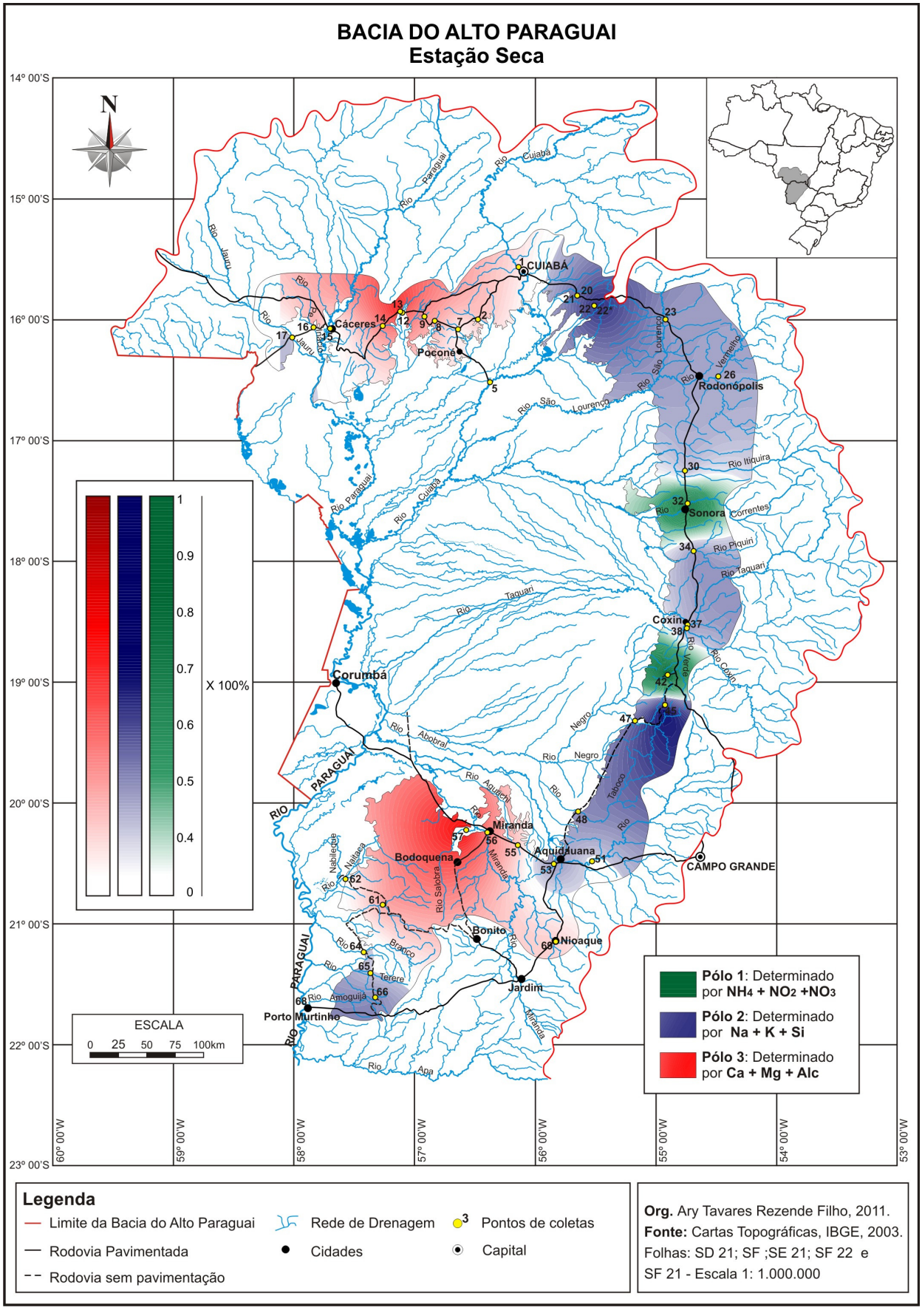


Figura 34: Mapa com os três pólos químicos discriminados através do EMMA (End Member Mixing Analysis) na estação seca

3 – Expressões espaciais dos pólos da estação úmida

Comparando-se as Figuras 34 e 35, percebe-se que apesar das mudanças nos perfis químicos dos pólos, sobretudo do 1 e do 2, há uma grande semelhança entre os mapas da estação seca e da úmida. Isto mostra que mesmo que a composição química da água seja modificada de uma estação para outra, os contrastes são mantidos e permitem definir suas áreas de influência. Constata-se também que as informações referentes à estação úmida são mais expressivas, e isto se deve, provavelmente, a uma maior densidade de rios amostrados (66). Consequentemente, obteve-se uma melhor definição das tendências de distribuição espacial dos perfis químicos das águas. Observa-se que durante a estação úmida a influência do pólo 3 é menos pronunciada no norte do Pantanal, e isto atesta os efeitos de diluição das águas durante o período chuvoso. Este fato pode ser ilustrado pela altura da lâmina d'água no rio (Foto 3).

Córrego Sangradorzinho (ponto 13)
(ao norte do pantanal)

Estação Seca
CE = 320 µS/cm – pH = 7,33

Estação Úmida
CE = 67,0 µS/cm – pH = 5,09

Foto 3: Volume de água durante os dois períodos de coleta

Nota-se também que na estação úmida a zona de influência do pólo 3 se espande na direção sudeste de Aquidauana. Isto pode corresponder à presença de 2 novos pontos de coletas (Rios Dois Irmãos e Cachoeirão), ou a uma melhor definição, e reforço, da influência do pólo 3 gerado por uma mudança na composição química das águas nessa estação.

Finalmente, a influência do pólo 1, identificado na amostragem do período seco em apenas dois pontos isolados, é confirmada na estação úmida por dois conjuntos de amostras que delimitam áreas distintas e melhor definidas no espaço. Deste modo, individualizaram-se duas áreas: a primeira, de leste para nordeste, abrange partes dos municípios de Sonora (MS) e Rondonópolis (MT), formada pelos pontos 27 (Rio Inhumas), 28 (Rio Ponte de Pedra), 29 (Rio Cachoeira), 31 (Rio Sozinho), 32 (Rio Correntes) e 33 (Córrego Benjamin); a segunda, de leste para sudeste, no município de Rio Verde (MS) é formada pelos pontos 39 (Rio Riacho Claro), 40 (Córrego Fundo), 41 (Rio Verde BR) e 42 (Rio Verde).

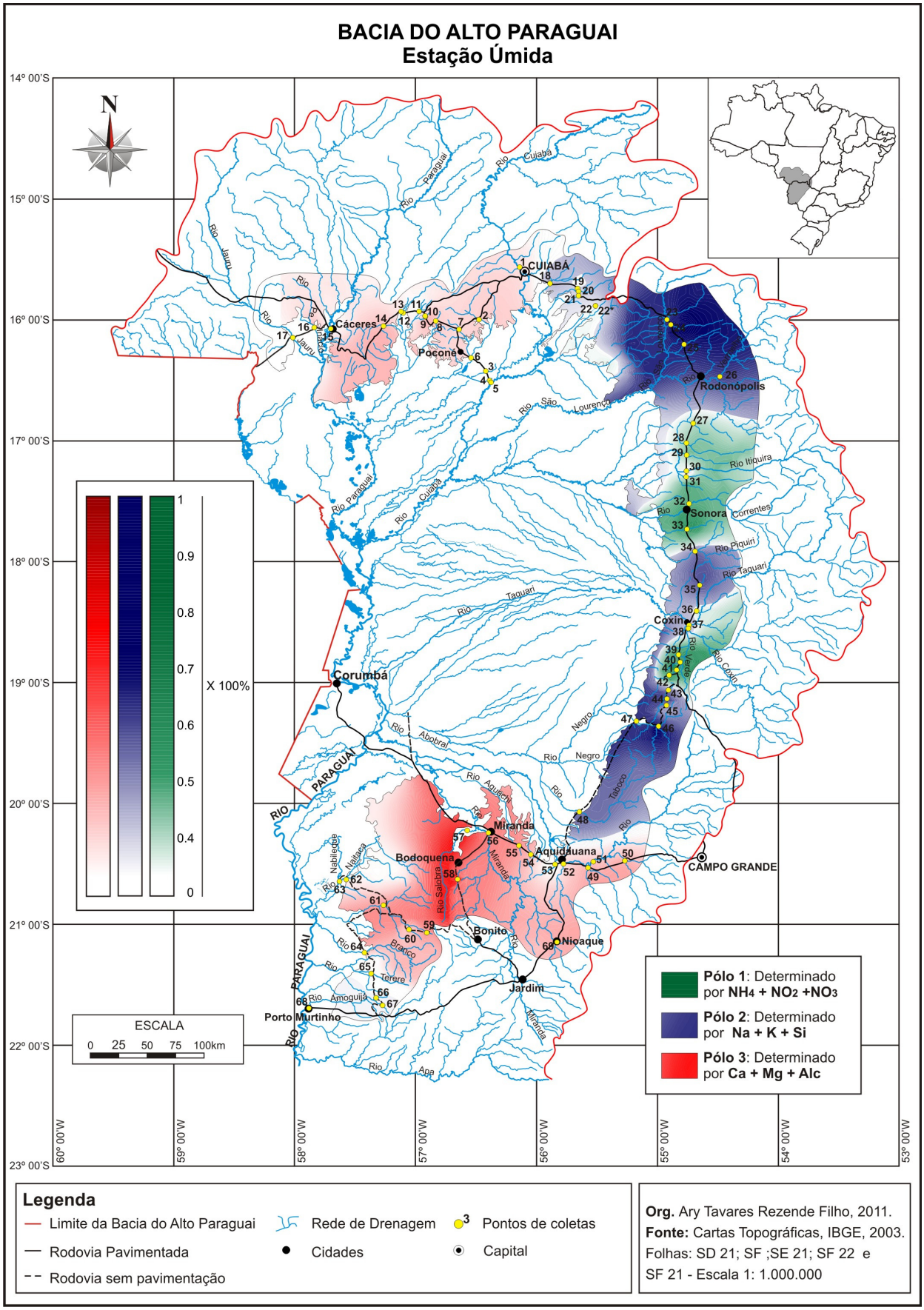


Figura 35: Mapa dos pólos químicos discriminados através do EMMA (End Member Mixing Analysis) na estação úmida

4 – Reflexões sobre os reservatórios

As análises realizadas neste capítulo mostram dois aspectos da composição química dos rios que entram no Pantanal: **(1°)** observa-se uma forte variabilidade espacial na composição química das águas, mas organizada em grandes áreas ou zonas; **(2°)** entre as estações seca e úmida as águas apresentam algumas mudanças na composição química. A hipótese é que essa variabilidade pode ser atribuída a dois fatores principais, a saber, geologia e uso e ocupação do solo.

a) Influência da litologia

A Bacia do Alto Paraguai apresenta uma grande diversidade litológica, agrupada em 65 formações que datam desde o Pré-cambriano até o Cenozóico. A Figura 36 apresenta um quadro geológico simplificado com os principais tipos de rochas, a saber, calcários, basaltos, arenitos, e cristalinas. Neste item procura-se estabelecer relações entre litologia e perfis químicos das águas. Observando-se esse quadro geológico percebe-se que as rochas calcárias se localizam, sobretudo, ao norte e ao sul da planície do Pantanal, as areníticas e cristalinas a leste e nas extremidades noroeste e sudoeste, e as basálticas a sudeste e extremo norte da bacia.

As influências das diferentes litologias aparecem claramente no primeiro eixo fatorial da ACP 1, e no segundo eixo fatorial da ACP 2. Em particular, esse segundo eixo coloca em oposição os pólos 2 e 3, cujos conteúdos podem ser visualizados pelo diagrama de Stabler (Figura 37).

Esse diagrama mostra que a carga aniônica dos pólos 1 e 2 é dominada pela alcalinidade. A diferença é que no pólo 2 a alcalinidade é acompanhada por uma carga catiônica bem distribuída, e no pólo 3 por uma carga catiônica dominada pelo Ca^{2+} e Mg^{2+}. O pólo 3 indica a presença de águas cujo perfil químico é influenciado pela dissolução de rochas calcárias, e o pólo 2 a de águas cujo perfil é influenciado pela alteração (pela dissolução) de rochas cristalinas e arenitos.

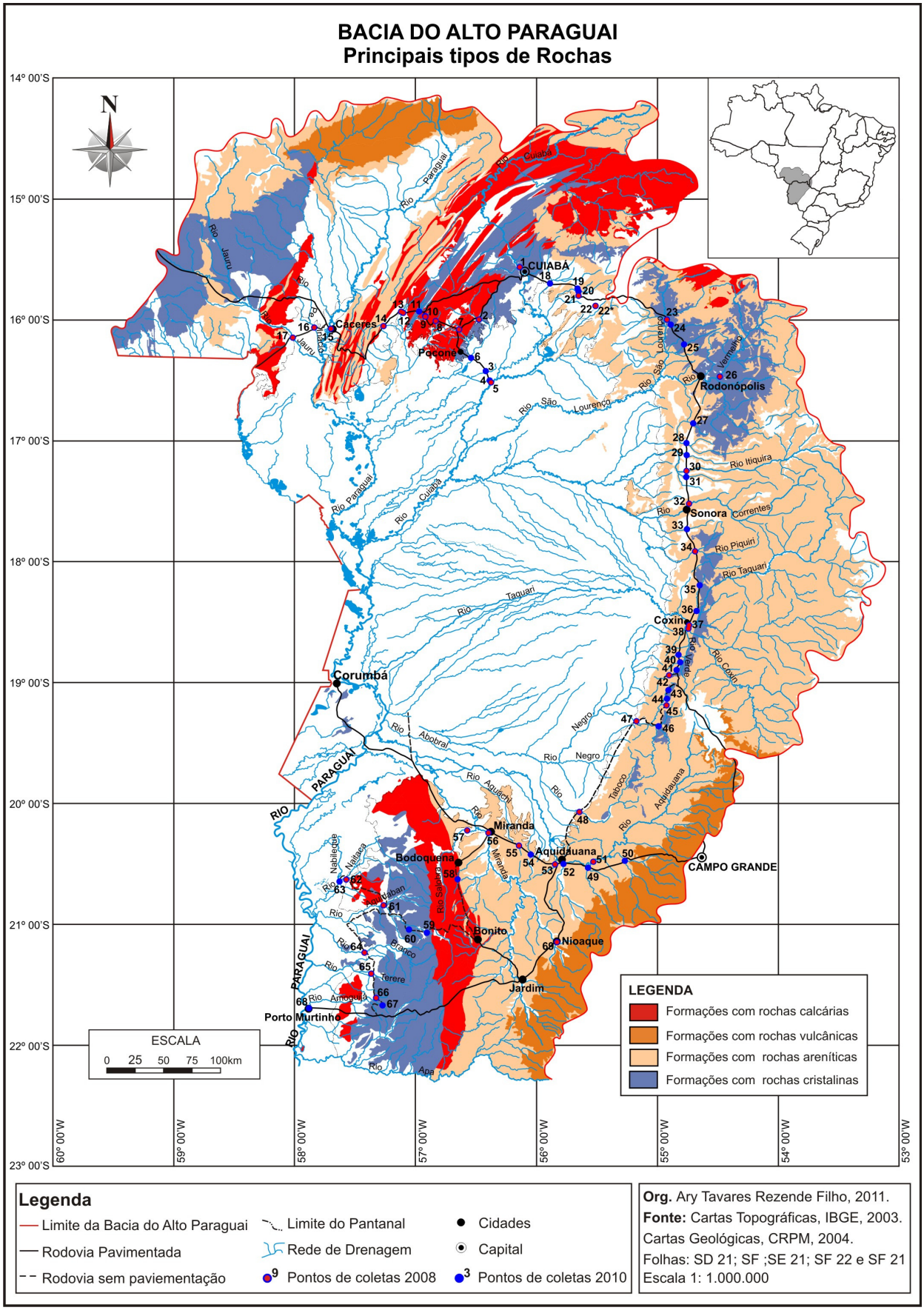


Figura 36: Mapa dos principais tipos de rochas

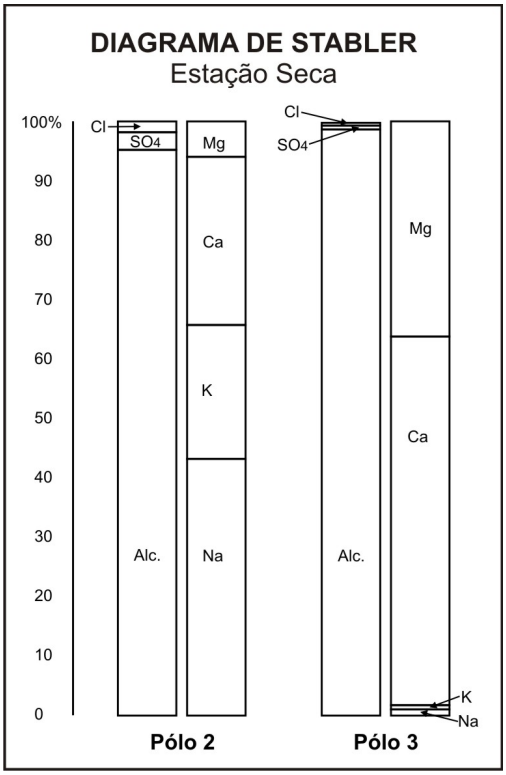


Figura 37: Diagrama de Stabler com a composição iônica dos perfis químicos que caracterizam os pólos 2 e 3

Estes resultados concordam com a distribuição espacial dos perfis químicos das águas, e com as localizações dos principais tipos de rochas na bacia (Figuras 38 e 39). Espacialmente, as águas marcadas pelo pólo 2 atravessam áreas em que as formações geológicas associam arenitos e rochas cristalino-metamórficas. A partir das análises químicas das águas não é possível fazer uma distinção entre a influência de cada um desses tipos de rochas, pois apesar do primeiro eixo da ACP 1 destacar as variáveis Na^+, K^+ e Si elas podem estar ligadas a qualquer um deles.

Contudo, pode-se levar em conta um conjunto de informações visando uma melhor discriminação dessas águas, ou seja, **(a)** os perfis químicos das águas, sobretudo aqueles comandados pelo pólo 2 (Figuras 34 e 35); **(b)** a condutividade elétrica (Figura 33). Considerando-se os valores de condutividade elétrica, observam-se dois intervalos que podem contribuir para essa melhor discriminação: **(1)** CE entre 20 e 60 µS/cm foi apresentado pelas águas dos rios que atravessam os arenitos localizados a leste da bacia (Figura 38);

(2) CE entre 60 e 150 µS/cm das águas que atravessam rochas cristalinas localizadas ao sul, e em pontos isolados a noroeste da bacia (Figura 39).

