

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

MODELAGEM HIDROGEOQUÍMICA DO
SISTEMA AQUÍFERO PELITO-CARBONÁTICO
EXISTENTE NO CNPMS DA EMBRAPA
SETE LAGOAS/MG – BRASIL

Fernando Alves Carneiro

Belo Horizonte

2013

**MODELAGEM HIDROGEOQUÍMICA DO
SISTEMA AQUÍFERO PELITO-CARBONÁTICO
EXISTENTE NO CNPMS DA EMBRAPA
SETE LAGOAS/MG – BRASIL**

Fernando Alves Carneiro

Fernando Alves Carneiro

**MODELAGEM HIDROGEOQUÍMICA DO
SISTEMA AQUÍFERO PELITO-CARBONÁTICO
EXISTENTE NO CNPMS DA EMBRAPA
SETE LAGOAS/MG – BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Meio Ambiente

Linha de pesquisa: Caracterização, prevenção e controle da poluição

Orientador: Prof. Celso de Oliveira Loureiro

Co-Orientador: Eng. João Herbert Moreira Viana

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2013

Página com as assinaturas dos membros da banca examinadora, fornecida pelo Colegiado do Programa

Dedico esta dissertação
a três mulheres especiais,
que moram no meu coração:
minha esposa Paula,
minha mãe Iara e
minha irmã Juliane.

“Se o mar não aceitasse ficar
um nível pouco mais baixo,
não receberia tantos rios
e não se transformaria
em oceano.”

AGRADECIMENTOS

Em 1996, parti para Salvador-BA para cursar o mestrado em geofísica na UFBA, o qual, por motivos de saúde, fui obrigado a abandonar. Após cursar, entre os anos de 2001 e 2004, algumas disciplinas isoladas dos cursos de mestrado nos departamentos de Geologia e Geografia da UFMG e em 2009 na EEUFMG, acabei por ingressar, em 2010, no mestrado oferecido pelo DESA, na área de concentração em Meio Ambiente, para desenvolver uma pesquisa na área de hidrogeologia com o professor Celso Loureiro. Assim, devo dizer que a realização deste trabalho vem concretizar um projeto pessoal, um sonho, que começou há 17 anos e que demandou muita persistência, esforço e dedicação ao longo deste período, que quase atingiu a maioridade. Neste momento, posso dizer que me sinto muito feliz e orgulhoso com esta conquista, porém, devo reconhecer que a mesma não seria possível se não fosse pela ajuda e apoio de diversas pessoas e instituições, às quais sou eternamente grato e destaco a seguir.

À minha mãe, Iara, pelo carinho, amor, dedicação e orações ao longo de toda a minha vida. Desculpe-me pela “ausência” nestes últimos 3 anos.

Ao meu pai, Ildevan, pelo apoio e dedicação.

À Paula, minha querida esposa e companheira, pelo carinho, amor, apoio, incentivo durante quase todos estes 17 anos e, principalmente, pela paciência e compreensão dispensada nos últimos anos, ao ter que escutar várias vezes a frase: “Depois do mestrado...”.

À minha irmã Juliane, pelo carinho e o apoio de sempre.

Ao professor Celso Loureiro, que foi além de um grande orientador, amigo e terapeuta. Agradeço pelos diversos momentos e “almoços” de discussões e esclarecimentos, sempre muito proveitosos. Em particular, pela oportunidade da convivência e amizade.

Ao engenheiro João Herbert, pesquisador da EMBRAPA, que coordenou os trabalhos na área do CNPMS e trabalhou ativamente para o desenvolvimento e sucesso deste projeto de pesquisa. Agradeço ao João por compartilhar o seu conhecimento e sabedoria, sempre de forma solícita e gentil.

Ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, na pessoa da professora Mônica Maria Diniz Leão, pela compreensão e atendimento aos meus pedidos de prorrogação de prazos.

Aos professores do Programa pelos ensinamentos e apoio durante a realização do mestrado, em especial ao professor Celso e à professora Sílvia.

À COPASA, que nas pessoas do gerente da Divisão de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico (DVPD), Sr. Vanir de Oliveira, do gerente da Divisão de Recursos Hídricos (DVHD), Sr. Ronaldo De Luca e do Sr. Airis Antônio Horta, gerente da Divisão de Pesquisa e Controle de Qualidade de Água e Esgoto (DVQA), agradeço o apoio imprescindível à execução desta pesquisa, contratando a perfuração dos poços de monitoramento, análises químicas do solo e levantamento plani-altimétrico, disponibilizando técnicos para a realização das amostragens de água e realizando análise físico-química de diversas amostras de água.

Ao DESA, por meio da pessoa do professor Celso, pela iniciativa e administração do acordo de cooperação técnica entre DESA, EMBRAPA e COPASA.

Ao CNPMS-EMBRAPA, por meio da pessoa do engenheiro João Herbert Moreira Viana, pelo apoio ao projeto de pesquisa, disponibilizando a sua fazenda experimental para a execução da pesquisa, pela participação ativa na coleta, acondicionamento e descrição das amostras de solo, pelas análises de difratometria de raios-X das amostras de solo, enfim, pela liberação de pessoal e material para a realização de diversas atividades ao longo do projeto.

À Rita, ao Eduardo e à Daniela, colegas que participaram também deste projeto, cujas pesquisas serviram de base para a realização deste meu trabalho. Um agradecimento especial ao Eduardo, que esteve presente em todas as etapas do projeto e foi um verdadeiro braço direito do professor Celso, se tornando pessoa fundamental no desenvolvimento e sucesso deste projeto.

À colega Edilene, que enquanto fez parte deste projeto se dedicou intensamente ao sucesso do mesmo. Ao Geraldo e ao Leonardo pela execução dos furos de sondagem, tarefa árdua e feita com muita dedicação e competência.

Ao geólogo Paulo Pessoa pelo apoio prestado ao projeto, sempre que solicitado.

Aos colegas da DVHD - COPASA, em especial ao Alexandre Nunes (Xandão) e José Ronaldo (Hulk), técnicos em química, meus colegas na COPASA, que realizaram as coletas das amostras de água subterrânea, cujas análises foram a base deste trabalho. Ao Carlos Alberto (Capitão), pela dedicação dispensada ao projeto. Ao Geraldo Davino, Betânia e Heloísa pelo constante incentivo. Às estagiárias Bárbara e Renata pelo apoio.

Ao Fabrício Pereira dos Santos, pela boa vontade e disponibilidade na execução dos mapas desta dissertação e do projeto.

À Ana Laura pelo apoio e ajuda nas dúvidas relativas à análise de cluster.

Ao meus sogros Seila e Itamar pelo apoio e incentivo.

Aos parentes e amigos que sempre me apóiam e apoiaram ao longo da minha vida.

À Deus e a todos vocês: muito obrigado!

RESUMO

A presente dissertação é um dos subprodutos do acordo de cooperação técnica celebrado, em janeiro de 2008, entre o CNPMS, o DESA e a COPASA. Teve como objetivo caracterizar e modelar o comportamento hidrogeoquímico da água subterrânea do sistema aquífero pelito-carbonático existente na área que compreende o CNPMS, localizado no município de Sete Lagoas, Minas Gerais – Brasil, buscando conhecer os processos naturais resultantes da interação água-rocha.

Foram coletadas 600 amostras de solo, das quais 17 foram caracterizadas mineralogicamente por meio de difratometria de raios-X. Em complemento, foram coletadas 359 amostras de água subterrânea, entre os meses de novembro de 2010 e outubro de 2011, em 30 pontos de monitoramento, dos quais 26 deles recebem água do Aquífero Poroso de Cobertura e 4 captam água no Aquífero Fissural-Cárstico.

A partir dos resultados de análises físico-químicas das amostras de água subterrânea, o comportamento temporal e mediano dos principais parâmetros foi analisado. Além disso, calculou-se, por meio do programa PHREEQC, os índices de saturação dos principais minerais que ocorrem no sistema aquífero estudado. Em outro momento, essas mesmas amostras foram classificadas quanto ao tipo hidroquímico, por meio de uma análise de *cluster*, a partir da qual foram definidos três zoneamentos hidroquímicos, que estão diretamente associados à circulação e tempo de trânsito da água subterrânea nesse sistema aquífero.

Um modelo hidrogeoquímico conceitual foi desenvolvido com o intuito de caracterizar os ambientes geoquímico e hidroquímico e, assim, descrever o processo de evolução da água subterrânea no sistema aquífero. Desse modelo, foram feitas as seguintes interpretações.

Na zona vadosa, a atuação combinada do processo de evapotranspiração e dissolução dos minerais de ferro e alumínio proporciona uma “evapoconcentração” desses elementos na água, tornando-a saturada em goethita, hematita e gibbissita;

Ao atingir a superfície freática, a água subterrânea se encontra supersaturada em goethita, hematita e gibbissita, com um potencial à precipitação desses minerais, tanto no período seco como no período chuvoso. Por outro lado, atinge o lençol freático subsaturada em quartzo, ao longo de todo o ano. No que se refere à K-mica e seu produto de alteração, a caulinita, os

mesmos se tornam susceptíveis à dissolução quando o aquífero é atingido por pulsos expressivos de recarga de água de chuva. Para a calcita, a água da porção superior do Aquífero de Cobertura se mostrou sempre subsaturada, em função de não estar em contato direto com a rocha calcária.

Na base do Aquífero Poroso de Cobertura, que está em contato com o saprolito, verifica-se que após episódios significativos de chuva, a água subterrânea passa a se apresentar com potencial à solubilização em K-mica e caulinita, disponibilizando sílica à água subterrânea, que se torna supersaturada em quartzo. O teor de sílica encontrado na mesma é decorrente da alteração de minerais silicáticos, dos quais a caulinita é o mais estável, de acordo com os diagramas de estabilidade dos aluminossilicatos. O contato da porção basal do Aquífero de Cobertura com o topo da rocha calcária potencializa a reação de dissolução da calcita no período chuvoso, no entanto, a água subterrânea chega a estar supersaturada com relação a este mineral no período de estiagem.

A água subterrânea que percola o aquífero fissural-cárstico atinge o estado de supersaturação em calcita, em função do contato direto e prolongado (o suficiente) com a rocha calcária (carbonática). Observa-se, ainda, que quase sempre a água subterrânea chega ao aquífero cárstico já saturada em quartzo, K-mica e caulinita, exceto quando a mesma recebe uma recarga significativa, em função de eventos de chuva expressivos, tornando-a subsaturada com relação a esses minerais. Além disso, nota-se que ocorre uma queda no $IS_{gibb\text{isita}}$ na água do aquífero cárstico, levando-se a supor que ocorra uma precipitação desse mineral ou óxido/hidróxido de alumínio no contato com o substrato rochoso carbonático.

Palavras-chave: Modelo hidrogeoquímico, EMBRAPA, Sete Lagoas, PHREEQC, Análise de *cluster*.

ABSTRACT

This dissertation is one of the byproducts of the technical cooperation agreement signed in January 2008 between the CNPMS, the DESA and COPASA. Aimed at characterizing and modeling the behavior hydrogeochemical groundwater aquifer system pelitic-carbonate existing in the area comprising the CNPMS, located in the city of Sete Lagoas, Minas Gerais - Brazil, seeking to understand the natural processes resulting from water-rock interaction.

We collected 600 soil samples, of which 17 were mineralogically characterized by X-ray diffraction. In addition, 359 groundwater samples were collected, between the months of November 2010 and October 2011, 30 monitoring points, including 26 of them drain water Porous Aquifer Coverage and 4 capture water in the fissure-Karstic Aquifer.

From the results of physical-chemical analysis of groundwater samples, and median temporal behavior of the main parameters was analyzed. Furthermore, it was calculated, using the program PHREEQC, the saturation index of major minerals occurring in the aquifer system studied. At another point, these same samples were classified according to type hydrochemical through a cluster analysis, from which defined three hydrochemical zoning, which are directly associated with the movement and transit time of groundwater in the aquifer system.

A conceptual hydrogeochemical model was developed in order to characterize the geochemical and hydrochemical environments and thus describe the process of evolution of groundwater in the aquifer system. This model was based on the following interpretations.

In the vadose zone, the performance of the combined process of evaporation and dissolution of minerals iron and aluminium provides a "evapoconcentration" of these elements in the water, making it saturated goethite, hematite and gibbsite.

Upon reaching the water table, groundwater is supersaturated in goethite, hematite and gibbsite, with a potential to precipitation of these minerals, both in the dry and in the wet season. Moreover, reaches the groundwater unsaturated quartz, throughout the year. Regarding the k-mica product and its modification, kaolinite, they become susceptible to dissolution when the aquifer is achieved by pulses significant recharge of rainwater. For

calcite, the waters of the upper aquifer Coverage unsaturated always showed up, due to not being in direct contact with the limestone.

At the base of Porous Aquifer Coverage, which is in contact with saprolite, it appears that after significant episodes of rain, groundwater becomes present with the potential for solubilization k-mica, kaolinite and silica available to groundwater which becomes supersaturated in quartz. The silica content found in them is the change of silicate minerals, including kaolinite is the most stable, according to the diagrams of stability of aluminosilicates. The basal contact of the Aquifer Overlay the top of the limestone reaction enhances the dissolution of calcite in the rainy season, which, however, come to be supersaturated with respect to this mineral in the dry season.

Groundwater percolates to the aquifer karst-fissure reaches the state of supersaturation in calcite, due to the direct and prolonged contact (enough) with limestone (carbonate). It is observed also that almost always reaches the groundwater aquifer karst already saturated in quartz, mica and kaolinite, except when it receives a significant recharge, due to significant rainfall events, making it about unsaturated these minerals. Moreover, we note that there is a fall in IS_{Gibsite} waters of karst aquifer, leading to a precipitation occurs suppose this mineral or oxide / hydroxide aluminum in contact with the carbonate bedrock.

Keywords: Hydrochemical model, EMBRAPA, Sete Lagoas, PHREEQC, cluster analysis.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABELAS.....	XIV
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	XVI
1 INTRODUÇÃO.....	17
2 JUSTIFICATIVA	21
3 OBJETIVOS	22
3.1 OBJETIVO GERAL.....	22
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
4 METODOLOGIA.....	23
4.1 COLETA DE DADOS E PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....	25
4.2 AMOSTRAGEM DE SOLO E ÁGUA SUBTERRÂNEA	25
4.2.1 Solo	25
4.2.2 Água Subterrânea	29
4.3 ANÁLISE LABORATORIAL DAS AMOSTRAS DE SOLO E DE ÁGUA SUBTERRÂNEA	33
4.3.1 Solo	33
4.3.2 Água Subterrânea	34
4.4 ELABORAÇÃO DE UMA BASE DE DADOS SOBRE A LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS ESTUDADOS E OS RESPECTIVOS RESULTADOS DE ANÁLISE QUÍMICA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA E DE SOLO.....	36
4.5 AVALIAÇÃO DE CONSISTÊNCIA E DETERMINAÇÃO DO ERRO DO BALANÇO IÔNICO NOS RESULTADOS DE ANÁLISES DE ÁGUA SUBTERRÂNEA	36
4.6 ELABORAÇÃO DE PERFIS GEOQUÍMICOS, MINERALÓGICOS E DE CORES DOS SOLOS DA ÁREA DO CNPMS	37
4.7 ANÁLISE MULTIVARIADA DE AGLOMERADOS DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS DE ÁGUA E SOLO (CLUSTER ANALYSIS)	38
4.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA E DO SOLO....	40
4.9 CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA A PARTIR DO SOFTWARE AQUACHEM E DE DIAGRAMAS DE ESTABILIDADE DE ALUMINOSSILICATOS	40
4.10 OBTENÇÃO DOS ÍNDICES DE SATURAÇÃO DOS MINERAIS EXISTENTES NOS AQUÍFEROS ESTUDADOS	40
4.11 ESPECULAÇÃO SOBRE AS REAÇÕES E PROCESSOS ATUANTES NAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS EXISTENTES EM CADA GRUPO DA ANÁLISE DE CLUSTER	40
4.12 PRODUÇÃO DE MAPAS PARA VISUALIZAR OS PONTOS AMOSTRADOS E FACILITAR A ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	41
5 REFERENCIAL TEÓRICO	42
5.1 HIDROGEOQUÍMICA	42
5.1.1 Propriedades Físico-Químicas.....	44
5.1.2 Constituintes iônicos principais.....	47
5.1.3 Constituintes iônicos secundários.....	51
5.2 MODELAGEM HIDROGEOQUÍMICA.....	52
5.3 PROGRAMA PHREEQC.....	55
5.4 INTEMPERISMO DE SILICATOS.....	62
5.5 USO DE DIAGRAMAS NOS DADOS DE ANÁLISES QUÍMICAS.....	73
5.6 USO DE ANÁLISE MULTIVARIADA E ANÁLISE DE AGLOMERADOS (CLUSTER)	74
6 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	79
6.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO	79

6.2	CLIMA, PLUVIOMETRIA E EVAPOTRANSPIRAÇÃO	83
6.3	HIDROGRAFIA	84
6.4	SOLOS	87
6.5	USO DO SOLO	88
6.6	GEOLOGIA	89
6.6.1	<i>Geologia Regional</i>	89
6.6.2	<i>Geologia Local</i>	93
6.7	GEOMORFOLOGIA	96
6.8	HIDROGEOLOGIA	99
6.8.1	<i>Aquífero Granular</i>	100
6.8.2	<i>Aquífero Cárstico</i>	100
6.8.3	<i>Aquífero Fraturado-Cárstico</i>	101
6.8.4	<i>Aquífero Fraturado</i>	102
6.8.5	<i>Modelo Hidrogeológico</i>	103
6.8.6	<i>Vulnerabilidade natural do sistema aquífero</i>	109
7	RESULTADOS E DISCUSSÕES	110
7.1	DISCRETIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS TIPOS DE SOLO	110
7.1.1	<i>Caracterização química dos tipos de solo</i>	110
7.1.2	<i>Caracterização mineralógica dos tipos de solo</i>	114
7.2	CARACTERIZAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	126
7.2.1	<i>Balanco iônico</i>	127
7.2.2	<i>Resultados das análises físico-químicas das águas subterrâneas do CNPMS</i>	129
7.2.3	<i>Classificação das águas subterrâneas do CNPMS</i>	132
7.2.4	<i>Caracterização de tipos hidroquímicos a partir de análise de cluster</i>	135
7.2.5	<i>Análise da variação sazonal da composição química das águas subterrâneas</i> 166	
7.2.6	<i>Índices de Saturação dos minerais existentes no solo e subsolo do CNPMS</i>	206
7.2.7	<i>Análise da variação sazonal dos índices de saturação dos minerais existentes no solo e subsolo do CNPMS</i>	216
8	MODELO HIDROGEOQUÍMICO	248
9	CONCLUSÕES	261
10	RECOMENDAÇÕES	268
11	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	271
	APÊNDICE	280

LISTA DE FIGURAS

Figura 4-1 - Fluxograma apresentando as etapas metodológicas do trabalho	24
Figura 4-2 - Distribuição espacial dos 23 poços de monitoramento e dos 18 furos de sondagem nos quais foram feitas amostragens de solo.....	28
Figura 4-3 - Localização dos 30 pontos de amostragem de água subterrânea, dentro da área do CNPMS (Ver Tabela 4.3).	32
Figura 4-4 – Amostras de água coletadas durante um evento de amostragem, com os frascos de coleta devidamente preparados e etiquetados por tipos de análises.	33
Figura 5-1 - A estabilidade de Anortita e seus possíveis produtos de intemperismo: gibbsita, caulinita e Ca-Montmorilonita (Fonte: Appelo e Postma, 2005).....	67
Figura 5-2 - O diagrama de estabilidade para K-feldspato microclina e seus produtos de intemperismo (modificado de TARDY, 1971 <i>apud</i> APPELO e POSTMA, 2005).....	69
Figura 5-3 - Diagrama de estabilidade da Albita e seus produtos de intemperismo (modificado de BERTOLO, 2012).	69
Figura 5-4 - A composição das águas resultantes da alteração dos diferentes minerais de silicato à caulinita em a presença de ácido carbônico, de acordo com as reações listadas na Tabela 5.1.....	71
Figura 5-5 - A sequência de intemperismo Goldich, baseado em observações da sequência de seu desaparecimento em solos (GOLDICH, 1938 <i>apud</i> APPELO e POSTMA, 2005).	72
Figura 5-6 - Diagrama de Piper com a definição dos tipos hidroquímicos (Fonte: MENEZES, 2005).	74
Figura 5-7 – Exemplo de um dendograma referente à variável CE de amostras de nascentes (Fonte: MENEZES, 2005).	77
Figura 5-8 – Exemplo em que o dendograma é cortado em dois níveis distintos (Fonte: MENEZES, 2005).	78
Figura 6-1 – Imagem ilustrativa da localização da área de estudo, situada entre os municípios de Sete Lagoas e Prudente de Moraes. Fonte: Machado, 2011.....	79
Figura 6-2 – Imagem Imagem ilustrativa da divisão Hidrográfica Nacional e da localização do CNPMS na bacia hidrográfica do Rio das Velhas. Fonte: Machado, 2011.	85
Figura 6-3 - Mapa hidrográfico da área em estudo	86
Figura 6-4 - Mapa de solos do entorno da área em estudo (Fonte: Batista, 2009).	88
Figura 6-5 - Mapa de uso e ocupação dos solos da região em estudo.	89
Figura 6-6 - Mapa geológico do Cráton do São Francisco com a localização da área de estudo (Fonte: Machado, 2011).	91
Figura 6-7 - Coluna estratigráfica para a área de estudo e seu entorno (Fonte: TULLER e RIBEIRO, 1992).....	92
Figura 6-8 - Mapa litológico simplificado da área de estudo e seu entorno (Fonte: Machado, 2011).	95
Figura 6-9 – Seções esquemáticas interpretadas das feições superficiais e subterrâneas típicas do compartimento do Carste Coberto, com base nas observações da superfície topográfica e dos dados das sondagens. (Fonte: Modificado de PESSOA, 2005).	97
Figura 6-10 – Seções esquemáticas demonstrando as feições típicas de desenvolvimento dos compartimentos cársticos em superfície ou observados em subsuperfície pelo decapeamento. (Fonte: PESSOA, 2005).	98
Figura 6-11 – Limites horizontais do modelo hidrogeológico computacional e respectiva seção geológica na área do CNPMS e suas imediações. (Fonte: MACHADO, 2011).	104
Figura 6-12 – Equipotenciais do nível d'água freático e direções do fluxo d'água subterrânea, no entorno do CNPMS, obtidas através do modelo hidrogeológico computacional (Fonte: MACHADO, 2011).	106
Figura 6-13 – Síntese das condições de contorno do modelo hidrogeológico computacional (Fonte: MACHADO, 2011).	108

Figura 7-1 – Difratogramas superpostos das 17 amostras analisadas na área do CNPMS (Mu=muscovita; Ka=caulinita; Go=goethita; Gb=gibbisita; Q=quartzo; Ru=rutilo; Ca=calcita).	115
Figura 7-2 – Dendograma obtido a partir da análise de <i>cluster</i> das 60 amostras de solo que foram analisadas quimicamente	117
Figura 7-3 – Variação dos teores dos principais elementos químicos analisados nos solos estudados nas imediações do Pivô 3, próximo ao PC03 (área central do CNPMS).	119
Figura 7-4 – Variação dos teores dos principais elementos químicos analisados nos solos estudados nas imediações do setor Sul do CNPMS.	120
Figura 7-5 – Variação dos teores dos principais elementos químicos analisados nos solos estudados nas imediações das lagoas da Capivara e Olhos D’água e do córrego Matadouro (Setor centro-norte do CNPMS).	121
Figura 7-6 – Diagrama de Piper dos 30 pontos amostrados, com os dados das medianas dos resultados dos parâmetros analisados.	133
Figura 7-7 – Dendrograma resultado da análise de <i>Cluster</i> para os 26 pontos do Aquífero Poroso de Cobertura.	138
Figura 7-8 – Dendrograma resultado da análise de <i>cluster</i> para os quatro pontos do aquífero fissural-cárstico.	139
Figura 7-9 – Mapa com a distribuição espacial dos grupos produzidos na análise de aglomerados (<i>cluster</i>).	148
Figura 7-10 – Variação dos valores de Condutividade Elétrica entre os grupos de <i>cluster</i>	149
Figura 7-11 – Variação dos valores de pH entre os grupos de <i>cluster</i>	149
Figura 7-12 – Variação dos valores de Dureza Total entre os grupos de <i>cluster</i>	150
Figura 7-13 – Variação dos valores de Alcalinidade Total entre os grupos de <i>cluster</i>	150
Figura 7-14 – Variação dos valores de sílica entre os grupos de <i>cluster</i>	151
Figura 7-15 – Diagrama de Piper para os pontos dos Grupos 1 e 2.	152
Figura 7-16 – Diagramas de Stiff de algumas amostras coletadas no PC03 (Grupo 1) e no PC12 (Grupo 2).	153
Figura 7-17 – Diagrama de Piper para os pontos do Grupo 3.	156
Figura 7-18 – Diagramas de Stiff para valores de medianas dos pontos do Grupo 3.	156
Figura 7-19 – Diagrama de Piper para os pontos do Grupo 4.	158
Figura 7-20 – Diagramas de Stiff para valores de medianas dos pontos do Grupo 4.	158
Figura 7-21 – Diagrama de Piper para os pontos dos Grupos 5 e 6.	160
Figura 7-22 – Diagramas de Stiff para valores de medianas dos pontos dos Grupos 5 e 6.	160
Figura 7-23 – Diagrama de Piper para os pontos dos Grupos 7 e 8.	162
Figura 7-24 – Diagramas de Stiff para valores de medianas dos pontos do Grupo 7.	162
Figura 7-25 - Precipitação pluviométrica diária entre os anos de 2010 e 2011, na Estação Meteorológica de Sete Lagoas-MG (83586 – INMET). Disponível em /www.inmet.gov.br.	167
Figura 7-26 – Gráficos temporais de valores de pH nos 29 pontos de amostragem.	168
Figura 7-27 – Gráficos temporais de concentrações de sulfatos nos 29 pontos de coleta.	173
Figura 7-28 – Amostras de calcário, cravejadas em pirita, encontradas nas imediações da ferrovia que corta a área do CNPMS, provavelmente trazidas de alguma pedreira de calcário da região.	179
Figura 7-29 – O IAP_{gesso} comparado com o Produto de Solubilidade em local de oxidação da pirita em águas de poços de monitoramento situados na porção sul do CNPMS.	180
Figura 7-30 - Gráficos temporais de concentrações de ferro nos 29 pontos de coleta.	181
Figura 7-31 - Gráficos temporais de Condutividade Elétrica nos 29 pontos de coleta.	183
Figura 7-32 - Gráficos temporais de Alcalinidade Total nos 29 pontos de coleta.	184
Figura 7-33 - Gráficos temporais de Dureza Total nos 29 pontos de coleta.	185
Figura 7-34 - Gráficos temporais de sílica nos 29 pontos de coleta.	188
Figura 7-35 - Gráficos temporais de nitrato (VMP = 44,3 mg/L) nos 29 pontos de coleta.	194
Figura 7-36 - Gráficos temporais de cloretos nos 29 pontos de coleta.	198
Figura 7-37 - Gráficos temporais de Bário nos 29 pontos de coleta.	201
Figura 7-38 - Gráficos temporais de Bário no ponto PC17.	203