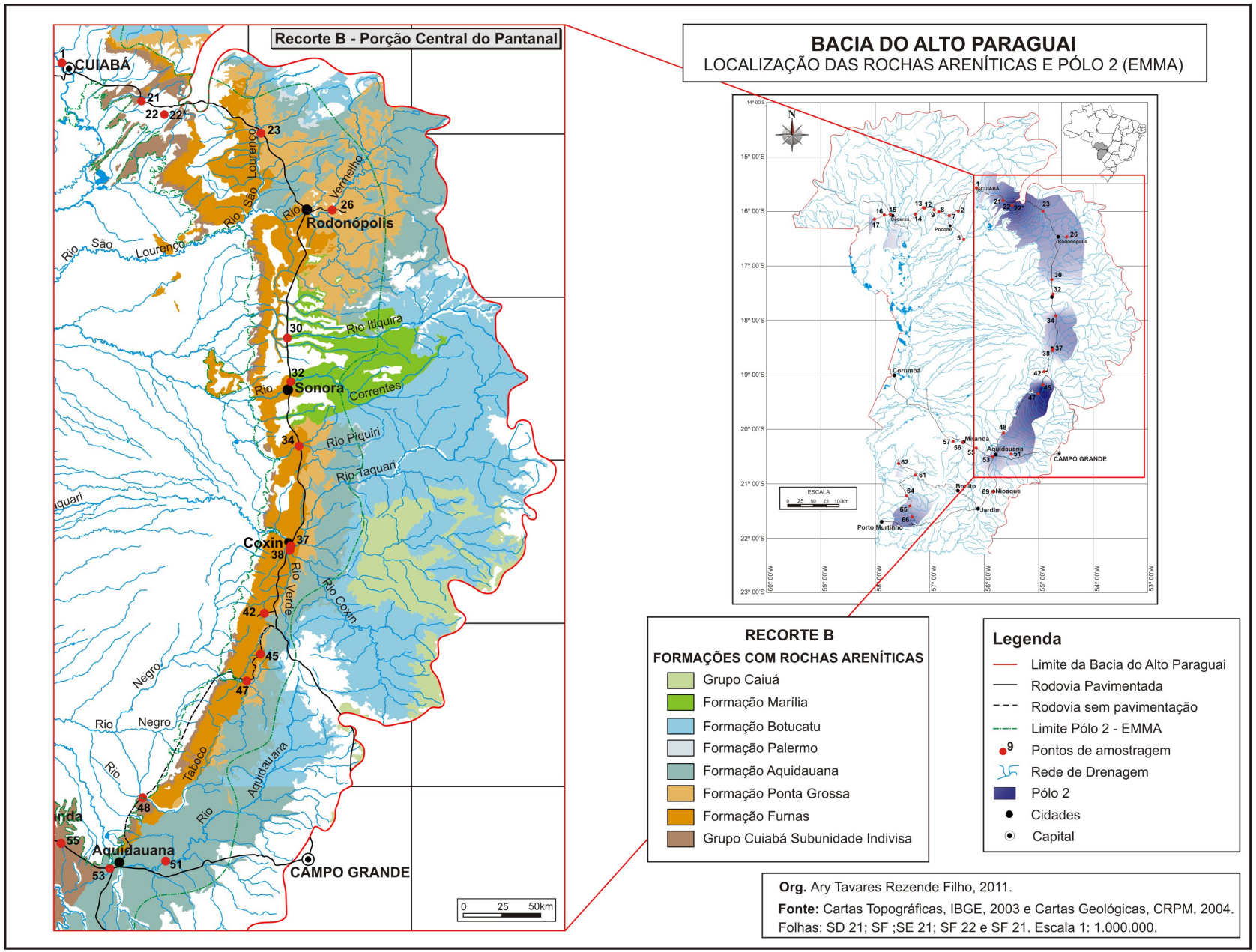


Figura 38: Mapa das rochas areníticas a leste do Pantanal

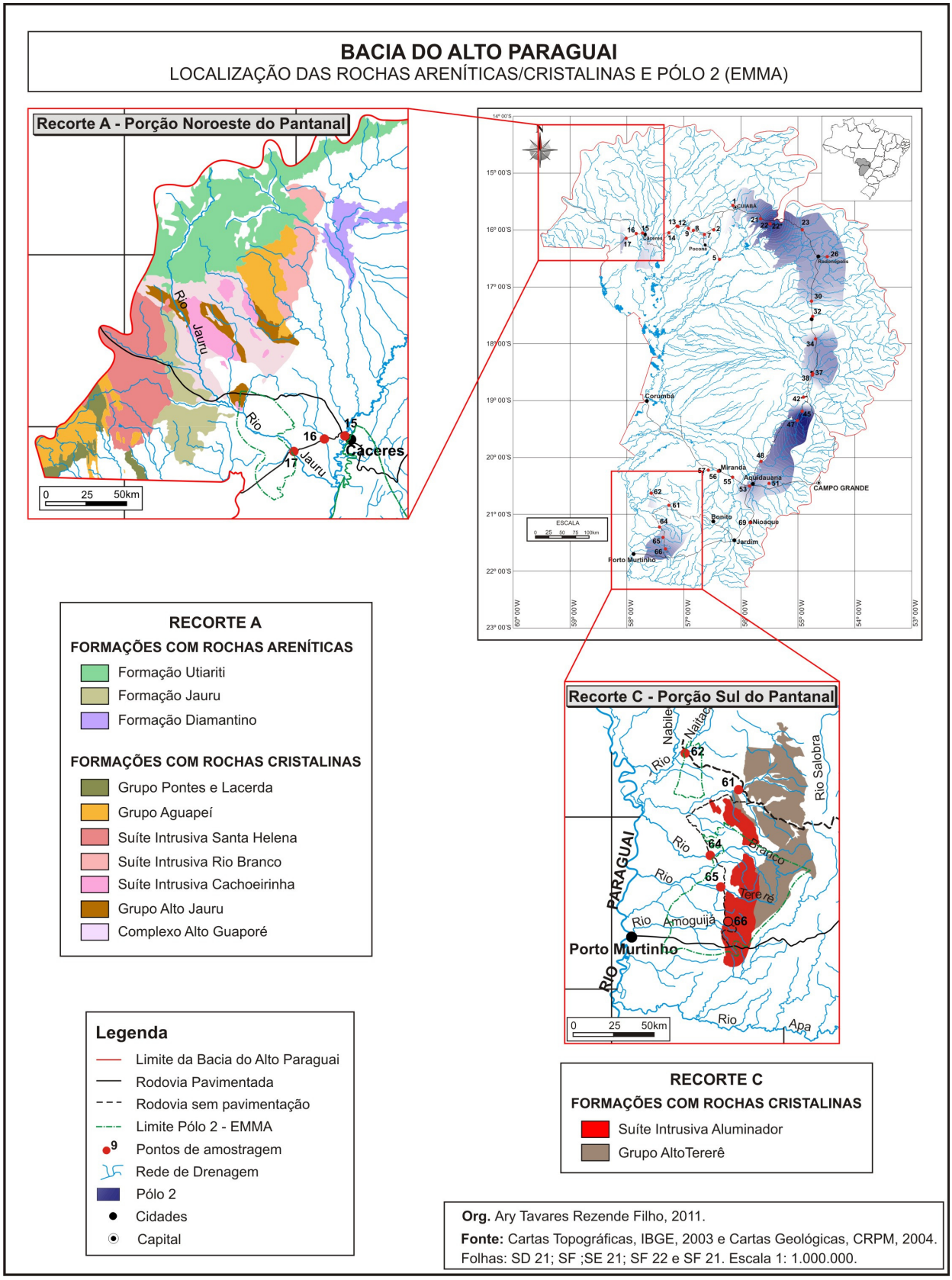


Figura 39: Mapa das rochas areníticas e cristalinas ao norte e ao sul do Pantanal

A distribuição, ao norte e ao sul, das águas influenciadas pelo pólo 3 é também concordante com a presença de formações com rochas calcárias nesses setores da bacia (Figura 40). As constituições mineralógicas dessas rochas provavelmente diferem entre si, com composições químicas apresentando diferentes teores em Ca^{2+} e Mg^{2+}. Isto é indicado pelo segundo plano fatorial da ACP 1, onde o terceiro eixo individualiza duas áreas, uma agrupando os rios ao norte e outra ao sul do Pantanal. Os perfis químicos das águas dessas duas áreas são semelhantes como mostra o eixo 1 do primeiro plano fatorial da ACP 1 (Figura 14). Essas duas áreas, entretanto, desaparecem na ACP 2 feita com dados modificados.

Estes fatos também mostram que a discriminação entre as porções norte e sul decorre muito mais da concentração total das águas do que das proporções iônicas. A presença de águas mais concentradas ao norte, e menos concentradas ao sul, não significa, necessariamente, um processo permanente, visto que a amostragem representa apenas um quadro momentâneo da composição química dessas águas. Uma maior diluição das águas ao sul do Pantanal pode também ser decorrente das condições meteorológicas imediatamente anteriores ao período de coletas da estação seca.

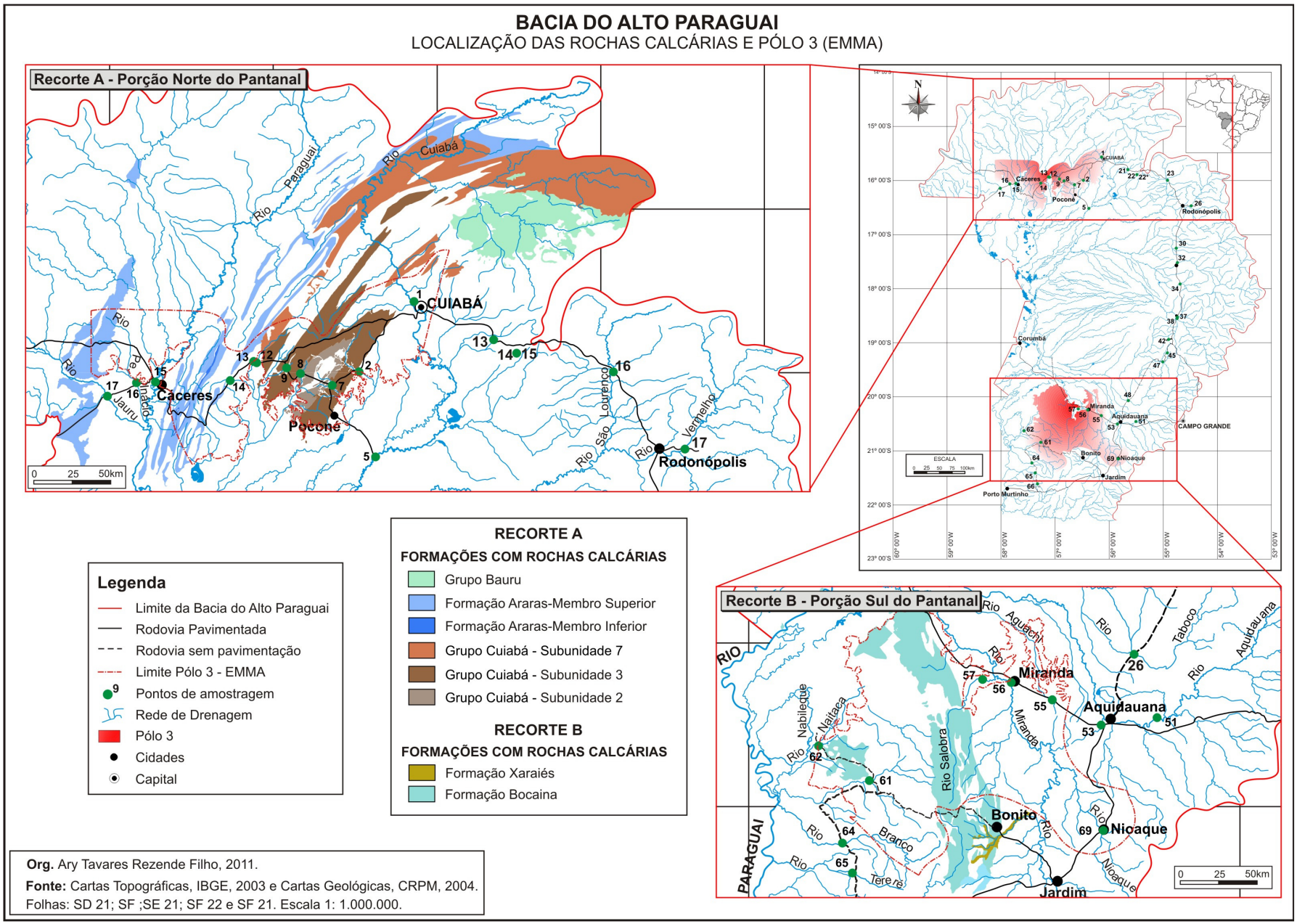


Figura 40: Mapa das rochas calcárias ao norte e ao sul do Pantanal

b) Influência do uso e ocupação do solo

O pólo 1 se circunscreve em dois pontos isolados a leste da bacia, onde aparece independentemente da estação. Contudo, a composição química que o caracteriza varia de uma estação para outra.

Na amostragem da estação seca, as águas influenciadas pelo pólo 1 se situam no conjunto de rios que atravessam arenitos, e apresentam cargas iônicas muito fracas (3,5 e 5 µS/cm). A discriminação desse pólo é dada pela presença de formas reduzidas do nitrogênio (NO_2^- e NH_4^+), e pode ser interpretada como um efeito de fontes locais de solutos. Porém, isto não significa, necessariamente, que apenas essas águas estejam sendo submetidas a influências de fontes locais.

Em particular, considerando-se que as águas influenciadas pelo pólo 1 são muito diluídas, o nitrogênio passa a ter um peso preponderante na ACP. Ao contrário, as águas com influência do pólo 3, que atravessam rochas calcárias, também podem apresentar teores elevados em nitrogênio, mas como suas cargas iônicas são maiores, esses teores deixam de ser um fator de discriminação pela ACP.

Mencionou-se que os pólos 1 e 2 apresentam composições químicas que variam do período seco para o úmido. Para melhor visualizar isto, elaborou-se um diagrama de Stabler com águas do Rio Negro (Figura 41). Observa-se, como na ACP 4 das duas estações, um aumento dos teores em sulfato (SO_4^{2-}) que passam de 6 à 27% da carga total, concomitante a uma diminuição da alcalinidade (Alc), que passa de 39 a 17% da carga total.

Na estação úmida e em detalhe, percebe-se que o perfil químico do pólo 3 é mais estável, pontos 57, 12, 13, enquanto os perfis dos pólos 1 e 2 são mais influenciados pelos teores de sulfato (SO_4^{2-}). Estas observações já foram mencionadas nas análises dos dados brutos (Tabela 18), e concordam com as comparações feitas entre os valores de condutividade elétrica (CE) das águas nas duas estações (Figura 33).

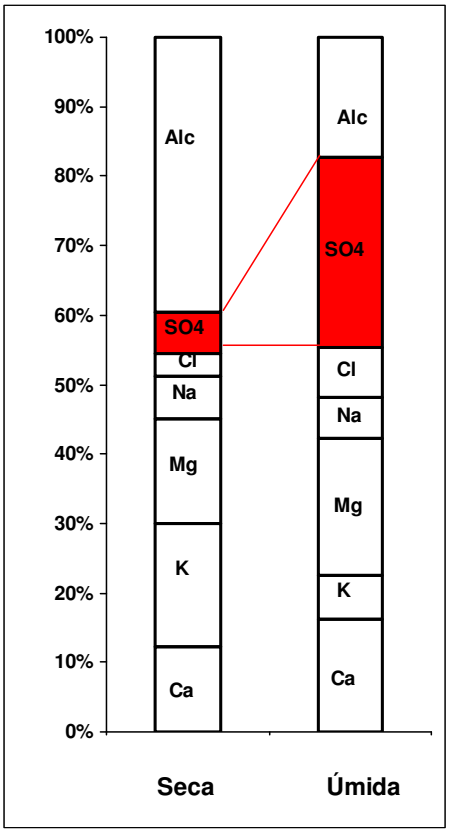


Figura 41: Composição química da água do Rio Negro (MS) nas duas estações

Vários argumentos convergem no sentido de uma influência antrópica para explicar a mudança do perfil químico das águas nas duas estações. Esses argumentos são de ordem química, hidrológica e geográfica. Mencionou-se que o aumento do sulfato é associado a um aumento do amônio. Esta observação sugere que a fertilização-N, sobretudo na forma de sulfato de amônio $(NH_4)_2SO_4$, e secundariamente na forma de uréia $CO(NH_2)_2$, pode ser uma fonte de variabilidade responsável pela mudança do perfil químico das águas de uma estação para outra.

Considerando-se a ACP 4 (Figura 28), nota-se que no eixo 2 os teores em sulfato (SO_4^{2-}) são opostos ao pH e à alcalinidade. Estes dados vêm corroborar as conclusões sobre fertilização-N, na forma de amônio, produzir acidificação fisiológica na solução do solo (VALLES et al., 1993).

Além disto, observa-se na Bacia do Alto Paraguai que muitos rios ficam praticamente secos durante a estação seca (Foto 4), e isto pode estar indicando, dentre outras, diferentes regimes hídricos das áreas de recarga. Se os rios durante a estação seca são alimentados pelo escoamento de base, profundo, na estação

úmida, ao contrário, eles recebem mais contribuições dos escoamentos superficiais rápidos e hipodérmicos, cuja química das águas pode ser mais marcada pela fertilização. Provavelmente, em decorrência dessas particularidades sazonais dos fluxos de águas é que se observa um aumento das proporções de formas do nitrogênio nas águas.

Rio dos Macacos (ponto 11)
(ao norte do pantanal)

Período Seco

Período Úmido
CE = 459 µS/cm - pH = 7,64

Foto 4: Rio dos Macacos no períodos de coletas

Enfim, as amostras mais afetadas por modificações no perfil químico pelo aumento dos teores em sulfato (SO_4^{2-}), situam-se à jusante das grandes áreas agrícolas do Planalto (Figura 42). Conseqüentemente, é mais que provável as modificações de perfil químico das águas serem resultantes do tipo de uso e ocupação dos solos.

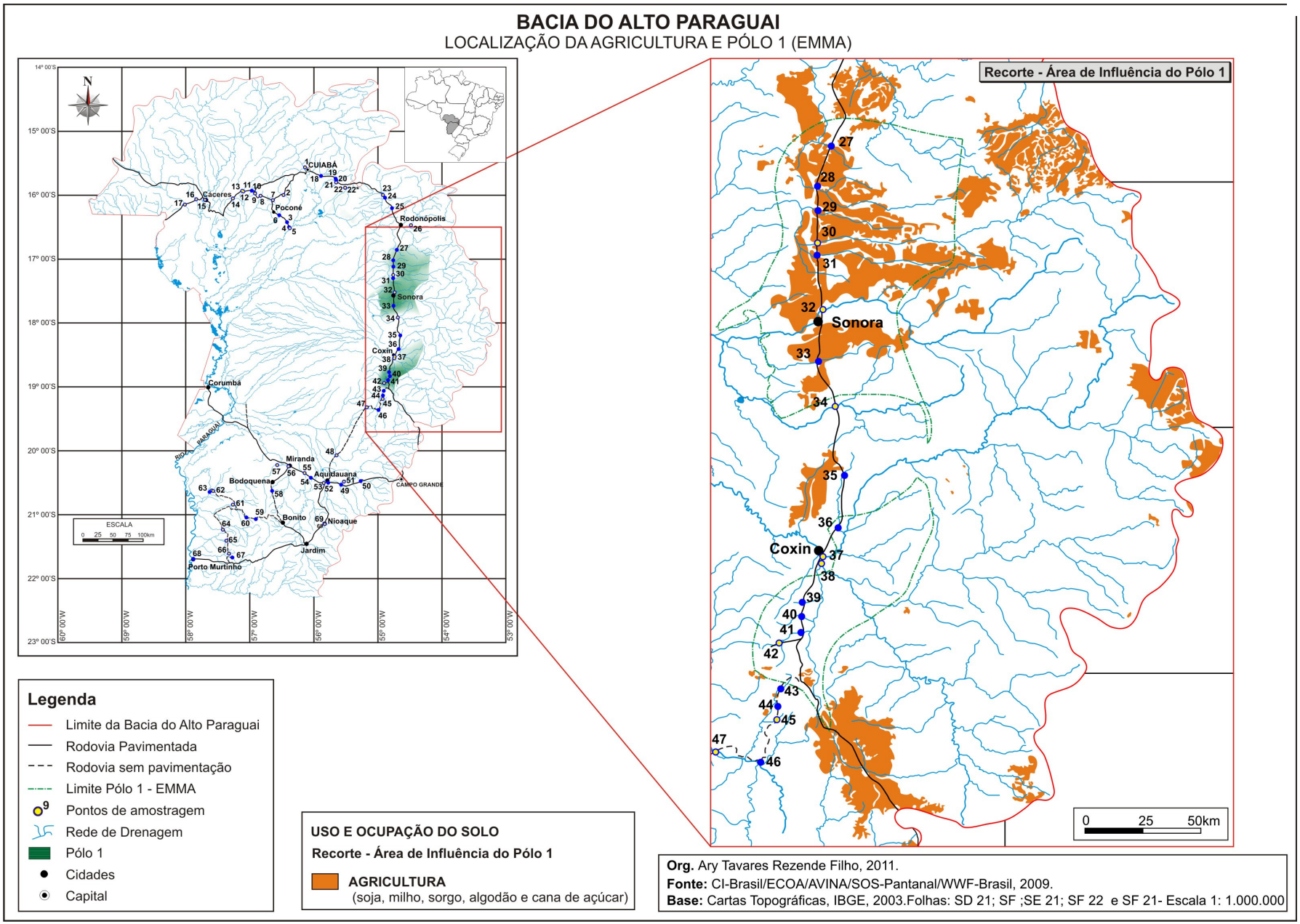


Figura 42: Mapa do uso e ocupação do solo na borda leste da Bacia do Alto Paraguai em 2008

II – ESPACIALIZAÇÃO: UMA NOVA COMPARTIMENTAÇÃO DO PANTANAL

No capítulo anterior, foi feita uma espacialização dos pólos químicos identificados (Figuras 34 e 35). O objetivo agora é calcular suas áreas de influência na planície.

Para isto, calculou-se a proporção de cada pólo químico numa mistura de águas.

A – Fundamentos e Hipóteses de Trabalho

Esta parte do trabalho se baseia em duas hipóteses:

(1ª) na conservatividade, ou constância, dos elementos químicos nas misturas de águas;

(2ª) na relação de proporcionalidade entre vazão e área drenada num ponto dado.

1 – Conservatividade dos elementos químicos

As águas dos rios que entram no Pantanal são relativamente pouco concentradas. Pode-se considerar que quando essas águas se misturam na planície não ocorrem precipitações salinas, que removem elementos químicos da fase líquida. Isto justifica utilizar o princípio da conservatividade na mistura, uma vez que os componentes químicos dos contribuintes são preservados.

Conseqüentemente, a composição química das águas, ligada à contribuição de cada pólo químico (1, 2 e 3), resulta de combinações lineares de grandezas conservativas e, portanto, constituem características conservativas. Por exemplo, a contribuição do pólo X numa mistura pode ser calculada a partir de suas influências na composição química das águas dos rios contribuintes.

2 – Proporcionalidade entre vazão e área drenada

Os dados apresentados nos capítulos anteriores referem-se à composição química das águas dos rios que entram no Pantanal. Esses rios podem misturar-se a jusante, antes ou depois de entrar na planície. Assim, uma mistura de águas depende não apenas da composição química das águas de rios que se misturam, mas também do volume relativo da vazão de cada rio contribuinte. Portanto para calcular a composição química de uma mistura de águas é necessário avaliar a vazão dos rios contribuintes.

Em princípio, essas informações dependem da instalação de estações de medidas de vazão, um trabalho pesado e oneroso que não foi realizado no quadro deste doutorado.