Figura 7-39 - Gráficos temporais de alumínio nos 29 pontos de coleta.....	204
Figura 7-40 – Gráfico com comportamento temporal de Potássio nos 29 pontos de coleta.	205
Figura 7-41 – Gráfico com comportamento temporal de sódio nos 29 pontos de coleta. ...	206
Figura 7-42 – Diagrama de estabilidade da Albita e seus produtos de intemperismo, para os pontos do Grupo 1 e do ponto PC12 (Grupo 2).....	211
Figura 7-43 - Diagrama de estabilidade da muscovita e seus produtos de intemperismo, para os pontos do Grupo 1 e do ponto PC12 (Grupo 2).....	212
Figura 7-44 - Diagrama de estabilidade da Anortita e seus produtos de intemperismo, para os pontos do Grupo 1 e do ponto PC12 (Grupo 2).....	212
Figura 7-45 – Diagrama de estabilidade da Albita e seus produtos de intemperismo, para os pontos do Grupo 3.....	213
Figura 7-46 - Diagrama de estabilidade da muscovita e seus produtos de intemperismo, para os pontos do Grupo 3.....	213
Figura 7-47 - Diagrama de estabilidade da Anortita e seus produtos de intemperismo, para os pontos do Grupo 3.....	214
Figura 7-48 - Diagrama de estabilidade da Albita e seus produtos de intemperismo, para os pontos do Grupo 4.....	214
Figura 7-49 - Diagrama de estabilidade da muscovita e seus produtos de intemperismo, para os pontos do Grupo 4.....	215
Figura 7-50 – Diagrama de estabilidade da Anortita e seus produtos de intemperismo, para os pontos do Grupo 4.....	215
Figura 7-51 - Gráficos mostrando o comportamento do Índice de Saturação de alguns minerais, ao longo do Perfil 1 (PC01-TUBE02)(Nov./2010 a Out./2011).....	219
Figura 7-52 – Perfil 1: Perfil hidrogeológico esquemático entre os poços PC01 e o TUBE02.	220
Figura 7-53 - Gráficos mostrando o comportamento do Índice de Saturação de alguns minerais, ao longo do Perfil 2 (PC01-PC09)(Nov./2010 a Out./2011).....	225
Figura 7-54 - Perfil 2: Perfil hidrogeológico esquemático entre os poços PC01 e o PC09..	226
Figura 7-55 - Gráficos mostrando o comportamento do Índice de Saturação de alguns minerais, ao longo do Perfil 3 (PC01- PC11)(Nov./2010 a Out./2011).....	230
Figura 7-57 - Gráficos mostrando o comportamento do Índice de Saturação de alguns minerais, ao longo do Perfil 4 (PC12-TUBE04)(Nov./2010 a Out./2011).....	234
Figura 7-59 - Gráficos mostrando o comportamento do Índice de Saturação de alguns minerais, ao longo do Perfil 5 (PC18-PC21)(Nov./2010 a Out./2011).....	240
Figura 7-61 - Gráficos mostrando o comportamento do Índice de Saturação de alguns minerais, ao longo do Perfil 6 (PC01-PC16)(Nov./2010 a Out./2011).....	245
Figura 8-1 - Perfil esquemático representando o modelo hidrogeoquímico conceitual do sistema aquífero existente na área do CNPMS – EMBRAPA – Sete Lagoas/MG.....	249

LISTA DE TABELAS

Tabela 4-1 - Relação dos poços de monitoramento e piezômetro construídos na área do CNPMS.....	27
Tabela 4-2 - Descrição dos 18 furos de sonda em que foram feitas amostragens de solos.	29
Tabela 4-3 - Localização dos 30 pontos nos quais foram feitas as amostragens de água subterrânea.	31
Tabela 4-4 - Relação dos parâmetros analisados nas amostras de água subterrânea e dos respectivos métodos de análises utilizados.	35
Tabela 4-5 - Erro admissível de balanço iônico a partir da condutividade elétrica.....	37
Tabela 5-1- Reações de intemperismo para diferentes minerais de silicato ao argilomineral caulinita	62
Tabela 5-2 - Reações de intemperismo para silicatos primários aos argilo-minerais caulinita, Montmorilonita e gibbsita	63
Tabela 5-3 - Vida útil calculada de cristais de 1mm, em pH 5, para vários minerais	72
Tabela 6-1 - Valores de condutividade hidráulica (K) adotados para cada uma das unidades hidroestratigráficas após a calibração do modelo hidrogeológico computacional. (Fonte: MACHADO, 2011).	105
Tabela 7-1 - Relação dos 38 tipos de solos, o padrão de cor de Munsell (e os valores correspondentes em RGB) que cada um deles representa e as concentrações dos elementos neles analisados.....	112
Tabela 7-2 - Relação das sessenta (60) amostras analisadas quimicamente e o local de origem de cada uma delas.....	113
Tabela 7-3 - Variação da mineralogia existente nos solos do CMPMS de acordo com a profundidade.....	124
Tabela 7-4 - Ocorrências minerais de acordo com a profundidade em amostras de solo coletadas na área do CNPMS, com base nos dados obtidos neste estudo e nos trabalhos desenvolvidos por Sans (1986) e Viana (2005).....	125
Tabela 7-5 - Quantificação dos erros de balanço iônico encontrados nas amostras analisadas.	128
Tabela 7-6 - Medianas das concentrações na água subterrânea, dos parâmetros analisados em cada um dos pontos amostrados (1ª parte).....	130
Tabela 7-7 - Medianas das concentrações na água subterrânea, dos parâmetros analisados em cada um dos pontos amostrados (2ª parte).....	131
Tabela 7-8 - Grupo 1 – Medianas, sem <i>outliers</i> , dos parâmetros analisados.	140
Tabela 7-9 - Grupo 2 – Medianas, sem <i>outliers</i> , dos parâmetros analisados.	141
Tabela 7-10 - Grupo 3 – Medianas, sem <i>outliers</i> , dos parâmetros analisados (<i>Cluster</i>).....	142
Tabela 7-11 - Grupo 4 – Medianas, sem <i>outliers</i> , dos parâmetros analisados (<i>Cluster</i>).....	143
Tabela 7-12 - Grupo 5 – Medianas, sem <i>outliers</i> , dos parâmetros analisados (<i>Cluster</i>).....	144
Tabela 7-13 - Grupo 6 – Medianas, sem <i>outliers</i> , dos parâmetros analisados (<i>Cluster</i>).....	145
Tabela 7-14 - Grupo 7 – Medianas, sem <i>outliers</i> , dos parâmetros analisados (<i>Cluster</i>).....	146
Tabela 7-15 - Grupo 8 – Medianas, sem <i>outliers</i> , dos parâmetros analisados (<i>Cluster</i>).....	147
Tabela 7-16 - Resultados do teste de <i>Mann-Whitney</i> para o parâmetro CE (PC10 e PC11).	155
Tabela 7-17 - Resultados do teste de <i>Mann-Whitney</i> para o parâmetro pH (PC10 e PC11).	155
Tabela 7-18 - Resultados do teste de <i>Mann-Whitney</i> - parâmetro HCO ₃ (PC10 e PC11) ..	155
Tabela 7-19 - Resultados do teste de <i>Mann-Whitney</i> para o parâmetro Ca (PC10 e PC11)	155
Tabela 7.20 - Valores médios das medianas dos principais parâmetros analisados nos três zoneamentos hidroquímicos.	165
Tabela 7.21 - Variação dos índices de saturação do quartzo e sílica amorfa na Nascente do Sapo (NASC01), que recebe as águas de cobertura.	190

Tabela 7.22 - Valores das medianas dos Índices de Saturação (SI) nas águas subterrâneas, com relação aos principais minerais identificados nos solos e rochas existentes na área do CNPMS..... 208

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

- ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- APHA/AWWA/WEF** - *American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation*
- CNPMS** - Centro Nacional de Pesquisa Milho e Sorgo
- COPASA** - Companhia de Saneamento de Minas Gerais
- CPRM** - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
- DESA** - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental
- DNPM** - Departamento Nacional de Produção Mineral
- DVQA** - Divisão de Pesquisa e Controle de Qualidade de Água e Esgoto da Companhia de Saneamento de Minas Gerais
- EMBRAPA** - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- GNSS** - *Global Navigation Satellite Systems*
- IAP** - *Index Activity Product*
- ICP-OES** - *Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry*
- INMET** - Instituto Nacional de Meteorologia
- SAAE** - Sistema Autônomo de Abastecimento de Água e Esgoto
- SI** - *Saturation Index*
- SM** - *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater*
- UFMG** - Universidade Federal de Minas Gerais

1 INTRODUÇÃO

O Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS), fundado em 1976, é componente de uma rede de 14 unidades de pesquisa de produtos coordenados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e localiza-se em uma área de aproximadamente 20 km², entre os municípios mineiros de Sete Lagoas e Prudente de Morais.

No CNPMS são desenvolvidas atividades de pesquisa científica e tecnológica relacionadas, principalmente, ao cultivo de milho, sorgo e milheto, no que tange à produtividade, ao uso do solo, à irrigação, ao manejo de pragas e doenças e ao desenvolvimento de tecnologias associadas (NOGUEIRA, 2003).

Como fornecedora de tecnologia na área de manejo e uso do solo e, tendo em vista a crescente preocupação com a proteção dos mananciais, a EMBRAPA tem voltado suas atenções para o tema, o que pode ser constatado pela análise do plano diretor da instituição que destaca, como uma de suas metas, o desenvolvimento de tecnologias referentes à captação e uso da água, considerando novos paradigmas, como: a proteção do meio ambiente, o uso da água em pequenas propriedades, a captação de água *in situ* e a recarga dos aquíferos (EMBRAPA, 2005).

A área do CNPMS está inserida na bacia do rio das Velhas, maior afluente em extensão do rio São Francisco, e se situa sobre solos de cerrado do Brasil Central, com predominância de latossolos, que recobrem rochas pelito-carbonáticas do Grupo Bambuí, nas quais se encontra desenvolvido um sistema aquífero cárstico, que faz parte da província hidrogeológica do São Francisco (DNPM/CPRM, 1983) e pertence ao domínio hidrogeológico carbonatos/Metacarbonatos (CPRM, 2007).

Conforme destaca Batista (2009), apesar da região apresentar uma rede de drenagem superficial bastante densa, a principal fonte de abastecimento de água para consumo humano são os aquíferos cársticos, visto que os córregos apresentam vazões insuficientes, além de estarem contaminados por esgotos provenientes das cidades de Sete Lagoas e Prudente de Morais, como também informam Pessoa (1992) e Castro (2011).

Segundo Castro (2011), as cidades de Sete Lagoas e Prudente de Morais são abastecidas, historicamente, por águas subterrâneas, que são captadas através de poços tubulares profundos. De acordo com o Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Sete Lagoas (SAAE, 2012), o abastecimento de água da população da cidade é feito a partir da captação em 95 poços tubulares profundos, instalados no aquífero cárstico local, os quais, segundo Castro (2011), chegam a produzir vazões superiores a 28 l/s. A cidade de Matozinhos, situada a 37 km de Prudente de Morais, é abastecida, atualmente, por sete poços tubulares profundos, que captam juntos, aproximadamente 75 l/s, conforme dados obtidos junto à Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA, 2012).

Segundo Machado (2011), as características de fragilidade ambiental dos ambientes cársticos têm justificado a realização de estudos em suas áreas de ocorrência, visto que esses ambientes apresentam aquíferos de grande importância como fonte de água para abastecimento.

Pessoa (2005) destaca que os planaltos cársticos e os afloramentos calcários existentes na região de Sete Lagoas constituem importantes áreas de recarga do carste, com circulação rápida de águas de infiltração e, conseqüentemente, grande potencial de contaminação.

Pessoa (1992), em estudo realizado na região cárstica de Sete Lagoas – Lagoa Santa, estimou que aproximadamente 80% da população depende da água subterrânea. De acordo com esse autor, há três fontes potenciais principais de poluição das águas subterrâneas na região: atividades urbanas, que produzem esgotos e aterros sanitários; atividades industriais, que frequentemente causam poluição pela disposição de seus resíduos sem planejamento; e atividades agrárias, que poluem ao utilizar fertilizantes de forma indevida.

Em janeiro de 2008, o CNPMS assinou um acordo de colaboração técnica com o Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA), da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), e com a Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA). Esse acordo teve como objetivo a realização de um estudo hidrogeológico ambiental para investigação do comportamento de contaminantes no solo e na água subterrânea, com destaque para o íon nitrato, originado de fertilizantes nitrogenados, e para o herbicida atrazina, de uso disseminado na cultura do milho, do sorgo e da soja, que são as principais lavouras existentes no Centro de Pesquisas.

Dentro desse projeto, Batista (2009) elaborou a primeira versão de um modelo hidrogeológico conceitual e de um modelo computacional para a área de influência do CNPMS, que incluiu todos os principais tipos de aquíferos presentes no entorno da área, delimitada pelas bacias dos córregos Jequitibá, Marinheiro e Matadouro, sugerindo as linhas de fluxo, áreas de recarga e as interações entre aquíferos rasos e profundos.

Dando continuidade a esse estudo, Machado (2011) detalhou o modelo computacional elaborado por Batista (2009), identificando as principais unidades hidroestratigráficas e condições de fluxo, e Castro (2011) realizou um estudo com foco na hidrogeoquímica ambiental do campus experimental da EMBRAPA e do seu entorno, com base em dados físico-químicos de água superficial e subterrânea.

Como destaca Batista (2009), para que o comportamento e o transporte de contaminantes sejam avaliados, faz-se necessário um detalhamento da hidrogeologia, da hidrodinâmica e da hidrogeoquímica dos aquíferos existentes na área do CNPMS.

Tal argumento é também descrito por Pessoa (2005), com base em White (2002), que propõe que essas três temáticas sejam investigadas quando se quer conhecer o comportamento de circulação da água em um aquífero e como o mesmo é constituído. Segundo o mesmo autor, a hidrogeologia deve ser estudada em seu sentido mais específico, denotando o conhecimento acerca do acondicionamento litoestrutural por onde se desenvolvem os processos de circulação; a hidrodinâmica, no sentido de se conhecer, de forma quantificada, as dimensões ou ordens de grandeza dos parâmetros hidrológicos preponderantes no meio aquífero; e a hidroquímica, relacionando o conhecimento dos processos interativos entre a dinâmica de circulação hídrica e as litologias e estruturas constituintes dos aquíferos.

Tendo em vista a necessidade de complementação dos estudos relativos à hidrogeoquímica dos aquíferos existentes na área da fazenda experimental do CNPMS e visando a atingir parte dos objetivos iniciais do acordo estabelecido entre EMBRAPA, DESA-UFMG e COPASA, este trabalho busca contribuir com as informações relativas à caracterização e modelagem hidrogeoquímica dos aquíferos estudados, assumindo como hipótese que a hidrogeoquímica é fator condicionante para o estudo do comportamento e do transporte de componentes químicos (contaminantes ou não) em unidades hidrogeológicas, levando em consideração que a maioria dos modelos de fluxos hidrogeológicos e de transporte de poluentes, como enfatiza Segar *et al.* (1997), tem como premissa que a matriz do aquífero é considerada inerte, o que

de fato não ocorre na natureza e, em certos casos, modelar a interação físico-química entre água e rocha é relevante e necessário.

Em face do exposto, é importante salientar que este trabalho é de cunho exploratório e busca apresentar um modelo hidrogeoquímico preliminar, o qual, por sua vez, não tem a pretensão de explicar todas as questões nele levantadas, mas, sim, descrever, na medida do possível, as interações físico-químicas existentes entre os meios água e solo (ou rocha) no sistema aquífero estudado.

2 JUSTIFICATIVA

Este trabalho apresenta-se como uma das etapas preliminares necessárias ao desenvolvimento do projeto de caracterização do transporte de componentes químicos nos aquíferos existentes no CNPMS, visto que, para estudar o comportamento real desses componentes presentes na água subterrânea e no solo, é necessário o conhecimento dos processos hidrogeoquímicos que ocorrem no ambiente de subsuperfície.

3 OBJETIVOS

3.1 *Objetivo geral*

O objetivo deste estudo é caracterizar e modelar o comportamento hidrogeoquímico das águas subterrâneas do sistema aquífero existente na área que compreende o Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS), localizado no município de Sete Lagoas, Minas Gerais – Brasil, buscando conhecer os processos naturais resultantes da interação água-rocha.

3.2 *Objetivos específicos*

- Identificar os principais tipos de geomateriais (solo, saprolito e rocha) encontrados na área do CNPMS;
- Caracterizar química e mineralogicamente os tipos de geomateriais que constituem as unidades hidrogeológicas do CNPMS;
- Avaliar se existe uma correlação entre as cores de Munsell e a química dos geomateriais existentes na área do CNPMS;
- Discretizar estatisticamente e caracterizar os grupos hidroquímicos existentes no sistema aquífero existente na área do CNPMS; e
- Determinar os Índices de Saturação (SI) dos minerais presentes nos aquíferos existentes no CNPMS e inferir as reações e processos que ocorrem nas respectivas unidades hidrogeológicas.

4 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste estudo, a execução dos trabalhos foi dividida nas seguintes etapas:

- 1 - Coleta de dados e pesquisa bibliográfica;
- 2 - Amostragem de solo e água subterrânea;
- 3 - Análise química e mineralógica das amostras de solo, e análise físico-química da água subterrânea;
- 4 - Elaboração de uma base com os dados de localização dos pontos estudados e os respectivos resultados de análises de água subterrânea e de solos;
- 5 - Avaliação da consistência dos dados e determinação do Erro do Balanço Iônico nos resultados de análises de água subterrânea;
- 6 - Elaboração dos perfis de cores, teores químicos e mineralógicos dos solos da área do CNPMS;
- 7 - Análise multivariada de *cluster* dos resultados das análises de água;
- 8 - Análise estatística descritiva dos dados de água subterrânea e do solo;
- 9 - Caracterização hidroquímica da água subterrânea a partir de diagramas disponíveis no software Aquachem e de diagramas de estabilidade de aluminossilicatos;
- 10 - Obtenção dos Índices de Saturação dos minerais existentes nos aquíferos estudados (por meio do programa PHREEQC);
- 11 - Proposição das reações e processos atuantes nas unidades hidrogeológicas estudadas;
- 12 - Produção de mapas para visualização dos resultados;
- 13 - Proposição do modelo hidrogeoquímico conceitual.

A Figura, a seguir, apresenta um fluxograma contendo um resumo dessas etapas.

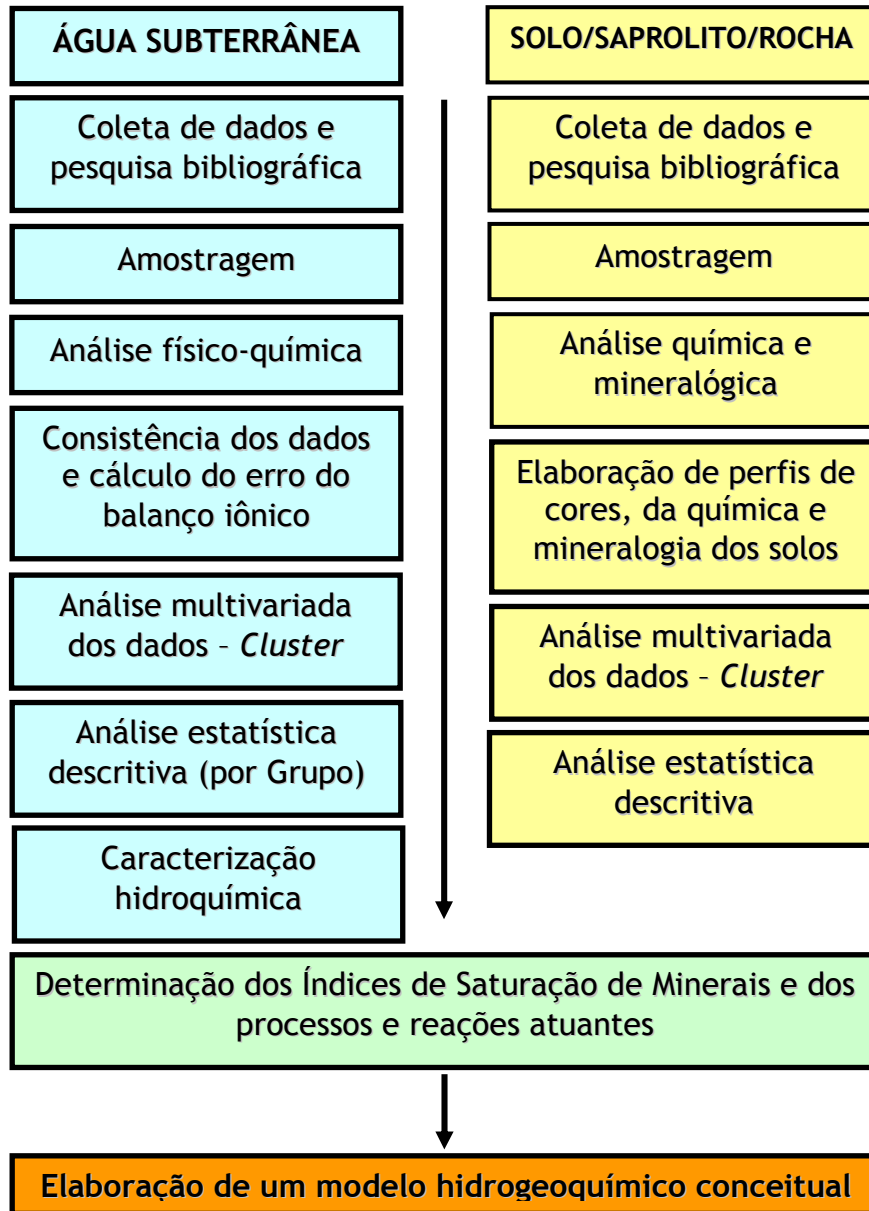


Figura 4-1: Fluxograma apresentando as etapas metodológicas do trabalho

4.1 Coleta de dados e pesquisa bibliográfica

Nesta etapa, foi realizada uma coleta de informações regionais e locais, com a compilação dos dados bibliográficos relevantes ao trabalho, abrangendo a região em que está inserida a fazenda experimental da EMBRAPA de Sete Lagoas/MG, tais como: hidrogeologia; modelos de fluxo de água subterrânea elaborados por Batista (2009) e Machado (2011); hidrogeoquímica, a partir do trabalho desenvolvido na região por Castro (2011); geologia; pedologia; mineralogia; hidrologia; clima; pluviometria; dados plani-altimétricos; e cartografia.

4.2 Amostragem de solo e água subterrânea

As metodologias de amostragem utilizadas tanto na coleta de amostras de solo como de água subterrânea seguiram, em parte, as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). O não seguimento de forma integral das normas se deu por limitações quase que exclusivamente financeiras. Entretanto, cabe salientar que mesmo não tendo sido possível seguir as normas de forma integral, procurou-se adotar o mesmo critério (padrão) no procedimento das coletas em todos os pontos amostrados. Assim, ainda que possa não existir uma exatidão nos valores absolutos dos resultados das análises inerentes às amostras coletadas, os valores relativos dos resultados irão trazer à tona as diferenças ou similaridades entre os locais amostrados.

4.2.1 Solo

Entre os meses de janeiro e abril de 2010 foram construídos, pela empresa Hidropoços (contratada pela COPASA), 22 poços de monitoramento e um piezômetro dentro da área da do CNPMS da EMBRAPA (Tabela 4.1 e Figura 4.2). Esses 23 poços, perfurados segundo a Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) 15495-1 (ABNT, 2007), são revestidos em PVC Geomecânico, possuem diâmetro de 50 mm e profundidades que variam de 6 a 52 m. Durante as perfurações, foram recolhidas amostras de geomateriais em intervalos de metro em metro. Além dessas amostras, outras foram coletadas em 18 furos de sondagens a trado, no período de janeiro a fevereiro de 2010 (Tabela 4.2 e Figura 4.2). Neste caso, foram coletadas amostras que representassem cada um dos horizontes de solo interceptados.

Após o procedimento de coleta das amostras de solo, as mesmas passaram por um processo de secagem ao ar e peneiramento em malha de 210 μm , antes de serem acondicionadas, codificadas e armazenadas nas dependências da EMBRAPA.

Dentre as seiscentas (600) amostras coletadas nas perfurações dos poços e sondagens à trado, foram obtidas, aleatoriamente, as cores de 309 (trezentos e nove) delas, ou seja, cerca de 50% do total de amostras. A caracterização foi realizada pela equipe técnica da EMBRAPA, que utilizou como padrão de referência a Carta de Cores de Munsell (Munsell, 2000).

A partir dessa caracterização, foi produzido um gráfico de frequência estatística das cores das amostras, que mostrou que as mesmas variam entre os valores de matiz situados entre 2,5YR e 2,5Y, segundo a carta de cores de Munsell. Conforme será detalhado mais adiante, esse procedimento resultou na identificação de 38 (trinta e oito) tipos distintos de geomateriais.

Tabela 4-1 – Relação dos poços de monitoramento e piezômetro construídos na área do CNPMS

Código Ponto	Tipo de Ponto	Localização do Ponto	Profundidade (m)	Coordenadas UTM		Altitude (m)
				Longitude	Latitude	
PC-01	Poço de Monitoramento	Alto dos pinheiros	42,5	586015	7848046	802,540
PC-02	Poço de Monitoramento	Centro do Pivô 1	30	586694	7848060	753,138
PC-03	Poço de Monitoramento	Centro do Pivô 3	25	586385	7847599	772,935
PC-04	Poço de Monitoramento	<i>Stress 2 - Próximo ao viaduto sobre a estrada de ferro</i>	40	586327	7849069	744,152
PC-05	Poço de Monitoramento	A montante da lagoa da Capivara – próximo aos lizímetros	52	586628	7848701	734,519
PC-06	Poço de Monitoramento	Margem da lagoa da Capivara	6	587063	7848938	715,092
PC-07	Piezômetro	Piezômetro – Margem da lagoa da Capivara	38	587063	7848938	715,092
PC-08	Poço de Monitoramento	Stress 3 - Margem da lagoa Olhos D'Água	8	586454	7849510	711,488
PC-10	Poço de Monitoramento	Montante do esgoto químico – quarteirão da sede da EMBRAPA	9	587636	7849437	712,526
PC-11	Poço de Monitoramento	Jusante do esgoto químico – quarteirão da sede da EMBRAPA	9	587659	7849432	711,579
PC-13	Poço de Monitoramento	Próximo da ponte sobre o córrego do Matadouro.	8	587223	7849794	706,360
PC-09	Poço de Monitoramento	Margem da lagoa do Trevo	6	586699	7847137	726,369
PC-12	Poço de Monitoramento	<i>Stress 1 - Margem da estrada para o Alto dos pinheiros</i>	25	586243	7848538	763,680
PC-14	Poço de Monitoramento	Próximo à portaria principal da EMBRAPA	15	586810	7847588	732,063
PC-15	Poço de Monitoramento	Entre o ponto PC-14 e o viaduto da estrada de ferro	15	586865	7848200	734,121
PC-16	Poço de Monitoramento	Margem da Lagoa Cascatinha	6	587057	7848228	720,448
PC-17	Poço de Monitoramento	Junto à estação meteorológica	30	586762	7845385	755,803
PC-18	Poço de Monitoramento	Área Sul, à margem da estrada para Fazenda Mauro	40	586098	7845528	764,760
PC-19	Poço de Monitoramento	Centro do Pivô 2	20	587155	7845648	737,584
PC-20	Poço de Monitoramento	Centro do Pivô 4	30	587256	7846033	736,124
PC-21	Poço de Monitoramento	Norte do Pivô 4	20	587265	7846189	729,693
PC-22	Poço de Monitoramento	Oeste do Pivô 4	10	587034	7846104	726,256
PC-23	Poço de Monitoramento	Margem da estrada da lagoa da subida da estação	6	586674	7845777	726,745

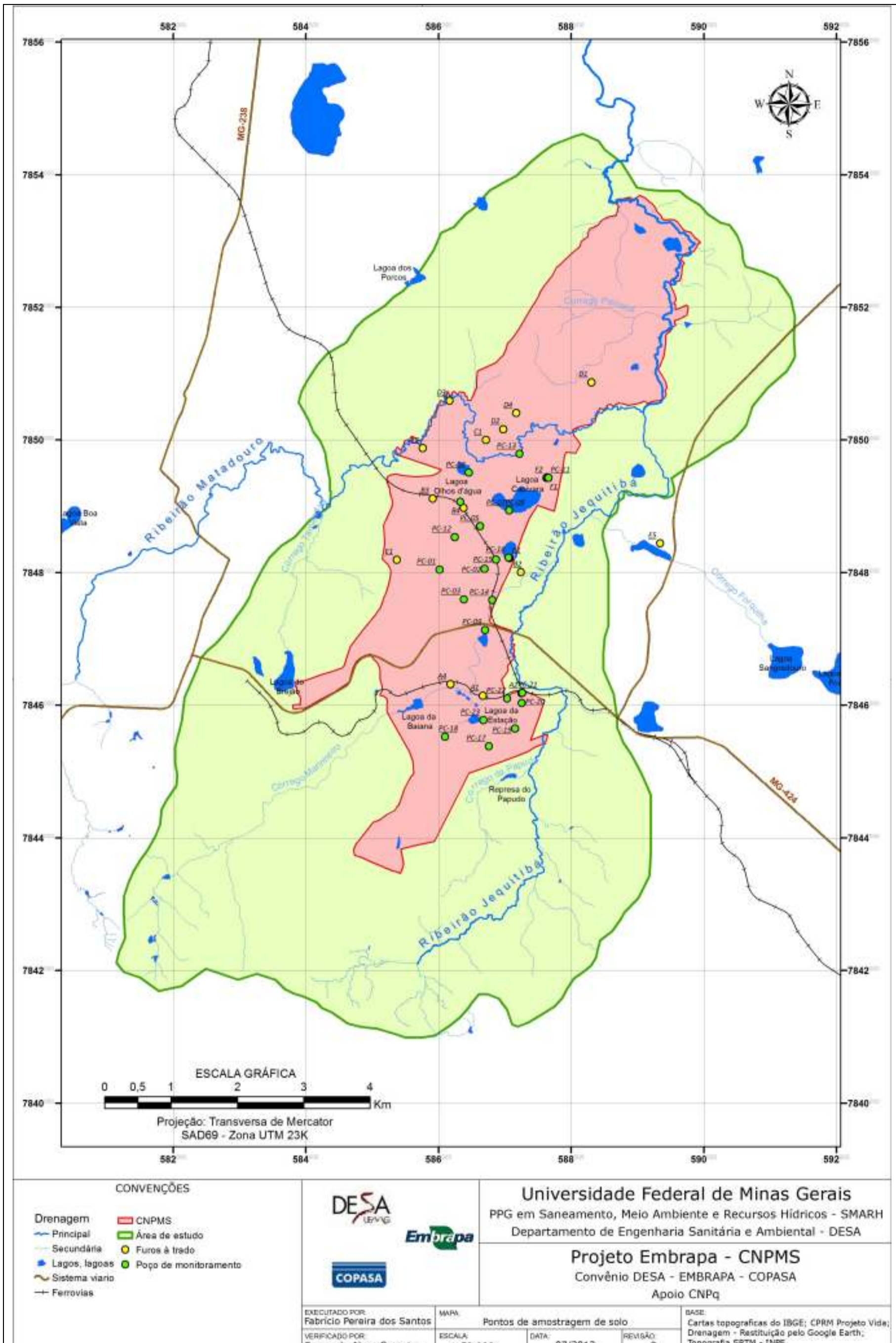


Figura 4-2 - Distribuição espacial dos 23 poços de monitoramento e dos 18 furos de sondagem nos quais foram feitas amostragens de solo

Tabela 4-2 - Descrição dos 18 furos de sonda em que foram feitas amostragens de solos

Código da Sondagem	Profundidade (m)	Coordenadas (UTM)*		Altitude (m)	Nível Estático (m)
		(Fuso 23K - Datum: SAD69)			
		Longitude	Latitude		
A1	9,00	586667	7846145	723	5,26
A2	9,50	587252	7846185	725	8,87
A3	5,30	587036	7846102	723	4,16
A4	6,00	586179	7846318	720	> 6,0
B1	3,65	587075	7848219	704	1,8
B2	6,20	587243	7848007	720	5,0
B3	9,50	585914	7849118	740	> 9,5
B4	6,30	586377	7848976	738	> 6,3
C1	3,75	586712	7850002	708	1,49
D1	4,25	588306	7850871	702	> 4,25
D2	1,00	586978	7850163	715	> 1,0
D3	4,10	586166	7850593	716	> 4,1
D4	5,60	587171	7850406	733	> 5,6
E1	10,40	585372	7848195	804	> 10,4
E5	1,00	589343	7848443	713	> 1,0
F1	6,50	587627	7849430	728	4,64
F2	5,80	587627	7849430	707	2,7
F3	5,60	585759	7849877	717	3,75

4.2.2 Água Subterrânea

Quanto à água subterrânea, durante doze (12) meses consecutivos, de novembro de 2010 a outubro de 2011, período praticamente coincidente com o ano hidrológico 2010-2011, foi conduzido um programa de monitoramento mensal de amostragem de água subterrânea, em 30 (trinta) pontos localizados na área do CNPMS (Tabela 4.3 e Figura 4.3).