Para resolver esta lacuna e como hipótese de trabalho, pode-se considerar que a vazão é proporcional à área drenada. A fim de verificar esta premissa foram utilizados valores de vazão de várias sub-bacias do sistema de drenagem da Bacia do Alto Paraguai apresentados no relatório ANA/GEF/PNUMA/OEA (2004, pg. 47). As relações obtidas entre vazão e área drenada estão apresentadas na Figura 43.

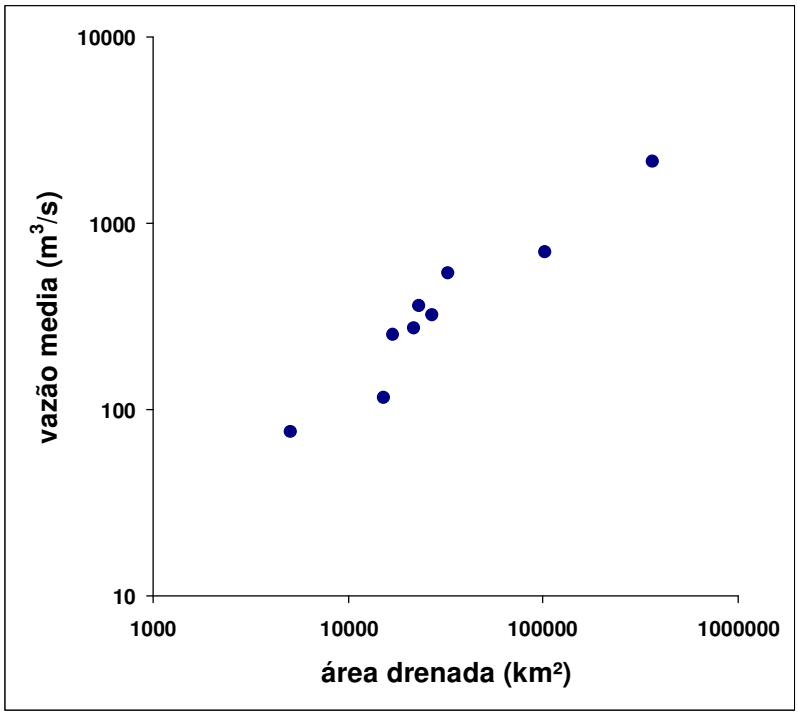


Figura 43: Relação entre área drenada e vazão. (Fonte dos dados: ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2004)

Há uma relação de proporcionalidade entre esses dados, segundo a equação:

$V = 0{,}0062a$ *(1)*

$r^2 = 0{,}927$

Onde "V" = vazão (m^3/s); "a" = área drenada (km^2), r^2 = *coeficiente de correlação*

Levando-se em conta essa equação, a vazão nos pontos de coletas, ou de misturas de águas, será estimada considerando-se a área drenada.

B – Área de drenagem e pontos de misturas

Para avaliar a vazão dos rios foi necessário calcular sua área drenada, como veremos a seguir.

1 – Identificação dos pontos de misturas de águas

A Figura 44 mostra diferentes reservatórios de águas e suas misturas, até atingir o Rio Paraguai. O organograma apresentado na Figura 45 mostra os esquemas dessas misturas.

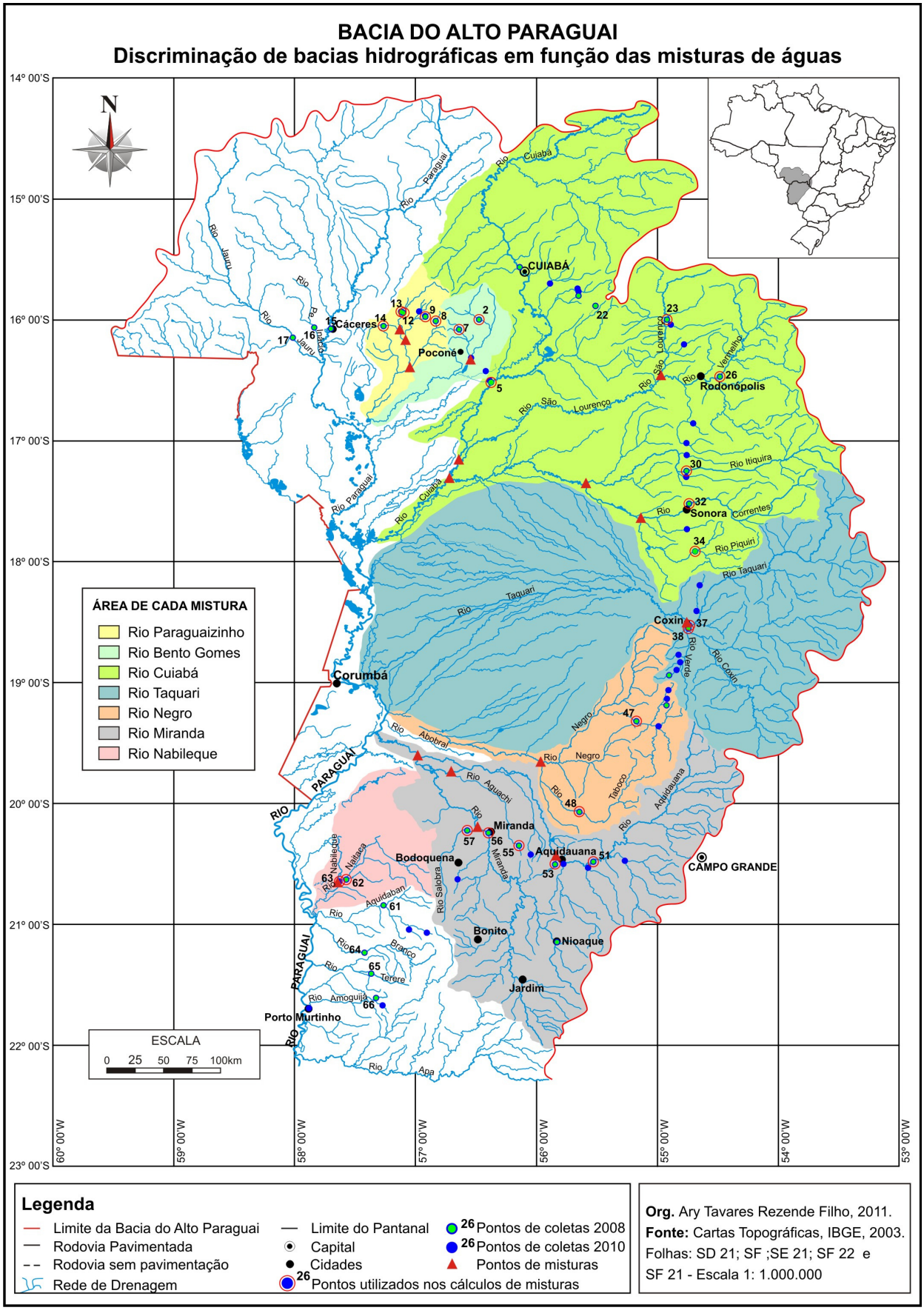


Figura 44: Discriminação de bacias hidrográficas em função das misturas de águas

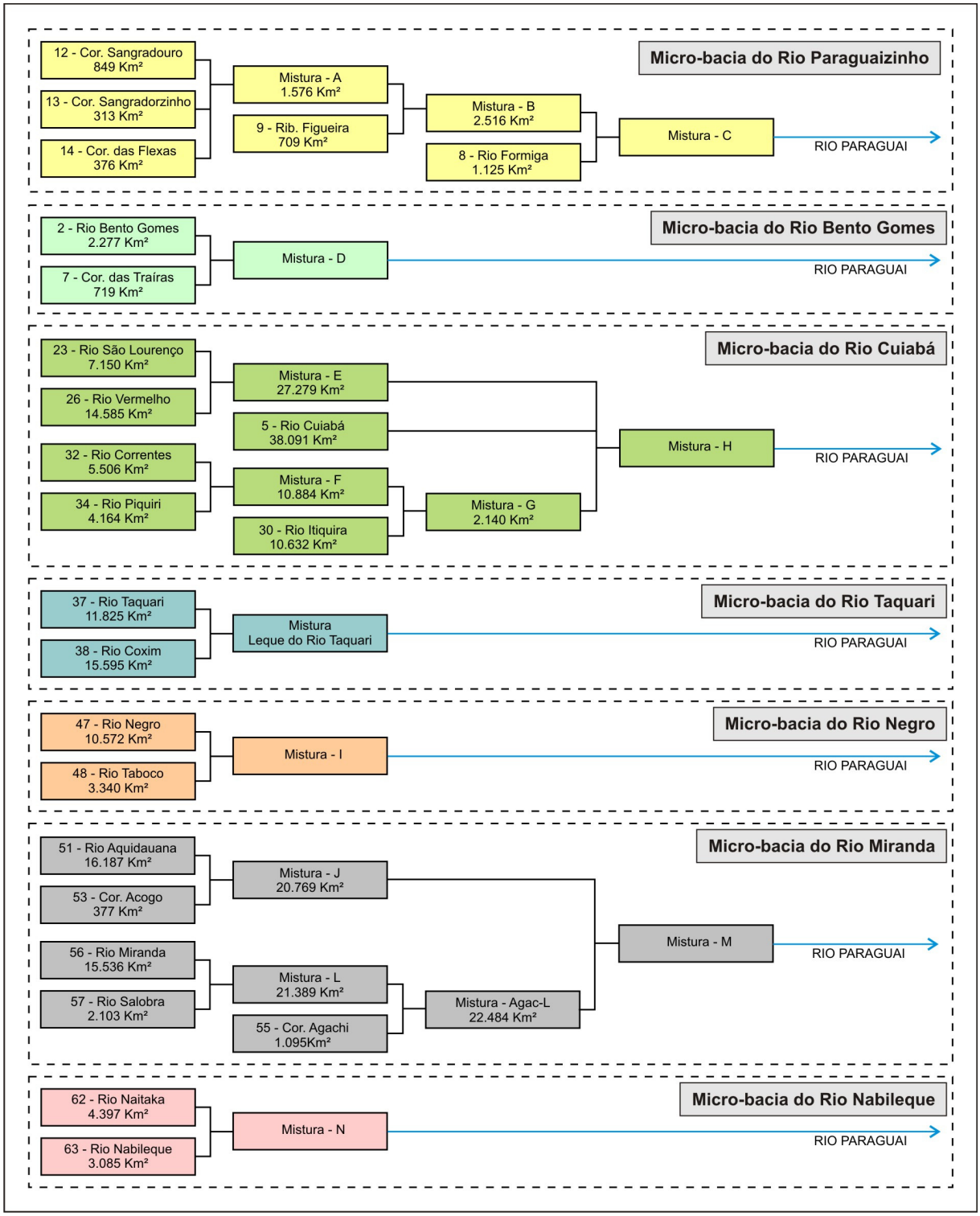


Figura 45: Organograma das misturas de águas

2 – Cálculo da composição da mistura

Considerando-se uma mistura conservativa aquela que não produz precipitações químicas, a contribuição de um pólo químico na mistura depende de

sua proporção nos reservatórios contribuintes, da condutividade elétrica e do volume de água, segundo a fórmula:

$$x_1.CE_1.v_1 + x_2.CE_2.v_2 = x_3.CE_3.(v_1+v_2) \quad (2)$$

Onde x é a proporção do pólo X na composição química do rio, CE é a condutividade elétrica, e "v" é a quantidade de água (vazão).

Os índices 1, 2, 3 referem-se aos reservatórios contribuintes, e (1 e 2) à mistura resultante (3).

Finalmente, a conservatividade, ou constância, das cargas iônicas:

$$CE_1.v_1 + CE_2.v_2 = CE_3\ (v_1+v_2) \quad (3)$$

Dessas duas relações (2) e (3), pode-se deduzir:

$$x_3 = (x_1.CE_1.v_1 + x_2.CE_2.v_2)/(CE_1.v_1 + CE_2.v_2) \quad (4)$$

Considerando-se a vazão (v) proporcional à área drenada, obtém-se a relação:

$$x_3 = (x_1.EC_1.a_1 + x_2.EC_2.a_2)/(EC_1.a_1 + EC_2.a_2) \quad (5)$$

Onde "a" representa a área drenada

C – Representação Cartográfica

O cálculo da contribuição de cada pólo químico apresentado no capitulo 3 permite espacializar suas áreas de influência no planalto. Por outro lado, o cálculo da composição química das águas depois de suas misturas permite estendê-las em direção à planície. A espacialização da química das águas por toda a área da Bacia do Alto Paraguai pode ser obtida por extrapolação direta, considerando-se: (1) que não ocorrem modificações significativas na composição química das águas ao longo dos rios enquanto não houver novas misturas de águas; (2) que as águas impõem suas características químicas em suas passagens pela planície, delimitando assim suas áreas de influência.

A Figura 46 mostra a distribuição dos pontos utilizados para elaboração do mapa contido na Figura 47, ou seja: **(i)** Pontos de coleta de águas, cujas composições químicas foram utilizadas nos cálculos das misturas; **(ii)** Pontos de misturas onde a composição das águas foi recalculada; **(iii)** Pontos de extensão das características químicas em função de suas áreas de influência.

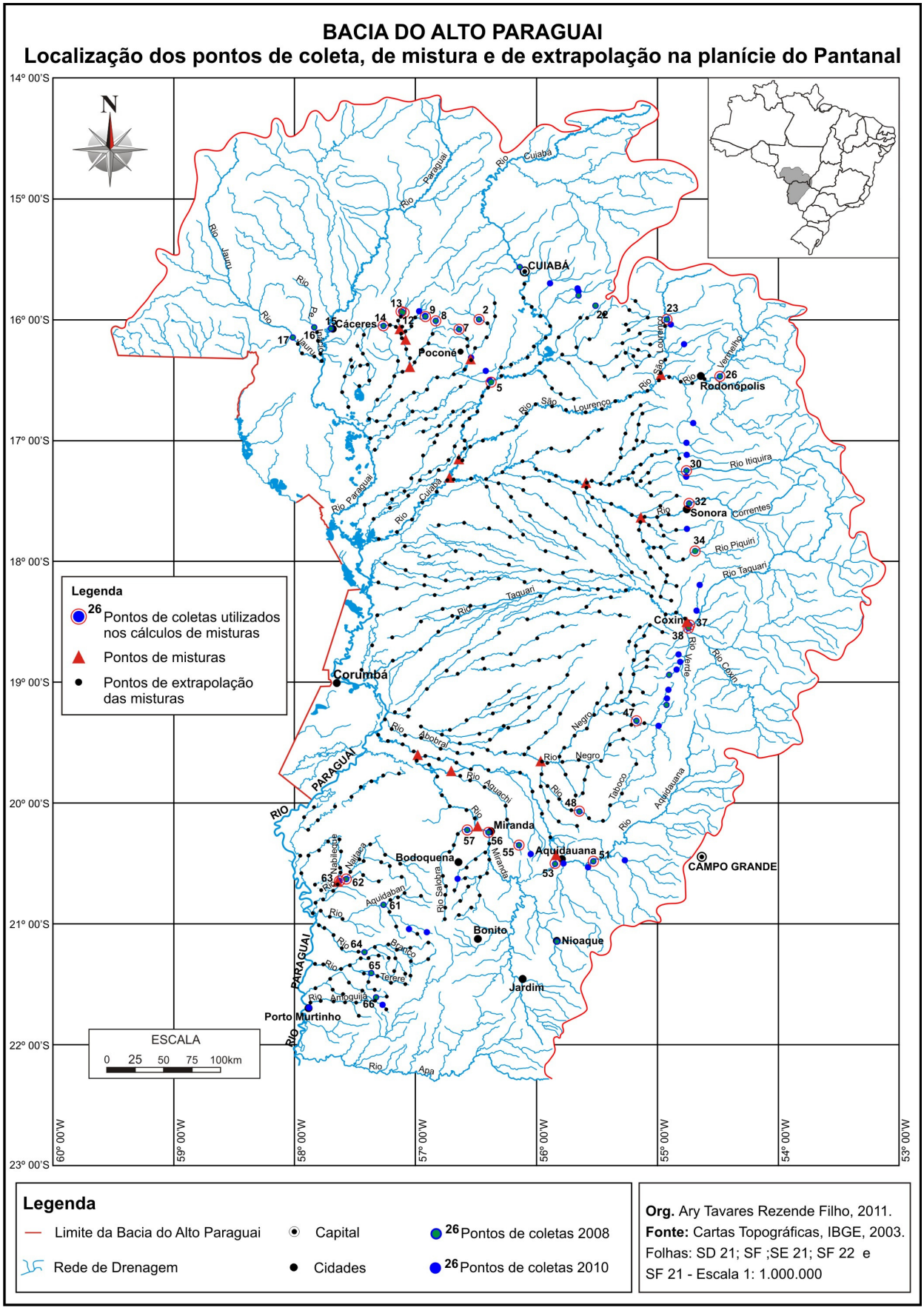


Figura 46: Mapa de localização dos pontos de coleta, de mistura e de extrapolação na planície do Pantanal

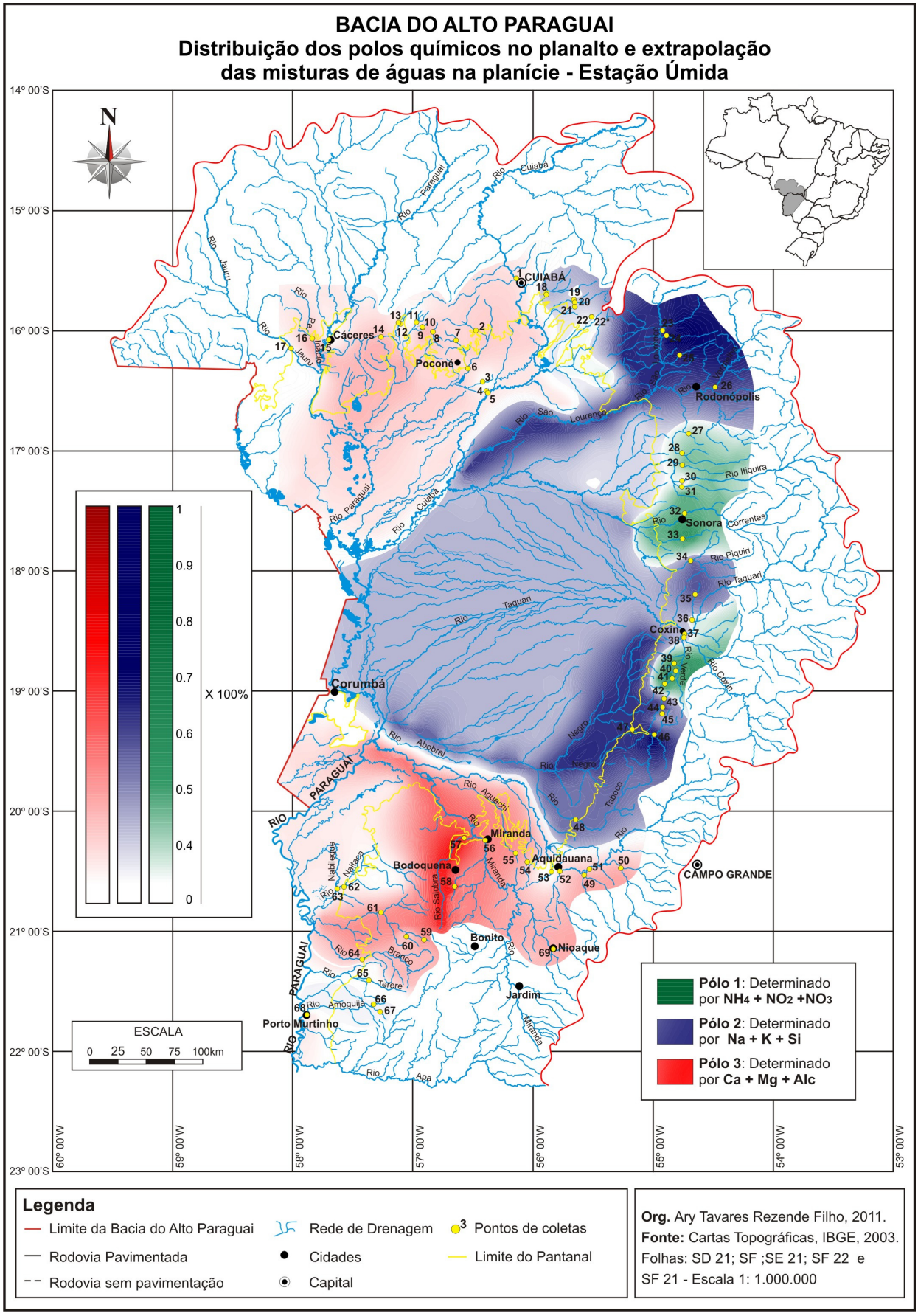


Figura 47: Mapa de distribuição dos pólos químicos no planalto e extrapolação das misturas de águas na planície - estação úmida

1 – Discussão

Algumas observações podem ser notadas na Figura 47.

Percebe-se o desaparecimento do pólo 1 na primeira mistura de águas. Isto deve ser atribuído à baixa condutividade elétrica, entre 3 e 10 µS/cm, das águas envolvidas. Assim, quando essas águas se misturam com águas mais concentradas, CE acima de 50 µS/cm, elas perdem as características do pólo 1. Em conseqüência, elas passam a ser dominadas, principalmente, pelas composições químicas que definem os pólos 2 e 3.

A influência do pólo 2 é dominante em aproximadamente 70% da área da planície, e em particular, nos leques aluviais dos rios Taquari e Taboco, e na bacia do Rio Negro. Ao norte, observa-se também que a composição química do pólo 2 influencia a área situada entre os rios Correntes e São Lourenço.