Com exceção dos três poços de produção da EMBRAPA (TUBE-01, TUBE02 e TUBE-04), nos quais as amostras foram coletadas em torneiras, a amostragem da água subterrânea foi feita por meio de amostradores do tipo *bailers* e realizada por dois técnicos em química da COPASA.

Cabe salientar que, no momento da coleta das amostras, não se promoveu a purga da água existente nos poços, haja vista a indisponibilidade de tempo para aguardar o esvaziamento e recuperação total do nível de água de alguns poços.

Assumi-se também, como premissa, que os poços amostrados (tanto aqueles que permitem a coleta de água no aquífero de cobertura, como no cárstico) são submetidos à uma purga natural e que as condições da água situada dentro de cada poço não são significativamente distintas daquelas encontradas nos aquíferos amostrados, visto que os mesmos são livres e estão em contato com a atmosfera. Além disso, é importante destacar que apenas no poço

PC07 foi utilizada Bentonita no seu processo de construção e instalação. Conseqüentemente, com exceção do PC07, a turbidez que é encontrada na água de todos os poços é devida, unicamente, ao material da formação (do solo) perfurado.

Os 30 pontos monitorados são constituídos pelas seguintes unidades: 22 poços tubulares e um piezômetro, revestidos com PVC geomecânico com diâmetros de 50 mm; 3 poços tubulares de operação (que abastecem as unidades da EMBRAPA) com diâmetros de 200 mm e revestimento em aço; 2 cisternas, já existentes na área; e, 2 nascentes (surgências). A localização desses pontos está descrita na Tabela 4.3 e pode ser visualizada na Figura 4.3.

Conforme já mencionado anteriormente, cabe ressaltar que, mesmo procurando-se adotar a Norma NBR 15495-2 (ABNT, 2008), os poços foram desenvolvidos durante apenas um período de duas (2) horas cada, em função da limitação financeira do projeto de pesquisa. Em consequência disso, não foi possível eliminar totalmente a turbidez da água desses poços, devido à lenta recuperação do nível da água dentro dos mesmos. Além disso, salienta-se que, nos procedimentos de coleta em poços de monitoramento, foram adotadas, parcialmente, as normas NBR 13895 (ABNT, 1997) e 6410 da CETESB (1988).

Tendo em vista as considerações anteriores, alguns procedimentos tiveram que ser adotados para que as análises pudessem ser realizadas adequadamente:

- Os recipientes para a coleta foram devidamente lavados em laboratório;
- Foi coletado, aproximadamente, um litro e meio de água para análise físico-química em cada evento de amostragem;
- Os frascos para coleta foram devidamente etiquetados para fins de identificação das amostras e dos tipos de análise;
- Para as análises de metais, as amostras foram filtradas, em laboratório, utilizando-se filtros Milipore® com porosidade de 0,45µm. Após a filtração, adicionou-se ácido nítrico ultrapuro nas amostras até atingir o pH igual a 2, buscando evitar a deposição de metais; e
- Todas as amostras foram armazenadas e transportadas em caixas térmicas com gelo, até ao laboratório onde foram preservadas em refrigerador a $(4 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ até o momento da análise, de acordo com a recomendação da APHA (APHA/AWWA/WEF, 2005).

Tabela 4-3 – Localização dos 30 pontos nos quais foram feitas as amostragens de água subterrânea

Código Ponto	Localização do Ponto	Profundidade (m)	Coordenadas UTM		Altitude (m)
			Longitude	Latitude	
PC-01	Alto dos pinheiros	42,5	586015	7848046	802,540
PC-02	Centro do Pivô 1	30	586694	7848060	753,138
PC-03	Centro do Pivô 3	25	586385	7847599	772,935
PC-04	<i>Stress 2</i> - Próximo ao viaduto sobre a estrada de ferro	40	586327	7849069	744,152
PC-05	A montante da lagoa da Capivara - próximo aos lisímetros	52	586628	7848701	734,519
PC-06	Margem da lagoa da Capivara	6	587063	7848938	715,092
PC-07	Piezômetro - Margem da lagoa da Capivara	38	587063	7848938	715,092
PC-08	<i>Stress 3</i> - Margem da lagoa Olhos D'Água	8	586454	7849510	711,488
PC-09	Margem da lagoa do Trevo	6	586699	7847137	726,369
PC-10	Montante do esgoto químico - quarteirão da sede da EMBRAPA	9	587636	7849437	712,526
PC-11	Jusante do esgoto químico - quarteirão da sede da EMBRAPA	9	587659	7849432	711,579
PC-12	<i>Stress 1</i> - Margem da estrada para o Alto dos pinheiros	25	586243	7848538	763,680
PC-13	Próximo da ponte sobre o córrego do Matadouro.	8	587223	7849794	706,360
PC-14	Próximo à portaria principal da EMBRAPA	15	586810	7847588	732,063
PC-15	Entre o ponto PC-14 e o viaduto da estrada de ferro	15	586865	7848200	734,121
PC-16	Margem da Lagoa Cascatinha	6	587057	7848228	720,448
PC-17	Junto à estação meteorológica	30	586762	7845385	755,803
PC-18	Área Sul, à margem da estrada para Fazenda Mauro	40	586098	7845528	764,760
PC-19	Centro do Pivô 2	20	587155	7845648	737,584
PC-20	Centro do Pivô 4	30	587256	7846033	736,124
PC-21	Norte do Pivô 4	20	587265	7846189	729,693
PC-22	Oeste do Pivô 4	10	587034	7846104	726,256
PC-23	Margem da estrada da lagoa da subida da estação	6	586674	7845777	726,745
CIST-1	Cisterna em frente ao escritório do Barão	9	586881	7848687	728,885
CIST-3	Próxima à entrada do restaurante	3	587314	7849488	716,451
SURG-1	Surgência - Lagoa da Subida da Estação	0,5	586420	7845751	726,111
NASC-1	(Antigo S1D2-5) - Nascente do sapo , à Noroeste da Usina Abandonada	2,0	586146	7846970	747,358
TUBE-1	(Antigo S1D1-5) - Poço tubular EMBRAPA 1 - Lagoa da Subida da Estação	Sem Informação	586535	7845747	726,382
TUBE-2	Poço tubular EMBRAPA 2 - Jorrante - margens da lagoa Olhos D'Água	Sem Informação	586340	7849777	709,553
TUBE-4	Poço tubular EMBRAPA 4 - próximo à ponte sobre o córrego do Matadouro	Sem Informação	587300	7849798	706,360

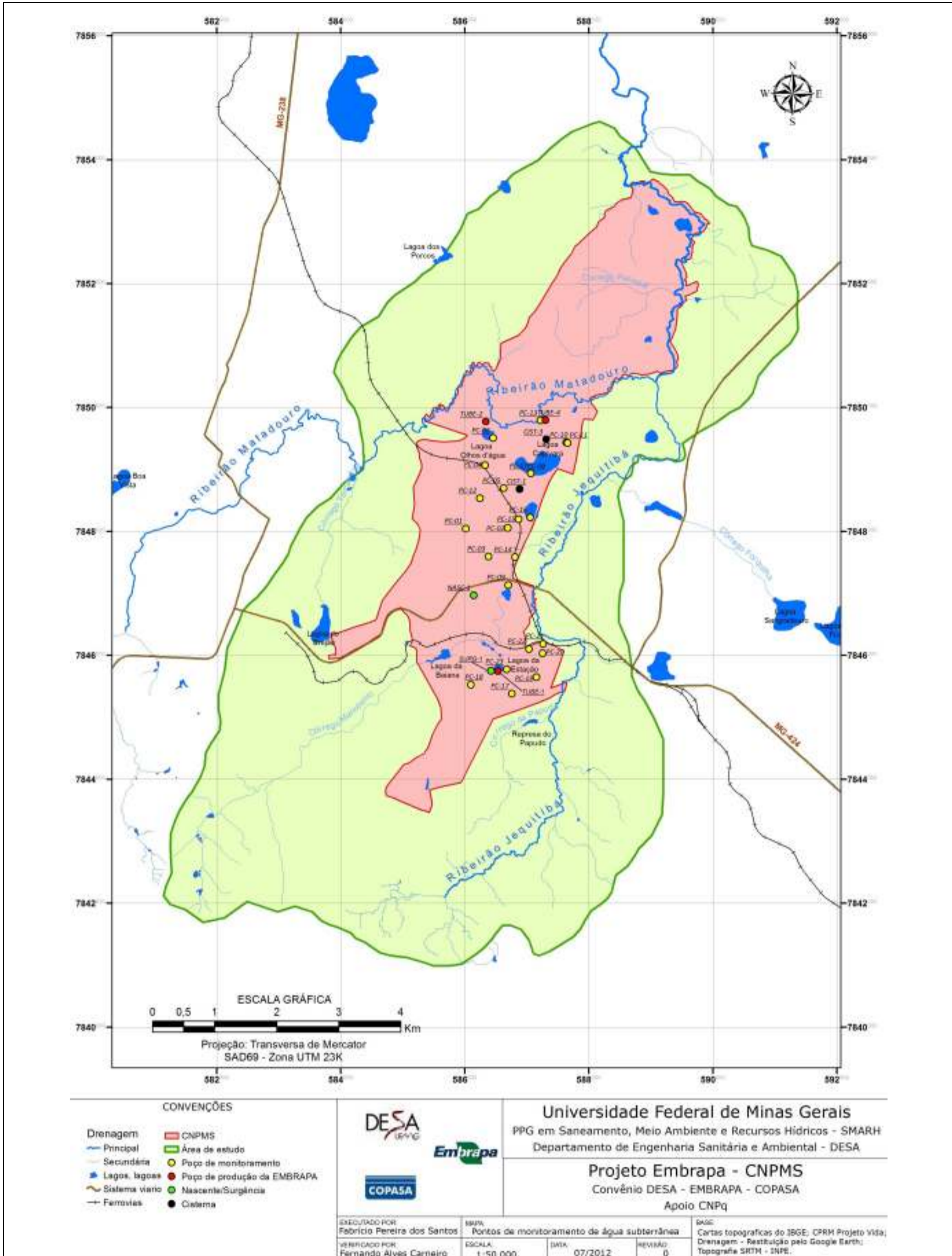


Figura 4-3 - Localização dos 30 pontos de amostragem de água subterrânea, dentro da área do CNPMS (Ver Tabela 4.3)

Embora tenham sido realizadas amostragens nos meses de julho, agosto, setembro e outubro de 2010, os resultados das análises físico-químicas referentes a essas amostras não foram considerados, uma vez que as mesmas não foram filtradas antes da acidificação, para análises de metais.

A Figura 4.4 mostra as alíquotas de amostras separadas por tipo de análise, durante umas das coletas mensais.



Figura 4-4 – Amostras de água coletadas durante um evento de amostragem, com os frascos de coleta devidamente preparados e etiquetados por tipos de análises

4.3 Análise laboratorial das amostras de solo e de água subterrânea

4.3.1 Solo

Após definidos os tipos de solo existentes na área do CNPMS, baseados nas cores existentes na Carta de Cores de Munsell, como mencionado no item 4.2.1 deste capítulo, sessenta (60) amostras, ou seja, aproximadamente o dobro de tipos de solo definidos, foram encaminhadas a um laboratório especializado para a realização de análises químicas.

Inicialmente planejou-se analisar, em triplicata, todos os tipos de solo discriminados na área estudada. Porém, devido às limitações financeiras tal procedimento não pode ser realizado. No entanto, todas as classes de geomateriais foram analisadas, ainda que representadas por apenas uma amostra.

Nas análises químicas das amostras de solo foram realizadas determinações totais dos seguintes elementos: alumínio - Al, Silício - Si, ferro - Fe, cálcio - Ca, magnésio - Mg, Potássio - K, Titânio - Ti, Fósforo - P, sódio - Na, Zircônio - Zr, manganês - Mn, Cobre - Cu e Zinco - Zn. O método de análise utilizado, após uma digestão multiácida das amostras, foi a Espectrometria de Emissão Ótica por Plasma Indutivamente Acoplado (*Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry* - ICP-OES), conforme recomendado por Jeffery e Hutchison (1981).

Posteriormente, 17 (dezesete) amostras (cerca da metade dos tipos de solo definidos na área do CNPMS) foram encaminhadas ao laboratório de análises de solos da EMBRAPA - Instrumentação Agropecuária, situado na cidade de São Carlos-SP, para serem submetidas a análises de difratometria de Raios-X e determinação da mineralogia nelas existente.

A difratometria de Raios-X, realizada em amostra total, passada na peneira de 0,2 mm, ou seja, granulometrias argila e areia, foi feita em um difratômetro Shimadzu, modelo XRD-6000, de 30 kV e 30 mA, com radiação $CuK\alpha$ de 0,154 nm e varredura 2θ variando de 3 e 60°, com uma taxa de incremento de 0,02° num tempo de 3s.

4.3.2 Água Subterrânea

No que se refere às análises das amostras de água subterrânea, realizadas no laboratório central da COPASA, foi determinado um amplo espectro de componentes, típicos de uma série padrão de determinações físico-químicas.

A Tabela 4.4 apresenta os diversos parâmetros analisados, bem como os métodos de análise utilizados e seus respectivos limites de detecção.

Tabela 4-4 - Relação dos parâmetros analisados nas amostras de água subterrânea e dos respectivos métodos de análises utilizados

Parâmetro	Unidade	Limite de Detecção	Método de Análise	Código do Método
Alcalinidade Total	mg/L de CaCO ₃	1,00	TIT PELO H ₂ SO ₄ 0,02N	SM - 2320 B
Alcalinidade bicarbonato	mg/L de CaCO ₃	1,00	TIT PELO H ₂ SO ₄ 0,02N	SM - 2320 B
Alcalinidade carbonato	mg/L de CaCO ₃	1,00	TIT PELO H ₂ SO ₄ 0,02N	SM - 2320 B
Alcalinidade Hidróxido	mg/L de CaCO ₃	1,00	TIT PELO H ₂ SO ₄ 0,02N	SM - 2320 B
alumínio	mg/L	0,0742	Absorção Atômica	SM – 3111B
Bário	mg/L	0,0070	Absorção Atômica	SM – 3111B
Cobre	mg/L	0,0066	Absorção Atômica	SM – 3111B
Cromo Total	mg/L	0,0183	Absorção Atômica	SM – 3111B
ferro Total	mg/L	0.0390	Absorção Atômica	SM – 3111B
manganês Total	mg/L	0,020	Absorção Atômica	SM – 3111B
Arsênio	mg/L	0,003	Abs. Atôm. c/ Gerador Hidretos	SM – 3114 C
Selênio	mg/L	0,0003	Abs. Atôm. c/ Gerador Hidretos	SM – 3114 C
Cádmio	mg/L	0,001	Absorção Atômica	SM – 3120 B
cálcio	mg/L	0,1906	Espectometria ICP	SM – 3120 B
magnésio	mg/L	0,0080	Espectometria ICP	SM – 3120 B
Potássio	mg/L	0,2520	Espectometria ICP	SM – 3120 B
sódio	mg/L	1,4600	Espectometria ICP	SM – 3120 B
Zinco	mg/L	0,0130	Espectometria ICP	SM – 3120 B
cloretos	mg/L	0,5	Titulométrico pelo HgNO ₃	SM – 4500 Cl C
Condutividade Elétrica (CE)	µS/cm	0,10	Eletrométrico	SM - 2510 B
Cor	UH	2,5	Colorimétrico - Manancial	SM - 2120 B
Dureza Total	mg/L de CaCO ₃	2,00	Titulométrico pelo EDTA	SM - 2340 C
Merúrio	mg/L	0,0002	Abs. Atôm. c/ Gerador Hidretos	SM - 3112 B
nitrato	mg/L de N	0,0660	UVCARY	SM - 4500-NO3- B
Nitrito	mg/L de N	0,0310	Colorimétrico	SM - 4500-NO2- B
Sílica	mg/L de SiO ₂	0,0580	COLORCARY	SM 4500-SiO2 C
Sulfatos	mg/L	0,35	TURBHACH	SM - 4500-SO4 E
Turbidez	UT	0,01	Turbidimétrico	SM - 2130 B
Nitrogênio Orgânico	mg/L de N	0,20	Titulométrico	SM - 4500-N B
Nitrogênio Total	mg/L de N	0,050	Titulométrico H ₂ SO ₄	SM - 4500-N B
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	mg/L	2,0	Gravimétrico	SM - 2540 D
Fósforo Total	mg/L	0,010	COLORIHACH	SM - 4500-P E
Acidez livre	mg/L de CO ₂	1,00	Titulométrico	POP - 6.029
Cobalto	mg/L	0,0010	Espectometria ICP	POP - 6.048
Dureza cálcio	mg/L de CaCO ₃	1,00	Titulométrico pelo EDTA	POP - 6.036
Fluoretos	mg/L	0,086	Eletrodo Íon seletivo	POP - 6.041
pH	-	Incerteza=0,05	Eletrométrico	POP - 6.028
Nitrogênio Amoniacal	mg/L de N	0,011	Colorimétrico	POP - 7.006

[SM] = Metodologia descrita no *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater* (APHA/ AWWA/WEF, 2005); [POP] = Metodologia descrita no Procedimento Operacional Padrão validado pela Divisão de Qualidade de Água (DVQA) da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA, 1997).

4.4 Elaboração de uma base de dados sobre a localização dos pontos estudados e os respectivos resultados de análise química da água subterrânea e de solo

Para uma melhor visualização e posterior tratamento dos dados obtidos, foram elaboradas tabelas/planilhas no software Excel®, com a localização e altitudes absolutas dos pontos amostrados e os respectivos resultados de análises de água subterrânea e de solos dos pontos amostrados.

Cabe destacar que as coordenadas e altitudes absolutas desses pontos foram obtidas a partir de um levantamento planialtimétrico, realizado entre os meses de setembro e outubro de 2010, pela “Mirante Topografia”, empresa contratada pela COPASA. Esses levantamentos foram executados com “Estação Total”, equipamento topográfico de extrema precisão, partindo sempre de uma origem pré-definida, como os pontos de referência de nível existentes dentro da área do CNPMS, e, algumas vezes, com auxílio de equipamentos como o GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*).

4.5 Avaliação de consistência e determinação do Erro do Balanço Iônico nos resultados de análises de água subterrânea

Antes de se calcular o erro do balanço iônico existente nos resultados das análises de cada amostra de água subterrânea, fez-se necessário realizar uma avaliação de consistência desses resultados, visto que, em uma análise expedita, foram identificados alguns valores destoantes dos demais, que foram provavelmente decorrentes de erros ocorridos nas etapas de análise laboratorial, digitação e/ou amostragem.

A avaliação de consistência correspondeu à exclusão de alguns valores aberrantes (digitados erroneamente) e à substituição dos resultados de análises de “Ca” e “Mg” (que se mostravam inconsistentes) pelos valores desses parâmetros, calculados a partir dos resultados de dureza de cálcio e dureza total (dureza Ca + dureza Mg), como sugere Baird (2002).

Verificou-se que o cálculo dos resultados dos parâmetros “Ca” e “Mg”, a partir da dureza de cálcio e total, reduziu, de maneira geral, os erros encontrados nos cálculos do balanço iônico.

Em seguida, determinou-se o Erro do Balanço Iônico (ou Eletroneutralidade – E.N.) das análises, para os íons principais, por meio da seguinte equação (4.1) (APPELO e POSTMA, 2005):

$$E.N. (\%) = \left(\frac{\sum |cátions| - \sum |ânions|}{\sum |cátions| + \sum |ânions|} \right) \times 100 \quad (4.1)$$

Na qual:

E.N.(%) = Eletroneutralidade ou Erro Percentual do Balanço Iônico;

$\sum \text{cátions}$ = Somatório dos cátions principais (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , Fe^{+2} e Al^{+3}) em miliequivalente por litro;

$\sum \text{ânions}$ = Somatório dos ânions principais (HCO_3^- , SO_4^{-2} , NO_3^- , Cl^-), em miliequivalente por litro.

Entretanto, foram adotados os intervalos aceitáveis para os erros dos balanços iônicos sugeridos por Custodio e Llamas (1983), que levam em consideração os valores de Condutividade Elétrica medidos nas amostras de água, como apresentados na Tabela 4.5.

Tabela 4-5 - Erro admissível de balanço iônico a partir da condutividade elétrica.

Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	50	200	500	2000	>2000
Erro admissível (%)	30	10	8	4	4

Fonte: Custodio e Llamas (1983)

4.6 Elaboração de perfis geoquímicos, mineralógicos e de cores dos solos da área do CNPMS

Com base nas descrições das cores de cada amostra de geomaterial coletada nas quarenta e uma (41) perfurações (22 poços de monitoramento + 1 piezômetro + 18 sondagens a trado) realizadas ao longo do projeto em que este trabalho está inserido, foram descritos os respectivos perfis, levando em consideração apenas as cores dos tipos de solo mais representativos.

Em seguida, a partir dos resultados das análises químicas dos principais tipos de geomaterial, foram definidos os perfis geoquímicos de cada uma das 41 perfurações. Os tipos de solo que tiveram mais de uma amostra analisada foram representados pelos teores médios dos parâmetros analisados em cada uma delas, assumindo como premissa que geomateriais com as mesmas cores possuem teores químicos semelhantes.

Quanto aos perfis mineralógicos das 41 perfurações (poços/sondagens), os mesmos foram produzidos com base na mineralogia determinada a partir de interpretações realizadas sobre os difratogramas de Raios-X. Em complementação, foram utilizadas informações obtidas nos trabalhos anteriormente desenvolvidos na área do CNPMS, como os de Sans (1973 e 1986); Galvão e Schulze (1996) e Viana (2005).

De acordo com esses autores, os principais minerais presentes nos solos do CNPMS são os seguintes: illita (ou muscovita), Vermiculita, caulinita, quartzo, hematita, goethita, gibbissita e Anatásio. Com base nos resultados das análises químicas assumiu-se, para fins de modelagem, que os solos da área da Fazenda Experimental da EMBRAPA são constituídos, também, pelos seguintes óxidos: MnO, ZnO, ZrO₂, Cu₂O, Na₂O e por calcita (CaCO₃).

4.7 Análise multivariada de aglomerados dos resultados das análises químicas de água e solo (Cluster Analysis)

Neste trabalho, devido ao grande número de dados de análises químicas de água subterrânea, a técnica de agrupamento hierárquico foi utilizada para determinar se as amostras analisadas poderiam ser agrupadas em diferentes grupos (com componentes semelhantes) que fossem representativos no contexto hidrogeoquímico da área estudada.

No caso dos geomateriais, a mesma técnica foi utilizada nos resultados de análise química dos mesmos, com o intuito de avaliar se a premissa assumida inicialmente neste trabalho, ou seja, *que geomateriais com as mesmas cores possuem teores químicos semelhantes*, constitui uma regra para a área do CNPMS.

Para a realização das análises de aglomerados (*cluster*), utilizou-se a ferramenta de *Analysis Cluster*, disponível no *software Statistica*, versão 6.1 (2003). Como medida de separação entre os indivíduos utilizou-se a Distância Euclideana, que é definida como *a raiz quadrada da soma dos p quadrados das diferenças entre os valores observados nas p variáveis para os indivíduos correspondentes*. A distância é nula quando os indivíduos apresentam exatamente os mesmos valores nas p variáveis, e positiva, quando diferem ao menos em um valor. O método de técnica hierárquica que apresentou os grupos com melhor visualização foi o *Complete Linkage*.

Buscando dar uma maior credibilidade aos resultados (grupos) obtidos com a metodologia adotada para a realização da análise *cluster*, mencionada anteriormente, foram testados

também os métodos *Single Linkage* e *Ward*, além da utilização da *Distância Euclideana ao Quadrado*. Verificou-se que todos eles apresentaram os mesmos grupos encontrados com a adoção da *Distância Euclideana* e o do método *Complete Linkage*.

Para as águas subterrâneas, foi feita a análise de *cluster* sobre os dados dos seguintes parâmetros: Mediana pH Laboratório (pHLab), Mediana Condutividade Elétrica Laboratório (CondLab), Mediana Alcalinidade Total Laboratório (AlcTotLab), Mediana Dureza Total Laboratório (DurTotLab) e Mediana Sílica (SiO₂). Tais parâmetros foram escolhidos em função da quantidade e confiabilidade dos dados disponíveis, além dos mesmos expressarem as possíveis alterações do ambiente percolado pela água subterrânea e o tempo de percolação.