A influência do pólo 3 recobre, aproximadamente, 30% da área da planície e envolve, de um lado, a área localizada ao norte do Rio Cuiabá, e do outro, o conjunto dos rios situados ao sul, Aquidauana, Miranda e Abobral.

Os limites entre as influências dos pólos 2 e 3 localizam-se ao longo dos rios Cuiabá ao norte, Aquidauana ao sul, e Abobral a oeste. Provavelmente, nas áreas limítrofes entre duas famílias químicas de águas contrastadas, os solos e os sedimentos registrem suas assinaturas em diferentes profundidades. Por exemplo, observou-se no Pantanal do Barão de Melgaço (MT) a presença de solos com complexo de troca saturado por sódio (BEIRIGO, 2008), cuja química não está de acordo com a química das águas que atualmente transbordam do Rio Cuiabá, caracterizadas por perfil químico próximo ao do pólo 3. A saturação do complexo de trocas por sódio está mais de acordo com a química atual do Rio São Lourenço, nitidamente influenciado pelo pólo 2. As marcas de um perfil químico, ou de outro, nos solos e sedimentos dessas zonas limítrofes dependem da dinâmica do escoamento dos rios na planície. Um trabalho de geomorfologia fluvial detalhado é, com fortes evidências, necessário para compreender melhor essas regiões particulares com químicas contrastadas.

III – CONSIDERAÇÕES GERAIS

O mapa apresentado na Figura 47 corresponde a uma representação cartográfica teórica baseada nas hipóteses: **(1)** da conservatividade dos elementos químicos na mistura; **(2)** da proporcionalidade entre vazão e área drenada em um ponto dado. Isto elucida o fato desses mapas não incorporarem outros processos que podem ocorrer na planície, e produzir fortes variabilidades na composição química das águas, como a evaporação, precipitação salina, influências da vegetação e de macro e microrganismos, processos redox, dependentes, principalmente, dos regimes de inundações.

No próximo capítulo será apresentado um teste para identificar a influência desses processos em uma sub-região do Pantanal, a Nhecolândia.

CAPÍTULO – IV

INFLUÊNCIA DAS ÁGUAS NA PLANÍCIE: A SUB-REGIÃO DA NHECOLÂNDIA

INTRODUÇÃO

No capítulo anterior apresentou-se os resultados da pesquisa que levaram a uma compartimentação do Pantanal, com base nas misturas dos pólos químicos das águas. Utilizou-se para isto, e como fundamento teórico, a mistura conservativa das águas, e os resultados da ACP 3 para fazer a deconvolução pelo modelo EMMA (CHRISTOPHERSEN et al., 1990). Nesses cálculos não se incorporaram outras fontes de variabilidade, como a evaporação, vegetação, microrganismos e processos redox.

O objetivo desse capítulo é identificar, quantificar e hierarquizar fontes de variabilidade química da água em uma sub-região do Pantanal, a Nhecolândia, escolhida por duas razões: **(i)** a primeira, por tratar-se de uma de suas maiores sub-regiões; **(ii)** a segunda, por ter-se à disposição uma amostragem de suas águas.

Para essa etapa do trabalho, realizou-se uma análise estatística com base na ACP, associada a análises geoquímicas.

I – AS ÁGUAS NA NHECOLÂNDIA

Os métodos de campo e laboratório para coletas e análises de águas adotados neste capítulo são semelhantes aqueles descritos no capítulo 2. As amostras de águas foram coletadas por Mascré (maio de 2004), ao longo de um transecto com aproximadamente 50 km, cortando a Nhecolândia no sentido norte-sul. Nesse transecto, que parte da Fazenda Nhumirim (Embrapa Pantanal) até a margem direita do Rio Negro, coletou-se 74 amostras de águas de lagoas salinas, baías, banhados e vazantes (Figura 48 e Tabela 24).

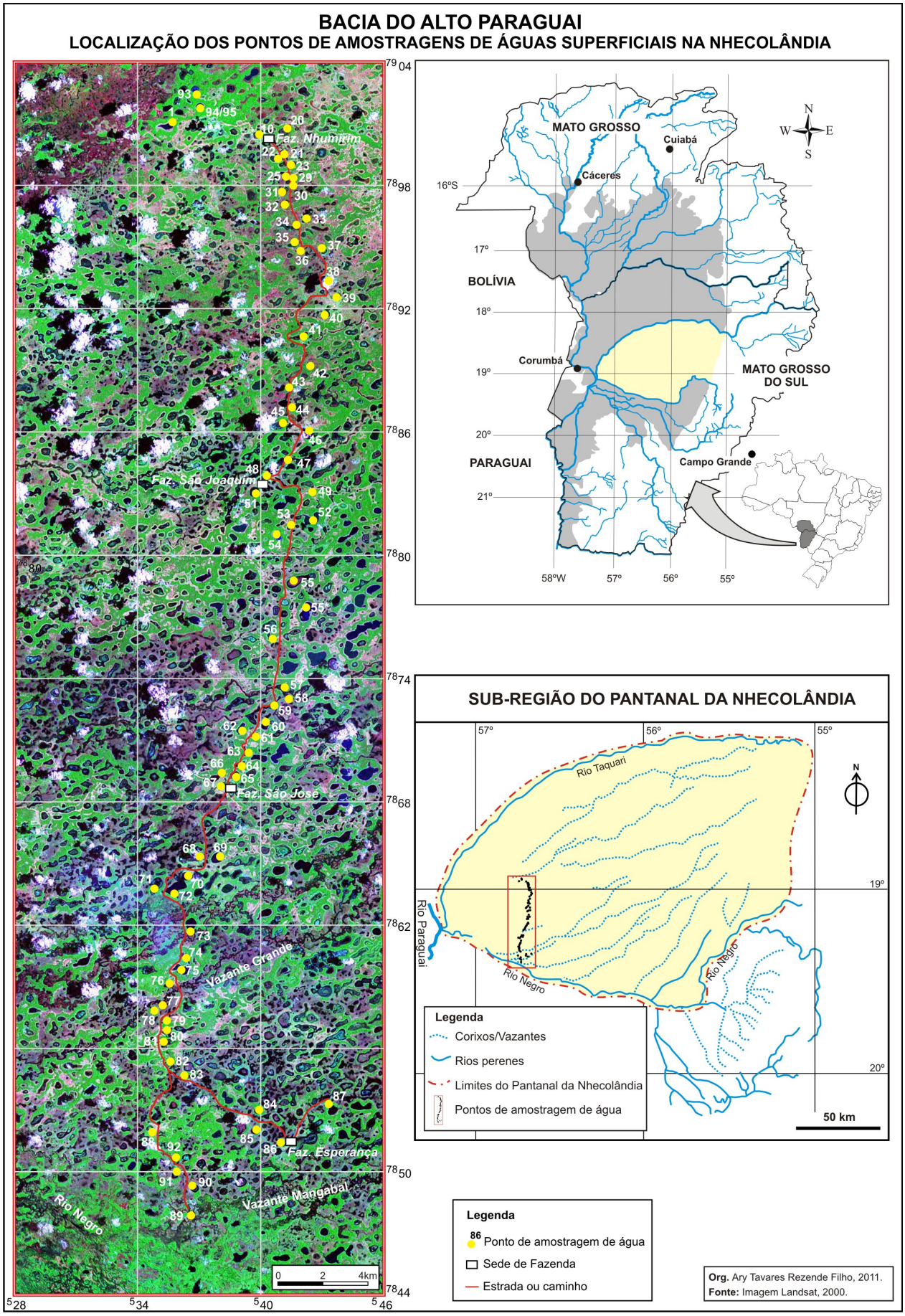


Figura 48: Localização dos pontos de amostragens na Nhecolândia

Tabela 24: Localização das águas superficiais amostradas

Nº das Amostras	LOCALIZAÇÃO		UTM (SAD 69)	
			Coordenadas (X)	Coordenadas (Y)
1	Fazenda Nhumirim	Lagoa salina	535759	7901183
10	Fazenda Nhumirim	Baía	539878	7900506
20	Fazenda Nhumirim	Baía	541083	7900789
21	Fazenda Nhumirim	Baía	541143	7899750
22	Fazenda Nhumirim	Baía	540812	7899456
23	Fazenda Nhumirim	Baía	541529	7899224
25	Fazenda Nhumirim	Baía/banhado	541135	7898526
29	Fazenda Nhumirim	Baía/banhado	541645	7898651
30	Fazenda Ipanema	Baía	541617	7898268
31	Fazenda Ipanema	Baía	541312	7898341
32	Fazenda Ipanema	Baía	541278	7897387
33	Fazenda Ipanema	Baía	542082	7896458
34	Fazenda Ipanema	Baía	541764	7896102
35	Fazenda Ipanema	Baía/banhado	541601	7895280
36	Fazenda Ipanema	Baía/banhado	541909	7894933
37	Fazenda Ipanema	Baía	543076	7895008
38	Fazenda Ipanema	Baía/banhado	543025	7893626
39	Fazenda Ipanema	Baía	543661	7892852
40	Fazenda Ipanema	Baía	543118	7891895
41	Fazenda Ipanema	Baía/banhado	541839	7890852
42	Fazenda Ipanema	Baía/banhado	542346	7889411
43	Fazenda Ipanema	Baía/banhado	541413	7888251
44	Fazenda Ipanema	Baía	541458	7887522
45	Fazenda São Joaquim	Baía	541270	7886787
46	Fazenda São Joaquim	Baía	542273	7886285
47	Fazenda São Joaquim	Baía/banhado	541456	7884631
48	Fazenda São Joaquim	Baía/banhado	540226	7884065
49	Fazenda São Joaquim	Baía	542364	7883705
51	Fazenda São Joaquim	Lagoa salina	539792	7883393
52	Fazenda São Joaquim	Baía	542249	7882075
53	Fazenda São Joaquim	Baía	541412	7881690
54	Fazenda São Joaquim	Baía	540864	7881249
55	Fazenda São Joaquim	Baía	541455	7878910
55*	Fazenda São Joaquim	Lagoa salina	542100	7877468
56	Fazenda São Joaquim	Baía/banhado	540637	7876259
57	Fazenda São Joaquim	Baía/banhado	541196	7873960
58	Fazenda São Joaquim	Baía/banhado	541408	7873431
59	Fazenda São José	Baía/banhado	540615	7873118
60	Fazenda São José	Baía/banhado	540120	7872102
61	Fazenda São José	Baía/banhado	539740	7871634
62	Fazenda São José	Baía	539188	7871885
63	Fazenda São José	Baía	539321	7870780
64	Fazenda São José	Baía	539065	7870225
65	Fazenda São José	Baía	538724	7869630
66	Fazenda São José	Baía	537996	7869671
67	Fazenda Santa Rosa	Baía	538239	7869211

Continuação

Continuação

Nº das Amostras	LOCALIZAÇÃO		UTM (SAD 69)	
			Coordenadas (X)	Coordenadas (Y)
68	Fazenda Santa Rosa	Baía	537005	7865652
69	Fazenda Santa Rosa	Baía	537789	7865777
70	Fazenda Santa Rosa	Baía	536842,	7864911
71	Fazenda Santa Rosa	Baía	535172	7864296
72	Fazenda Santa Rosa	Baía/vazante	535661	7864000
73	Fazenda Santa maria	Baía/vazante	536577	7862164
74	Fazenda Santa Maria	Baía/vazante	536235	7861029
75	Fazenda Santa Maria	Baía	541237	7876407
76	Fazenda Santa Maria	Baía/vazante	536076	7860561
77	Fazenda Santa Maria	Baía/vazante	535737	7859532
78	Fazenda Santa Maria	Baía/vazante	535277	7858641
79	Fazenda Santa Maria	Baía/vazante	534848	7858361
80	Fazenda Santa Maria	Baía	535316	7857976
81	Fazenda Santa Maria	Baía	535369	7857282
82	Fazenda Santa Maria	Baía	535408	7856821
83	Fazenda Santa Maria	Baía	535451	7855691
84	Fazenda Santa Esperança	Baía	536277	7855178
85	Fazenda Santa Esperança	Baía	539833	7853473
86	Fazenda Santa Esperança	Baía	539822	7852663
87	Fazenda Santa Esperança	Baía	541136	7852002
88	Fazenda Santa Maria	Baía	543320	7853722
89	Fazenda Santa Maria	Vazante Mangabal	534838	7852735
90	Fazenda Santa Maria	Baía/vazante	536627	7848453
91	Fazenda Santa Maria	Baía/vazante	536070	7850570
92	Fazenda Santa Maria	Baía	536428	7851227
93	Fazenda Campo Dora	Lagoa salina	536905	7902681
94	Fazenda Nhumirim	Lagoa salina	537098	7901859
95	Fazenda Nhumirim	Lagoa salina	537098	7901859

As variáveis físico-químicas, temperatura (T ºC), pH e condutividade elétrica (CE), foram diretamente medidas no campo por meio de pHmetro e condutivímetro. As amostras de águas foram analisadas no Laboratório de Mecanismos e Transferências em Geologia (LMTG – Universidade Paul Sabatier, Toulouse/Fr). Os elementos maiores, Ca^{2+}, K^{+}, Mg^{2+}, Na^{+}, F^{-}, Cl^{-}, NO_2^{-}, SO_4^{2-}, NO_3^{-}, NH_4^{+}, foram analisados por cromatografia iônica. A sílica (Si) foi analisada por Colorimetria, pelo método do molibidato de amônio a pH 1,6, e a alcalinidade por titulação ácida, segundo o método de Gran (1952).

Os resultados brutos das análises receberam os mesmos tratamentos estatísticos descritos no Capítulo 2.

A – Características das Águas

1 – Medidas no campo

As características físico-químicas das águas medidas no campo no momento da coleta estão apresentadas na Tabela 25.

Tabela 25: Dados físico-químicos (T°C, pH, CE) das águas no momento das coletas

Nº das Amostras	Localização		TºC	pH	CE µS/cm
1	Fazenda Nhumirim	Lagoa salina	26,5	7,97	3200
10	Fazenda Nhumirim	Baía	25,4	7,47	380
20	Fazenda Nhumirim	Baía	26,8	7,69	470
21	Fazenda Nhumirim	Baía	27,1	6,42	102
22	Fazenda Nhumirim	Baía	27,5	7,39	360
23	Fazenda Nhumirim	Baía	28,1	6,34	85
25	Fazenda Nhumirim	Baía/banhado	28,4	6,23	7
29	Fazenda Nhumirim	Baía/banhado	28,3	6,32	29
30	Fazenda Ipanema	Baía	19,6	6,35	110
31	Fazenda Ipanema	Baía	23,1	6,64	129
32	Fazenda Ipanema	Baía	23,8	6,54	144
33	Fazenda Ipanema	Baía	25,2	6,84	186
34	Fazenda Ipanema	Baía	27,4	7,67	367
35	Fazenda Ipanema	Baía/banhado	29,6	6,87	17
36	Fazenda Ipanema	Baía/banhado	29,6	6,66	27
37	Fazenda Ipanema	Baía	30,4	7,42	213
38	Fazenda Ipanema	Baía/banhado	29,5	6,80	28
39	Fazenda Ipanema	Baía	19,6	6,55	117
40	Fazenda Ipanema	Baía	21,2	6,66	197
41	Fazenda Ipanema	Baía/banhado	23,9	6,01	36
42	Fazenda Ipanema	Baía/banhado	29,3	6,32	59
43	Fazenda Ipanema	Baía/banhado	28,9	6,40	38
44	Fazenda Ipanema	Baía	27,0	6,75	261
45	Fazenda São Joaquim	Baía	31,1	7,37	274
46	Fazenda São Joaquim	Baía	20,6	7,89	531
47	Fazenda São Joaquim	Baía/banhado	23,6	5,78	23
48	Fazenda São Joaquim	Baía/banhado	26,1	5,61	16
49	Fazenda São Joaquim	Baía	28,6	7,02	224
51	Fazenda São Joaquim	Lagoa salina	28,3	7,69	1190
52	Fazenda São Joaquim	Baía	28,1	6,68	124
53	Fazenda São Joaquim	Baía	28,6	7,48	525
54	Fazenda São Joaquim	Baía	28,7	7,43	561
55	Fazenda São Joaquim	Baía	28,3	7,60	670
55*	Fazenda São Joaquim	Lagoa salina	28,5	7,85	1320
56	Fazenda São Joaquim	Baía/banhado	29,0	6,38	113
57	Fazenda São Joaquim	Baía/banhado	28,9	5,96	39
58	Fazenda São Joaquim	Baía/banhado	28,8	5,65	36
59	Fazenda São José	Baía/banhado	28,3	6,26	79
60	Fazenda São José	Baía/banhado	28,6	6,04	51
61	Fazenda São José	Baía/banhado	28,1	5,83	60
62	Fazenda São José	Baía	28,5	7,29	414

Continuação

Continuação

Nº das Amostras	Localização		TºC	pH	CE µS/cm
63	Fazenda São José	Baía	28,6	6,05	53
64	Fazenda São José	Baía	28,4	6,00	70
65	Fazenda São José	Baía	28,7	6,31	101
66	Fazenda São José	Baía	28,5	6,86	434
67	Fazenda Santa Rosa	Baía	28,6	7,72	506
68	Fazenda Santa Rosa	Baía	28,5	7,99	598
69	Fazenda Santa Rosa	Baía	29,4	6,99	289
70	Fazenda Santa Rosa	Baía	29,3	6,68	94
71	Fazenda Santa Rosa	Baía	29,7	7,16	303
72	Fazenda Santa Rosa	Baía/vazante	30,1	6,98	50
73	Fazenda Santa maria	Baía/vazante	30,4	5,62	19
74	Fazenda Santa Maria	Baía/vazante	29,8	6,99	340
75	Fazenda Santa Maria	Baía	27,7	8,36	763
76	Fazenda Santa Maria	Baía/vazante	27,6	5,85	20
77	Fazenda Santa Maria	Baía/vazante	27,4	6,24	41
78	Fazenda Santa Maria	Baía/vazante	27,5	6,25	39
79	Fazenda Santa Maria	Baía/vazante	27,5	6,25	63
80	Fazenda Santa Maria	Baía	28,5	7,10	194
81	Fazenda Santa Maria	Baía	29,5	7,01	236
82	Fazenda Santa Maria	Baía	30,5	6,62	50
83	Fazenda Santa Maria	Baía	31,5	6,44	40
84	Fazenda Santa Esperança	Baía	26,4	6,84	78
85	Fazenda Santa Esperança	Baía	27,6	6,46	23
86	Fazenda Santa Esperança	Baía	27,0	6,32	19
87	Fazenda Santa Esperança	Baía	26,0	8,93	453
88	Fazenda Santa Maria	Baía	32,5	6,43	122
89	Fazenda Santa Maria	Vazante Mangabal	33,5	6,54	63
90	Fazenda Santa Maria	Baía/vazante	34,5	6,52	55
91	Fazenda Santa Maria	Baía/vazante	35,5	6,43	59
92	Fazenda Santa Maria	Baía	36,5	7,39	166
93	Fazenda Campo Dora	Lagoa salina	32,9	9,42	582
94	Fazenda Nhumirim	Lagoa salina	27,1	10,04	5820
95	Fazenda Nhumirim	Lagoa salina	26,4	10,06	5820

2 – Medidas em laboratório

A Tabela 26 apresenta os resultados brutos das análises das águas em laboratório.