Vale salientar também que, para a aplicação da análise multivariada de aglomerados (*cluster*) nas amostras de água subterrânea, não se levou em consideração os resultados dos erros de balanço iônico, sendo utilizadas todas as amostras coletadas entre os meses de novembro de 2010 a outubro de 2011. Entretanto, essa análise foi feita com base nas medianas dos valores obtidos para todos os parâmetros, com o propósito de diluir os erros existentes e atenuar a influência dos *outliers*. A mediana foi a medida central escolhida, tendo em vista que os parâmetros utilizados seguem, aproximadamente, uma função Lognormal, à exceção do pH, que tende a se ajustar a uma função Normal, visto que se trata de um valor logaritmo.

O procedimento descrito anteriormente vem de encontro com a consideração feita por Hem (1985), que assume que é fácil agrupar as águas que têm concentrações de sólidos dissolvidos situadas em intervalo determinado. No entanto, o mesmo autor destaca que as informações relativas aos sólidos dissolvidos deverão ser acompanhadas pelas informações dos tipos de íons presentes.

Posteriormente, para se eliminar o efeito de escala e unidades, a padronização dos dados processados foi realizada com a conversão dos valores medidos para escores-padrão (*Z score*), como sugerido por Güler (2002) e Mingoti (2005).

No que diz respeito à análise de *cluster* dos resultados das análises químicas das amostras de solo, as variáveis adotadas foram: Ca, Cu, Fe, P, Mg, Mn, K, Na, Ti, Zn, Zr, Al e Si. Neste caso, os dados foram padronizados para uma mesma unidade (ppm ou mg/kg), mas não foram convertidos para escores padrões (*Z score*). O método utilizado foi o *Complete Linkage* e a *Distância Euclideana ao Quadrado*.

4.8 Análise estatística descritiva dos dados de água subterrânea e do solo

Os dados obtidos das análises físico-químicas de água foram também submetidos a um tratamento estatístico descritivo (destacando a mediana, os 1º e 3º quartis, os máximos, mínimos e a representação dos *outliers* e dos pontos extremos) por meio da ferramenta “Estatística Básica” disponível no *software Statistica 6.1* (2003), visando determinar os parâmetros básicos de posição e de variabilidade para os grupos principais obtidos na análise de *cluster*.

4.9 Caracterização hidroquímica da água subterrânea a partir do software Aquachem e de diagramas de estabilidade de Aluminossilicatos

Os resultados das análises de água subterrânea (com erros de balanço iônico considerados aceitáveis ou não) de cada um dos grupos de aglomerados, definidos na análise de *cluster*, foram exportados para o *software AquaChem®* (1997), para a elaboração de diagramas e gráficos específicos.

Neste *software*, as amostras de água foram representadas em diagramas de Piper e de Stiff, o que possibilitou a classificação do tipo de água encontrado nos pontos monitorados, levando em consideração os principais cátions e ânions.

Em complementação, foram elaborados, no Excel®, diagramas de estabilidade dos aluminossilicatos para cada um dos grupos de *cluster*.

4.10 Obtenção dos Índices de Saturação dos minerais existentes nos aquíferos estudados

A partir dos resultados das análises químicas de água e das informações existentes sobre a mineralogia constituinte dos solos/rochas da região estudada, foram calculados, por meio do aplicativo PHREEQC (PARKHURST e APPELO, 1999), os estados (índices) de saturação dos minerais existentes nas unidades hidrogeológicas do CNPMS, em equilíbrio com a água subterrânea.

4.11 Especulação sobre as reações e processos atuantes nas unidades hidrogeológicas existentes em cada grupo da análise de cluster

Acoplado-se os resultados das análises físico-químicas da água subterrânea aos resultados do modelo dos fluxos da água subterrânea elaborado por Machado (2011), que utilizou o programa Visual MODFLOW® (1996), postulou-se as reações e processos atuantes nas unidades hidrogeológicas existentes no CNPMS.

4.12 Produção de mapas para visualizar os pontos amostrados e facilitar a análise dos resultados

Os dados de localização dos pontos amostrados e de alguns dos respectivos resultados foram exportados para o software Arcview-versão 10.0 (2010), para que pudessem ser visualizados espacialmente e com temas sobrepostos. Dessa forma, criou-se uma base de dados geográficos com as informações do cadastro dos pontos de água e solo, visando facilitar a análise dos resultados.

Tendo em vista os dados obtidos nas etapas anteriores, foram realizados os processamentos dos resultados e suas respectivas interpretações, permitindo a elaboração de um modelo hidrogeoquímico conceitual para os aquíferos existentes na área do CNPMS, o qual embasou as discussões e conclusões apresentadas ao fim do trabalho.

Na etapa de análise dos dados, procurou-se estabelecer a correlação das características hidroquímicas de cada grupo investigado com a sua localização nos aquíferos (zona de recarga, transição ou descarga), além da correlação com as caracterizações química e mineralógica dos solos locais, obtidas a partir das análises dos perfis de cor, química e mineralogia dos solos de cada um dos poços de monitoramento e sondagens a trado.

4.13 Proposição do modelo hidrogeoquímico conceitual

Utilizando os dados obtidos nas etapas anteriores, foram realizadas as representações gráficas, os processamentos dos resultados e suas interpretações consequentes, que deram origem a um modelo hidrogeoquímico conceitual para os aquíferos existentes na área do CNPMS e às discussões e conclusões apresentadas ao fim do trabalho.

5 REFERENCIAL TEÓRICO

Um estudo hidrogeoquímico, como o proposto no presente trabalho, tem por finalidade identificar e quantificar as principais propriedades e constituintes químicos das águas subterrâneas, procurando estabelecer uma relação com o meio físico. O conhecimento dessas propriedades é muito importante para o estudo de suas funções na natureza e também para o seu aproveitamento pelo homem. Há várias décadas, reconhece-se que a qualidade das águas subterrâneas é tão importante quanto a sua quantidade (SANTOS, 2008). A seguir, será realizada uma revisão dos principais conceitos relevantes à presente pesquisa, que nortearam a realização do trabalho.

5.1 *Hidrogeoquímica*

A geoquímica das águas subterrâneas, também denominada hidrogeoquímica, é uma ciência que relaciona a composição química da água aos processos e reações no ambiente de subsuperfície. O enfoque principal da hidrogeoquímica é a compreensão da origem e evolução química dos constituintes presentes na água, em decorrência dos processos físico-químico-biogeoquímicos que acontecem durante o fluxo da água subterrânea nos aquíferos, desde a zona de recarga até os exutórios naturais. Em geral, a composição da água subterrânea é função do solo/rocha, através da qual ela percola, e da interação entre água, minerais, gases e microorganismos (MESTRINHO, 2008).

Segundo Duque (2005), na análise hidrogeoquímica devem ser estudadas quais são as fontes mineralógicas que proporcionam os cátions e ânions para as soluções aquosas, a partir dos fenômenos de alteração química das rochas.

A água da chuva é a fonte da maioria das águas subterrâneas e um ponto de partida para o estudo da hidrogeoquímica. No solo, parte do volume precipitado se infiltra em subsuperfície, promovendo a re-hidratação dos solos e recarga das reservas freáticas. Em geral, o reabastecimento das reservas subterrâneas depende do regime de precipitações, do deflúvio de água superficial e da permeabilidade da zona não saturada (APPELO e POSTMA 2005). Salienta-se que é a água de superfície que se infiltra em profundidade. Entretanto, o tempo de percolação da água no subsolo pode variar de dezenas a milhares de anos.

Segundo Custodio e Llamas (1983), as zonas hídricas em subsuperfície são classificadas com base nos seus atributos hidrológicos e nas condições de recarga e descarga, em zona não

saturada (ZNS) e zona saturada (ZS). As características de porosidade, permeabilidade e espessura das zonas em subsuperfície determinam a comunicação com o ambiente superficial e transporte de substâncias dissolvidas. Esses fatores influenciam a natureza das reações químicas e a qualidade da água.

De acordo com Domenico e Schwartz (1990), o grau de conexão com a superfície influencia os processos hidrobiogeoquímicos nos diferentes ambientes. Nos sistemas de fluxo local, a infiltração da água meteórica com oxigênio dissolvido conduz a uma condição aeróbica em subsuperfície, principalmente quando a permeabilidade hidráulica do sistema permite uma circulação rápida da água. Nos sistemas de fluxo intermediário e regional, condições anaeróbicas são mais frequentes, embora, em geral, o nível de oxigênio dissolvido (OD) nas águas subterrâneas seja baixo.

Para Mestrinho (2006), os principais processos naturais que ocorrem nas zonas saturadas e não saturadas do subsolo e que determinam o tipo e a quantidade de constituintes presentes na água são a dissolução de gases, reação ácido-base, sorção e troca iônica, dissolução/precipitação de minerais, oxidação-redução e os processos biológicos ou reações de biotransformação. A compreensão desses processos, combinados às condições hidrogeológicas e climáticas do meio, permite uma melhor interpretação da interação água/rocha e da qualidade da água para determinado uso. Adicionalmente, à parte dos fatores naturais, os efeitos da poluição, também, devem ser considerados.

Zhu e Anderson (2002) chamam atenção para a variabilidade de situações que podem ocorrer num aquífero, alterando a sua porosidade ou densidade e, como consequência, o comportamento do fluxo subterrâneo. Dentre os principais fatores que podem levar à essa variabilidade, estes autores citam a mudança climática, a compactação mecânica, o transporte de calor e as reações químicas. Diante disso, os mesmos autores ressaltam que os estudos geoquímicos mostram, então, a necessidade de se conhecer o sistema como um todo e não apenas parte dele.

Diversos fatores podem influenciar nas características das águas subterrâneas. Em princípio, a água subterrânea tende a aumentar as concentrações de substâncias dissolvidas à medida que percola os diferentes aquíferos. No entanto, muitos outros fatores, tais como clima, composição da água de recarga, tempo de contato água/meio físico, entre outros, podem interferir na qualidade dessas águas (SANTOS, 2008).

As substâncias dissolvidas podem estar sob a forma molecular ou iônica, porém, nas águas subterrâneas, esta última é a predominante. Ao lixiviar os solos e as rochas, a água enriquece-se em sais minerais em solução, provenientes da dissolução dos minerais. Essas reações são favorecidas pelas baixas velocidades de circulação das águas subterrâneas e pela sua facilidade de dissolver CO_2 ao percolar o solo não saturado (SANTOS, *op cit.*).

Íons, tais como Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} e K^+ , estão ligados fracamente à estrutura silicatada dos minerais dos solos e das rochas, de forma que são facilmente incorporados na composição química da água. Esse processo de diluição é influenciado pelo pH (quanto mais ácido for o ambiente, mais rápida será sua diluição), pela temperatura e pelo grau de saturação de cada elemento. Os produtos dessa dissolução podem reagir entre si, formando compostos insolúveis, principalmente argilas, que ficam na água em estado coloidal, tendendo a fixar de forma irreversível o íon potássio, o que explica os baixos teores de K^+ encontrados nas águas subterrâneas, em geral.

Sedimentos granulares resistentes são formados por materiais que não se dissolveram durante os processos que lhe deram origem. Tratam-se, portanto, de materiais de baixíssima solubilidade, como o quartzo, zircão, etc., e/ou materiais menos solúveis, onde o processo de hidrólise não se completou, como no caso de alguns silicatos resistentes ou algumas micas.

Sedimentos geoquímicos formados por precipitação, representados principalmente por calcários e dolomitas, são rochas muito solúveis em presença de água com elevado teor de CO_2 , e produzem, devido a sua composição, os íons HCO_3^- , Mg^{2+} e Ca^{2+} .

5.1.1 Propriedades Físico-Químicas

A seguir serão descritas as principais propriedades físico-químicas da água, baseadas nas descrições de Santos (2008). Essas propriedades são importantes na definição do comportamento e condições das águas subterrâneas, permitindo, através da sistematização e análise dos dados, importantes inferências sobre seu funcionamento.

Condutividade elétrica: A condutividade elétrica (CE), também chamada de condutância específica, é uma medida indireta dos Sólidos Totais Dissolvidos (STD) de uma amostra de água, diretamente relacionada ao teor de sais dissolvidos sob a forma de íons, que permite à água conduzir corrente elétrica. A condutividade não representa uma medida qualitativa específica de um determinado comportamento químico, pois depende de todos os íons

presentes na solução. As soluções contendo os íons inorgânicos, tais como os ânions Cl^- , SO_4^{2-} e NO_3^- e os cátions Ca^{2+} , Na^+ e Cu^{2+} , são boas condutoras de corrente elétrica; já as “soluções orgânicas”, tais como as que contêm fenóis, alcoóis e óleos, são más condutoras de eletricidade.

A condutância específica é definida como o inverso da resistência elétrica específica de um eletrólito, em unidade de Siemens por centímetro (S/cm), a uma temperatura padrão de 25°C, sendo normalmente utilizados seus submúltiplos $\mu\text{S}/\text{cm} = 10^{-6}\text{S}/\text{cm}$ e $\text{mS}/\text{cm} = 10^{-3}\text{S}/\text{cm}$.

Dureza: É definida como o poder de consumo de sabão por determinada área ou a capacidade da água neutralizar o sabão, pelo efeito do cálcio, magnésio ou outros elementos, como Fe, Mn, Cu, Ba etc. Em geral, usa-se o teor de cálcio e magnésio de uma água, expresso em teores de carbonato de cálcio, para definir a dureza que pode ser expressa como dureza temporária, dureza permanente e dureza total. A dureza total de uma solução é dada pela equação seguinte:

$$\text{Dureza} = 100 (\text{Mg}/24 + \text{Ca}/40) \quad (5.1)$$

Na qual:

Dureza = concentração em ppm de CaCO_3 ;

Mg = concentração de magnésio em ppm; e

Ca = concentração de cálcio em ppm

pH: É definido como a medida da concentração hidrogeniônica da água, ou solução, sendo controlado pelas reações químicas e pelo equilíbrio entre os íons presentes, e calculado por meio da seguinte equação:

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] \quad (5.2)$$

Na qual:

$[\text{H}^+]$ = concentração de H^+ em mol/L.

O pH é essencialmente uma função do gás carbônico dissolvido e da alcalinidade da água. Varia de 1 a 14, sendo neutro com o valor 7, ácido com valores inferiores a 7, e alcalino ou básico com valores superiores a 7.

A maioria das águas naturais tem seu pH controlado pelo sistema carbonato, quando o CO₂ atmosférico entra em contato com a água e se dissolve até atingir o equilíbrio. O ácido carbônico (H₂CO₃), os íons bicarbonato (HCO₃⁻) e carbonato (CO₃²⁻) são espécies envolvidas no equilíbrio do sistema carbonato e suas relações são dependentes da variação da solução. A reação de dissolução do dióxido de carbono na água é a mais importante no estabelecimento do pH e é representada em três fases, como mostram as equações a seguir:



Como destacam Appelo e Postma (2005), as duas últimas reações produzem H⁺, logo as concentrações das espécies carbonáticas dependem do pH da solução. Em sua maioria, as águas subterrâneas apresentam um valor de pH compreendido entre 5,5 e 8,5, intervalo em que o íon bicarbonato (HCO₃⁻) é predominante.

O pH determinado em laboratório apresenta, em geral, valores mais altos do que a realidade, devido às fugas de gases, oxidações e/ou reduções e variações de temperatura, a que estão sujeitas as amostras de água durante a sua coleta, armazenamento e transporte.

Alcalinidade: É definida como o equilíbrio carbonático, ou simplesmente como a capacidade de uma determinada água neutralizar ácidos. Em outras palavras, é a quantidade de substâncias presentes na água e que atuam como tampão. É uma consequência direta da presença e/ou da ausência de carbonatos e bicarbonatos, sendo geralmente expressa em graus franceses (°F) ou em mg/L de CaCO₃.

De acordo com Sperling (2005), a alcalinidade é dada por:

$$\text{Alcalinidade (mg/L)} = 100 \times \{[(\text{HCO}_3^-)/(61 \times 2)] + [(\text{CO}_3^{2-})/60] + [(\text{OH}^-)/(2 \times 17)]\} \quad (5.6)$$

Na qual:

[HCO₃⁻] = concentração de íons bicarbonato em mg/L;

[CO₃²⁻] = concentração de íons carbonato em mg/L; e

[OH⁻] = concentração de íons hidroxila em mg/L.

Em águas subterrâneas a alcalinidade é devida, principalmente, aos carbonatos e bicarbonatos e, secundariamente, aos íons hidróxidos, silicatos, boratos, fosfatos e amônia. A alcalinidade total corresponde à soma da alcalinidade produzida por todos esses íons presentes numa solução.

Águas que percolam rochas calcárias, constituídas por calcita (CaCO₃), geralmente possuem alcalinidade elevada. Granitos e gnaisses possuem poucos minerais que contribuem para a alcalinidade das águas subterrâneas. A alcalinidade total de uma água é expressa em mg/L de CaCO₃ (miligramas, por litro, de carbonato de cálcio).

5.1.2 Constituintes iônicos principais

Nas águas subterrâneas, a grande maioria das substâncias dissolvidas encontra-se no estado iônico. Alguns desses constituintes iônicos estão presentes em quase todas as águas subterrâneas e a sua soma representa a quase totalidade dos íons presentes. A breve descrição das principais características desses íons é feita a seguir, baseada fundamentalmente em Custodio e Llamas (1983) e Santos (2008).

Cátions

Sódio (Na⁺): o sódio é um dos metais alcalinos mais importantes e abundantes nas águas subterrâneas. Sua presença se deve principalmente à ampla distribuição nos minerais fontes; baixa estabilidade química dos minerais que o contém; solubilidade elevada e difícil precipitação da maioria dos seus compostos químicos em solução.

Ocorre principalmente sob a forma de cloretos, nas águas subterrâneas, e seus minerais-fontes em rochas ígneas são essencialmente os feldspatos plagioclásios, feldspatóides (Nefelina e Sodalita), anfibólios e piroxênios. Do ponto de vista catiônico, o sódio é o principal responsável pelo aumento constante da salinidade das águas naturais. Há, em geral, um aumento gradativo dos teores de sódio das águas subterrâneas a partir da zona de recarga do aquífero em direção às suas porções mais confinadas ou dos seus exutórios. A concentração do sódio varia, em geral, entre 0,1 e 100 mg/L nas águas subterrâneas.

Potássio (K^+): O potássio pertence ao mesmo grupo de metais alcalinos do sódio, mas nem por isso seu comportamento no processo de solubilidade é parecido. Ele ocorre em pequenas quantidades nas águas subterrâneas e, geralmente, suas concentrações são da ordem de um décimo da quantidade de sódio. Esse baixo valor é explicado pela fixação irreversível que o íon sofre pelas argilas, as quais ficam na água em estado coloidal, e por sua participação intensa nos processos de troca iônica.

O potássio é oriundo da decomposição do ortoclásio e de outros silicatos (micas, argilas etc), da dissolução de sais potássicos naturais (Silvinita, Carnalita), de pequenas quantidades nas águas de chuva, ou ainda da contaminação industrial, mineira e agrícola (CUSTODIO e LLAMAS, 1983).

Nas águas meteóricas os teores de potássio estão geralmente no intervalo de 0,1 a 4 mg/L, enquanto que nas águas subterrâneas são inferiores a 10 mg/L, sendo mais frequentes os valores entre 1 e 5 mg/L (SANTOS, 2008).

Cálcio (Ca^{2+}): o cálcio é o elemento mais abundante existente na maioria das águas e rochas do planeta Terra. Os sais de cálcio possuem moderada a elevada solubilidade, sendo muito comum precipitar como carbonato de cálcio ($CaCO_3$). É um dos principais constituintes da água e o principal responsável pela dureza. Apresenta-se, em geral, sob a forma de bicarbonato e raramente como carbonato.

A dissolução de calcários, dolomitas, gesso e anidrita, bem como o ataque de feldspatos e outros silicatos cálcicos, e a concentração de água de chuva são os principais responsáveis pela presença do cálcio (Ca^{2+}) nas águas subterrâneas, de acordo com Custodio e Llamas (*op cit.*).

As ocorrências de bicarbonatos, sulfatos e cloretos influenciam fortemente as concentrações de cálcio nas águas. A solubilidade do bicarbonato de cálcio ($CaCO_3$) aumenta em presença de sais de Na^+ e K^+ . Nas águas meteóricas, os teores de cálcio variam no intervalo 0,1 a 10 mg/L e, nas águas subterrâneas, em geral, entre 10 e 100 mg/L (modificado de SANTOS, 2008).

Magnésio (Mg^{2+}): O magnésio se dissolve mais lentamente que o cálcio, porém é mais solúvel e tende a permanecer em solução, quando o cálcio já se precipitou, e é também

afetado pela troca iônica (CUSTODIO e LLAMAS, 1983). Quando em solução, tem a tendência de nela permanecer, daí o enriquecimento dos seus sais nas águas dos oceanos. Os minerais-fontes de magnésio mais frequentes são: Magnesita, Biotita, Granada, Hornblenda, Clorita, Alanita e Olivina. O magnésio ocorre principalmente em rochas carbonatadas. Juntamente com o cálcio é o responsável pela dureza e produz gosto salobro nas águas. Ocorre sob a forma geral de bicarbonato.

As águas meteóricas apresentam teores de magnésio entre 0,4 e 1,6 mg/L, e as águas subterrâneas apresentam teores mais frequentes de magnésio, no intervalo de 1 a 40 mg/L (modificado de SANTOS, 2008).

Ferro (Fe): O ferro pode estar presente com baixos teores (<0,3 mg/L) em quase todas as águas. Ocorre principalmente sob a forma Fe^{2+} (hidróxido ferroso), e é instável na presença do oxigênio do ar, mudando para o estado férrico (Fe^{3+}), que é insolúvel e se precipita, tingindo fortemente a água.

As concentrações de ferro variam entre 0 e 10 ppm, não ultrapassando 0,5 ppm em águas aeradas. Com o pH entre 5 e 8, raras vezes chega a 50 ppm. Em águas muito ácidas pode chegar a 100 ppm, ocorrendo o oposto nas águas com altos valores de pH. Nas rochas cristalinas, ígneas e metamórficas, o ferro (Fe) ocorre em olivinas, piroxênios, anfibólios, granadas, micas, piritas, magnetitas e hematitas (TUBBS, 1994).

Ânions

Cloreto (Cl): está presente em todas as águas naturais, com valores situados entre 10 e 250 mg/L nas águas doces. O cloreto, em geral, é muito solúvel e muito estável em solução, logo, dificilmente precipita. Não oxida e nem se reduz em águas naturais. As rochas ígneas são pobres em cloretos. A alta solubilidade desses componentes químicos e o lento movimento das águas no aquífero vão provocando aumentos gradativos e constantes dos teores de cloretos nas águas subterrâneas, na direção do fluxo.

As águas subterrâneas apresentam geralmente teores de cloretos inferiores a 100 mg/L. Já nas águas dos mares, são abundantes, com valores entre 18.000 e 21.000 mg/L, podendo chegar a 220.000 mg/L nas salmouras naturais (saturação). O cloreto é um bom indicador de poluição para aterros sanitários e lixões.

Sulfatos (SO_4^{2-}): Os sulfatos (SO_4^{2-}) são sais moderadamente solúveis ou muito solúveis, exceto os sulfatos de estrôncio (SrSO_4) e os de bário (BaSO_4). Em água doce, o sulfato de cálcio (CaSO_4) satura a 1.500 mg/L e pode chegar até 7.200 mg/L em águas salinas. Em meio redutor, com muita matéria orgânica, pode sofrer uma redução bacteriana a S ou S^{2-} . Porém, em geral, é estável (SANTOS, 2008).

Os íons sulfato, presentes nas águas que percolam as rochas, têm sua origem ligada à lixiviação de terrenos formados em ambientes com índices de acidez elevados; à oxidação de enxofre presente nas rochas sedimentares e metamórficas; e, ainda, às atividades urbanas, industriais e agrícolas (Modificado de CUSTODIO e LLAMAS, 1983).

As águas subterrâneas apresentam, geralmente, teores de sulfatos inferiores a 100 mg/L, principalmente na forma de SO_4^{2-} e HSO_4^- . Segundo Hem (1985), esse último predomina nas águas muito ácidas, com $\text{pH} < 2$, devido à dissociação incompleta do ácido sulfúrico.

Bicarbonatos (HCO_3^-) e carbonatos (CO_3^{2-}): Sua ocorrência em aquíferos está relacionada à dissolução de CO_2 atmosférico, ou do solo, e à hidrólise de silicatos, em presença do CO_2 (Modificado de CUSTODIO e LLAMAS, *op cit.*).

O bicarbonato (HCO_3^-) não se oxida nem se reduz em águas naturais, porém pode precipitar com muita facilidade como bicarbonato de cálcio (CaCO_3). A quantidade relativa de íons carbonato (CO_3^{2-}) é função do pH e do conteúdo de gás carbônico. Em águas naturais doces, a quantidade de carbonato será muito baixa em comparação com a de bicarbonato. Se o pH for maior do que 8,3 pode haver quantidades expressivas (CUSTODIO E LLAMAS, *op cit.*), mas seu teor só excederá o bicarbonato em condições de pH maior ou igual a 10.

Nitratos (NO_3^-): ocorre em geral com pequeno teor. É muito móvel e pode ser removido das camadas superiores do solo para a água (BOWER, 1978 *apud* SANTOS, 2008).

O nitrato representa o estágio final da oxidação da matéria orgânica, e teores acima de 5 mg/L podem ser indicativos de contaminação da água subterrânea por atividade humana (esgotos, fossas sépticas, depósitos de lixo, cemitérios, adubos nitrogenados, resíduos de animais etc). Os resíduos de produtos protéicos provenientes de esgotos, fezes etc são ricos em nitrogênio e se decompõem em nitratos na presença de oxigênio, de acordo com o ciclo do nitrogênio

(nitrogênio orgânico, amônia, nitrito e nitrato). A presença de nitrito (NO_2^-) na água subterrânea é um indicativo de poluição recente.

As águas subterrâneas apresentam geralmente teores de nitrato no intervalo de 0,1 a 10mg/L, porém em águas poluídas os teores podem chegar a 1000 mg/L. A água do mar possui em torno de 1 mg/L (modificado de SANTOS, 2008).

5.1.3 Constituintes iônicos secundários

Os constituintes iônicos secundários estão presentes na água subterrânea em concentrações abaixo de 1% em relação aos constituintes iônicos principais. Porém alguns são frequentemente encontrados, como, por exemplo, o boro, os brometos e a sílica. A seguir, são descritos os constituintes iônicos secundários mais relevantes neste trabalho, baseado na descrição de Santos (2008) e Custodio e Llamas (1983).

Alumínio (Al): O alumínio é um elemento muito difícil de estar em solução e é fortemente retido pelas argilas (CUSTODIO e LLAMAS, 1983). É encontrado, principalmente, nos aluminossilicatos tais como: feldspatos, micas, anfibólios, assim como em óxidos e hidróxidos de alumínio (exemplo: gibbsita).

Nas águas subterrâneas as fontes de alumínio mais importantes são as argilas e as espécies iônicas frequentemente encontradas, dependendo do pH das águas, são (FENZL, 1988):

- a) Al^{3+} , com $\text{pH} \leq 4,0$;
- b) Complexos polimerizados de hidróxidos de alumínio, com pH no intervalo $4,5 \leq \text{pH} \leq 6,5$. Nessa faixa de pH a presença de ácido silícico acelera os processos de polimerização; e
- c) $\text{Al}(\text{OH})_4^-$, com $\text{pH} > 7$.

Sílica (SiO_2): o silício, embora seja o elemento mais largamente encontrado nas rochas, não ocorre em quantidades significativas nas águas subterrâneas. Aparece frequentemente sob a forma de partículas coloidais (SiO_4H_4), devido, principalmente, à sua alta estabilidade química, na maioria dos minerais, além da baixa solubilidade dos compostos que forma no intemperismo das rochas. A combinação do oxigênio com o silício forma o óxido chamado sílica (SiO_2). O intemperismo de minerais de argila e os feldspatos constituem as principais

fontes de sílica para as águas subterrâneas. Outra importante fonte de liberação do silício é o quartzo (SiO_2), que é um dos mais resistentes minerais ao ataque físico-químico. Teores de 20 mg/L, nas águas subterrâneas, não são raros. Nas águas bicarbonatadas sódicas, os teores de sílica podem chegar a 100 mg/L.

5.2 Modelagem Hidrogeoquímica

Em geral, os modelos geoquímicos podem ser divididos de acordo com seus níveis de complexidade. Modelos de solubilidade–especiação não contêm informações temporais nem espaciais. Outros modelos simulam a trajetória da reação, em sucessivos passos, em resposta ao fluxo de energia e de massa. Neste caso, uma informação de caráter temporal é incluída na reação, mas nenhuma informação espacial é adicionada. Existem ainda os modelos que incluem as informações temporais e espaciais nas reações químicas, caracterizados pelos modelos de transporte de massa reativo. Esse tipo de modelo é desejável para as aplicações ambientais, mas o seu uso é muito dispendioso e complexo (ZHU e ANDERSON, 2002).

Os cálculos de especiação e solubilidade podem responder a algumas perguntas se forem alimentados com a concentração dos constituintes para as temperaturas e pressões de interesse. Tais cálculos buscam responder perguntas tais como:

- Quais são as concentrações, as atividades iônicas e espécies moleculares em solução aquosa?
- Quais são os estados de saturação para os respectivos sistemas e, portanto, qual a direção das reações na busca pelo equilíbrio?

Os modelos de especiação-solubilidade lidam com sistemas fechados, estáticos, como os de recipientes de laboratório. No entanto, esses modelos também servem como base para os modelos de reações ao longo do fluxo e para os modelos de transporte reativo.

A modelagem hidrogeoquímica é baseada nas leis químicas e termodinâmicas, que são independentes do ambiente geológico, e, acoplada ao fluxo de água, é uma ferramenta necessária para se conhecer as características quantitativas e qualitativas dos principais processos mencionados anteriormente, que controlam a qualidade da água subterrânea. É um método que permite a representação matemática da hidrogeoquímica e requer o uso de programas de computação adequados, como o PHREEQC (PARKHURST e APPELO, 1999),

que foi desenvolvido para o cálculo da hidrogeoquímica do "mundo real" (APPELO e POSTMA 2005).

Para modelar os processos hidrogeoquímicos, exige-se uma análise detalhada e precisa da água, bem como a entrada de dados termodinâmicos e cinéticos. Dados termodinâmicos, tais como produtos de solubilidade e constantes de formação de complexos, muitas vezes são fornecidos como bases de dados dos respectivos programas (MERKEL e FRIEDRICH, 2008).

Segundo Merkel e Friedrich (2008), os modelos geoquímicos são aplicados às seguintes situações: especiação; determinação dos índices de saturação; ajuste do equilíbrio/desequilíbrio de minerais ou gases; mistura de águas diferentes; modelagem dos efeitos da temperatura; reações estequiométricas (titulação, por exemplo); reações com fases sólidas, líquidas e gasosas (em sistemas abertos e fechados); sorção (troca de cátions e complexação de superfície); modelagem inversa; reações cineticamente controladas; e transporte reativo.

O equilíbrio e a cinética das reações químicas, referentes aos componentes químicos em questão, constituem itens adicionais na modelagem hidrogeoquímica, que a tornam ainda mais complexa que outros tipos de modelagem.

Segundo Appelo e Postma (2005), é fundamental para qualquer descrição do equilíbrio na água, a lei da ação das massas, que afirma que, para uma reação do tipo generalizado:



A distribuição de equilíbrio entre as espécies no lado esquerdo e direito da reação é dada por:

$$K = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} \quad (5.8)$$

Sendo K a constante de equilíbrio, e as quantidades entre parênteses indicam as atividades ou "concentrações eficazes". A lei da ação das massas é aplicável a qualquer tipo de reação, tais como, a dissolução de minerais, a formação de complexos entre as espécies dissolvidas, a dissolução dos gases na água etc.

O produto de solubilidade é uma aplicação direta da lei de ação das massas, que, por sua vez, é válida apenas para as atividades dos íons, que são, na verdade, as concentrações totais medidas e corrigidas dos efeitos da blindagem eletrostática e da presença de complexos aquosos.

A precipitação ocorre por saturação da solução, por meio da reação com o soluto ou das mudanças de pH e Eh do meio. A espécie que estava em solução, na forma de íons livres, passa para o estado sólido após o equilíbrio químico. Os minerais também podem precipitar em solos ou aquíferos.

Uma vez que é possível calcular as atividades dos íons livres em solução, torna-se também possível calcular o estado de saturação de uma amostra de água subterrânea em relação aos minerais. Uma maneira de fazer isso é comparar o Produto de Solubilidade (K_{ps}) com o produto análogo das atividades derivadas de análises da água, geralmente denominado de Produto de Atividade dos Íons (PAI).

As condições de saturação também podem ser expressas por meio do Índice de Saturação (IS), que é a razão entre o PAI e o Produto de Solubilidade (K_{ps}), ou seja: $IS = PAI/K_{ps}$. Assim, para:

$IS = 1 \rightarrow$ há equilíbrio;

$IS > 1 \rightarrow$ indica que há supersaturação; e

$IS < 1 \rightarrow$ indica que há subsaturação.

A determinação dos índices de saturação (IS), relativos às diferentes fases minerais, permite avaliar os estados de equilíbrio termodinâmico da solução (DUQUE, 2005). Muitas vezes, entretanto, não há equilíbrio e o estado de saturação apenas indica a direção em que os processos podem passar; logo, para a subsaturação, a dissolução é esperada, sendo que a supersaturação, no entanto, sugere a precipitação (APPELO e POSTMA 2005).

Nos últimos anos, diversos autores vêm utilizando o PHREEQC para produzir modelos hidrogeoquímicos, adotando métodos como a especiação química, a determinação dos índices de saturação dos minerais, a abordagem direta e a abordagem inversa.

Os modelos de especiação e de determinação dos índices de saturação usam descrições termodinâmicas de soluções aquosas. Por sua vez, o método direto usa reações químicas, assumidas previamente, para prever composições futuras. Já o método da modelagem inversa usa as composições da água subterrânea e do conjunto mineral observados ao longo de um determinado trecho do aquífero estudado, visando inferir as reações químicas que se processam no local, bem como quantificar a transferência de massa que ocorrem no meio subterrâneo específico (modificado de ALMAGRO e CUSTÓDIO, 2004) e de SEGAR *et al.*, 1997).

5.3 Programa PHREEQC

O PHREEQC (PARKHURST e APPELO, 1999) é um programa de computador escrito na linguagem de programação C, projetado para executar uma variedade de cálculos hidrogeoquímicos de baixa temperatura, apresentando uma interface gráfica em ambiente Windows, o que facilita sua utilização. O fundamento do PHREEQC é o modelo de associações iônicas em meio aquoso que é capaz de realizar as seguintes tarefas:

- cálculo de especiação e índices de saturação;
- cálculos de transporte advectivo e de evolução geoquímica em tubos de fluxo, incluindo mesclas, reações irreversíveis, equilíbrios gasosos e minerais, trocas iônicas e reações de complexação em superfície; e
- modelagem inversa, na qual são calculadas as transferências minerais e de gases que respondem às diferenças entre as águas, considerando algumas restrições.

A seguir são descritos, resumidamente, alguns trabalhos (no Brasil e no exterior) que fizeram uso da modelagem hidrogeoquímica e utilizaram, especificamente, o programa PHREEQC.

No Brasil:

Marques *et al.* (2010) mostraram a influência da água pluvial na dissolução de componentes e no equilíbrio mineral de quatro lagos formados em cavas de mineração de areia, localizados em Sepetiba, Rio de Janeiro – Brasil. Segundo eles, as atividades de mineração de areia promovem a oxidação do sedimento, baixando o pH e aumentando o conteúdo de SO₄ na água. Além disso, a acidez relativamente elevada nessas águas aumenta a taxa de desgaste de minerais de silicato, o que produz elevadas concentrações de Al. Durante a estação seca, cátions básicos (Ca, Mg, K e Na), SiO₂ e Al apresentam valores mais elevados, devido à

evapoconcentração e ao tamponamento dos valores de pH. No início da estação chuvosa, o fator de diluição pela água da chuva aumenta o SO_4 e diminui os valores de pH. gibbisita, Alofana, Alunita e Jurbanita são as fases minerais reativas indicadas na modelagem com o PHREEQC. Durante a estação seca, a Alofana é a principal fase em equilíbrio com a solução, enquanto que a Alunita e a Jurbanita predominam na estação das chuvas, devido ao aumento dos valores de SO_4 . A gibbisita está também em equilíbrio com os lagos, evidenciando que a reação de hidrólise é um processo constante no sistema.

Marcolan (2009) investigou a hidrogeoquímica do cromo no aquífero Adamantina, no município de Urânia – SP, e elaborou um modelo mais provável das reações hidrogeoquímicas que explicam a passagem do cromo da fase sólida para a água subterrânea.

Bertolo *et al.* (2007) reuniram e interpretaram diversas análises químicas de águas minerais envasadas no Brasil, verificando que as mesmas são, em geral, de baixa mineralização ($\text{RS} < 100 \text{ mg/L}$) e de baixo pH ($\approx 6,0$), fazendo parte de sistemas de fluxos de natureza predominantemente rasa ($< 70\text{m}$) e de curto tempo de trânsito no aquífero. A dissolução de minerais aluminossilicatos e/ou carbonáticos e, secundariamente, a contribuição de sódio e cloreto em sprays marinhos nas regiões costeiras, foram os principais fenômenos hidrogeoquímicos observados que determinaram os tipos e as proporções dos íons na água. Já a quantidade de íons é definida principalmente pelas profundidades de circulação da água subterrânea.

Cruz *et al.* (2006) realizaram cálculos de especiação e índices de saturação para as águas do aquífero costeiro da restinga de Piratininga, na cidade de Niterói-RJ, demonstrando que os minerais de ferro e alumínio encontram-se saturados ou supersaturados na solução, diferentemente dos minerais carbonatados e sulfatados.

Bento (2006) caracterizou e modelou o comportamento hidrogeoquímico das águas subterrâneas do aquífero aluvionar do rio Macaé. Em sua pesquisa, as águas subterrâneas foram classificadas quanto ao tipo hidroquímico, avaliadas em relação à qualidade e também foram determinadas as espécies químicas dominantes e os índices de saturação dos minerais. Um modelo hidrogeoquímico foi desenvolvido com o intuito de simular o processo de evolução química das águas e revelou semelhanças de composição química da água dos poços cadastrados com as águas do rio Macaé, exceto para os íons Na^+ e Cl^- , que sofrem influência de aerossóis marinhos e da evaporação do rio Macaé, após períodos de cheia.

Menezes (2005) caracterizou o comportamento hidrogeoquímico das águas subterrâneas e superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos (BHRSD), localizada no Noroeste do Estado do Rio de Janeiro. As águas subterrâneas foram classificadas quanto ao tipo hidroquímico, tratadas estatisticamente pelo método hierárquico de *cluster*, avaliadas em relação à qualidade para potabilidade e irrigação e investigadas quanto às espécies químicas dominantes e aos índices de saturação dos minerais. Os resultados indicam que as águas subterrâneas são, predominantemente, bicarbonatadas-mistas com tendência a bicarbonatadas-sódicas e são quimicamente jovens, não equilibradas com as litologias que ocorrem na área.

Ramage (2005) elaborou um modelo geoquímico das águas subterrâneas do sistema aquífero granular Cenozóico que ocorre no município de Porto Alegre. O modelamento hidrogeoquímico indicou subsaturação em fluorita, halita e gipsita, com tendência à saturação em calcita e dolomita e tendência à supersaturação em fluorapatita, gibbissita, caulinita e goethita.

Machado *et al.* (2004) traçaram a evolução hidroquímica da água subterrânea, para os sistemas aquíferos da Chapada do Araripe, localizada ao sul do Estado do Ceará, noroeste de Pernambuco e Sudeste do Piauí.

Gutierrez (2003) estabeleceu a evolução hidrogeoquímica do Aquífero Adamantina na cidade de Urânia, São Paulo – Brasil, que foi dividido em três zonas hidroquímicas predominantes, quais sejam: zona rasa de recarga (água com sódio-cloreto-nitrato); e, zonas intermediária e de descarga com água bicarbonatada-cálcica, resultantes da dissolução de uma matriz carbonática e de minerais aluminossilicatos, além da presença de contaminantes.

Em outros países:

Kashouty (2012) investigou a qualidade da água e avaliou a evolução hidrogeoquímica de um aquífero pleistocênico, composto de areia e cascalho, com alguma intercalação de argila, situado no distrito de “El Minia”, às margens do rio Nilo. Verificou-se que a condição de semi-confinamento em torno do rio Nilo passou à condição de não-confinamento fora da várzea do rio. Além disso, observou-se que o fluxo de águas subterrâneas é geralmente de sul para norte e que um volume considerável de águas subterrâneas é drenada para o rio Nilo. Os processos hidroquímicos predominantes, verificados no sistema aquífero, foram dissolução, mistura e troca iônica, sendo que os principais fatores que controlam a mineralização e

qualidade da água do sistema aquífero são a lixiviação de águas meteóricas de superfície, atividade agrícola (fertilizantes e adubos), fase litogénica e fase oxihidróxido de Fe-Mn. Os índices de saturação da calcita, dolomita, gipsita e anidrita foram subsaturados, refletindo uma condição de dissolução no sistema aquífero.

Cloutier *et al.* (2012) realizaram um estudo hidrogeoquímico detalhado em um sistema de rochas sedimentares paleozóicas em uma área de 1500 km² em Quebec, Canadá. Neste trabalho, a distribuição regional dos tipos de águas subterrâneas mostra que as condições hidrogeológicas exercem um dominante controle na química dos íons principais das águas subterrâneas. As áreas de recarga são caracterizadas por águas Ca-Mg-HCO₃ e as regiões que apresentam condições de confinamento da água subterrânea mostram águas dos tipos Na-HCO₃ e Na-Cl.

Belkhiri *et al.* (2011) empregaram técnicas hidroquímicas, de estatística multivariada e de modelagem hidrogeoquímica para determinar os principais fatores e mecanismos que controlam a química das águas subterrâneas do aquífero quaternário “El Euma”, no leste da Argélia. A análise de cluster definiu três tipos de água principais, refletindo processos hidroquímicos diferentes. O primeiro grupo apresentou baixa salinidade, e os grupos 2 e 3 apresentaram águas mais salinas, em decorrência da maior interação água-rocha. A modelagem hidrogeoquímica feita com o PHREEQC demonstrou que, relativamente, poucas fases são requeridas para originar a química da água na área. Num sentido mais amplo, as reações responsáveis pela evolução química na área caem em três categorias: (1) dissolução de minerais evaporitos; (2) precipitação de minerais carbonáticos, quartzo, caulinita e Ca-smectita; e (3) troca iônica.

Ma *et al.* (2011) realizaram um trabalho que buscou uma melhor compreensão dos processos geoquímicos que controlam a evolução da qualidade das águas subterrâneas em aquíferos cársticos de uma região situada em Taiyuan, no norte da China. Esses autores verificaram que propriedades hidroquímicas da água subterrânea dessa região cárstica evoluem a partir das zonas de recarga para as zonas de descarga de água fria e depois para as zonas de descarga de água termal. Além disso, observaram que diferentes processos hidrogeoquímicos ocorrem em três sub-sistemas de águas subterrâneas. Nos dois primeiros, a evolução geoquímica das águas subterrâneas é controlada, conjuntamente, pela dissolução/precipitação de carbonato,

dissolução de gesso e dedolomitização, enquanto no terceiro ocorre dissolução/precipitação de calcita e dolomita, sem dedolomitização.

Andrade e Stigter (2011) realizaram um estudo hidrogeoquímico empregando ferramentas gráficas, estatísticas multivariadas e modelagem em uma área de depósitos aluviais da bacia do rio Mondego, na região central de Portugal, para determinar os fatores e processos que controlam a química de águas subterrâneas rasas. Com o auxílio da hidroquímica e gráficos de dispersão, foi possível identificar os principais processos que controlam a química das águas subterrâneas: (1) evapotranspiração e recarga; (2) dissolução de carbonato de cálcio e magnésio e de CO₂; (3) lixiviação de nitrato da agricultura; (4) oxidação e redução; e (5) troca de cátions. A modelagem hidrogeoquímica dos tipos de água (usando PHREEQC) permitiu a validação e, em certa medida, a quantificação dos processos que afetam a evolução das águas subterrâneas rasas.

Pauwels *et al.* (2010) realizaram um estudo em uma região na França buscando avaliar os impactos causados pela ação conjunta de mineração e agricultura na composição química das águas subterrâneas. Esse estudo revelou uma desnitrificação isotópica da água subterrânea, que ocorreu em função da oxidação dos minerais de sulfeto, associados com o depósito de ouro, que conduziu a concentrações anormais de alguns metais, tais como Zn, Co e Ni. A modelagem geoquímica permitiu inferir que a contaminação devida a NO₃⁻, proveniente das atividades agrícolas, perturba a remobilização do íon arsênico, por consumir disponíveis doadores de elétrons (por exemplo, a matéria orgânica), limitando a redução de óxidos de ferro e, conseqüentemente, a liberação de arsênio.

Bhardwaj *et al.* (2010) investigaram a influência dos componentes hidrogeoquímicos na qualidade das águas de um importante aquífero situado no distrito de Deoria, na Índia, as quais se encontram em situação crítica, tanto quantitativa como qualitativamente. A modelagem geoquímica realizada durante o estudo demonstrou que as reações responsáveis pela evolução hidroquímica caem em três categorias: (1) dissolução de sais; (2) precipitação de dolomita; e (3) troca iônica. Além disso, as solubilidades da dolomita, calcita, Aragonita e gesso foram avaliadas em termos dos índices de saturação.

Nagarajan *et al.* (2010) verificaram que as concentrações de nitrato, de cloreto e de sulfato expressam fortemente o impacto das fontes de contaminação da superfície, tais como atividades agrícolas e domésticas, nas águas subterrâneas na cidade de Thanjavur, Índia. O

código PHREEQC foi empregado para avaliar a contribuição da dissolução de minerais e sugeriu que a dissolução dos carbonatos regula a química da água.

Rouabhia *et al.* (2010), utilizando também uma abordagem do tipo direta, determinaram os índices de saturação da calcita, dolomita e gesso, bem como a pressão parcial de CO₂ para as águas do aquífero aluvial de Merdja, Tebessa, Argélia.

Fianko *et al.* (2010) determinaram o estado de saturação das águas subterrâneas na bacia do rio Densu, em Gana, no que diz respeito a importantes minerais de carbonato (calcita e dolomita) e à halita.

A modelagem inversa foi realizada também por Han *et al.* (2009), para a compreensão dos processos envolvidos nas causas dos problemas ambientais relacionados às águas subterrâneas na bacia de Xinzhou, Shanxi, na China, e por Almagro e Custodio (2004), que realizaram uma caracterização das águas subterrâneas da Formação Chuy, na franja costeira do Uruguai, na fronteira com o Brasil. Esses últimos, por meio da simulação inversa, puderam supor que a concentração da água de um poço situado em um extremo do aquífero, após precipitação de sais, leva à concentração da água de outro poço situado no extremo oposto do aquífero.

Por meio da modelagem hidrogeoquímica, Jalali (2009) verificou que as altas concentrações de Si, dissolvidas no aquífero existente na região de Razan (Hamadan, Irã), podem corresponder à dissolução extensiva de silicatos na água subterrânea, e que o K-feldspato parece ser estável para a maioria das amostras de águas subterrâneas, que estão saturadas com respeito à ilita.

Kaçmaz e Nakovan (2009) utilizaram resultados de análises físico-químicas de amostras de água subterrânea de um aquífero raso, contendo minerais de fosfato de urânio na área de Kuprubas, na Turquia, para mostrar que o intemperismo dos silicatos é o principal processo hidrogeoquímico atuante nesse sistema.

Ghiglieri *et al.* (2009) estudaram a hidrogeoquímica das águas subterrâneas de um sistema aquífero situado no distrito de Nurra, na Ilha da Sardenha (Itália), que é formado por rochas paleozóicas no embasamento e coberturas, carbonatos mesozóicos, rochas piroclásticas cenozóicas e, principalmente, sedimentos clásticos quaternários. As águas subterrâneas investigadas mostram concentrações de STD e de cloretos relativamente elevadas, que,

juntamente com outras evidências hidrogeoquímicas, excluem a intrusão de água do mar como a causa da alta salinidade. As altas concentrações de cloreto e sulfato podem estar relacionadas com a circulação hidrotermal profunda e a evaporitos triássicos, respectivamente. A química da água-fonte foi modificada por vários processos geoquímicos, devido à interação entre água subterrânea e rocha, inclusive com troca iônica com minerais hidrotermais e argilas, solução incongruente de dolomita e redução de sulfato.

Demlie *et al.* (2007) usaram técnicas de análise estatística multivariada e modelagem hidrogeoquímica inversa para investigar a recarga, o fluxo e a evolução hidroquímica da água subterrânea dentro de um sistema aquífero vulcânico, localizado no centro da Etiópia. Os resultados mostraram a existência de cinco zonas espaciais de água subterrânea que definiram fácies hidroquímicas, tempos de residência, assinaturas de isótopos estáveis e evolução hidroquímica. Tanto a análise hidroquímica como a estatística multivariada mostraram que o subsetor situado na zona central encontra-se altamente poluído com NO_3^- , Cl^- e SO_4^{2-} . A modelagem hidrogeoquímica inversa demonstrou quais reações de minerais silicatos em um sistema aberto de CO_2 e precipitação de caulinita, Calcedônia e, raramente, calcita satisfazem as alterações observadas na química da água, seguindo a direção do fluxo regional de norte para o sul.

A abordagem direta foi utilizada por Duque (2005), que identificou dois processos que contribuem para o aumento das concentrações de cálcio na água (solução) do sistema aquífero dos gabros de Beja, em Portugal, sendo um deles a dissolução de minerais silicatados e o outro a inclusão de nitrato (de origem agrícola) na solução.

Lecomte *et al.* (2005) calcularam o balanço de cargas iônicas e a especiação química das águas subterrâneas da montanhosa bacia hidrográfica do rio Los Reartes, em Córdoba, na Argentina, para as quais foram simuladas, por meio de uma abordagem inversa, todas as possíveis combinações de reações de dissolução e precipitação que explicam as mudanças químicas observadas entre as soluções iniciais e finais e as fases minerais.

Tesoriero *et al.* (2004) examinaram dados de água subterrânea de dois ambientes distintos, um costeiro e outro de planície interior, no sudeste dos Estados Unidos, buscando determinar as condições e processos geoquímicos que ocorrem nessas áreas e avaliar as suas implicações para a susceptibilidade dos aquíferos. Esses autores verificaram que a presença de uma grande variedade das condições redox nesse sistema aquífero raso sublinha a importância de fornecer

Fonte: Appelo e Postma, 2005.

A alteração da Albita em Montmorilonita não consome ácido, mas quando a caulinita e gibbisita são os produtos do intemperismo, quantidades crescentes de prótons são consumidas. Além disso, quando a Albita se altera à Montmorilonita, 89% do Si é preservado no produto de intemperismo. Esse percentual de Si, entretanto, diminui para 33% quando o produto do intemperismo da Albita é a caulinita. Finalmente, esse percentual atinge o valor nulo (0%), se toda a Albita é alterada à gibbisita. A sequência de produtos de intemperismo, passando por Montmorilonita, caulinita e gibbisita, reflete a intensidade crescente de lixiviação e remoção de sílica e cátions da rocha.

As condições hidrológicas em combinação com a taxa de intemperismo mineral determinam a natureza do produto de intemperismo. A Montmorilonita é preferencialmente formada em climas relativamente secos, onde a taxa de lavagem do solo é baixa. A gibbisita, por outro lado, tipicamente tropical, é formada em áreas com chuvas intensas e condições bem drenadas. Sob tais condições, gibbisita e outros hidróxidos de alumínio podem formar um resíduo espesso de intemperismo, a Bauxita, que constitui o mais importante minério de alumínio.

A gibbisita (ou hidróxido de Al) é o produto mais extremo de intemperismo de silicatos e a equação de sua reação de solubilidade é descrita da seguinte forma:

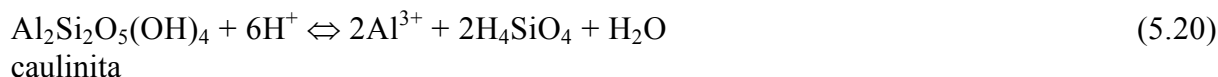


Com a equação de ação de massas:

$$K_{\text{gibbisita}} = [\text{Al}^{3+}] / [\text{H}^+] \cong 10^{10} \text{ (APPELO e POSTMA, 2005)} \quad (5.19)$$

A Equação (5.19) indica que a atividade do alumínio na água $[\text{Al}^{3+}]$ será dependente do pH. Abaixo de pH 4,5, a solubilidade de alumínio aumenta e a concentração de Al^{3+} pode ultrapassar o limite máximo permitido na água potável de 0,2 mg/L. Na faixa de pH quase neutro, a concentração de Al^{3+} total dissolvida torna-se baixa, da ordem de 1 $\mu\text{mol/L}$. Acima de pH 7, o complexo aluminato é a espécie iônica dominante do alumínio dissolvido e a solubilidade total aumenta novamente.

Depois da gibbisita, a estabilidade da caulinita deve ser considerada, cuja reação de dissociação é fornecida por:



A forma logarítmica da equação da ação de massa é dada por:

$$\log K = 2\log[\text{Al}^{3+}] + 2\log[\text{H}_4\text{SiO}_4] + 6\text{pH} = 7,4 \quad (5.21)$$

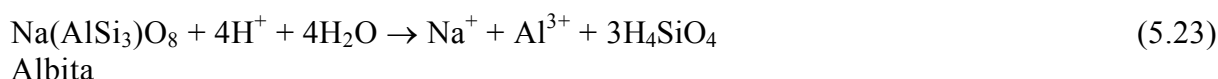
A Equação (5.21) pode ser reescrita como:

$$\log[\text{Al}^{3+}] + 3\text{pH} = (7,4 - 2\log[\text{H}_4\text{SiO}_4]) / 2 \quad (5.22)$$

O $\log [\text{H}_4\text{SiO}_4]$ das águas subterrâneas se mantém, em grande parte, na faixa de -4 a -3,3 e varia muito menos do que $\log [\text{Al}^{3+}]$ ou pH. Se $\log [\text{H}_4\text{SiO}_4]$ é aproximadamente constante, a Equação (5.22) torna-se idêntica à Equação (5.19). A substituição de um valor realista de -4 para $\log[\text{H}_4\text{SiO}_4]$ reduz a parte direita da Equação (5.22) para 7,7, que é próximo ao valor de 8,11 para a gibbissita cristalina. Assim, é difícil identificar o mineral de controle efetivo a partir de cálculos de saturação.

Incerteza adicional diz respeito à lenta cinética de dissolução de minerais de argila, o que torna questionável se o equilíbrio verdadeiro é sempre atingido. May *et al.* (1986, *apud* APPELO e POSTMA, 2005) necessitou de 1237 dias para equilibrar caulinita com água, enquanto a Esmectita (Montmorilonita) não conseguiu atingir o equilíbrio nesse período. Mesmo com essas incertezas, há pouca dúvida de que a concentração de alumínio dissolvido em água subterrânea seja controlada pela solubilidade dos produtos de intemperismo, como a gibbissita ou a caulinita.

A estabilidade desses minerais em um sistema de água subterrânea pode ser avaliada a partir do cálculo do estado de saturação das águas subterrâneas para um dado mineral. Por exemplo, para Albita, a reação de dissociação é dada pela equação:



De uma maneira similar às reações de intemperismo de outros silicatos primários apresentadas na Tabela 5.1, a seta simples na equação 5.23 é usada para indicar que a reação é

irreversível a temperaturas inferiores a 50°C (STEFÁNSSON e ARNÓRSSON, 2000). A expressão da ação de massas dessa reação é:

$$\log K = \log[\text{Na}^+] + \log[\text{Al}^{3+}] + 3\log[\text{H}_4\text{SiO}_4] + 4\text{pH} \quad (5.24)$$

Se em uma determinada área a água subterrânea está subsaturada em Albita e esse mineral está presente, isso significa que a dissolução da Albita é lenta. A dissolução do silicato primário é lenta e cineticamente controlada, enquanto a precipitação do produto secundário do intemperismo atinge o equilíbrio mais rápido (HELGESON *et al.*, 1969 *apud* APPELO e POSTMA, 2005). A cinética de dissolução dos principais silicatos é, portanto, a taxa limitante no processo global de intemperismo.