TABELA 26: Resultados analíticos brutos das águas

Nº	CE	F^-	Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	NH_4^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Alc
	µS/cm	mmol/L	mmol/L	mmol/L	mmol/L	mmol/L	mmol/L	mmol/L	mmol/L	mmol/L	$mmol_c/L$
1	3200	0,1012	1,8652	0,1796	0,2091	0	0,5522	0,0852	26,8644	5,7178	30,0688
10	380	0,0589	0,3858	0,0813	0,1976	0	0,0935	0,0581	3,3378	0,3120	3,4271
20	470	0,0636	0,1611	0,0728	0,1072	0	0,1298	0,0842	3,5261	0,9623	4,6187

Continuação

Continuação

Nº	CE µS/cm	F^- mmol/L	Cl^- mmol/L	SO_4^{2-} mmol/L	NO_3^- mmol/L	NH_4^+ mmol/L	Ca^{2+} mmol/L	Mg^{2+} mmol/L	Na^+ mmol/L	K^+ mmol/L	Alc $mmol_c/L$
21	102	0,0271	0,0808	0,0608	0,0003	0,0106	0,2283	0,0983	0,3517	0,1610	1,0078
22	360	0,0371	0,0590	0,0187	0,0539	0	0,1648	0,1817	2,1961	0,7449	3,5190
23	85	0,0036	0,0571	0,0221	0,0566	0,0022	0,1115	0,1088	0,0639	0,4413	0,8651
25	7	0,0181	0,0402	0,0810	0,0620	0,0028	0,0805	0,0858	0,0865	0,3451	0,6279
29	29	0,0203	0,0114	0,0539	0,0008	0,0022	0,0540	0,0483	0,0900	0,0349	0,2461
30	110	0,0155	0,0570	0,0696	0,0204	0,0161	0,1255	0,1171	0,6317	0,2067	1,0963
31	129	0,0175	0,0670	0,0696	0,0204	0	0,1458	0,1233	0,3317	0,4405	1,1563
32	144	0,0315	0,0483	0,0603	0,1357	0,0017	0,1730	0,1433	0,4600	0,4728	1,4271
33	186	0,0131	0,0476	0,0554	0,0008	0,0156	0,1938	0,1804	0,5213	0,7323	1,9014
34	367	0,0322	0,0325	0,0470	0,0006	0,0317	0,6410	0,2500	1,5387	0,7223	3,9630
35	17	0,0112	0,0341	0,0576	0,0132	0	0,0383	0,0354	0,0470	0,0467	0,1382
36	27	0,0129	0,0669	0,0852	0,0020	0,0339	0,0393	0,0333	0,0452	0,0667	0,1260
37	213	0,0220	0,0240	0,0446	0,0252	0	0,2073	0,2108	0,8709	0,4656	2,0821
38	28	0,0200	0,0274	0,0563	0,0008	0,0189	0,0285	0,0292	0,0365	0,1026	0,1697
39	117	0,0155	0,0580	0,0716	0,0204	0,0706	0,2488	0,1542	0,1978	0,3469	1,1963
40	197	0,0333	0,2570	0,0568	0,0120	0	0,2855	0,2017	0,5043	0,4149	1,5465
41	36	0,0044	0,0381	0,0090	0,0003	0	0,0368	0,0446	0,0274	0,1879	0,3265
42	59	0,0276	0,0447	0,0645	0,0009	0,0606	0,0583	0,1329	0,0896	0,1846	0,4860
43	38	0,0176	0,0347	0,0545	0,0009	0,0378	0,0475	0,0696	0,0335	0,1774	0,3760
44	261	0,0110	0,0762	0,0068	0,0502	0	0,6673	0,4496	0,0796	0,4610	2,7869
45	274	0,0140	0,0862	0,0078	0,0502	0	0,6265	0,5613	0,5143	0,4051	3,1869
46	531	0,0398	0,0200	0,0059	0	0	0,3651	0,4314	3,2854	0,6609	5,3330
47	23	0,0052	0,0446	0,0573	0,0006	0,0017	0,0528	0,0392	0,0413	0,0782	0,1978
48	16	0,0118	0,0318	0,0697	0,0219	0	0,0200	0,0342	0,0504	0,0569	0,1023
49	224	0,0229	0,0878	0,0556	0,0482	0	0,4160	0,4192	0,6517	0,4910	2,6469
51	1190	0,0514	0,8887	0,0868	0,0001	0	0,2186	0,0392	8,7009	2,9068	11,0963
52	124	0,0386	0,0922	0,0730	0,0443	0,0706	0,2488	0,1542	0,1978	0,3469	1,0963
53	525	0,0788	0,0670	0,0605	0,0007	0	0,3651	0,4314	3,2854	0,6609	5,3330
54	561	0,0634	0,2626	0,0622	0,0661	0	0,4073	0,5183	2,6808	1,6308	5,7746
55*	1320	0,0514	0,9887	0,0968	0,0001	0	0,8042	1,3642	6,8885	2,8946	12,3679
55	670	0,0780	0,3841	0,0536	0,0086	0	0,3819	0,4767	3,4896	1,9716	6,6625
56	113	0,0241	0,0210	0,0153	0,0001	0	0,0695	0,1629	0,4394	0,2681	1,1120
57	39	0,0101	0,0741	0,0377	0,0001	0	0,0255	0,0417	0,2630	0,0935	0,3688
58	36	0,0115	0,0305	0,0251	0,0026	0,0389	0,0455	0,0483	0,1444	0,1093	0,4131
59	79	0,0104	0,1207	0,0033	0	0	0,0854	0,1000	0,3510	0,2920	0,7810
60	51	0,0230	0,0915	0,0670	0,0003	0	0,0521	0,0508	0,1647	0,1945	0,3835
61	60	0,0152	0,0518	0,0230	0,0166	0,0006	0,0308	0,0454	0,4825	0,1028	0,6483
62	414	0,0174	0,0450	0,0263	0,0001	0	0,2199	0,2417	1,5093	1,6474	3,9912
63	53	0,0197	0,0513	0,0751	0,0011	0,0033	0,0132	0,0129	0,3361	0,2282	0,4737
64	70	0,0094	0,0885	0,0423	0,0001	0	0,0334	0,0375	0,4445	0,2400	0,6861
65	101	0,0239	0,0371	0,0137	0,0001	0	0,1409	0,1600	0,2845	0,1558	0,9673

Continuação

Continuação

Nº	CE µS/cm	F^- mmol/L	Cl^- mmol/L	SO_4^{2-} mmol/L	NO_3^- mmol/L	NH_4^+ mmol/L	Ca^{2+} mmol/L	Mg^{2+} mmol/L	Na^+ mmol/L	K^+ mmol/L	Alc $mmol_c/L$
66	434	0,0371	1,7682	0,0742	0,0025	0,0516	0,2298	0,2300	2,5881	0,9715	2,6512
67	506	0,0453	0,0734	0,0055	0,0001	0	0,9337	0,4133	1,8258	0,8096	5,2053
68	598	0,0399	0,0676	0,0049	0,0001	0	1,2583	0,9212	1,0949	0,9901	6,3316
69	289	0,0177	0,0768	0,0130	0,0001	0	0,4800	0,2113	0,8233	0,7674	2,8657
70	94	0,0114	0,1307	0,0033	0,0001	0	0,1103	0,1113	0,2559	0,2274	0,7810
71	303	0,0204	0,2937	0,0390	0,1591	0	0,2724	0,2904	0,8315	1,0928	2,6969
72	50	0,0135	0,0698	0,0079	0,0001	0	0,0657	0,0571	0,1397	0,1415	0,4355
73	19	0,0036	0,0193	0,0103	0,0001	0,0206	0,0193	0,0208	0,0728	0,0895	0,2299
74	340	0,0335	0,1334	0,1623	0,7218	0	0,3070	0,1625	1,2357	1,3705	2,2160
75	763	0,0209	0,0343	0,0716	0,0014	0	0,4374	0,8692	2,4495	3,3882	8,3240
76	20	0,0073	0,0224	0,0161	0,0001	0,0261	0,0395	0,0404	0,0852	0,0905	0,3158
77	41	0,0182	0,0297	0,0611	0,0016	0,0189	0,0557	0,0342	0,1037	0,1603	0,3537
78	39	0,0025	0,0361	0,0083	0,0001	0	0,0461	0,0338	0,0736	0,1741	0,3604
79	63	0,0108	0,0445	0,0067	0,0001	0	0,1109	0,0721	0,1381	0,1498	0,5919
80	194	0,0175	0,0652	0,0208	0,0001	0,0003	0,1171	0,0788	0,8131	0,7584	1,8599
81	236	0,0076	0,0201	0,0121	0,0190	0,0000	0,1585	0,0829	1,2052	0,8736	2,5219
82	50	0,0183	0,0288	0,0637	0,0040	0,0022	0,0790	0,0504	0,1952	0,1987	0,5443
83	40	0,0075	0,0136	0,0079	0,0001	0,0072	0,0655	0,0383	0,1661	0,1185	0,4705
84	78	0,0045	0,0212	0,0071	0,0001	0,0044	0,0750	0,0467	0,4130	0,2108	0,8388
85	23	0,0047	0,0199	0,0087	0,0001	0,0250	0,0348	0,0121	0,1378	0,1069	0,3300
86	19	0,0078	0,0150	0,0601	0,0001	0	0,0290	0,0196	0,1748	0,0492	0,2383
87	453	0,0553	0,0228	0,0768	0,0094	0	0,2397	0,2921	2,6327	1,3245	4,8658
88	122	0,0186	0,0806	0,0138	0,0750	0	0,1410	0,0946	0,3474	0,5649	1,2704
89	63	0,0200	0,0289	0,0555	0,0016	0,0333	0,1025	0,0763	0,1283	0,2418	0,6565
90	55	0,0061	0,0380	0,0167	0,0001	0,0100	0,0385	0,0442	0,2635	0,1574	0,5354
91	59	0,0087	0,1430	0,0052	0,0007	0,0356	0,0423	0,0379	0,0843	0,3626	0,4945
92	166	0,0297	0,0584	0,0106	0,0046	0	0,2125	0,1604	0,8791	0,3292	1,8554
93	582	0,0209	0,0243	0,0516	0,0014	0	0,1662	0,2971	1,7370	3,3510	5,8700
94	5820	0,1112	4,8652	0,6796	0,0750	0	0,6072	0,2108	38,4982	7,6698	39,8800
95	5820	0,1012	5,8652	0,8796	0,0850	0	0,8750	0,4050	43,0978	8,1449	49,4440

3 – Validação dos dados

Considerando-se que esses dados não foram gerados no decorrer deste trabalho, mas recuperados na bibliografia (MASCRÉ, 2004), foi necessário verificar sua qualidade por meio de correspondências entre cargas positivas e negativas, soma de cargas, e condutividade elétrica medida no campo.

Verificou-se que há equivalência entre cargas positivas e negativas, portanto, a neutralidade elétrica da solução sendo respeitada, esses resultados podem ser utilizados sem exclusões de amostras (Figura 49).

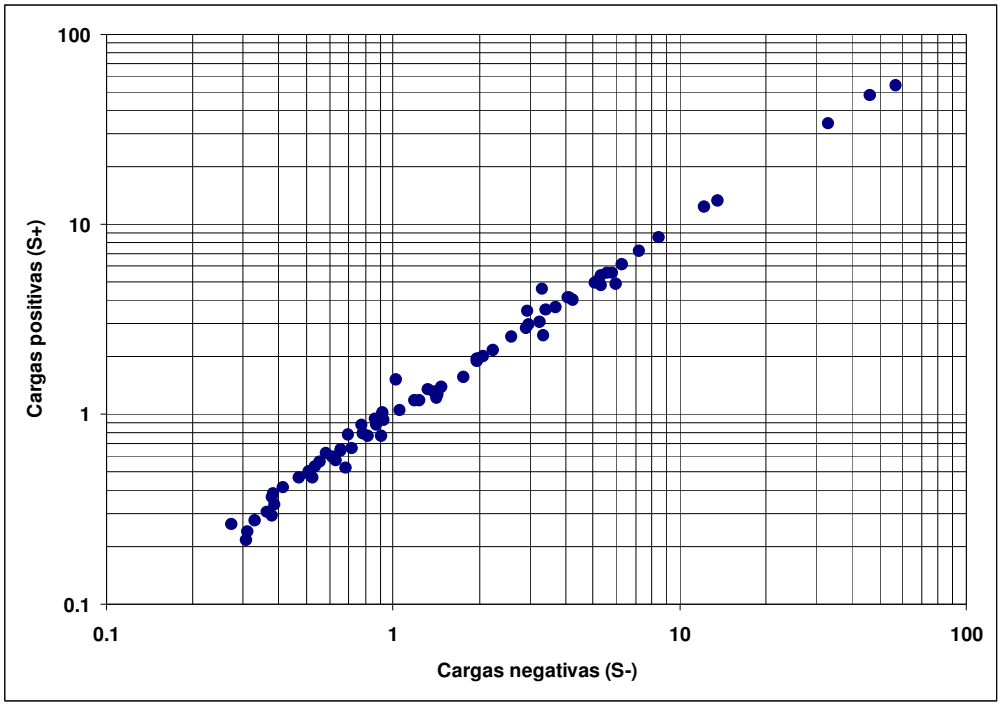
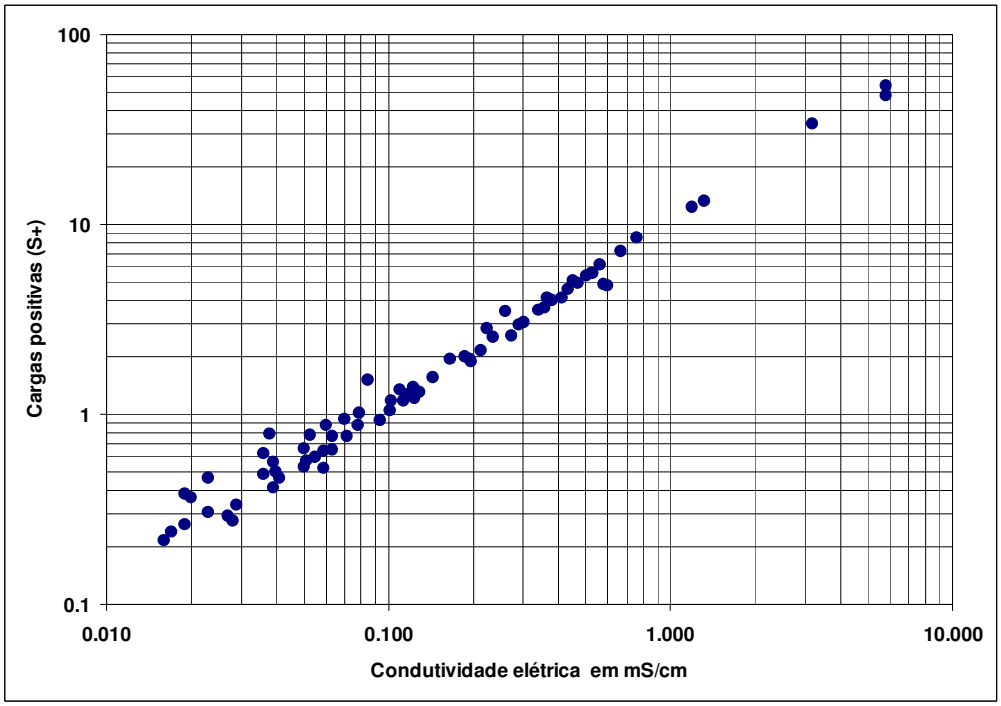


Figura 49: Relação entre soma das cargas positivas e negativas das águas

A Figura 50 expressa uma relação linear, com declividade 1, e a soma das cargas positivas é de aproximadamente 10 vezes a condutividade elétrica (mS/cm). Isto valida os resultados analíticos, e suas adequações às condições de campo no momento da coleta.



Fugura 50: Relação entre condutividade elétrica e soma das cargas positivas das águas

B – Análises em Componentes Principais (ACP)

O objetivo é identificar, e hierarquizar, as fontes de variabilidade química das águas superficiais da Nhecolândia. A ACP foi feita com os resultados brutos das análises químicas.

1 – Estatística descritiva com dados brutos

Os resultados indicam larga gama de condutividade elétrica (CE), que varia de 7 a 5820 µS/cm, traduzindo também uma larga gama de carga iônica nas águas. As variáveis sódio (Na^+) e cloreto (Cl^-) apresentam o maior coeficiente de variação, 2,9 e 3,1 respectivamente, seguidas pela alcalinidade (Alc) com 2,1, e nitrato (NO_3^-) com 2,8 (Tabela 27).

Tabela 27: Resultados da análise estatística descritiva (dados brutos)

Variáveis	Unidade	Mínimo	Máximo	Média	Variância	Desvio Padrão	Coeficiente de variação
CE	mS/cm	**0,007**	**5,820**	0,410	0,995	1,004	2,431
F^-	mmol/L	0,003	0,111	0,026	0,001	0,024	0,888
Cl^-	mmol/L	0,011	5,865	**0,287**	0,826	0,915	**3,165**
SO_4^{2-}	mmol/L	0,003	0,880	0,065	0,016	0,126	1,931
NO_3^-	mmol/L	0,000	0,722	0,033	0,008	0,093	**2,815**
NH_4^+	mmol/L	0,000	0,071	0,009	0,000	0,017	1,914
Ca^{2+}	mmol/L	0,013	1,258	**0,221**	0,060	0,247	1,114
Mg^+	mmol/L	0,012	1,364	0,185	0,052	0,230	1,232
Na^+	mmol/L	0,027	43,098	**2,414**	52,227	7,276	**2,994**
K^+	mmol/L	0,035	8,145	**0,866**	2,263	1,515	1,738
Alc	$mmol_c/L$	0,102	49,444	**3,673**	63,771	8,040	**2,176**

A matriz de correlação mostra uma boa correlação entre condutividade elétrica (CE) e alcalinidade (Alc), mas também entre alcalinidade (Alc) e sódio, potássio, cloreto e sulfato (Tabela 28). Há, igualmente, certa correlação entre cálcio e magnésio.

Tabela 28: Matriz de correlação dos dados brutos

	CE	F	Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	NH_4^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Alc
CE	1,000										
F	0,772	1,000									
Cl^-	**0,956**	0,686	1,000								
SO_4^{2-}	**0,921**	0,655	**0,947**	1,000							
NO_3^-	0,176	0,263	0,141	0,227	1,000						
NH_4^+	-0,156	-0,139	-0,057	-0,051	-0,133	1,000					
Ca^{2+}	0,523	0,557	0,423	0,361	0,126	-0,162	1,000				
Mg^{2+}	0,253	0,366	0,160	0,110	-0,003	-0,180	**0,780**	1,000			
Na^+	**0,991**	0,767	0,955	0,919	0,183	-0,144	0,458	0,167	1,000		
K^+	**0,948**	0,759	0,869	0,832	0,214	-0,193	0,537	0,359	0,929	1,000	
Alc	**0,990**	0,790	**0,934**	0,896	0,176	-0,176	0,565	0,302	**0,987**	**0,960**	1,000

2 – ACP 5

A Tabela 29 mostra que o primeiro eixo fatorial da ACP 5 é responsável por 61,71% da variância total. O segundo e o terceiro eixos explicam, respectivamente, 14,14% e 9,6% da variância. Portanto, os dois primeiros planos fatoriais (eixos 1 e 2, e 1 e 3) explicam 85,45% da variância. Esta porcentagem é elevada, considerando-se que o número total de amostras é 74, e 11 o número de variáveis tratadas.

Tabela 29: Distribuição de valores próprios da ACP 5

Vetor próprio	Valor próprio	Variância explicada (%)	Porcentagem acumulada
1	6,788	**61,71**	**61,71**
2	1,555	**14,14**	**75,85**
3	1,060	**9,60**	**85,45**
4	0,855	7,777	93,257
5	0,335	3,045	96,302
6	0,191	1,739	98,041
7	0,138	1,255	99,296
8	0,044	0,399	99,695
9	0,026	0,239	99,934
10	0,007	0,063	99,997

a) Primeiro plano fatorial da ACP 5

O primeiro eixo fatorial é comandado, principalmente, pela condutividade elétrica (CE), e pela alcalinidade (Alc), sódio (Na^+), cloreto (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}), potássio (K^+) e Fluoreto (F^-). Também esse eixo opõe amostras mais concentradas, 1, 94 e 95, com o restante das amostras.

O segundo eixo fatorial coloca em oposição cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) com as outras variáveis. Em termos das amostras, esse eixo se associa, sobretudo, com aquelas de condutividades elétricas intermediárias, as amostras 55*, 67, 68 e 75. Isto define uma oposição entre grupos de amostras com diferentes condutividades elétricas: de um lado, este grupo com condutividade intermediária, de outro, o grupo identificado no primeiro eixo fatorial com maior condutividade, formado pelas amostras 1, 94 e 95 (Figuras 51 e 52).

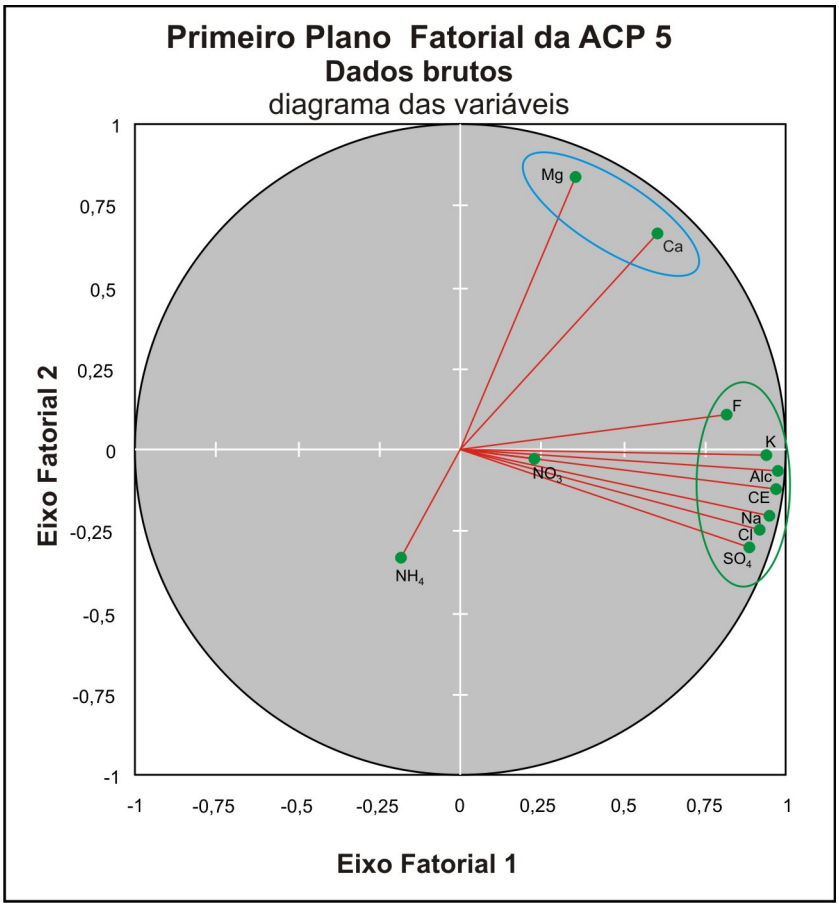


Figura 51: Distribuição das variáveis no primeiro plano fatorial da ACP 5

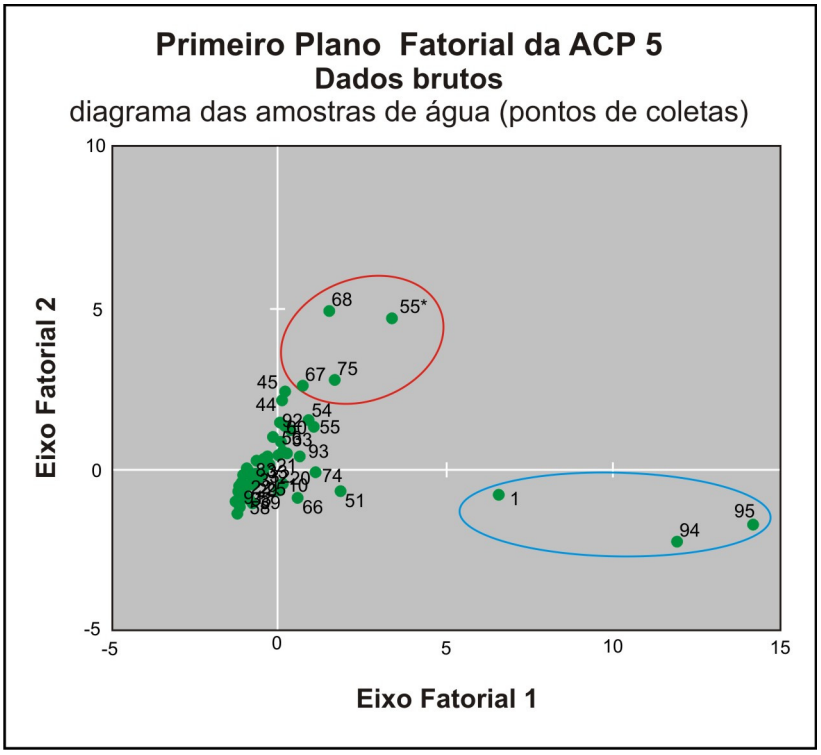


Figura 52: Distribuição das amostras no primeiro plano fatorial da ACP 5

b) Segundo plano fatorial da ACP 5

O terceiro eixo fatorial coloca em oposição formas de Nitrogênio em diferentes estados redox, Nitrato (NO_3^-) e Amônio (NH_4^+). Este eixo individualiza a amostra 74, e agrupa as amostras 39, 42, 52 e 66 (Figura 53 e 54).

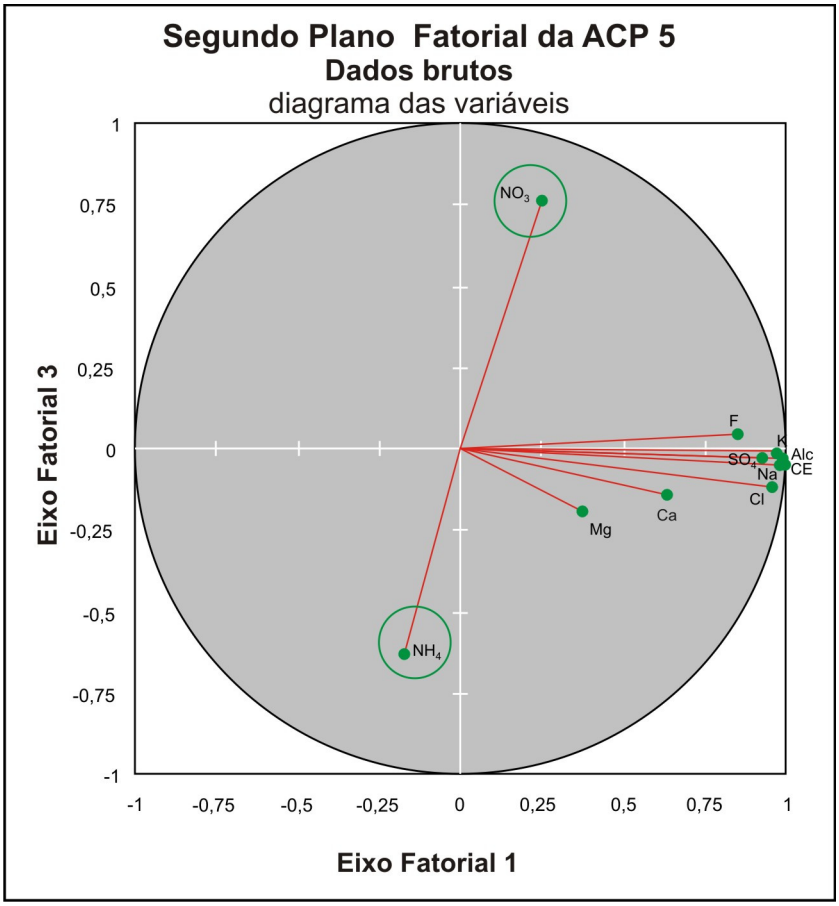


Figura 53: Distribuição das variáveis no segundo plano fatorial da ACP 5

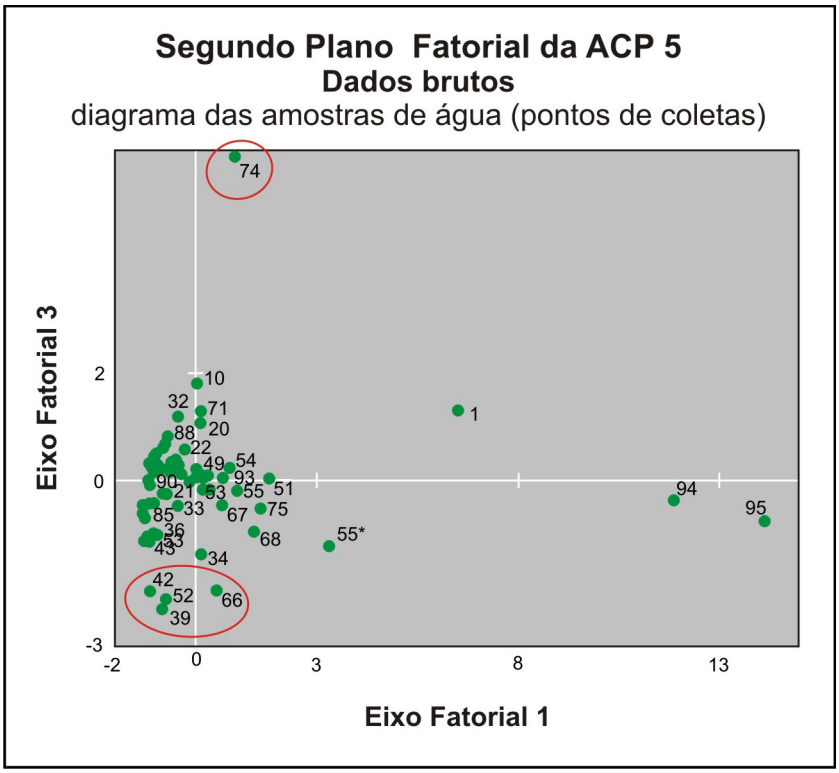


Figura 54: Distribuição das amostras no segundo plano fatorial da ACP 5

II – VARIABILIDADE QUÍMICA DAS ÁGUAS NA NHECOLÂNDIA

A – Análise da Composição Química das Águas

Ao levar-se em conta a gama de condutividade elétrica apresentada pelas amostras, nota-se que o processo de concentração das águas, por evaporação, desempenha um papel fundamental na variabilidade química das águas na Nhecolândia.

A análise geoquímica, apresentada a seguir, tem como base o estudo dos diagramas de concentração das águas. O objetivo é verificar se as águas mais concentradas podem ser provenientes da evaporação das águas mais diluídas que aparecem na planície.

No presente estudo, os diagramas de concentração foram feitos a partir do teor em sódio de cada amostra, pois como se trata de um elemento muito solúvel, ele tem sido utilizado como traçador conservativo da evaporação. Estudos anteriormente realizados, em escala local, nessa região mostram a pertinência da escolha do sódio para cálculo dos diagramas de concentração (BARBIERO et al., 2002 e 2008).

As Figuras 55, 56, e 57 apresentam os diagramas de concentração. Para cada elemento, uma linha de tendência foi calculada por ajuste polinomial.

1 – Precipitação da calcita

A Figura 55 mostra que a alcalinidade aumenta ao longo do diagrama, porém de forma menos rápida que a concentração em sódio. Isto indica que uma parte da alcalinidade está sendo consumida, e sai da fase líquida. O cálcio, por sua vez, é fortemente controlado. Inicialmente, seus teores aumentam, e em seguida, na segunda parte do diagrama à direita, nota-se que seus teores diminuem nas águas com valores mais altos de sódio.

Esse comportamento do conjunto alcalinidade e cálcio é concordante com o processo de precipitação química da calcita ($CaCO_3$) descrito por vários autores na Nhecolândia, seja em estudos locais (FURQUIM, 2007; FURQUIM et al, 2008 e 2010b; BARBIERO et al., 2007 e 2008), seja em estudos regionais (BARBIERO et al., 2002). Os teores da alcalinidade são mais elevados que os teores de cálcio, pois

durante o processo de concentração das águas por evaporação, a precipitação química da calcita provoca um aumento da alcalinidade e uma diminuição do cálcio, como observado acima. Verifica-se, portanto, que os comportamentos do cálcio e da alcalinidade são concordantes com a regra da "alcalinidade residual calcita", sendo $RA_{calcita} > 0$.

Também se observa uma forte variabilidade do cálcio ao redor da curva de tendência, principalmente para águas pouco mineralizadas.

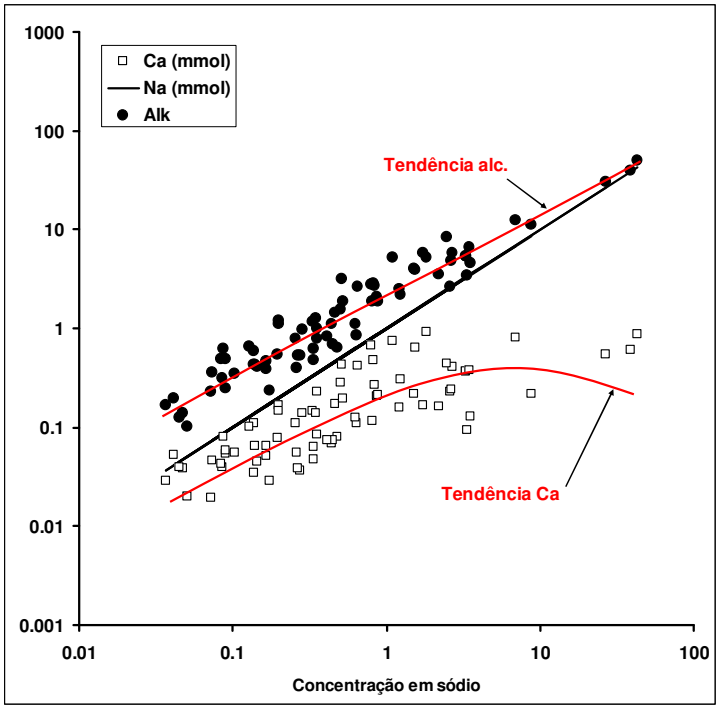


Figura 55: Diagrama de concentração da alcalinidade e do cálcio

2 – Controle do magnésio e do potássio

a) Magnésio

Nas águas mais concentradas, o magnésio tem tendência, primeiro, de aumentar, porém de forma menos rápida que o sódio, depois, de diminuir (Figura 56). Esse resultado vai em direção aos trabalhos anteriores realizados nessa região: **(1°)** que mostram que uma parte do magnésio é incorporada à calcita, que apresenta teores de 5 a 7% de magnésio, tratando-se, portanto, de uma calcita magnesiana (BARBIERO et al., 2008); **(2°)** que mostram que a formação de alguns tipos de silicato de magnésio (Mg-silicato) podem conter até 15% de Mg, caso da estevensita, com fórmula $[(Ca_{0.5},Na)_{0.33}(Mg,Fe{+}{+})_3Si_4O_{10}(OH)_2{\bullet}n(H_2O)]$, e da

saponita [$Ca_{0.25}(Mg,Fe)_3((Si,Al)_4O_{10})(OH)_2 \bullet nH_2O$], observados em estudos pontuais da fração argilosa (FURQUIM 2007, FURQUIM et al, 2004, 2008, 2010a e b). Estes autores também ressaltam que a precipitação de Mg-silicato ocorre na borda imediata das lagoas salinas, onde águas mais mineralizadas, com pH elevado, forte alcalinidade e elevados teores em sílica e OH- favorecem a precipitação.

b) Potássio

O potássio também tende a aumentar, mas também menos rapidamente que o sódio (Figura 56). Este comportamento pode estar ligado a processos de subtração do potássio da fase líquida: **(i)** seja pela atividade biológica; **(ii)** seja pela precipitação de silicato de potássio (K-silicato) tipo Fe-ilita, descrita por Furquim et al. (2010b) nos estudos da fração argilosa de uma seqüência de solos da Fazenda Nhumirim (Embrapa-Nhecolândia/MS). Os autores mostram que as proporções de K-silicato podem atingir de 67 a 84% da fração argila fina (<0.2µm). Resultados similares já foram encontrados em outros ambientes alcalinos, em particular nos lagos alcalinos da Califórnia (HAY & MOIOLA, 1963), e nas "ilhas" alcalinas do delta do Okavango em Botswana (McCARTHY et al., 1991). Apesar disto, os caminhos termodinâmicos que levam à formação de ilita nessas condições supérgenas ainda são desconhecidos, e um grande trabalho de base precisa ser feito para elucidá-las.

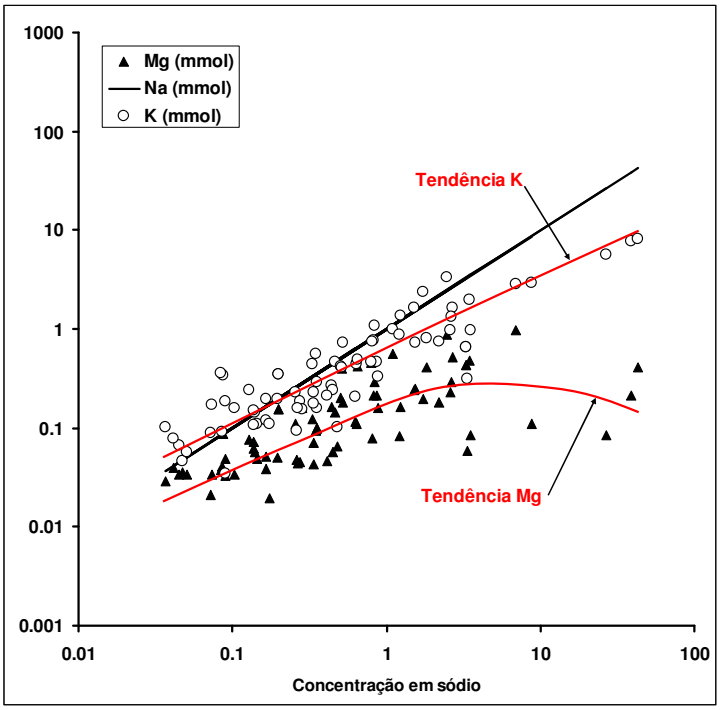


Figura 56: Diagrama de concentração do magnésio e do potássio

3 – Comportamento do cloreto e do sulfato

a) Cloreto

Nas águas concentradas o cloreto apresenta um comportamento conservativo. Contudo, isto não se verifica nas águas diluídas, onde os teores em cloreto parecem estar mais controlados. Lembrando-se que na superfície da terra não ocorre precipitação de cloreto, elemento muito solúvel, exceto em condições hiper-salinas e neutras. Contudo, podem ser considerados os processos de adsorção, ou de troca, com minerais cujas estruturas contêm R-OH, como é o caso do Mg-silicato, segundo a reação:

$$R(Si, Mg,..)\text{-}OH + Cl^- \rightarrow R(Si, Mg,..)\text{-}Cl + OH^-$$

Porém, nas águas muito concentradas da amostragem ocorre uma forte concentração de OH^-, que impede a adsorção do cloreto. Isto poderia explicar o comportamento não-conservativo do cloreto apenas nas águas menos concentradas.

Considerando-se essa reação, nota-se também que a adsorção do Cl produz um aumento de alcalinidade na água. Portanto, no domínio das águas pouco mineralizadas a alcalinidade não é conservativa. Contudo, como a precipitação de calcita é acompanhada por uma diminuição da alcalinidade, esse processo de perda do aspecto conservativo da alcalinidade pode passar despercebido (Figura 57).

Convém lembrar que nas zonas agrícolas do planalto a adubação com N-P-K, o potássio é incorporado na base de KCl. A grande dispersão do cloreto ao redor da curva de tendência já pode estar mostrando um efeito dessa adubação nas águas da planície. A intensidade desse efeito vai depender do grau de abertura do sistema de drenagem, muito dependente dos sistemas de vazantes que atingem as lagoas da Nhecolândia. Do mesmo modo, a modificação do perfil químico da água também vai depender da conexão e do grau de abertura dos corpos de água. Somente o estudo dos elementos maiores não permite aprofundar essa discussão e interpretação.

b) Sulfato

Os teores em sulfato são muito baixos, e disto decorre uma grande dispersão de seus valores ao redor da curva de tendência (Figura 57). Tal fato pode ser atribuído: **(i)** ao processo de absorção pela vegetação; **(ii)** aos processos de oxido-redução do sulfato. Neste caso, a heterogeneidade espacial dos processos redox explicaria a grande dispersão dos valores ao redor da linha de tendência. Neste sentido é interessante assinalar que Barbiero et al. (2008) mostraram que a oxidação de certos horizontes de solos liberam sulfato, favorecendo mudanças significativas no perfil químico das águas em lagoas de água doce.

Por outro lado, na Figura 28, ACP 4, o segundo eixo do primeiro plano fatorial mostra que a discriminação das águas da estação úmida se faz pelos altos teores de sulfato, sempre associados a altos teores de amônio. A adubação N se faz na base de uréia $CO(NH_2)_2$ ou de sulfato de amônio $(NH_4)_2SO_4$. Esta observação reforça a possibilidade de uma modificação do perfil químico das águas pela ação antrópica decorrente de atividades agrícolas.

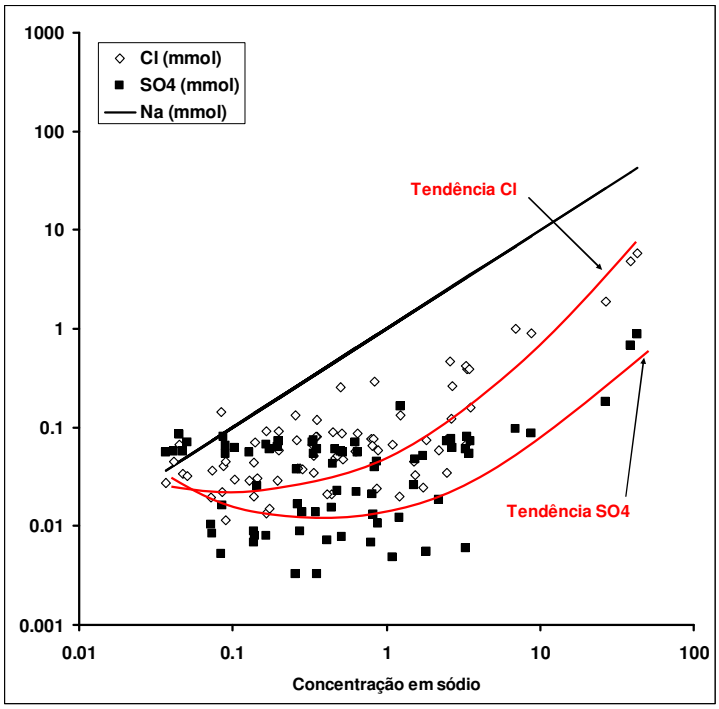


Figura 57: Diagrama de concentração do cloreto e do sulfato

4 – Outros processos e dispersão das amostras

Nota-se também uma dispersão importante dos valores dos outros elementos ao redor da linha de tendência. A importância dessa dispersão é constante, da ordem de 1,5 unidades log no diagrama de concentração, seja ela baseada no sódio, na CE, ou na soma das cargas. Isto mostra que a variabilidade química das águas não pode ser atribuída apenas ao processo de concentração de um tipo de água, por evaporação. Os dados indicam que além da evaporação, uma das principais fontes de variabilidade de composição química das águas nessa região, existem outras fontes atuando no espaço e no tempo, sem esquecer os efeitos, prováveis, da adubação no planalto, que podem afetar diretamente o comportamento do Cl, SO_4^{2-}, K, N, e indiretamente, o da Alc.

A diversidade de condições ambientais se traduz por uma grande variabilidade espacial de processos de exportação de elementos químicos, mas também dos tipos de elementos. Em particular, essas condições explicariam variabilidades marcadas por fatores de concentração baixos a médios.

As condições de aeração, decorrentes de verdadeiros zoneamentos das inundações, se expressam em termos de oxigenação e carga carbônica, que favorecem diversas formas redox dos elementos, como mostrou o segundo plano fatorial da ACP 5 acima descrito.

Por último, mas não menos importante, é a fonte de variabilidade decorrente da pedogênese, quer como uma resposta às mudanças no pedoclima local, quer como processo de liberação maciça de elementos químicos acumulados, provavelmente, durante longos periodos de tempo (BARBIERO et al., 2008).