Embora a abordagem do estado de saturação descrita anteriormente seja útil, ela também tem vários inconvenientes. Inicialmente, a concentração de Al^{3+} nas águas subterrâneas com pH próximo do neutro é, na maioria das vezes, muito baixa e difícil de ser analisada com precisão. Adicionalmente, grupos de complexos de Al-hidroxi podem estar presentes na água e podem não ser completamente removidos pela filtração em filtros de 0,45 μm ou até 0,1 μm . Entretanto, os mesmos estão ausentes nos modelos de especiação atuais. Finalmente, mesmo no caso simples de Albita (Equação 5.22), já existem 4 variáveis que afetam o estado de saturação, ou seja, a estabilidade da Albita é difícil de ser mostrada em um diagrama que inclua todos os parâmetros relevantes.

Para contornar esses problemas, os diagramas desenvolvidos para expressar a estabilidade de silicatos assumem que todo o Al^{3+} é preservado no produto de intemperismo, como mostrado nos diagramas das Figuras 5.1, 5.2 e 5.3. O diagrama da Figura 5.2, por exemplo, contém campos de estabilidade para o Ca-feldspato (Anortita) e seus possíveis produtos de intemperismo, a gibbissita, caulinita e Ca-Montmorilonita, expressos em função de $\log ([\text{Ca}^{2+}] / [\text{H}^+]^2)$ e $\log[\text{H}_4\text{SiO}_4]$.



e a respectiva equação de ação de massas dessa reação é dada por (APPELO e POSTMA, 2005):

$$\log K = \log([\text{Ca}^{2+}] / [\text{H}^+]^2) + 8\log[\text{H}_4\text{SiO}_4] = -15,7 \quad (5.29)$$

A fronteira entre caulinita e gibbisita é descrita pela seguinte reação:



e a respectiva equação de ação de massas da reação é dada por (APPELO e POSTMA, 2005):

$$\log K = 2\log[\text{H}_4\text{SiO}_4] = -9,8 \quad (5.31)$$

Assim, uma atividade H_4SiO_4 de $10^{-4,9}$ indica equilíbrio entre caulinita e gibbisita nessa fase e os resultados de fronteira correspondem a uma linha paralela ao eixo-y no diagrama de estabilidade (Figura 5.1). Finalmente, na reação de formação de Anortita em caulinita, toda a sílica é preservada na fase sólida (Tabela 5.1) e o limite, portanto, é paralelo ao eixo $\log[\text{H}_4\text{SiO}_4]$.

Os diagramas de estabilidade de silicatos contêm o pressuposto implícito de que Al^{3+} está presente na água e está em equilíbrio com as fases descritas. No entanto, uma amostra de água plotada no campo da caulinita na Figura 5.1 pode muito bem estar subsaturada em caulinita por causa de uma baixa atividade de $[\text{Al}^{3+}]$. A melhor declaração seria que, de acordo com a Figura 5.1, é provável que a caulinita seja mais estável do que a gibbisita, por exemplo.

Logo, um ponto de preocupação é relativo à cinética lenta da reação de minerais de silicato, parecendo ser questionável se o equilíbrio verdadeiro é sempre atingido. Tardy (1971, *apud* APPELO e POSTMA, 2005) relata que águas com trama no campo de estabilidade da caulinita foram amostradas de nascentes onde a Montmorilonita está presente nos solos da bacia.

As Figuras 5.1, 5.2 e 5.3 incluem as linhas de estabilidade para quartzo e sílica amorfa. Para ambas as substâncias, a solubilidade é descrita pela seguinte reação:



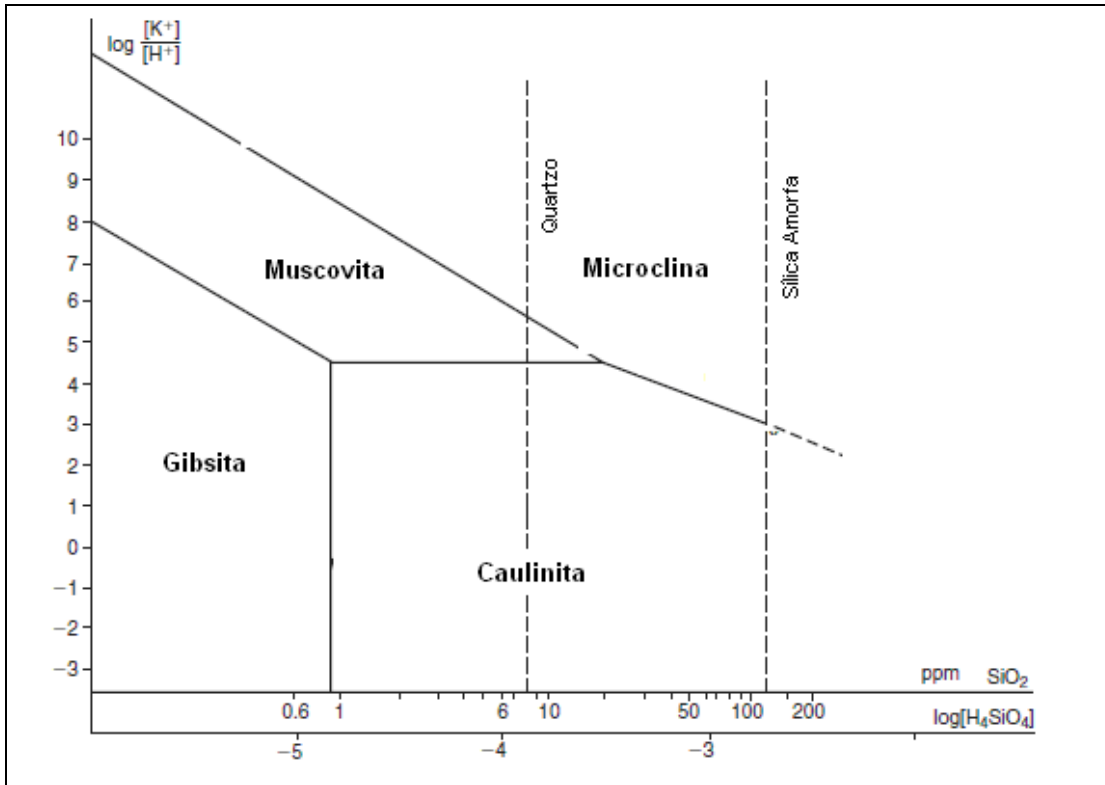


Figura 5-2 - Diagrama de estabilidade para K-feldspato microclina e seus produtos de intemperismo (modificado de TARDY, 1971 *apud* APPELO e POSTMA, 2005).

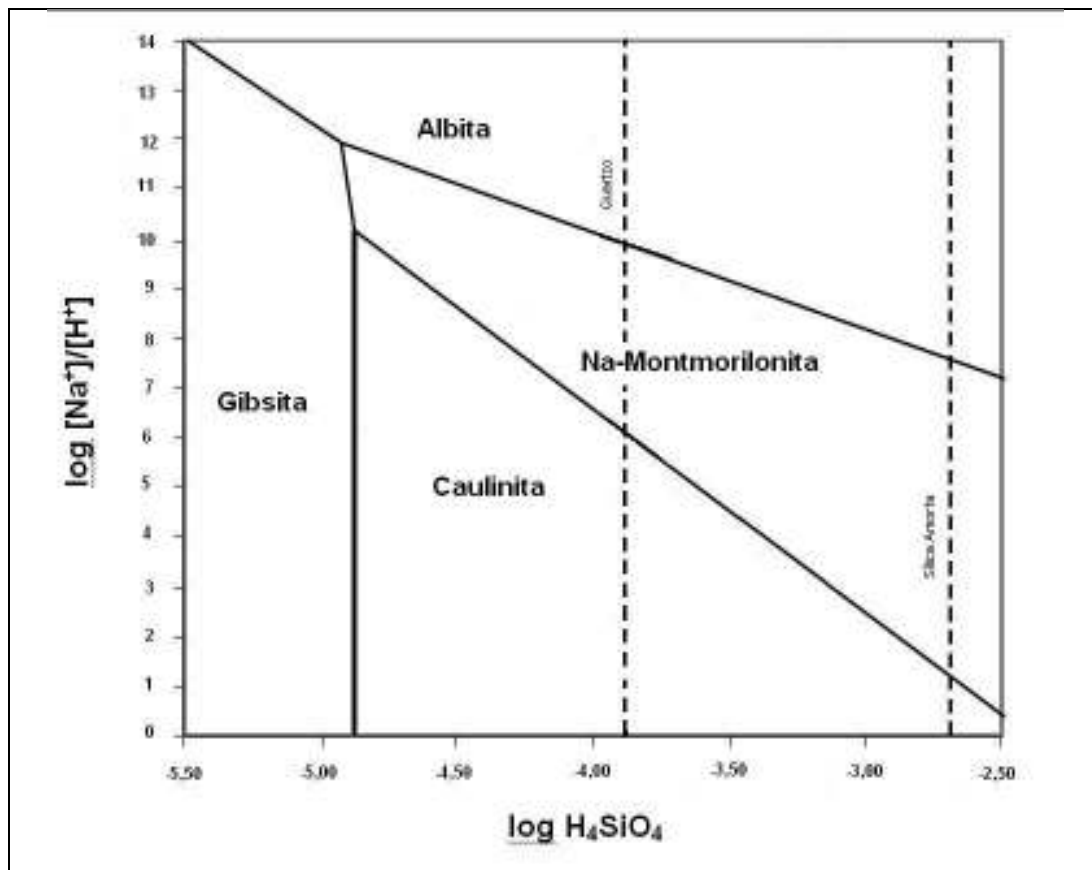


Figura 5-3 - Diagrama de estabilidade da Albita e seus produtos de intemperismo (modificado de BERTOLO, 2012).

Os diagramas de estabilidade de aluminossilicatos (Figuras 5.1, 5.2 e 5.3) são utilizados para verificar a estabilidade e estudar os fenômenos de dissolução e precipitação de minerais aluminossilicatos, partindo do princípio que todo o alumínio é preservado no mineral de alteração, conforme destaca Bertolo (2012).

O H_4SiO_4 permanece indissociável em valores de pH abaixo de 9, e a estabilidade das fases de SiO_2 é determinada pelo produto de solubilidade de reação:

$$K = [\text{H}_4\text{SiO}_4] \quad (5.32)$$

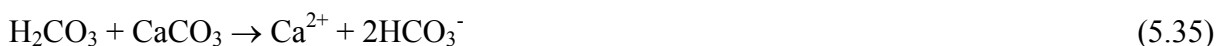
Para o quartzo, $K = 10^{-3,98}$ em 25°C é o valor geralmente adotado, embora o estudo desenvolvido por Rimstidt (1997) sugira um produto de solubilidade maior, ou seja, igual a $10^{-3,74}$. O quartzo tem cinética de reação extremamente lenta. Porém, soluções grosseiramente supersaturadas desse mineral são comuns. A precipitação lenta de quartzo permite a formação de formas menos estáveis de $\text{SiO}_2(\text{s})$, como o SiO_2 -amorfo(s) (WILLIAMS *et al.*, 1985 *apud* APPELO e POSTMA, 2005). A fase mais solúvel é SiO_2 amorfa(s), que tem um produto de solubilidade de cerca de $10^{-2,7}$ (25°C) e impõe a restrição superior para a concentração de sílica dissolvida.

A sílica provavelmente é lançada à água pelo intemperismo de silicatos, como o feldspato, porém, como a precipitação de quartzo, aparentemente, não consegue acompanhar o ritmo da liberação de sílica, a água se torna supersaturada.

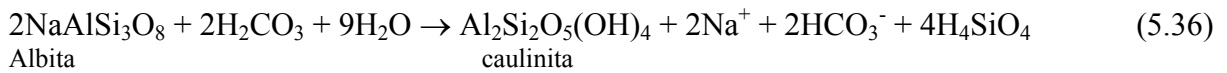
Os problemas encontrados referentes às reações de equilíbrio de sistema silicato-água têm estimulado a exploração de abordagens alternativas. Uma das melhores é o uso de cálculos de balanço de massa, que relacionam as mudanças na química da água para a dissolução ou precipitação de minerais e, basicamente, têm o caráter de contabilidade. Para as reações entre minerais e água, pode-se escrever a seguinte reação geral:

$$\text{Fase reagente} \rightarrow \text{resíduo do intemperismo} + \text{íons dissolvidos} \quad (5.34)$$

Para a dissolução congruente de calcita em água contendo ácido carbônico, a reação de dissolução é fornecida por:



A água que se infiltra através de um solo com calcita, por conseguinte, deve ser enriquecida com dois moles de HCO_3^- para cada mol de Ca^{2+} . Para a dissolução incongruente da Albita à caulinita, tem-se a seguinte reação:



OBS: Nessa equação, a liberação de H_4SiO_4 é duas vezes o lançamento do HCO_3^- ou de Na^+ .

Exatamente o mesmo pode ser feito para as outras reações listadas na Tabela 5.1. Os resultados são exibidos graficamente na Figura 5.4 e mostram a qualidade da água esperada para cada reação. Nota-se que uma determinada composição da água não é necessariamente única para um mineral específico; a dissolução da calcita (Reação 5.31) e o intemperismo de Anortita à caulinita (Tabela 5.1) rendem as mesmas concentrações em relação de Ca^{2+} e HCO_3^- .

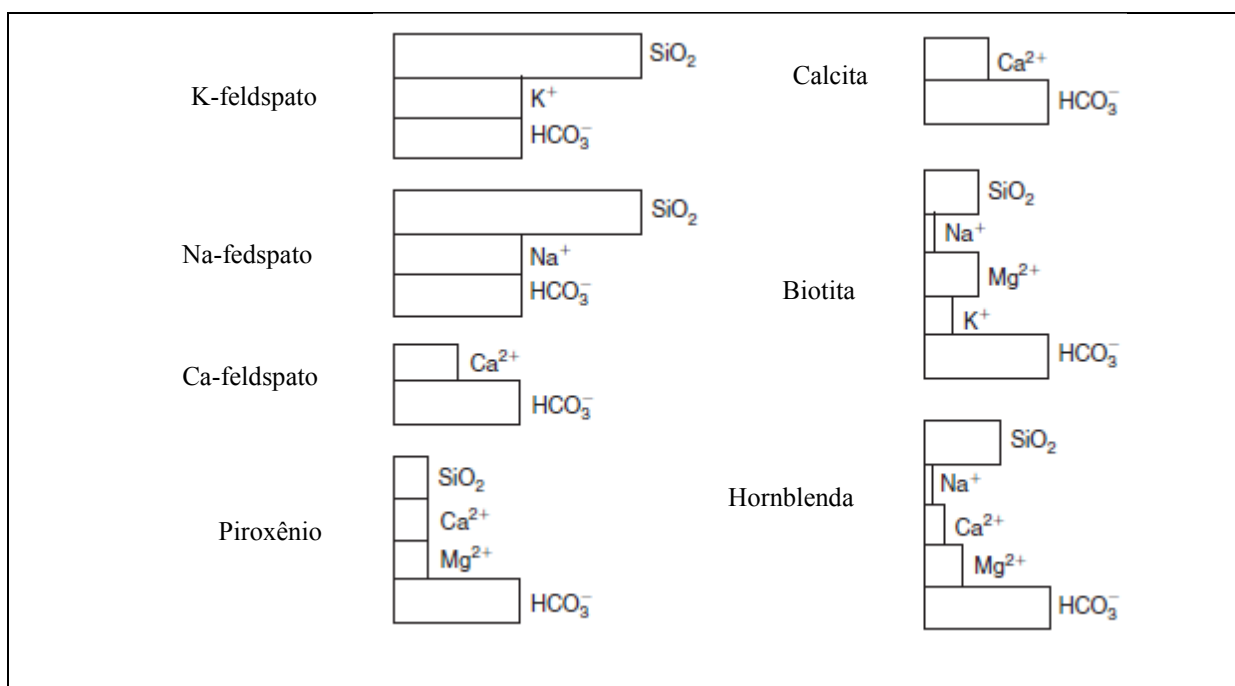


Figura 5-4 - Composição das águas resultantes da alteração dos diferentes minerais de silicato à caulinita em presença de ácido carbônico, de acordo com as reações listadas na Tabela 5.1 (Fonte: Appelo e Postma, 2005).

Rochas consistem normalmente em misturas de minerais e, em alguns casos, é possível reconstruir as contribuições de diferentes reações de intemperismo a partir das mudanças de concentração ao longo de um caminho de fluxo.

A cinética de dissolução de minerais de silicato foi avaliada tanto em experimentos de laboratório como no campo. Em estudos de laboratório, grãos minerais foram dissolvidos em soluções de várias composições (WHITE e BRANTLEY, 1995; SVERDRUP, 1990) enquanto se monitorava a taxa de dissolução de “Si”. Esse tipo de resultado permitiu quantificar a

cinética de dissolução de vários minerais e a mudança nos tamanhos dos cristais durante a dissolução.

A Tabela 5.3 mostra a vida útil (tempo de dissolução total) calculada de cristais de 1mm, em pH 5, para vários minerais. Por exemplo, Ca-feldspato (Anortita) dissolve-se cerca de 700 vezes mais rápido do que o K-feldspato.

Tabela 5-3 - Vida útil calculada de cristais de 1mm, em pH 5, para vários minerais

Mineral	Vida Útil (anos)
Quartzto	34.000.000
muscovita	2.700.000
K-feldspato	520.000
Albita	80.000
Diopsídio	6.800
Anortita	112

Fonte: Appelo e Postma, 2005.

Qualitativamente, as vidas úteis calculadas a partir de experimentos de laboratório estão em conformidade com a sequência de intemperismo de Goldich (Figura 5.5).

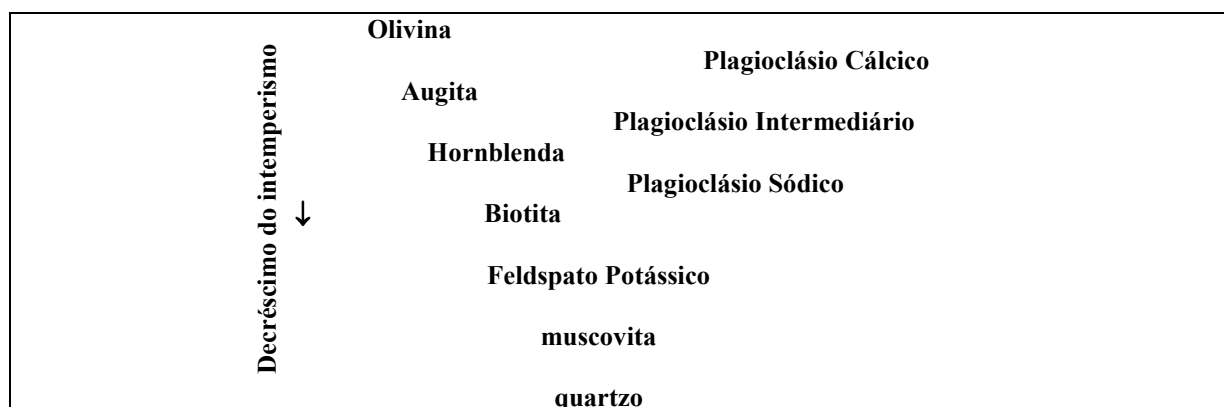
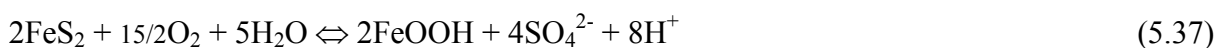


Figura 5-5 - Sequência de intemperismo Goldich, baseado em observações da sequência de seu desaparecimento em solos (GOLDICH, 1938 *apud* APPELO e POSTMA, 2005).

Além da mineralogia, outros fatores podem influenciar a taxa de dissolução, como a composição da solução. De um modo geral, a presença de cátions em solução diminui a dissolução de silicatos. Por exemplo, baixas concentrações de alumínio Dissolvido inibem a dissolução da Albita. Por outro lado, um alto teor de CO₂ ou de radicais livres (provenientes de ácidos orgânicos) pode acelerar a taxa de dissolução dos minerais silicatos (SVERDRUP, 1990; SVERDRUP e WARFVINGE, 1995). Ressalta-se que o papel do CO₂ é, em parte, para atuar como um provedor de prótons, mas, especialmente na faixa de pH próximo de neutro e básico, o íon carbonato pode acelerar diretamente o intemperismo de silicatos (BERG e BANWART, 2000).

As taxas de intemperismo para os indivíduos minerais diminuem com a idade do solo, já que grãos minerais frescos dissolvem mais rapidamente do que os grãos minerais mais antigos (BAIN *et al.*, 1993). Outra incerteza é que a taxa de intemperismo calculada a partir de alterações mineralógicas, no perfil do solo, fornece uma taxa média de intemperismo durante um longo período de tempo, durante o qual as condições de controle da taxa de intemperismo, como o pH da solução do solo, pode muito bem ter variado.

O terceiro maior processo de acidificação das águas é o de oxidação da pirita (FeS₂). A pirita é encontrada, pelo menos em pequenas quantidades, em sedimentos e lençol freático mais reduzidos (não oxidados). A reação global de oxidação da pirita, uma das mais fortemente produtoras de ácido encontrado na natureza, é assim apresentada:



A água ácida que é introduzida no solo e em sistemas aquíferos pode ser neutralizada por meio de reações com os materiais do próprio solo e do aquífero. Para prever a extensão da neutralização, a primeira ação é considerar a relação entre a geologia e a sua sensibilidade à acidificação. Obviamente, rochas que contêm minerais de carbonato são susceptíveis de desenvolver uma neutralização nas águas subterrâneas, por causa da cinética rápida de dissolução carbonatos em ácido. Em um levantamento regional das águas subterrâneas no Reino Unido, Edmunds e Kinniburgh (1986, *apud* APPELO e POSTMA, 2005) apontaram que as águas subterrâneas de baixa alcalinidade são mais vulneráveis à acidificação.

5.5 Uso de Diagramas nos dados de análises químicas

O estudo de análises químicas pode ser simplificado e facilitado com a utilização de diagramas, hidrogramas e mapas hidroquímicos. As representações gráficas servem para destacar relações entre íons de uma mesma amostra, entre amostras de diferentes áreas ou amostras de épocas diferentes.

O diagrama de Piper, por exemplo, que é apresentado na Figura 5.6, é utilizado, frequentemente, quando se trabalha com grande número de análises químicas de água, servindo para classificar e comparar os distintos grupos de águas quanto aos íons dominantes (SANTOS, 2008).

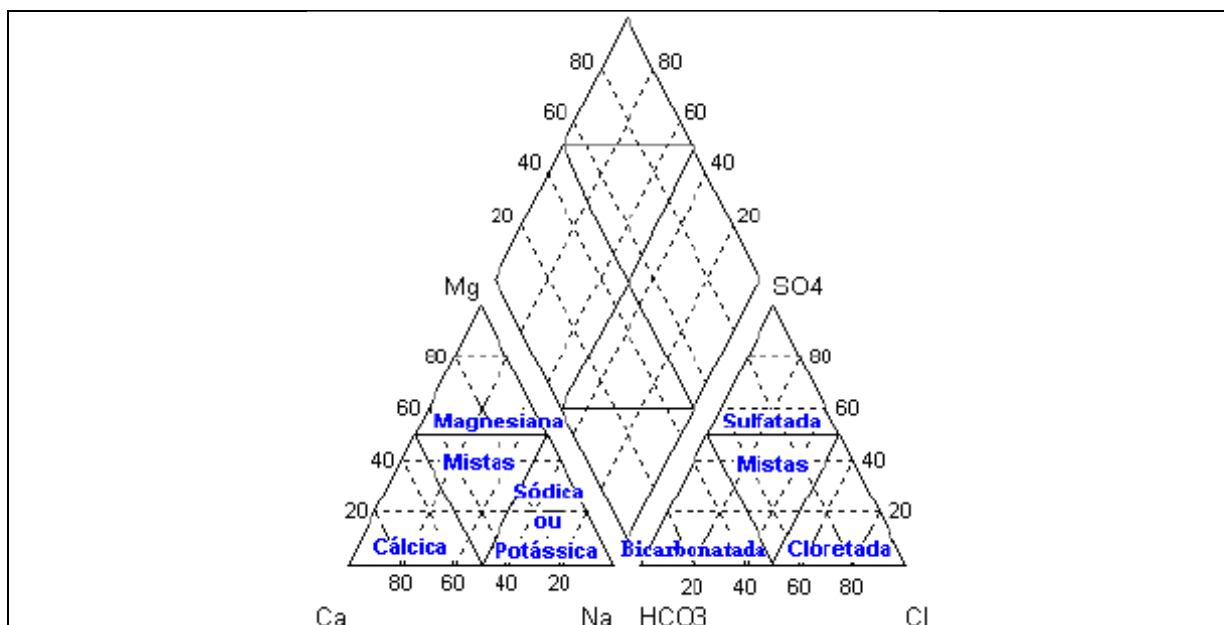


Figura 5-6 - Diagrama de Piper com a definição dos tipos hidroquímicos (Fonte: Menezes et al., 2005).

O diagrama representa um método que correlaciona 6 variáveis, em meq/L, sendo três catiônicas (Na^+ , K^+ , Mg^{+2} e Ca^{+2}) e outras três aniônicas (HCO_3^- , CO_3^{-2} , SO_4^{-2} e Cl^-) e foi proposto por Piper, em 1944 (*apud* BARISON, 2003).

Os triângulos menores (Figura 5.6), divididos em partes iguais, servem para a representação referente aos constituintes dissolvidos na água, sendo possível, assim, classificá-la segundo o par iônico predominante.

5.6 Uso de Análise Multivariada e Análise de Aglomerados (Cluster)

De acordo com Mingoti (2005), a Estatística Multivariada consiste em um conjunto de métodos estatísticos utilizados em situações nas quais diversas variáveis são medidas, simultaneamente, em cada elemento amostral.

Embora historicamente o uso de métodos multivariados esteja relacionado a trabalhos na Psicologia, Ciências Sociais e Biológicas, mais recentemente, eles têm sido aplicados em um grande universo de áreas diferentes, como: Educação, Geologia, Química, Física, Engenharia, Ergonomia etc.

Em linhas gerais, os métodos de estatística multivariada são utilizados com o propósito de simplificar ou facilitar a interpretação do fenômeno que está sendo estudado, por meio da construção de índices ou variáveis alternativas que sintetizem a informação original dos

dados, ou a partir da discretização de grupos de elementos amostrais que apresentem similaridade entre si, possibilitando a segmentação do conjunto de dados original.

Basicamente, a Estatística Multivariada se divide em dois grupos: um primeiro, consistindo em técnicas exploratórias de sintetização (ou simplificação) da estrutura de variabilidade dos dados, e um segundo, consistindo em técnicas de inferência estatística. Faz parte do primeiro grupo o método de análise de agrupamentos (MINGOTI, 2005).

Segundo Wrege e Mobus (1992), as análises multivariadas permitem considerar as variações de diversos parâmetros simultaneamente e fornecem informações na razão direta do número de variáveis utilizadas, considerando a variabilidade nas diferentes propriedades medidas e a relação entre essas variáveis.

A análise de agrupamentos, também conhecida como análise de aglomerados, classificação ou *cluster*, tem como objetivo dividir os elementos da amostra em grupos, de forma que os elementos pertencentes a um mesmo grupo sejam similares entre si com respeito às variáveis (características) que neles foram medidas, e os elementos em grupos diferentes sejam heterogêneos em relação a essas mesmas características. Várias são as situações em que a análise de agrupamentos se faz presente, como, por exemplo, na geoquímica, na caracterização de conteúdos de minerais (ANDRIOTTI, 2010; MINGOTI, 2005). No caso da hidrogeoquímica, as características são os parâmetros químicos da água.

As técnicas de aglomerados ou *clusters* são frequentemente classificadas em dois tipos: técnicas hierárquicas e não hierárquicas, sendo que as hierárquicas são classificadas em aglomerativas e divisivas. As técnicas hierárquicas, na maioria das vezes, são utilizadas em análises exploratórias dos dados com o intuito de identificar possíveis agrupamentos e o valor provável do número de grupos “g”.

As técnicas hierárquicas aglomerativas partem do princípio de que, no início do processo de agrupamento, têm-se “n” conglomerados, ou seja, cada elemento do conjunto de dados observado é considerado como sendo um conglomerado isolado. Em cada passo do algoritmo, os elementos amostrais vão sendo agrupados, formando novos aglomerados até o momento no qual todos os elementos considerados estão num único grupo.