B - Variabilidade intra-regional da Nhecolândia

Os resultados da ACP 5 indicam que a variabilidade na composição química das águas da Nhecolândia é ligada a 3 processos, a saber:

(1) O primeiro, com peso maior, é o efeito da concentração das águas pelo processo de evaporação. Este processo explica a presença de uma larga gama de valores de condutividade elétrica nas águas, e responde por 62% da variabilidade química total.

(2) O segundo eixo da ACP 5 indica que no decorrer da concentração as águas se saturam em relação à calcita, ou Mg-calcita, e ao Mg-silicatos, que precipitam, provocando um controle do cálcio e do magnésio nas águas. Estes processos são responsáveis por 14% da variabilidade química total.

Portanto, mostrou-se que os dois primeiros eixos indicam um único processo, o da concentração das águas por evaporação. O primeiro eixo salienta um efeito direto da evaporação, ou seja, a concentração de elementos químicos decorrente da redução do volume de água. O segundo eixo traduz um efeito induzido pela evaporação, ou seja, a precipitação de sais, neste caso calcita e silicato de magnésio, quando as águas se saturam em relação a esses minerais (atingem o ponto de saturação em relação a esses minerais). Esses dois eixos indicam que 76% da variabilidade química das águas da Nhecolândia são decorrentes do processo de evaporação.

(3) O terceiro eixo da ACP 5 parece estar ligado a processos redox locais. Contudo, as variáveis analisadas não permitem fazer interpretações precisas desses dados, que podem estar relacionados às características do sistema de drenagem mais ou menos aberto com vazantes e lagoas isoladas, mas também aos processos de transformações pedológicas identificados em estudos de solos anteriormente realizados nessa região (BARBIERO et al, 2007 e 2008).

Os resultados aqui obtidos concordam com os de Barbiero et al. (2002), que também identificaram os mesmos processos através da ACP. Os autores mostraram que o primeiro eixo fatorial explica 58% da variabilidade total, e o segundo 20%, que neste caso indicaria um controle do cálcio associado ao magnésio, pois a precipitação da calcita estaria incorporando o magnésio. O terceiro eixo fatorial é um caso particular, visto que na formação de silicato de magnésio o controle do magnésio não se associa ao do cálcio.

Entretanto, percebem-se algumas diferenças entre os resultados destes dois trabalhos, isto é:

(1°) os autores analisaram 65 amostras, nas quais se incluem rios e lençol freático, além de lagoas e vazantes;

(2°) a ACP foi realizada com um conjunto de apenas 7 variáveis (Alc_c, Ca^{2+}, K^+, Mg^{2+}, Na^+, Cl^-, SO_4^{2-}), no qual não se incorporaram formas do nitrogênio.

Provavelmente, disto decorrem as porcentagens calculadas mostrando que a concentração, por evaporação, é responsável por até 92% da variabilidade química total.

No capitulo II mencionou-se que a ACP é feita a partir de uma matriz de correlação. Conseqüentemente, os eixos são ortogonais em um multi-espaço, e isto indica, teoricamente, processos independentes entre si. Nos resultados da ACP 5 aqui obtidos, essa norma teórica preconizada pelo método não se verifica, já que um mesmo processo, o da concentração por evaporação, foi simultaneamente identificado por dois eixos, o 1 e o 2. A explicação disto, que não deixa de ser um resultado interessante do trabalho, pode ser pensada em termos das seguintes hipóteses:

(1ª) o primeiro eixo da ACP 5 traduz processos contínuos. No caso, o aumento contínuo da concentração que acompanha a diminuição do volume de água durante sua evaporação;

(2ª) ao contrário, o segundo eixo traduz processos descontínuos, abruptos, ligados à saturação da água em relação à calcita e ao silicato de magnésio que então se precipitam.

III – CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os resultados mostraram que o principal fator responsável pelas características químicas das águas da Nhecolândia decorre da concentração por evaporação. Os eixos fatoriais 1 e 2 da ACP 5, em princípio reveladores de processos independentes, identificaram um único processo, o de evaporação das águas. Neste caso, pôde-se constatar que a precipitação de uma fase mineral não corresponde a um processo continuo, mas sim a um processo descontínuo e abrupto, que depende do grau de saturação da água em relação a essa fase mineral precisa. Apenas neste sentido a ACP 5 descreve, no primeiro plano fatorial, dois processos independentes, de um lado a evaporação e do outro, a precipitação de cálcio e magnésio. O eixo 3, do segundo plano fatorial, coloca em oposição duas formas de nitrogênio em diferentes estados redox, que na planície estão, muito provavelmente, relacionados com o ritmo e a intensidade das cheias que levam à inundação.

Finalmente e na escala da sub-região, os resultados indicaram também uma boa adequação entre a composição química das águas que entram e que saem da planície. Na Nhecolândia, a evaporação, o processo redox e a influência antrópica, adubação nas zonas agrícolas do planalto, foram apontados como os principais fatores de variabilidade na composição química das águas. Os resultados desta análise deverão ser incorporados, no futuro, em um trabalho de modelização geoquímica visando balanços regionais.

CONCLUSÃO

CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi compreender, e expressar cartograficamente, o quadro geoquímico da Bacia do Alto Paraguai, que comporta uma das maiores zonas úmidas do planeta, o Pantanal Mato-grossense.

Para concluir esta etapa da pesquisa, teceremos algumas conclusões gerais referindo-se tanto à metodologia empregada, quanto aos resultados que puderam ser obtidos.

Por último, tentaremos delinear novos caminhos de pesquisas que foram sendo esboçados no decorrer deste trabalho.

Amostragens e tratamentos dos dados

Em termos de amostragens, desde o início impuseram-se algumas escolhas.

A primeira diz respeito à valorização ou não de dados existentes, eventualmente de séries longas, mas com pequeno número de variáveis, ou com pequena densidade espacial, que poderiam afetar o resultado final do trabalho.

A segunda diz respeito à aquisição de dados, necessariamente limitados no tempo, mas com a vantagem de fornecer um conjunto maior de variáveis georeferenciadas e, portanto, mais fáceis de espacializar.

Optou-se pela segunda solução. As coletas foram orientadas segundo uma estratégia que fornecesse um número de amostras no espaço, suficiente para identificar a variabilidade da composição química das águas, e os processos responsáveis por essa variabilidade. O objetivo era estabelecer um primeiro balanço hidroquímico da região.

Pode-se agora afirmar que duas coletas foram muito satisfatórias, pois cada uma representou uma “fotografia” do contexto geoquímico das estações que caracterizam o clima da Bacia do Alto Paraguai.

O estudo da variabilidade intra-regional, realizado na Nhecolândia, teve por base a escolha de um conjunto completo de dados até então não valorizados, e provenientes dos levantamentos realizados por Mascré (2004).

A fim de elaborar um documento cartográfico com os dados coletados e produzidos na pesquisa, foram empregadas diversas técnicas de uso corrente em outras disciplinas. A cartografia se apoiou em análises e espacializações de dados numéricos, técnicas clássicas em geoprocessamento.

O uso de análises multivariadas, em componentes principais (ACP) e em fatores de correspondência (AFC), acopladas às técnicas de deconvolução pelo modelo EMMA (End-Members Mixing Analysis), mostraram-se pertinentes para estudar a variabilidade química das águas na escala da Bacia do Alto Paraguai.

Inicialmente e em função da bibliografia consultada, percebeu-se que essas análises tinham sido utilizadas apenas em bacias de pequeno a médio porte. O teste de usá-las, em bacia hidrográfica de grande porte, revelou-se fecundo, pois permitiu produzir uma primeira imagem da distribuição das famílias químicas das águas na Bacia do Alto Paraguai.

Hidroquímica da Bacia do Alto Paraguai

As diversas análises realizadas mostraram que a hidroquímica da Bacia do Alto Paraguai se caracteriza pela presença de três pólos químicos, que se distribuem espacialmente em grandes áreas.

O pólo 1 aparece em duas zonas pontuais e isoladas e é definido por águas pouco carregadas, provenientes dos planaltos que circundam a porção leste da bacia, onde predominam arenitos. A composição química dessas águas é fortemente marcada pela presença de SO_4^{2-} e NH_4^+, sobretudo na estação chuvosa. Portanto, a carga total das águas nesse ambiente também revela um caráter sazonal.

Dada a correspondência espacial entre essas águas e as grandes zonas agrícolas que elas atravessam, cuja fertilização dos solos se concentra em aportes de produtos à base de nitrogênio, principalmente na forma de $(NH_4)_2SO_4$, relacionou-se o perfil químico do pólo 1 ao uso e ocupação do solo nos planaltos.

O pólo 2 é definido por águas que circulam nos extremos noroeste e sudoeste do Pantanal. De um lado, águas com carga total muito baixa que escoam em zonas de arenitos, de outro, águas com cargas ligeiramente mais elevadas que escoam em

zonas com rochas cristalinas. Neste caso, a litologia determina as características do perfil químico das águas, com uma distinção entre os dois grupos baseada em suas cargas totais.

O terceiro pólo químico caracteriza, claramente, águas provenientes das áreas com rochas calcárias situadas ao norte e ao sul do Pantanal. Secundariamente, essas águas também caracterizam os rios que atravessam áreas com basalto. Portanto, o pólo 3 coloca em evidência um determinismo geológico, e identifica águas muito carregadas, dominadas por cálcio, magnésio e alcalinidade carbonatada.

A identificação desse determinismo geológico confirma algumas hipóteses levantadas por Faure et al. (1967), de que a carga de elementos em solução nos rios provém, em grande parte, das formações geológicas das áreas-fontes do sistema de drenagem. No presente trabalho, chegou-se a uma quantificação do peso desse determinismo na Bacia do Alto Paraguai.

Assim, considerando-se o conjunto de dados tratados, a geologia regional explica, aproximadamente, 50% da variabilidade hidroquímica total das águas circulantes, e o uso e ocupação de solo, via atividade agrícola, explica aproximadamente 15%. As outras fontes de variabilidade aparecem dispersas no ruído de fundo geoquímico, e são difíceis de serem identificadas e interpretadas.

Os resultados acima apresentados foram obtidos com dados calibrados por uma mesma carga total, que permitem uma melhor discriminação do perfil químico ao diminuir o peso da concentração por evaporação.

Para finalizar esta escala de trabalho, um cálculo simples, fundamentado sobre leis da mistura, permitiu visualizar a distribuição teórica desses três pólos químicos na planície, e conseqüentemente determinar as zonas de influência das fontes de variabilidade.

Hidroquímica da Nhecolândia

Na planície do Pantanal, na sub-região da Nhecolândia que é alimentada pelas águas do Rio Taquari com influência do pólo 2, a concentração das águas por

evaporação é a principal fonte de variabilidade intra-regional, e explica aproximadamente 76% da variância total.

A evaporação é acompanhada por mudanças na composição química das soluções em relação ao cálcio, pela precipitação de calcita, ao magnésio, pela precipitação de Mg-calcita e Mg-silicato, e ao potássio, provavelmente pela neoformação de ilita supérgena.

Observou-se também uma forte variabilidade de teores em sulfatos e cloretos, que não podem ser explicados somente pelo processo de concentração. Esta variabilidade diz respeito às águas mais diluídas, e por isto mais expostas às influências das atividades antrópicas desenvolvidas nos planaltos.

Contudo, a interpretação da variabilidade dos teores em sulfato e cloreto ainda é muito delicada, pois várias fontes desses elementos podem ser listadas: poluições agrícolas ligadas à fertilização-N na forma de $(NH_4)_2SO_4$, fertilização-K na forma de KCl, dentre outras, mas também variabilidade de paisagem com associações vegetais determinadas pelos regimes das inundações, e condições redox locais.

Cabe enfim lembrar que a forte variabilidade dos teores em sulfato e cloreto confirma as colocações delineadas por Ab'Sáber (2006). Em outros termos, um maior controle das condições das águas que entram no Pantanal Mato-grossense, a partir dos rios nascidos nos planaltos, é uma medida de garantia para a manutenção da diversidade biológica dos "pantanais".

Perspectivas

No segundo capítulo evidenciou-se variabilidade temporal na composição química das águas. Essa variabilidade foi identificada apenas sazonalmente, por uma amostragem pontual na estação seca, e outra na úmida, que não permite dizer como ela ocorre: se de forma abrupta ou progressiva, se fugaz ou de longa duração.

Em outros termos, configurou-se a necessidade de adquirir séries longas e sistemáticas de dados, uma forma de observatório dos ecossistemas pantaneiros. Isto permitiria monitorar a variabilidade em diversas escalas temporais, cujos dados

mais completos desembocariam em balanços hidroquímicos, e elucidariam melhor o papel da planície na dinâmica dos elementos químicos na escala do continente.

A compartimentação do Pantanal apresentada na figura 47 realça zonas atuais de contato entre perfis químicos distintos. Esse documento pode constituir um suporte para interpretar os sistemas de solos situados nessas áreas de contato. Esses solos são condicionados por evoluções químicas às vezes opostas, e pouco compatíveis com as condições atuais, conforme apontou-se nos estudos realizados no Pantanal do Barão de Melgaço (MT).

Além dessas zonas de contato, esse documento fornece um contexto geoquímico teórico de cada região do Pantanal. Lembrando-se que ele foi elaborado a partir de hipóteses, comportamento conservativo dos elementos químicos e leis da mistura, as fontes de variabilidade próprias de cada sub-região não foram levadas em conta. Portanto, a seqüência deste trabalho seria testar a confiabilidade desse documento, por meio de amostragens de águas dos rios em suas desembocaduras com o Rio Paraguai.

Por último, nosso estudo confirmou a grande heterogeneidade de distribuição espacial das águas de superfície na Nhecolândia, região caracterizada pela presença de aproximadamente 12000 lagoas. Um estudo da distribuição espacial das fontes de variabilidade baseado no primeiro plano fatorial da ACP 5 poderia, eventualmente, ressaltar tipos de organizações da paisagem, contribuindo para esclarecer a gênese e o funcionamento dessa região. Tais conhecimentos são fundamentais para a gestão durável desse ecossistema único.

As pesquisas futuras não podem prescindir de modelizações, para simular a evolução da água do Rio Taquari que alimenta a Nhecolândia. Para isto, é fundamental considerar as influências das diversas fontes de variabilidade: sazonalidade, evaporação, processos redox, atividades agrícolas, urbanização, microrganismos, dentre outras, a fim de melhor quantificar a contribuição de cada uma.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SÁBER, A. N. 2006. Brasil: Paisagens de Exceção: o litoral e o pantanal matogrossense. São Paulo: Ateliê Editorial. 182 p.

AB'SÁBER, A. N. 1988. **O Pantanal Mato-Grossense e a teoria dos refúgios.** In: Revista Brasileira de Geografia, **50** (número especial 1-2): 9-57 p.

AB'SÁBER, A. N. 1968. **O relevo brasileiro e seus problemas.** In: AZEVEDO, Aroldo de (direção). **Brasil: A Terra e o Homem**., V. 1 Cap. III, as bases físicas, 2ª edição, São Paulo: Cia Ed. Nacional. 135 – 227 p.

ADAMOLI, J. 1982. **O Pantanal e suas relações fitogeográficas com os cerrados**: discussão sobre o conceito "Complexo do Pantanal". In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 32, Teresina. **Anais...** Teresina: Sociedade Botânica do Brasil. 109-119 p.

ADÁMOLI, J. 1986. **A dinâmica das inundações no Pantanal.** In: Anais do I Simpósio sobre recursos naturais e sócio-econômicos do Pantanal. BRASÍLIA-DF. DDT-EMBRAPA/CPAP-UFMS. Documentos 5: 51-61 p.

ALFONSI, R. R.; PAES de CAMARGO, M. B. 1986. **Condições climaticas para a região do Pantanal Mato-Grossense.** 1986. In: Anais do I Simpósio sobre recursos naturais e sócio-econômicos do Pantanal. BRASÍLIA-DF. DDT-EMBRAPA/CPAP-UFMS. Documentos 5: 29-42 p.

ALMEIDA, F. F. M. 1978. A **evolução dos crátons Amazônico e do São Francisco comparada com seus homólogos do hemisfério norte**. In: CONGR. BRAS. GEOL., 30. Recife, 1978. *Anais...* Recife, SBO. v. 6, 2393-2407 p.

ALMEIDA, F. F. M. 1968. **Os fundamentos geológicos.** In: AZEVEDO, Aroldo de (direção). **Brasil: A Terra e o Homem**. Capítulo II, V. 1, as bases físicas, 2ª edição, São Paulo: Cia Ed. Nacional. 53 – 133 p.

ALMEIDA, F. F. M. 1965. **Geologia da Serra da Bodoquena (Mato Grosso).** Rio de Janeiro, s. ed., Boletim do DNPM/DGM, **219**: 96 p.

ALMEIDA, F. F. M. 1964. **Geologia do centro-oeste Mato-grossense**. Rio de Janeiro, s. ed., Boletim do DNPM/DGM, **215**: 133 p.

ALMEIDA, F. F. M. 1948. **Reconhecimento geomórfico nos planaltos divisores das bacias Amazônica e do Prata, entre os meridianos 51º e 56º WGr.** In: **Revista Brasileira de Geografia.** 10(3): 397-440 p.

ALMEIDA, F. F. M. 1946. **Origem dos minérios de ferro e manganês de Urucum: Corumbá, Estado de Mato Grosso.** Rio de Janeiro, s. ed., Boletim do DGM, **119**: 51 p.

ALMEIDA, F. F. M. 1945. **Geologia do sudoeste Mato-grossense**. Rio de Janeiro, s. ed., Boletim do DNPM/DGM, **116**: 118 p.

ALVARENGA, S. M.; BRASIL, A. E.; PINHEIRO, R.; KUX, H. J. H. 1984. **Estudo geomorfológico aplicado à Bacia do Alto Paraguai e Pantanais Mato-grossenses.** Salvador: Projeto RADAMBRASIL, **Boletim Técnico**; Série Geomorfológica, 89-183 p.

ALVARENGA, S. M.; BRASIL, A. E.; DEL'ARCO, D. M. 1982. **Geomorfologia**. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SF.21 Campo Grande** 1982. (Levantamento de Recursos Naturais, 28). 125-184 p

AMARAL FILHO, Z. P. do. 1986. **Solos do Pantanal Mato-grossense**. In: Anais do I Simpósio sobre recursos naturais e sócio-econômicos do Pantanal. BRASÍLIA-DF. DDT-EMBRAPA/CPAP-UFMS. Documentos 5: 91-103 p.

ANA; GEF; PNUMA; OEA. 2004. **Modelo de simulação hidrológica na bacia do Alto Paraguai**. Relatório final. IPH-UFRGS, Porto Alegre.

ANDERSON, R. E.; BLACK, W. C.; HAIR Jr., J. F.; TATHAM, R. L. 2005. **Análise Multivariada de Dados.** Editora: BOOKMAN COMPANHIA ED, edição 1, 600 p.

ARAUJO, H. J. T. de; NETO, A. S.; TRINDADE, C. A. H.; PINTO, J. C. A.; MONTALVÃO, R. M. G. de; DOURADO, T. D. C.; PALMEIRA, R. C. B.; TASSINARI, C. C. G. 1982. **Geologia**. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SF.21. Campo Grande**. (Levantamento de Recursos Naturais, 28) 23-124 p.

ASSINE, M. L. 2003. **Sedimentação na Bacia do Pantanal Mato-Grossense, Centro-Oeste do Brasil.** Rio Claro SP, Tese (Livre-Docência) - UNESP - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Departamento de Geologia Sedimentar, Câmpus de Rio Claro 106 p.

BARBIERO, L.; REZENDE FILHO, A. T.; FURQUIM, S. C.; FURIAN, S.; SAKAMOTO, A. Y.; VALLES, V.; GRAHAM, R.; FORT, M.; FERREIRA, R. P. D.; QUEIROZ NETO, J. P. 2008. **Soil morphological control on saline and freshwater lake hydrogeochemistry in the Pantanal of Nhecolândia, Brazil**. Geoderma (Amsterdam), v. 148, p. 91-106 p.

BARBIERO L.; FURQUIM S. C.; VALLES V.; FURIAN S.; SAKAMOTO A.; REZENDE FILHO A. T.; GRAHAM R. C.; FORT M. 2007. **Natural arsenic in Groundwater and alkaline lakes at the upper Paraguay basin, Pantanal, Brazil.** In Battacharya P., Mukherjee A.B., Bundschuh J., Zevenhoven R., Loeppert R.H. (Ed.) Arsenic in Soil and Groundwater Environment: Biogeochemical interactions. Elsevier Book Series "Trace metals and other contaminants in the environment" (J.O. Nriagu, Serie Ed.), Vol 9, Chapter 4, 101-126 p.

BARBIERO, L.; VALLES, V.; CHEVERRY, C. 2004. **Reply to J.W. Van Hoorn 'Some observations with respect to sodicity hazard of irrigation waters'.** Agricultural water Management. 68, 177-184 p.

BARBIERO L.; QUEIROZ NETO J.P.; CIORNEI G.; SAKAMOTO, A.; CAPELLARI, B.; FERNANDES E.; VALLES, V. 2002. **Geochemistry of water and groundwater in the Nhecolândia, Pantanal of Mato Grosso, Brazil**. Variability and associated processes. Wetlands, 22 (3), 528-540 p.

BARBIERO, L.; CUNNAC, S.; MANEÂ, L.; LAPERROUSAZ, C.; HAMMECKER, C.; MAEGHT, J. L. 2001a. **Salt distribution in the Senegal middle valley Analysis of a saline structure on planned irrigation schemes from N'Galenka creek.** Agricultural Water Management 46, 201-213 p.

BARBIERO, L.; VALLES, V.; REGEARD, A., CHEVERRY, C. 2001b. **Residual alkalinity as tracer to estimate the changes induced by a forage cultivation in a non-saline irrigated sodic soil**. Agricultural Water Management 50, 229-241 p.

BARROS, A. M.; SILVA, R. H. da; CARDOSO, O. R. F. A.; FREIRE, F. A.; JUNIOR, J. J. S.; RIVETTI, M.; LUZ, D. S. da; PALMEIRA, R. C. B.; TASSINARI, C. C. G. 1982. **Geologia**. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SD.21. Cuiabá**. (Levantamento de Recursos Naturais, 26) 25-192 p.

BEIRIGO, R. M. 2008. **Sistema pedológico Planossolo-Plintossolo no Pantanal de Barão de Melgaço – MT.** Dissertação de Mestrado, Solos e Nutrição de Plantas, USP-ESALQ.

BERZAS, J. J.; GARCÍA, L. F.; RODRÍGUEZ, R. C.; Martín-Alvarez, P. J. 2000. **Evolution of the water quality of a managed natural wetland: Tabla de Daimiel National Park (Spain).** Water Res. 34, 3161-3170 p.

BIRSOY, R. 2002. **Formation of sepiolite-palygorskite and related minerals from solution**. Clays and Clay Minerals 50, 736–745 p.

BRASIL. MINISTERIO DO INTERIOR. 1979. **Estudo de desenvolvimento integrado da bacia do Alto Paraguai**: Relatório da 1a fase, descrição física e recursos naturais. Brasília: SUDECO/EDIBAP, t.2, 235 p.

BRAUN, E. H. G. 1977. **Cone Aluvial do Taquari - unidade geomorfológica marcante na Planície Quaternária do Pantanal.** In Rev. Bras. de Geografia, ano 39, nº 4: 164-180p.

CHRISTOPHERSEN N.; NEAL C.; HOOPER R. P.; VOGT R. D.; ANDERSEN S. 1990. **Modelling streamwater chemistry as a mixture of soilwater endmembers—a step towards second-generation acidification models.** Journal of Hydrology **116**: 307–320 p.

CHRISTOPHERSEN, N.; NEAL, C.; HOOPER, R. C. P.; VOGT, R. D.; ANDERSEN, S. 1992. **Modeling streamwater chemistry as a mixture of soil-water end members - a step towards second-generation acidification models.** J. Hydrol. 116, 307- 320 p.

CI – CONSERVAÇÃO INTERNACIONAL; ECOA - ECOLOGIA e AÇÃO; FUNDACIÓN AVINA; INSTITUTO SOS PANTANAL; WWF- BRASIL. 2009. **Monitoramento das alterações da cobertura vegetal e uso do solo na Bacia do Alto Paraguai – Porção Brasileira. Período de análise 2002 a 2008.** Relatório Técnico. 58 p., il.; Brasília, 2009. ISBN 978-85-86440-25-0

CORNIELES, M. 1997. **Etude et modelisation des transferts d'eau, d'elements dissous et particulaires dans un bassin versant torrentiel. Cas du rio Bocono dans les Andes Venezueliennes.** These Doc. Sci. Université D'Avignon et des Pays de Vaucluse. France. 183 p.

COUTINHO, L. M. 1990. **Fire in the ecology of the Brazilian Cerrado.** In: Ed. Goldammer, J. G. Fire in the Tropical Biota. Springer Verlag, Berlim- Heidelberg, 82-105 p.

CPRM 2004. **Carta geológica do Brasil ao milionésimo**, Sistemas de Informações Geográficas – SIG. Serviço Geológico do Brasil – CPRM, 41 CD-ROM (ISBN 85-7499-009-4).

DARRAGI, F. & TARDY, Y. 1987. **Authigenic trioctahedral smectites controlling pH, alkalinity, silica and magnesium concentrations in alkaline lakes.** Chemical Geology, 63: 59-72 p.

DEL'ARCO, J. O.; SILVA, R. H. Da; TARAPANOFF, I.; FREIRE, F. A.; PEREIRA, L. G. M.; SOUZA, S. L. de; LUZ, D. S. da; PALMEIRA, R. C. B.; TASSINARI, C. C. G. 1982. **Geologia**. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SE.21. Corumbá e parte da Folha SE.20**, (Levantamento de Recursos Naturais, 27) 25-160 p.

DNOS. 1966/72. **Estudos Hidrológicos da Bacia do Alto Paraguai. Rio de Janeiro. (Brasil, Ministério do Interior.** Depto. Nacional de Obras de Saneamento) - vols: 1.

DNOS. 1974. **Estudos Hidrológicos da Bacia do Alto Paraguai. Rio de Janeiro. (Brasil, Ministério do Interior.** Depto. Nacional de Obras de Saneamento) - vols: 1. Relatório Técnico: 284p.; 2. Diversos: 230p.; 3. Alturas de Chuvas, 631p. e 4. Fluviometria: 664 p.

DOSSO, M. 1980. **Géochimie des sols salés et des eaux d'irrigation. Aménagement de la basse vallée de l'Euphrate en Syrie.** Th. Doc. Ing. INP Toulouse, France, 181 p.

DROUBI, A.; FRITZ, B.; GAC, J.Y.; TARDY, Y. 1980. **Generalized residual alkalinity concept application to prediction of the chemical evolution of natural waters by evaporation.** American Journal of science 280, 560-572 p.

DURAND, P. e TORRES, J. L. J. 1996. **Solute transfer in agricultural catchments: the interest and limits of mixing models.** *Journal of Hydrology* **181**: 1-22 p.

FAPESP, 2005. **O Pantanal salgado.** Agência FAPESP: Notícia, 20 de dezembro de 2005. Disponível em: http://agencia.fapesp.br/4790

FAURE, G.; JONES, L. M.; EASTIN, R.; CHRISTNER, M. 1967. **Strontium isotope composition and trace element concentrations in Lake Huron and its principal tributaries.** Report for Office of Water Resources Research, US. Dept. Interior. Project No B-004-OHIO, 109 p.

FERNANDES, E. 2000. **Caracterização dos Elementos do Meio Físico e a Dinâmica da Nhecolândia (Pantanal Sulmatogrossense)**, São Paulo SP: Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. 130 p.

FRANCO, M .S. M.; PINHEIRO, R. 1982. **Geomorfologia**. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL**. Folha SE.21 Corumbá e parte da Folha SE.20**. Rio de Janeiro. 1982 (Levantamento de Recursos Naturais, 27). 161-224 p.

FREITAS, R. O. de. 1951. **Ensaio sobre o relevo tectônico do Brasil.** In: Revista Brasileira de Geografia, Abril-Junho, XIII, No. 2.

FURQUIM, S. A. C.; GRAHAM, R. C.; BARBIERO, L.; QUEIROZ NETO, J. P.; VIDAL-TORRADO, P. 2010a. **Soil mineral genesis and distribution in a saline lake landscape of the Pantanal wetland, Brazil.** Geoderma 154, 518-528 p.

FURQUIM, S. A. C.; BARBIERO, L.; GRAHAM, R. C.; QUEIROZ NETO, J. P.; FERREIRA, R. P. D.; FURIAN, S. 2010b. **Neoformation of micas in soils surrounding an alkaline-saline lake of the Pantanal wetland, Brazil.** Geoderma, 158, 331-342 p.

FURQUIM, S. C.; GRAHAM, R.; BARBIERO, L.; QUEIROZ NETO, J. P.; VALLES, V. 2008. **Mineralogy and genesis of smectites in a modern alkaline-saline environment of Pantanal wetland, Brazil.** Clays and Clay Minerals. V. 56, p.580-596 p.

FURQUIM, S. A. C. 2007. **Formaçao de carbonatos e argilo-minerais en solos sodicos do Pantanal Sul-Mato-Grossense.** Tese de Doutorado Universidade de Sao Paulo. 220 p.

FURQUIM, S. C.; QUEIROZ NETO, J. P.; FURIAN, S.; BARBIERO, L.; GRAHAM, R. C.; 2004. **Mg-mica formation in alkaline environment of the Nhecolândia, South Mato Grosso, Brazil.** In Pecchio et al. (eds), Applied Mineralogy. 2004 ICAM-BR, São Paulo, ISBN 85-98656-01-1.

GASCUEL-ODOUX, C. ; BOIVIN, P. 1994. **Variability of variograms and spatial estimates due to soil sampling : a case study.** Geoderma 62, 165-182 p.

GENEREUX, D. 1998. **Quantifying uncertainty in tracer-based hydrograph separations.** Water Resour. Res. 34, 915-919 p.

GONZALEZ BARRIOS, J. L. 1992. **Eau d'irrigation et salinité des sols en zone aride mexicaine. Exemple de la Comarca Lagunera.** Ph.D. Thesis USTL (Montpellier II), 316 p.

GRAN, G. 1952. **Determination of the equivalent point in potentiometric titrations.** Part II. Analist, Londres, 121:661-671 p.

GUEDDARI, M. 1984. **Géochimie et Thermodynamique des évaporites continentales. Etude du Lac Natron en Tanzanie et du Chott El Jerid en Tunisie.** Mémoire des Sciences Géologique n. 76, Université Louis Pasteur de Strasbourg, France.

HALES, F. W. 1981. **Anomalias magnéticas de origem profunda na Fossa do Araguaia e no Pantanal: sua implicações geológicas.** Mineração & Metalurgia, Rio de Janeiro, 44(425):, jan./fev. 1981: 24-30 p.

HAY, R. L., MOIOLA, R. J. 1963. **Authigenic silicate minerals in Searles Lake, California.** Sedimentology 2, 312–332 p.

HAYASHI, M.; VAN DER KAMP, G.; RUDOLPH, D. L. 1998. **Water and solute transfer between a prairie wetland and adjacent uplands,** 1. Water balance. 2. Chloride cycle. Journal of Hydrology 207; 42-67 p.

HASENACK, H.; CORDEIRO, J. L. P.; HOFMANN, G. S. 2003. **O clima da RPPN SESC Pantanal.** Porto Alegre, UFRGS Centro de Ecologia. Relatório final do projeto Conhecendo o clima da RPPN SESC Pantanal 31 p. Disponível em: http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/arquivos/Publicacoes/Relatorios/clima_rppn_sescpantanal.pdf

HEM, J. D. 1985. **Study and interpretation of the chemical characteristics of natural waters.** USGS Water Supply Paper 2254, 3rd edition, 263 p.

HOOPER, R. P. 2003. **Diagnostic tools for mixing models of stream water chemistry,** *Water Resources Research*, 39(3), 1055, doi: 10.1029/2002WR001528.

HOOPER, R. P.; AULENBACH, B. T.; BURNS, D. A.; McDONNELL, J.; FREER, J.; KENDALL, C.; BEVEN, K. 1998. **Riparian control of stream-water chemistry: implications for hydrochemical basin models.** *Hydrology, Water Resources and Ecology in Headwaters* (Proceedings of the HeadWater'98 Conference 451 held at Meran/Merano, Italy, April 1998). IAHS Publ. no. 248 p.

HOOPER R. P.; CHRISTOPHERSEN N.; PETERS N. E. 1990. **Modelling streamwater chemistry as a mixture of soilwater end-members—an application to the Panola Mountain catchment,** Georgia, U.S.A. *Journal of Hydrology* **116**: 321–343 p.

HUBERT, L.; MENDONÇA, F. A. 1990. **Aplicação de uma Imagem LANDSAT MSS ao estudo de clima local - Pantanal Matogrossense/MS.** In: SEMINA: Ciências Sociais e Humanas [on line]. Londrina, 11(4): 166-169 p. Disponível em: http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semexatas/article/viewFile/3156/2656 ISSN: 1679-0383.

IBGE. 2007. **Mapa da área de aplicação da Lei da Mata Atlântica.** Escala 1: 5.000.000.

IBGE. 2004. **Mapa Bioma: Base de biomas do IBGE (1ª aproximação).** Escala 1: 5.000.000.

IBGE, 2003. **Base cartográfica integrada digital do Brasil ao milionésimo**: versão 1.0 para ArcGis Desktop-ArcView. Rio de Janeiro: IBGE. CD-ROM.

KATSUYAMA, M.; KABEYA, N.; OHTE, N. 2009. **Elucidation of the relationship between geographic and time sources of stream water using a tracer approach in a headwater catchment.** *Water Resources Research*, VOL. 45, W06414, doi:10.1029/2008WR007458, 2. Prelo.

KATSUYAMA, M.; OHTE, N.; KOBASHI, S.; 2001. **A three-component end-member analysis of streamwater hydrochemistry in a small Japanese forested headwater catchment.** Hydrological Processes Hydrol. Process. 15, 249-260 p.

KUX, H. J. H.; BRASIL, A. E.; FRANCO, M. S. M. 1979. **Geomorfologia.** In: BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SD. 20 Guaporé**, Rio de Janeiro, 1979. 368p (Levantamento de RecursosNaturais, 19) 64-125 p.

LIU, F.; WILLIAMS, M.; CAINE, N. 2004. **Source waters and flowpaths in a seasonally snow-covered catchment, Colorado Front Range, USA**, *Water Resources Research*, Vol 40, W09401.

MASCRÉ, C. 2004. **Le flúor dans lês eaux de la Nhecolândia – Pantanal – Mato Grosso du Sud – Brèsil: etude régionale et locale**. Rapport de estage ingenieur maitre. Université de Provence Aix-Marseille I. France.

McCARTHY, T. V. S.; MCIVER, J. R.; VERHAGEN, B. T. 1991. **Groundwater evolution, chemical sedimentation and carbonate brine formation on an island in the Okavango Delta swamp, Botswana.** Applied Geochemistry 6, 577-596 p.

MELO, D. P. de; COSTA, R. C. R. da; NATALI FILHO, T. 1978. **Geomorfologia.** In: BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SC. 20 Porto Velho**, Rio de Janeiro, 1978. 668p (Levantamento de RecursosNaturais, 16) 187-250 p.

MOHAMEDOU A.; OULD, A. A.; BARBIERO L.; CARUBA R.; VALLES V. 1999. **Geochemistry of clay dunes and associated pan in the Senegal delta, Mauritania.** Arid Soil Research and Rehabilitation 13, 265-280 p.

MOURA, P. 1943. **Bacia do Alto Paraguai.** In: Revista Brasileira de Geografia, Nº 1 ano V – Janeiro – Março de 1943: 3-38 p.

NEAL, C.; CHRISTOPHERSEN, N. 1989. **Inorganic aluminium hydrogen ion relationships for acidified streams: the role of water mixing processes**. Sci. Total Environ., 80: 195-203 p.

NIMER, E. 1989. **Clima.** In: IBGE. **Geografia do Brasil – Região Centro-Oeste**. Rio de Janeiro, IBGE. v. 1, 23-34 p.

ORELLANA, M. M. P. 1979. **Estudos de viabilidade de controle das cheias e suas conseqüências no equilíbrio ecológico do Sistema Pantanal.** Projeto RADAMBRASIL, relatório interno, Goiânia, Goiás, Brasil.

PCBAP. 1997. **Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai –** PCBAP/Projeto Pantanal, Programa Nacional do Meio Ambiente. Brasília: PNMA, 1997. 3 vol. em 7 t., il., fig., mapas.

PEREIRA, J. V. C. 1944. **Pantanal.** In: Revista Brasileira de Geografia, Nº 2 ano VI – Abril – Junho de 1944: 281-284 p.

POR, F. D. 1995. **The Pantanal of Mato Grosso (Brazil) World's Largest Wetlands.** Monographiae Biologicae volume 73. Kluwer Academic Publisher. Dordrecht/ Boston/ London. Printed in the Netherlands. 123 p.

POTT, A. e POTT, V. J. 2004. **A Flora do Pantanal** In **Revista Ação Ambiental,** Universidade Federal de Viçosa, Ano VI – N 26 Janeiro/Fevereiro 2004, Viçosa MG, 19-23 p.

RADESCA, M. L. P. S., 1968. **A hidrografia.** In: AZEVEDO, Aroldo de (direção). **Brasil: A Terra e o Homem**., V. 1, Cap. X, as bases físicas, 2ª edição, São Paulo: Cia Ed. Nacional, 573-607 p.

REZENDE FILHO, A. T., 2006. **ESTUDO DA VARIABILIDADE E ESPACIALIZAÇÃO DAS UNIDADES DA PAISAGEM: Banhado (baía/vazante), Lagoa Salina e Lagoa Salitrada no Pantanal da Nhecolândia, MS.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus de Aquidauana, Aquidauana, MS. 118 p.

RIBOLZI, O. 1996. **Etude dês mécanismes de gênese dês crues par les traçages naturel (chimique et isotopique) sur un bassin versant méditerranéen cultivé.** (Roujan, hérault, Frances). Thes. Doc. Sci. Université de droit des sciences e et d'économie d1 Aix-Marseille III. Faculté des sciences et techniques de Saint Jerôme. France. 188 p.

RIBOLZI, O.; VALLES, V.; BARIAC, T.; 1996. **Comparison of Hydrograph Deconvolutions using Residual Alkalinity, Chloride, and Oxygen 18 as Hydrochemical Tracers**, *Water Resour. Res.*, 32(4): 1051-1059 p.

RIBOLZI, O., VALLES, V., BARBIERO, L., 1993. **Contrôle geochimique des eaux par la formation de calcite en milieu mediterraneen et en milieu tropical.** Arguments d'equilibre et argument de bilan. Sci. Sol 31, 77-95 p.

ROSS, J. L. S.; SANTOS, L. M.; 1982. **Geomorfologia.** In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SD. 21 Cuiabá**, Rio de Janeiro, 1982. (Levantamento de Recursos Naturais, 26). 193-256 p.

SALVI-SAKAMOTO, L. L. 2001. **A chuva na Bacia do Alto Paraguai: contribuição ao estudo de aspectos das flutuações interanuais durante o século XX.** Tese doutorado. São Paulo: FFLCH-USP.

SANCHEZ, R. O. 1977. **Estudo fluviomorfológico del Pantanal**; regionalización, sub-regionalización y sectorización geográfico de la depression de la alta cuenca del Rio Paraguai. [S.l.]: EDIBAP. 50 p.

SETTE, D. M. 2000. **O holorritmo e as interações trópico-extratrópico na gênese do clima e as paisagens do Mato Grosso.** Tese doutorado. São Paulo. FFLCH-USP.

SHIRAIWA, S. 1994. **Flexura da litosfera continental sob os Andes Centrais e a origem da Bacia do Pantanal.** Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutoramento, 86 p.

SILVA T. C. Da. 1986. **Contribuição da geomorfologia para o conhecimento e valorização do Pantanal.** 1986. In: Anais do I Simpósio sobre recursos naturais e sócio-econômicos do Pantanal. BRASÍLIA-DF. DDT-EMBRAPA/CPAP-UFMS. Documentos 5: 77-90 p.

SILVA, J. S. V.; ABDON, M. M. 1998. **Delimitação do Pantanal Brasileiro e suas sub-regiões.** Pesquisa agropecuária Brasileira, 33 (Número Especial): 1703-1711 p.

SILVA, M. P.; MAURO, R. A.; MOURÃO, G.; COUTINHO, M. E. 2000. **Distribuição e quantificação de classes de vegetação do Pantanal através de levantamento aéreo.** Rev. Bra. Bot. 23(2): 143-152 p.

SOARES, P. C.; RABELO, L.; ASSINE, M. L. 1998. **The Pantanal Basin: recent tectonics, relationship to the Transbrasiliano Lineament.** In: INPE, 9º Simpósio Brasileiro Sensoriamento Remoto., Santos, CD, 11 p.

USSAMI, N.; SHIRAIWA, S.; DOMINGUEZ, J. M. L. 1999. **Basement reactivation in a sub-Andean foreland flexural bulge: The Pantanal wetland, SW Brazil.** Tectonics, 18(1), 25-39 p.

VALLES, V.; LEFEVRE, M.; PONIZOVSKY, A. A. 1993. **Alkalization of nutrient solutions by sorghum**. Communications In: SOIL SCIENCE AND PLANT ANALYSIS. V. 24. Issue: 5-6: 379-388 p.

VALLES, V.; PACHEPSKY, I.; PONIZOVSKY, A. A.; 1991. **Ivariant criteria for irrigation water quality assessment in arid and semi-arid regions.** In: Genesis and Control of Fertility of Salt Affected Soils: ISSS Subcommission on Salt Affected Soils Science, USSR, V.V. Dokuchaev Soil Institute, Moscow. 330-333 p.

VALVERDE, O. 1972. **Fundamentos geográficos do planejamento do Município de Corumbá.** In: Revista Brasileira de Geografia, **34**: 49-144 p.

ZANI, H., ASSINE, M. L., ARAUJO, B. C., MERINO, E. R., SILVA, A., FANCICANI, E. M. 2006. **Lobos deposicionais na evolução do megaleque do rio Taquari, Pantanal Mato-grossense.** In: 1º SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL. Campo Grande, MS. **Anais...** Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 285-292 p.

ZAVATINI, J. A. A.; 1990. **Dinâmica atmosférica e a distribuição das chuvas no Mato Grosso do Sul.** Tese doutorado. São Paulo. FFLCH-USP.