A escolha do número final de grupos (g) em que o conjunto de dados deve ser repartido é subjetiva. Existem alguns métodos que podem ser utilizados para auxiliar na determinação de g. O propósito é encontrar o número g que esteja associado à “partição natural” dos elementos que estão sendo comparados e agrupados.

Existem vários métodos de agrupamento hierárquicos e, dentre os mais comuns e disponíveis na grande maioria dos softwares estatísticos, estão: o Método de Ligação Simples (*Single Linkage*), no qual a similaridade entre dois conglomerados é definida pelos dois elementos mais parecidos entre si, o Método de Ligação Completa (*Complete Linkage*), onde a similaridade entre dois conglomerados é definida pelos elementos que são “menos semelhantes” entre si (SNEATH, 1957 *apud* MINGOTI, 2005) e o Método de Ward, que utiliza a análise das variâncias para determinar as distâncias entre os agrupamentos, como método de agregação, como reporta Ward (1963).

De acordo com Ramage (2005), as medidas de similaridade utilizadas em uma análise de agrupamentos são: o coeficiente de correlação linear do produto momento (Pearson), que detecta a similaridade entre as variáveis (Modo R) e o coeficiente de distância, usado para verificar a similaridade entre indivíduos (Modo Q).

Um grande número de estudos usou essa técnica com sucesso para classificar amostras de água, como, por exemplo: Alther (1979); Farnham et al (2000); Alberto et al (2001); Meng e Maynard (2001); Ramage (2005) e Mourão (2007).

Na análise de *cluster* é possível trabalhar somente com uma variável (parâmetro), como, por exemplo, a Condutividade Elétrica, ou com diversas variáveis, como os principais íons. A maioria dos métodos de análise de *cluster* requer uma medida de similaridade entre os elementos a serem agrupados, normalmente expressa como uma função distância ou métrica (DONI, 2004).

Uma medida de similaridade bastante usada é a distância euclidiana, ou distância euclidiana quadrática. Entende-se por distância euclidiana, a distância geométrica no espaço multidimensional, ou seja, a menor distância entre um elemento e outro.

Os grupos, nos métodos hierárquicos, são geralmente representados por um diagrama bi-dimensional chamado de “dendograma” ou “diagrama de árvore”. Nesse diagrama, cada ramo

representa um elemento, enquanto a raiz representa o agrupamento de todos os elementos (DONI, *op.cit.*).

Timm (2002) destaca que no dendograma a escala vertical indica o nível de similaridade (ou dissimilaridade) e no eixo horizontal são marcados os elementos amostrais agrupados numa ordem conveniente relacionada à história do agrupamento. As linhas verticais, partindo dos elementos amostrais agrupados, têm altura correspondente ao nível em que os elementos foram considerados semelhantes, isto é, a distância do agrupamento ou nível de similaridade.

A Figura 5.8 traz um exemplo de dendograma.

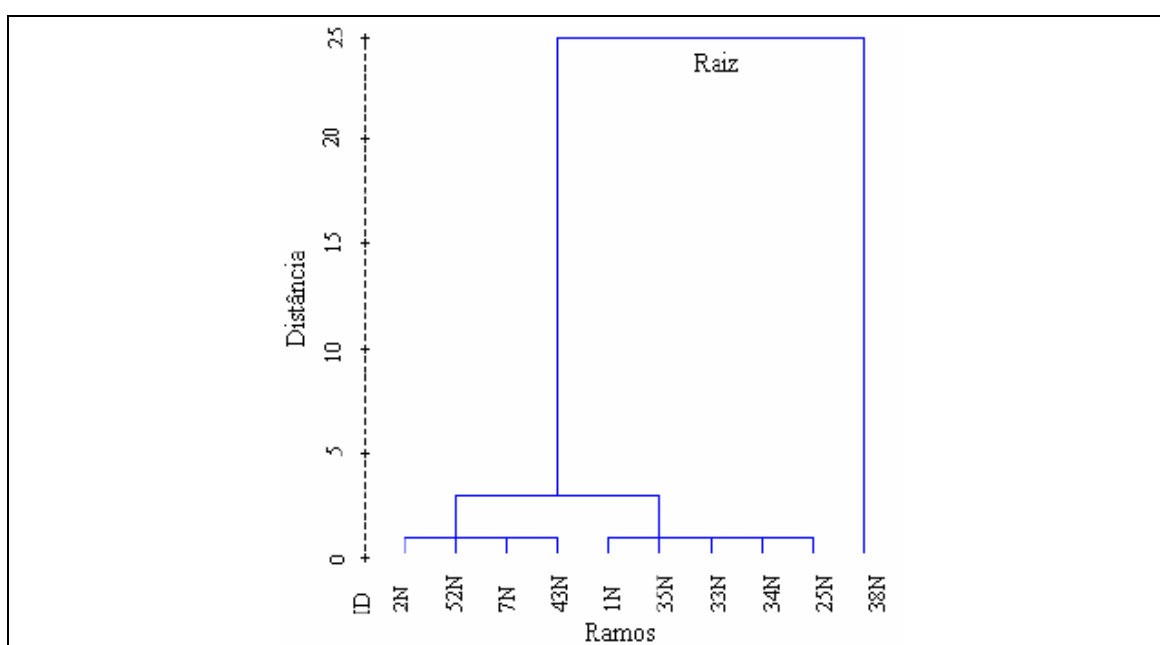


Figura 5-7 – Exemplo de um dendograma referente à variável CE de amostras de nascentes (Fonte: Menezes et al., 2005).

É necessário que se tenha conhecimento prévio sobre a estrutura dos dados, porque o corte na distância escolhida no dendograma é subjetivo e determina a formação dos grupos. O corte deverá ser feito segundo o objetivo da análise e o número de grupos desejados. A próxima figura (Figura 5.8) apresenta um exemplo de dendograma cortado duas vezes, ou seja, duas formações diferentes de grupos.

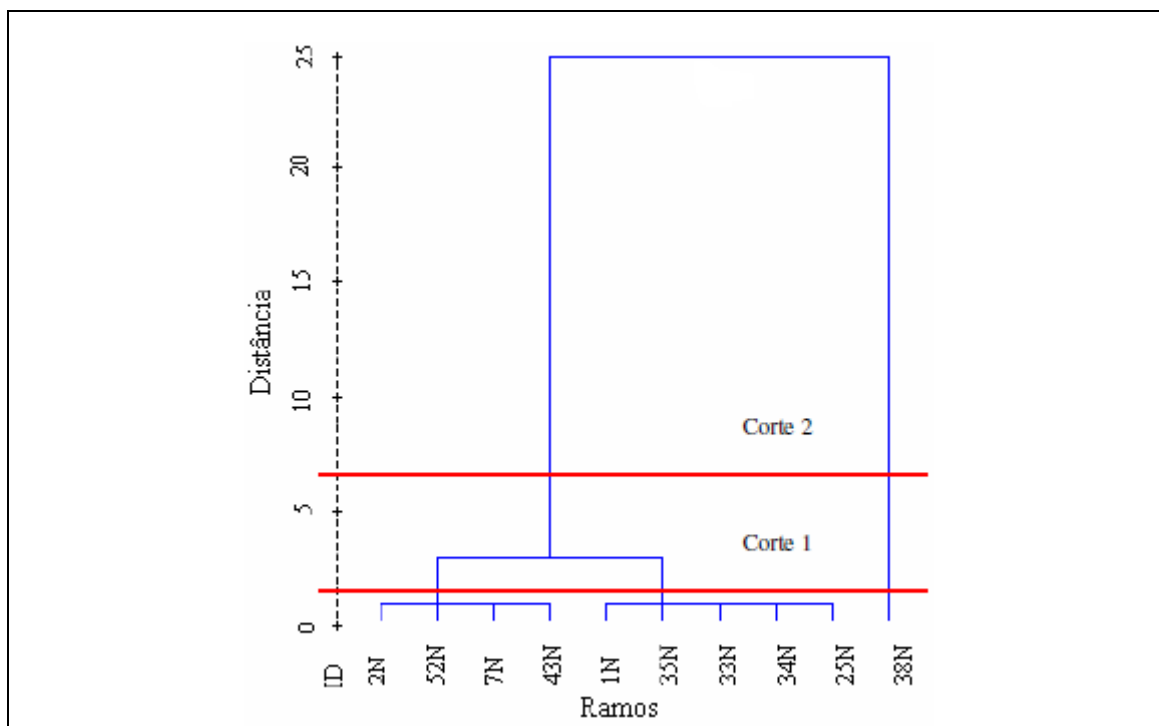


Figura 5-8 – Exemplo em que o dendrograma é cortado em dois níveis distintos (Fonte: Menezes et al., 2005).

No corte 1 (Figura 5.8), verifica-se a existência de três grupos: grupo I (2N, 52N, 7N, 43N); grupo II (1N, 35N, 33N, 34N, 25N) e o grupo III (38N). No corte 2 o número de grupos diminui para dois: grupo I (1N, 35N, 33N, 34N, 25N, 2N, 52N, 7N, 43N); grupo II (38N). Dessa forma, o usuário deverá escolher o corte mais adequado às suas necessidades e à estrutura dos dados (DONI, *op.cit.*).

6 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

6.1 Localização e acesso ao CNPMS

A cidade de Sete Lagoas localiza-se próxima à região metropolitana de Belo Horizonte, a cerca de 70 km da capital, em direção noroeste. Marcando o limite do município com o de Prudente de Morais encontra-se o CNPMS, com uma área de aproximadamente 2000 ha, sendo a principal via de acesso a esse centro a rodovia estadual MG 424 (Figura 6.1).

A área do CNPMS é cortada por inúmeras estradas vicinais e intermunicipais, com piso em terra batida, em geral de qualidade razoável, a menos da estação de chuvas. A mesma também é servida por um ramal, em bitola larga, da extinta Rede ferroviária Federal – RFFSA, hoje pertencente à uma subsidiária da mineradora Vale, a ferrovia Centro Atlântica – FCA.

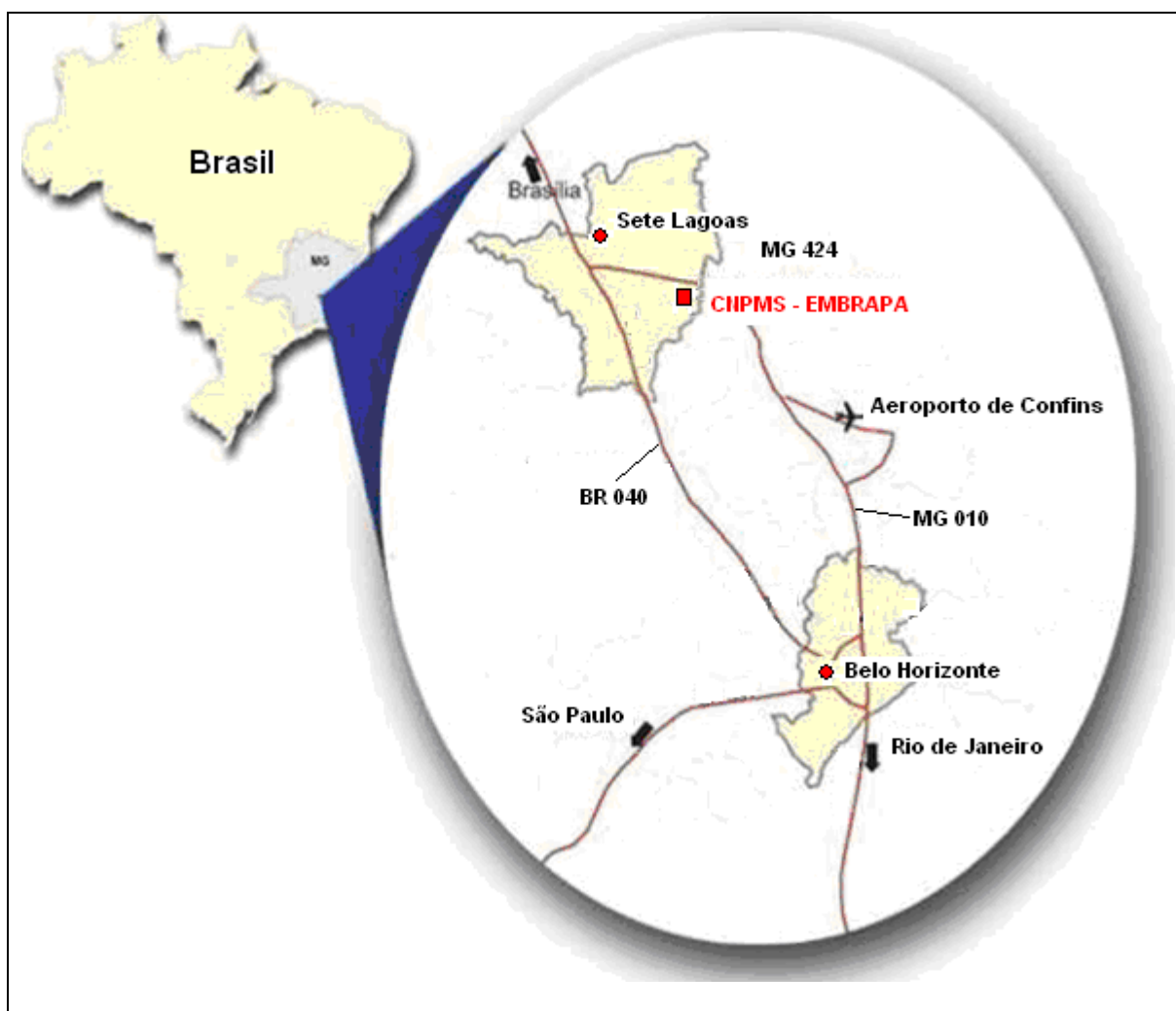


Figura 6-1 – Imagem ilustrativa da localização da área de estudo, situada entre os municípios de Sete Lagoas e Prudente de Morais. Fonte: Compilado de Machado, 2011.

6.2 Histórico do CNPMS

De acordo com Avellar e Silva (2000), a área da Fazenda Experimental da EMBRAPA, em Sete Lagoas-MG, tem sido utilizada para cultivos experimentais desde as primeiras décadas do século XX.

No ano agrícola de 1941-1942 foram iniciados experimentos de calagem e adubação em cultivos de algodão e soja, em terras da Estação Experimental de Sete Lagoas. Esses experimentos foram conduzidos, sem interrupção até o ano agrícola de 1947-1948. A grosso modo, o objetivo desses experimentos foi a de verificar a possibilidade de se elevar a fertilidade de terras ácidas, pobres em Fósforo, mediante a aplicação de farinha de ostras e calcários em presença e ausência de adubos fosfatados (ARAÚJO et al., 1950).

No governo de Getúlio Vargas, em 1943, foi criado o Instituto agrônômico do Oeste – IAO, por meio do Decreto-Lei 6155, de 30 de dezembro, que incorporou fazendas experimentais de Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso. Em 1956, já sob o governo de Juscelino Kubitschek de Oliveira, o Decreto 38928 fixou a sede do IAO em Sete Lagoas (AVELLAR E SILVA, 2000).

Após a criação do IAO, a pesquisa com variedades de algodão, que há vários anos vinha sendo conduzida nos campos experimentais da região, ganhou novo impulso. Nesta época, iniciou-se também intensa atividade de pesquisa com diversas variedades de milho, arroz e tomates. Investigou-se também o feijão, o amendoim e outras hortaliças. Também foram implantados experimentos de competição de variedade de soja, para produção de grãos. O IAO passou a se chamar Instituto de Pesquisa e Experimentação Agropecuária do Centro Oeste – IPEACO (LANZA, 1967).

No IPEACO – Sete Lagoas, foram realizados ensaios de adubação completa para trigo, em 1961. No período de 1962 a 1973, atividades experimentais relacionadas ao cultivo de arroz e trigo receberam novos estímulos, em vista de uma conjuntura favorável. Assim, realizaram-se o levantamento, sistematização, construção de tabuleiros e canais de irrigação, na várzea existente na gleba da sede do Instituto, para implantação e condução de cultivos com arroz irrigado, buscando verificar, dentre outros aspectos, os níveis adequados de adubação e calagem para essas culturas. Nesse período, foram avaliadas a influência dos macro e micronutrientes no cultivo de arroz (LANZA, 1967).

O atual Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS), fundado em 1976, é componente de uma rede de 38 centros de pesquisa coordenados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

No CNPMS são desenvolvidas atividades de pesquisa científica e tecnológica relacionadas, principalmente, ao cultivo de milho, sorgo e milheto, no que tange à produtividade, ao uso do solo, à irrigação, ao manejo de pragas e doenças e ao desenvolvimento de tecnologias associadas (NOGUEIRA, 2003).

O desenvolvimento da agricultura não é generalizado em toda a sub-bacia em que está inserido CNPMS, mas na área pertencente ao Centro de Pesquisa Milho e Sorgo da EMBRAPA, ocorrem aplicações de agroquímicos (fertilizantes e agroquímicos), os quais podem causar contaminação da água subterrânea como resultado do processo de lixiviação (MACHADO, 2011).

De acordo com as estimativas de campo e triangulação feita sobre imagem Google Earth (2011), pelos técnicos da EMBRAPA-Sete Lagoas, o CNPMS utiliza cerca de 400 ha para seus cultivos experimentais, dos quais 128 ha estão sob pivôs centrais de irrigação (Figura 6.2). Logo, as áreas de cultivo alcançam cerca de 21% da área total do CNPMS. O restante da área consiste em reservas florstais, áreas de preservação e instalações do Centro de Pesquisa.

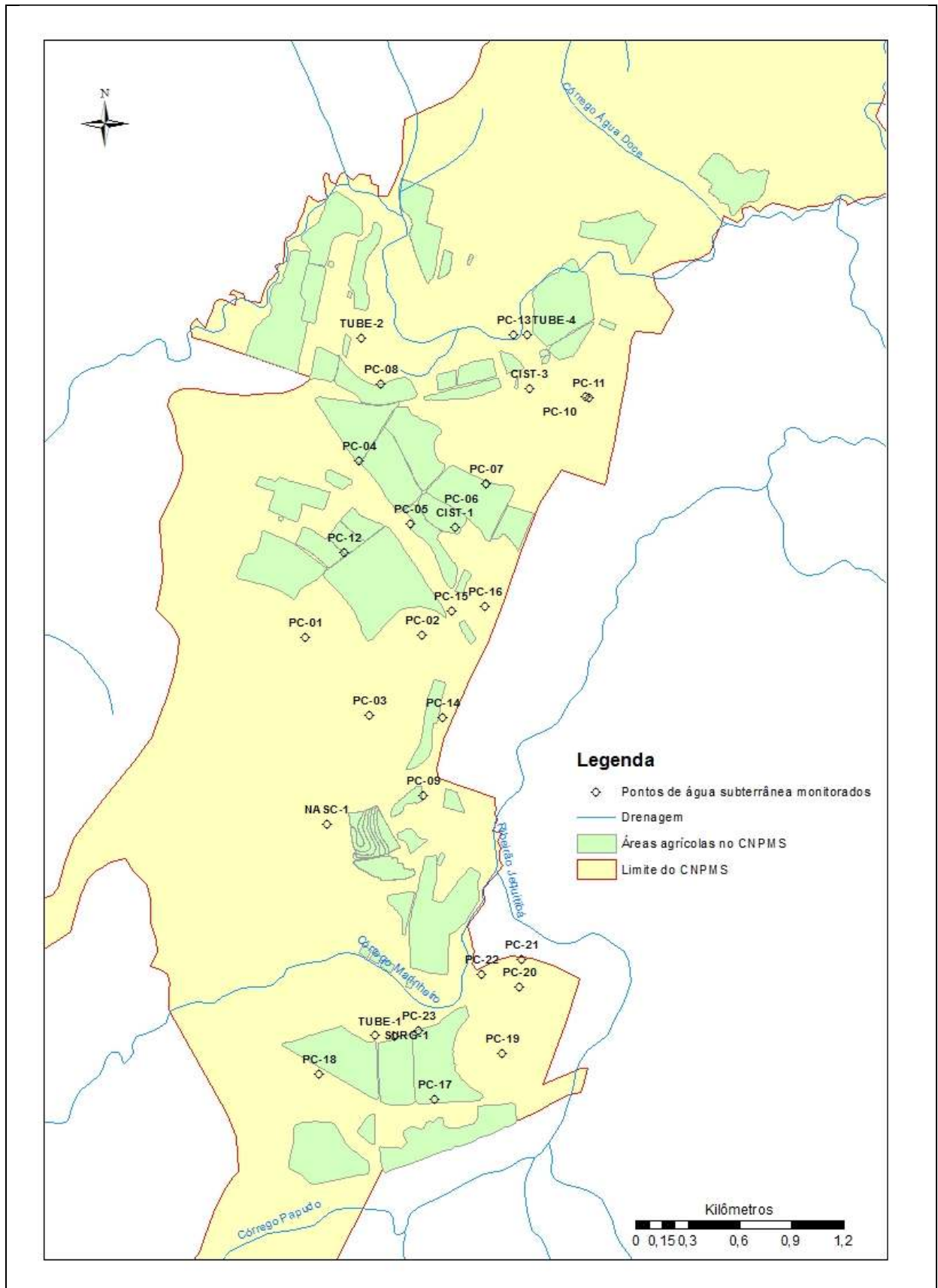


Figura 6-2 – Distribuição das áreas utilizadas para cultivos experimentais, dentro do CNPMS, em 2011

6.3 Clima, Pluviometria e Evapotranspiração

A grosso modo, as características climáticas da microregião de Sete Lagoas estão no contexto dos cerrados, na porção central de Minas Gerais. Segundo Avellar *et al.* (2009), o clima da região é do tipo Cwa, mesotérmico úmido, de acordo com a classificação de Köppen. O clima é tropical de altitude e apresenta duas estações bem definidas ao longo do ano. Uma estação apresenta verão quente e chuvoso (outubro a março) e a outra apresenta-se fria e seca, abrangendo o período de abril a setembro.

De acordo com Machado (2011), a evapotranspiração real para a área do CNPMS é estimada em 1015 mm/ano, considerando os valores de precipitação média (1382 mm/ano), escoamento superficial (117 mm/ano) e escoamento subterrâneo (250 mm/ano).

Ainda com base em Machado (*op.cit.*), a pluviometria média ao longo do ano encontra-se em torno de 1.000 a 1.500 mm/ano, sendo que 82% da precipitação anual se concentram entre os meses de novembro e março. A temperatura média é em torno de 20°C, no período seco, subindo para 23°C, no período chuvoso.

Medições pluviométricas realizadas na estação do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, localizada no CNPMS, resultaram em uma média de 1724 mm para os anos hidrológicos no período de 1989 a 2003, com máximo de 2128 mm no ano hidrológico 1995-1996 e mínimo de 1448 mm em 1989-1990 (VIANA, 2005).

A Figura 6.3, a seguir, apresenta um gráfico com as precipitações totais anuais, medidas na estações pluviométrica monitorada pelo INMET, localizada dentro do CNPMS (1980 - 2010).

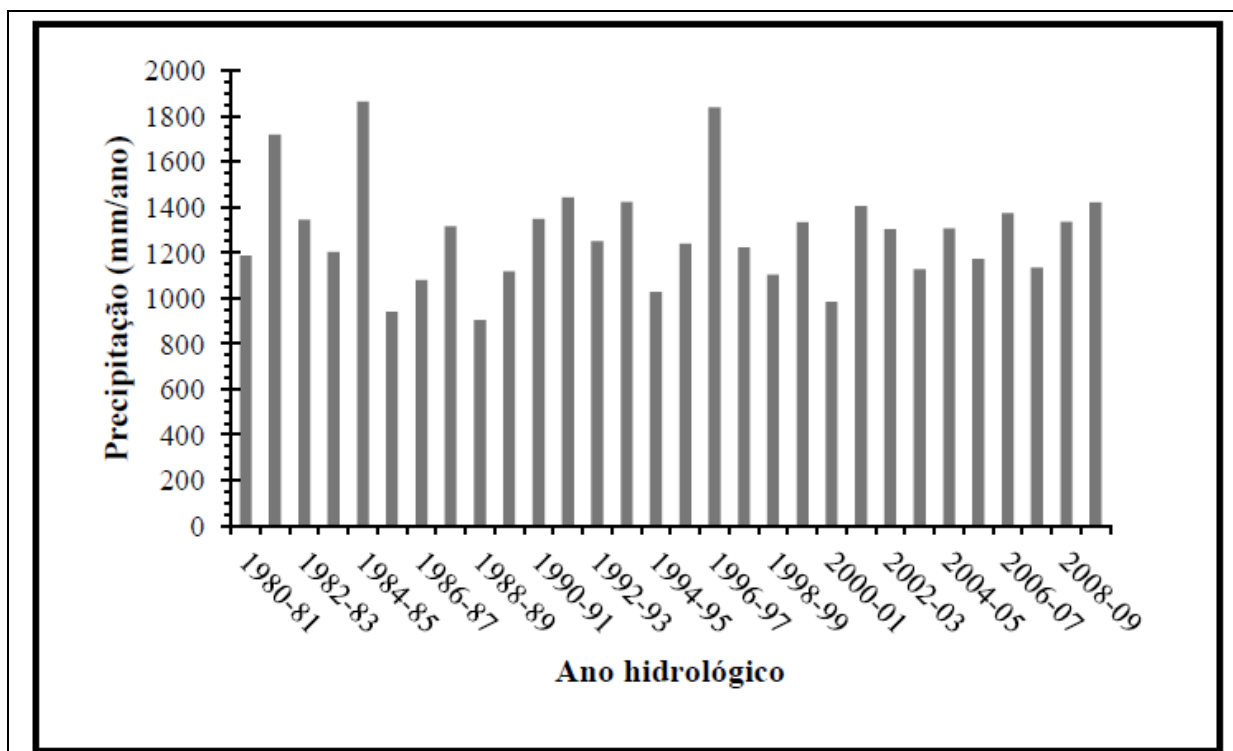


Figura 6-3 – Precipitações totais anuais medidas na estações pluviométrica monitorada pelo INMET, localizada dentro do CNPMS (1980 - 2010)

6.4 Hidrografia

A área do CNPMS apresenta uma baixa densidade de drenagem, sendo que a hidrografia local é compreendida pela bacia do Ribeirão Jequitibá, afluente da margem esquerda do Rio das Velhas (Figura 6.3). Seus principais afluentes presentes dentro da área de estudo são o Ribeirão Matadouro, que corta a área do CNPMS em sua porção noroeste, e o Córrego do Marinheiro, a sudoeste, que é a principal fonte de água para irrigação de culturas dentro do Centro de Pesquisa (Figura 6.4).

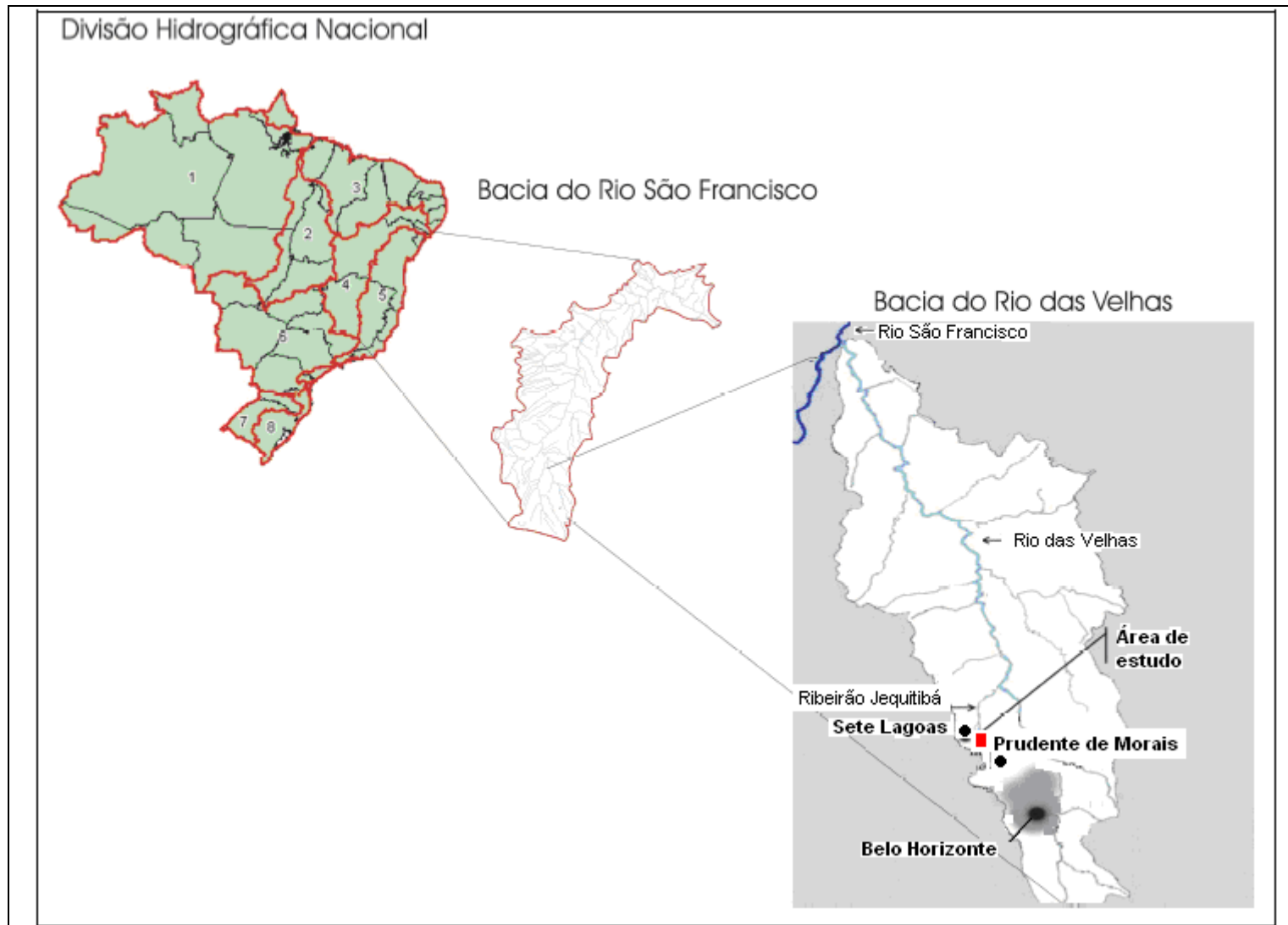


Figura 6-4 – Imagem ilustrativa da divisão Hidrográfica Nacional e da localização do CNPMS na bacia hidrográfica do Rio das Velhas. Fonte: Machado, 2011

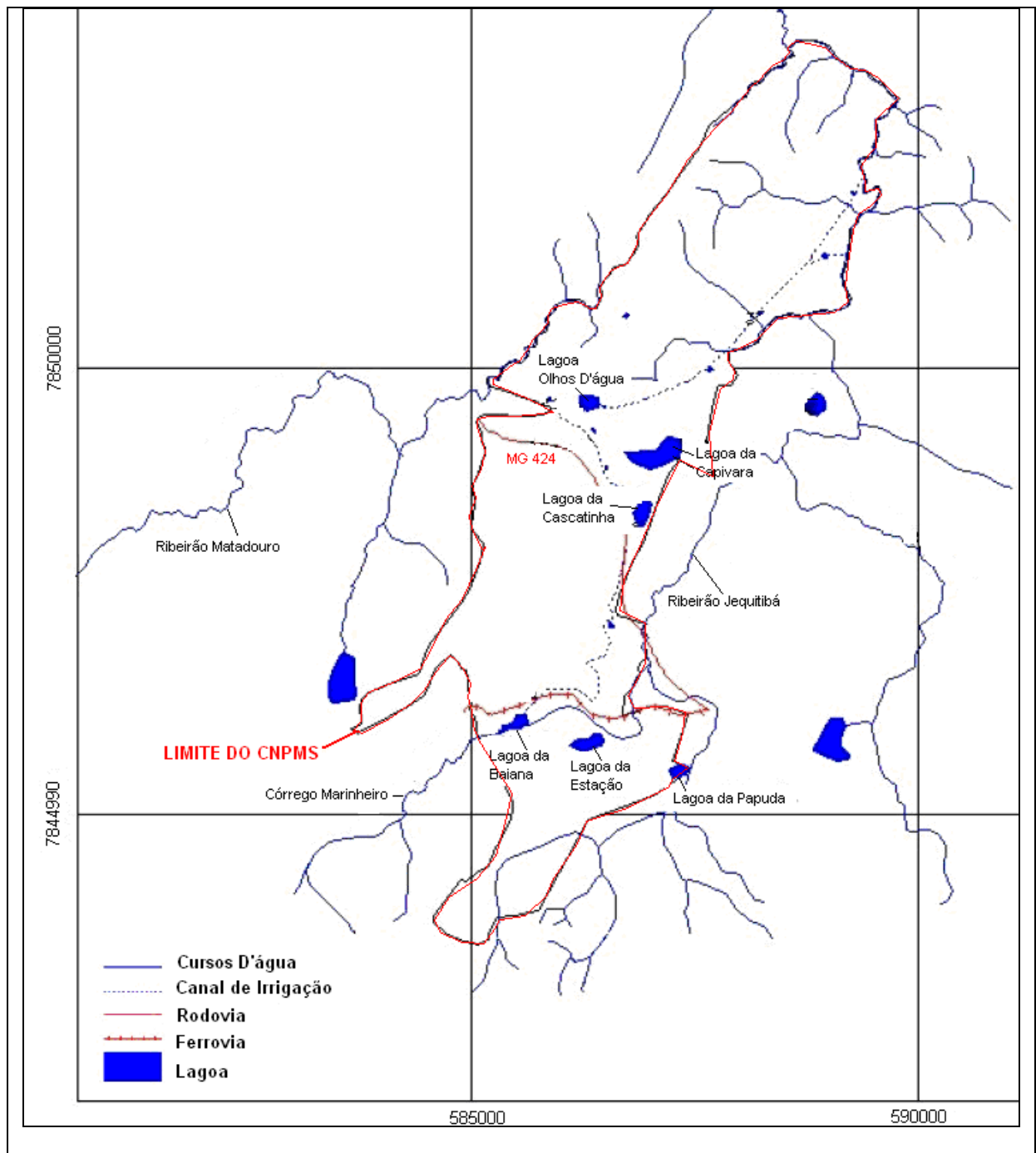


Figura 6-5 - Mapa hidrográfico da área em estudo (Fonte: Modificado de Batista, 2009)

6.5 Solos

Os solos característicos da área de estudo são predominantemente os Latossolos, sendo representados pelas classes Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho-Amarelo, e pequenas áreas de ocorrência de outras classes, como: cambissolos, neossolos e gleissolos, sempre associados às condições de ocorrência da paisagem (Figura 6.5).

Esses latossolos se desenvolveram a partir de coberturas colúviais assentadas sobre as rochas pelíticas alteradas do grupo Bambuí, correspondendo às superfícies de aplainamento com topos suavemente ondulados, ou com extensas superfícies rebaixadas (VIANA, 2005).

Por serem solos muito intemperizados, têm predomínio de caulinita e óxidos de ferro (hematita + goethita) e de alumínio (gibbsita), o que implica em carga positiva e baixa capacidade de troca catiônica – CTC da argila, acentuada acidez, baixa reserva de nutrientes e toxicidade para as plantas, devido ao alumínio (PANOSO *et al.*, 2002). Essa característica deve-se a uma junção de fatores, entre os quais destacam-se o tipo de rocha que originou o solo e os intensos processos de lixiviação pelos quais o solo passou.

Conforme destacam Panoso *et al.* (2002), embora o calcário esteja presente e seja apontado por diversos autores como de larga expressão na região, são poucas as evidências de sua participação ativa na formação dos solos da região. Os principais materiais originários dos solos em questão são produtos da decomposição de rochas sedimentares do Grupo Bambuí, como as ardósias, os filitos, os quartzitos e os folhelhos, típicas das regiões mais altas da paisagem, intemperizados *in situ* ou que foram transportados e depositados sobre a rocha calcária.

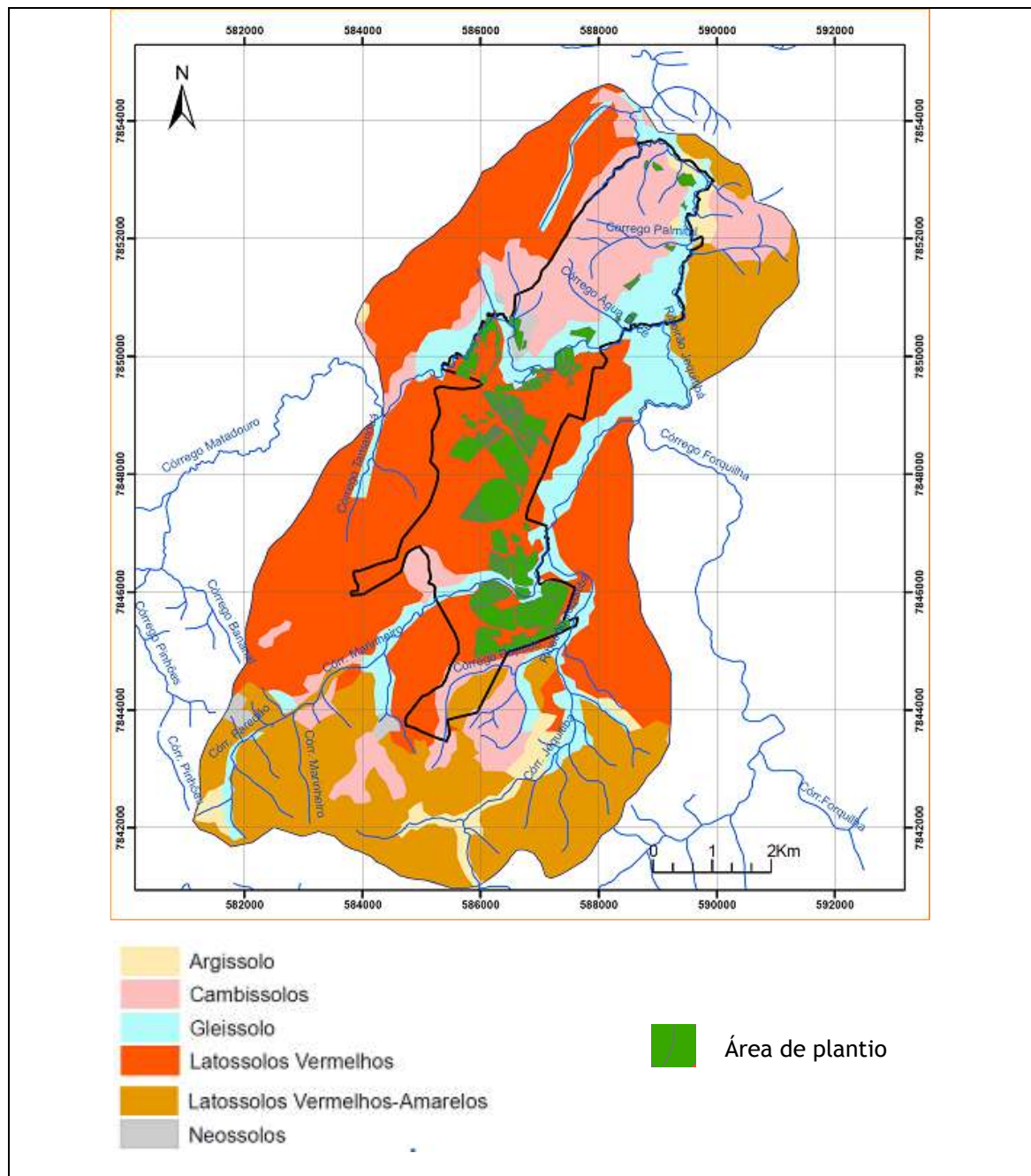


Figura 6-6 - Mapa de solos do entorno da área em estudo
(Fonte: Modificado de Ribeiro, 2003)

6.6 Uso do solo

A cidade de Sete Lagoas vem, ao longo dos últimos anos, crescendo e se industrializando, gerando uma diversidade muito grande de ambientes tanto urbanos quanto rurais. Nos ambientes naturais, a cobertura vegetal tem uma relação direta com a geologia e com o tipo de solo, formando paisagens muito características, muitas vezes com contatos bruscos entre os diversos ambientes. A vegetação nativa é representada pelos domínios: cerrado (mais importante); mata de galeria, mata seca e campos.

O mapa da Figura 6.6 traz a distribuição espacial, nas imediações do CNPMS, dos diversos tipos de uso e de cobertura do solo, sejam eles naturais ou antrópicos. Neste mapa, pode-se observar que a Área Cultivada representa o uso predominante nas porções central e sul do Centro de Pesquisa.

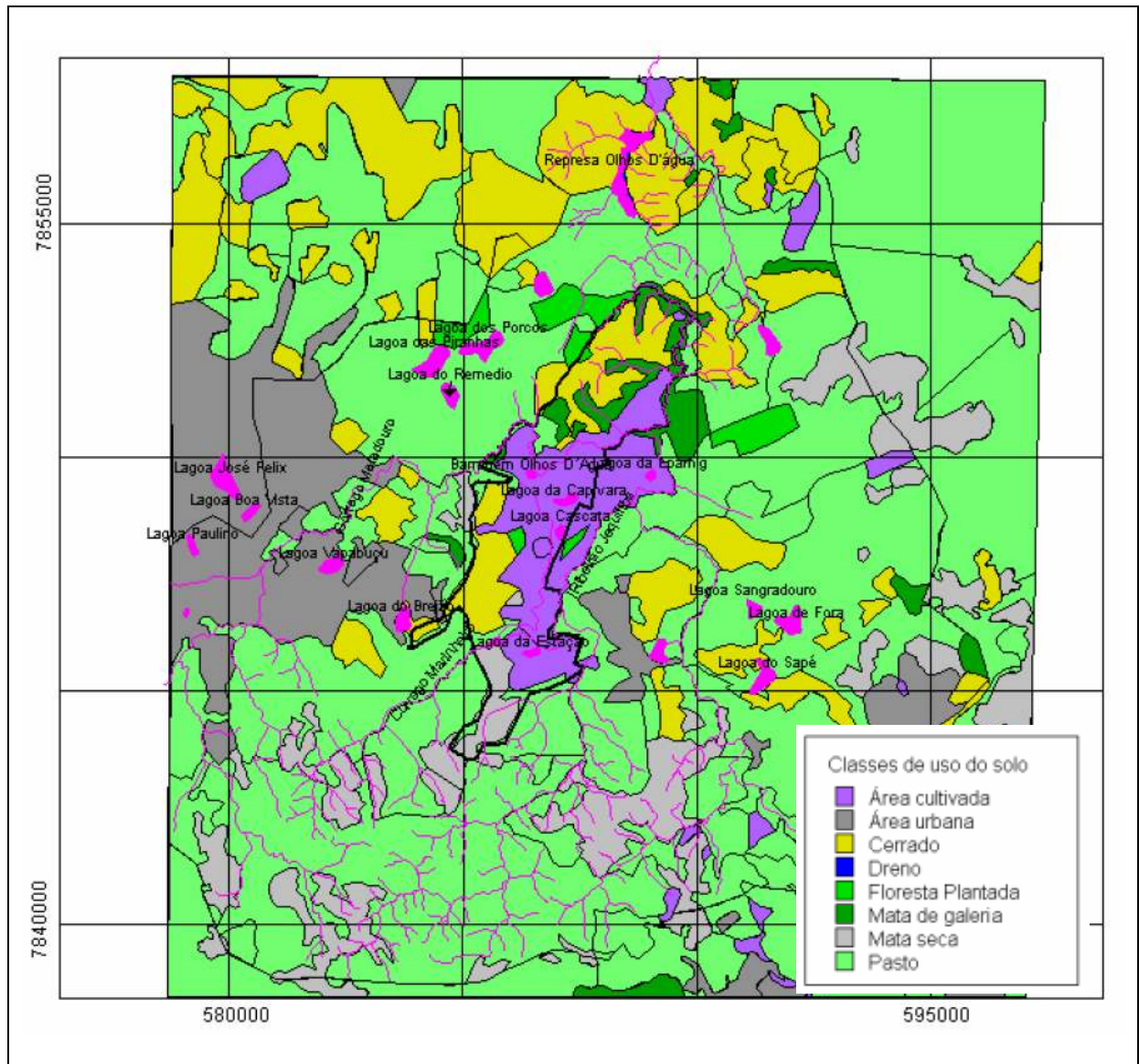


Figura 6-7 - Mapa de uso e ocupação dos solos da região em estudo
(Fonte: Modificado de CPRM, 1994)

6.7 Geologia

6.7.1 Geologia Regional

A área de estudo está situada na Bacia do São Francisco, que faz parte do Cráton homônimo. Essa bacia contém uma extensiva cobertura sedimentar de rochas clásticas e carbonáticas Neoproterozóicas (Supergrupo São Francisco), compreendendo uma unidade glacial basal

(Conglomerado Carrancas/Grupo Macaúbas/Formação Jequitai) coberta por uma espessa sucessão pelítica – carbonática (Grupo Bambuí), (Dardenne, 1978; Pessoa, 2005).

A unidade geológica característica dessa bacia é representada pelo Grupo Bambuí, que corresponde a uma espessa sucessão pelítica-carbonática, depositada durante o Neoproterozóico, assumindo assim, grande relevância no contexto geológico do Cráton do São Francisco. O registro dessa sedimentação carbonática estende-se aos Estados de Minas Gerais, Goiás e Bahia.

A região onde estão inseridos os municípios de Sete Lagoas e Prudente Moraes, os quais abrangem a área de interesse deste estudo, corresponde a uma pequena porção do extremo sudeste do Cráton São Francisco (Figura 6.7).

Neste trabalho adotou-se a coluna litoestratigráfica (Figura 6.8) proposta por Dardenne (1978), na qual o Grupo Bambuí, que na região em estudo está assentado sobre o embasamento cristalino (Complexo Gnáissico-Migmatítico), é dividido, da base para o topo, nas seguintes unidades:

- Formação Jequitai, composta por conglomerados, arcóseos e filitos;
- Formação Sete Lagoas, composta por dolomitos, calcários e pelitos;
- Formação Serra de Santa Helena, formada por folhelhos, siltitos e, secundariamente, arenitos;
- Formação Lagoa do Jacaré, composta por siltitos, margas e calcários pretos;
- Formação Serra da Saudade, que inclui folhelhos verdes, pelitos, siltitos e lentes de calcário; e
- Formação Três Marias, que ocupa o topo da sucessão compreendendo siltitos e arcóseos depositados em ambientes aluvial a marinho raso.

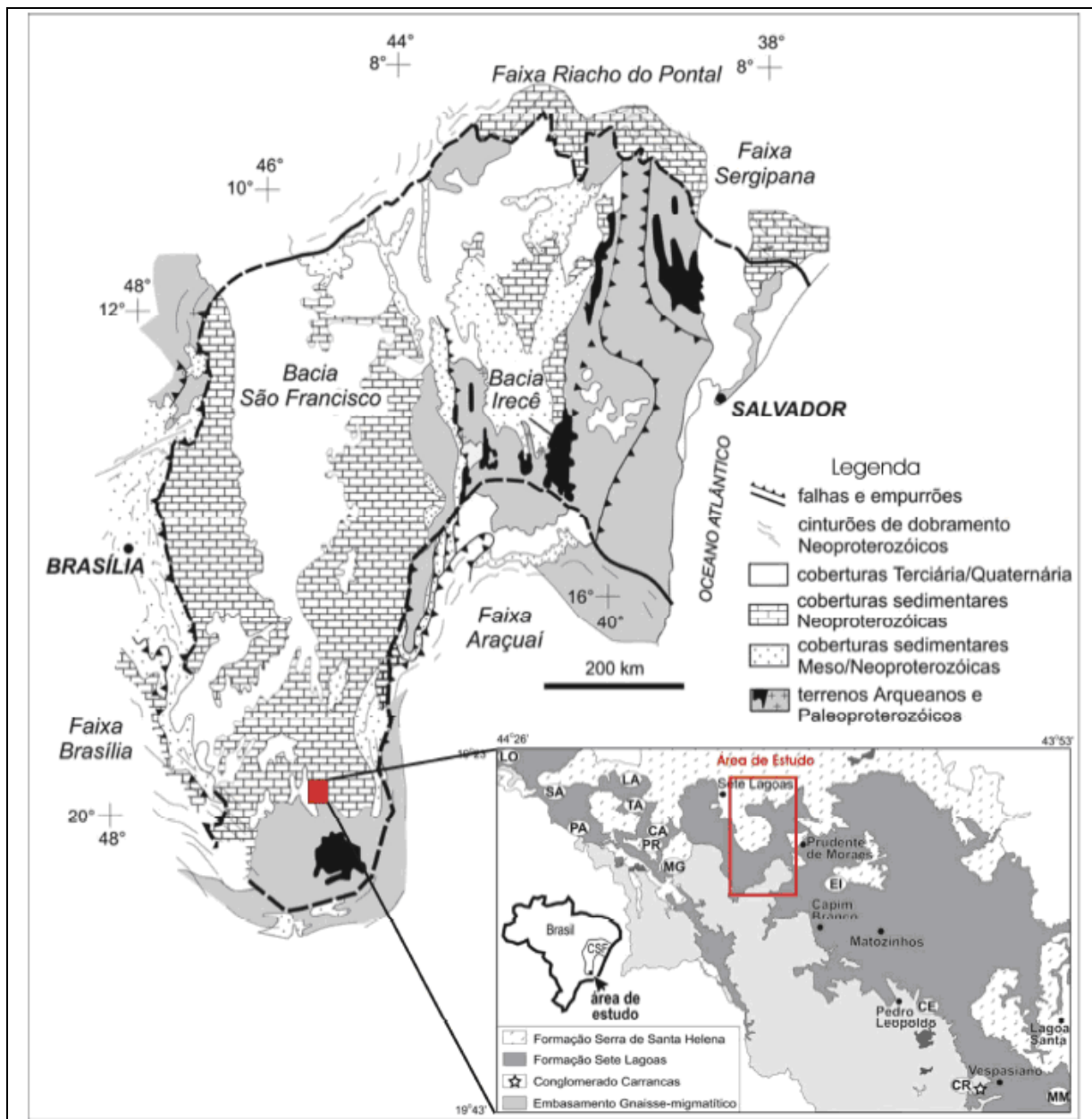


Figura 6-8 - Mapa geológico do Cráton São Francisco com a localização da área de estudo (Fonte: Compilado de Machado, 2011)

A Figura 6.8, a seguir, apresenta a coluna estratigráfica estabelecida para a região de Sete Lagoas, apresentada por Tuller e Ribeiro (1992).

Super-grupo	Grupo	Formação	Membro	Idade (ma)	Espessura (m)	Local Tipo	Coluna	Litologia	Ambiente deposicional
					0-40			Aluviões com areias de granulometria variada e cascalhos	
					0-30			Cobertura detriticas areno-argilosas com camadas lateriticas delgadas	
São Francisco	Bambuí	Serra de Santa Helena		600	200	Serra de Santa Helena		Metapelitos em camadas tabulares de espessura média a espessa, de cor cinza-esverdeado a preta. Apresentando marcas onduladas suaves, estruturas de carga e estratificação cruzada, se são. Intercalados por camadas tabulares de metassiltitos calcíferos, de espessura delgada a média e de cor esverdeada a acinzentada.	Transgressão marinha, afogamento plataforma.
		Sete Lagoas	Lagoa Santa		a	80		Pedreira do Carvão	Metacalcissiltitos em camadas tabulares de espessura delgada a média, coloração de cinza claro azulado a esverdeado, com intercalações, de camadas muito finas a delgadas, de metargilitos .Laminitos algálicos.
			Pedro Leopoldo		800	100		Pedreiras Canãan e Ilcon	Metacalcarenitos, finos a grosseiros, em camadas tabulares de espessura média a espessa, coloração de preto a cinza. No topo.
Complexo Gnáissico-Migmático (Embasamento cristalino)						Pedreira da Prefeitura		Gnaisses indiferenciados, migmatitos com estruturas dobradas, nebulíticos, dictioníticas, schiliren., estiliolíticos e surreíticos. Porções graníticas com granulação média a grosseira.	

Figura 6-9 - Coluna estratigráfica para a área de estudo e seu entorno (Fonte: TULLER e RIBEIRO, 1992)

6.7.2 Geologia Local

A geologia da área de estudo é representada pelos litotipos do Grupo Bambuí que possuem origem na sedimentação carbonática e pelítica, representados pelas Formações Sete Lagoas e Serra de Santa Helena, sobrepostas ao embasamento gnáissico-migmatítico (RIBEIRO *et al.*, 2003). Esses litotipos, às vezes, são encontrados com elevado grau de alteração, bastante intemperizados e com processos de pedogênese avançados.

As unidades litoestratigráficas que constituem o arcabouço geológico da área de estudo estão descritas, a seguir, das unidades mais antigas para as mais recentes, com base no relatório final do Projeto Vida da CPRM (RIBEIRO *et al.*, 2003), que sintetiza os trabalhos de mapeamento geológico realizados na micro-região de Sete Lagoas e em municípios da RMBH, na área de domínio geológico do Grupo Bambuí. Observa-se que as rochas carbonáticas pertencentes ao membro Lagoa Santa aparecem expressivamente na área do CNPMS, seguidas das rochas pelíticas da Formação Serra de Santa Helena, que dominam a parte oeste e norte da área.

- **Pré-Cambriano: Complexo Gnáissico-Migmatítico Indiferenciado**

As rochas deste Complexo ocorrem, restritamente, ao sul da área de estudo. Compreendem rochas eruptivas e metamórficas, litologicamente bem diversificadas e muito intemperizadas. Os afloramentos mostram litótipos de composição granito-gnáissica e migmatítica, com padrões texturais e estruturais variando de rochas bandadas, fortemente foliadas a incipientes e isotrópicas. Exibem contatos, em geral, transicionais, em particular entre gnaisses, migmatitos e, ou granitóides. Comumente apresentam-se intemperizados ou semi-alterados, mas conservando, quase sempre, a estruturação original da rocha. Em geral, apresentam foliação de baixo ângulo. Os granitóides são em geral de cor cinza claro a esbranquiçada, de granulação grossa a média.

- **Coberturas neoproterozóicas – Sequências Sedimentares do Grupo Bambuí**

Na região de Sete Lagoas dominam sequências sedimentares que fazem parte do contexto litoestratigráfico do Grupo Bambuí, que localmente apresenta, da base para o topo, as Formações Sete Lagoas e Serra de Santa Helena.

A Formação Sete Lagoas assenta-se em discordância sobre rochas do Complexo Gnáissico-Migmatítico, que constituem o embasamento cristalino. É constituída, da base para o topo, pelos Membros Pedro Leopoldo e Lagoa Santa.

O Membro Pedro Leopoldo é constituído por calcissiltitos e/ou microesparitos-esparitos, micritas, subordinadamente calcarenitos muito finos, margas e milonitos protoderivados. Compreende quatro fácies, que em alguns locais subdividem-se em micro fácies, não descritas neste texto.

O Membro Lagoa Santa ocorre na região a leste de Sete Lagoas, adjacências de Prudente de Morais e a SW de Funilândia. É constituído por calcarenito, calcissiltitos e/ou espatitos-microespatitos, brecha, estromatólitos e milonitos protoderivados.

A Formação Serra de Santa Helena compreende rochas pelíticas em geral, siltitos e argilitos em grande parte decompostos a semi-alterados. Quando se apresentam frescos mostram clivagem ardosiana e coloração verde escuro. Quando se apresentam alterados a semi-alterados exibem coloração muito variada, do amarelo ao vermelho vivo e do creme ao cinza claro. São encontrados em estratos finos ou em camadas espessas, às vezes com clivagem ardosiana, e em camadas ou lâminas com estratificação plano-paralela, localmente com marcas de ondas assimétricas. Toda a sequência é cortada por abundantes veios de quartzofeldspatos, dobrados, quase sempre preenchendo fraturas ou zonas de alívio, originadas de processos distensionais. Exibem frequentes drusas e cristais hialinos e euédricos de quartzo. Sua espessura varia de centimétrica a cerca de 200 m. Inclui uma fácies, a saber, a fácies Carrancas que não ocorre na área de estudo.

- **Cenozóico - coberturas detrito-lateríticas e aluviões**

Na área do estudo e no seu entorno, esses depósitos foram mapeados apenas a montante, no vale do ribeirão do Matadouro e à jusante da lagoa do Brejão.

Os aluviões recentes, atribuídos ao Quaternário e Terciário, são constituídos por sedimentos continentais terrígenos, inconsolidados e mal selecionados, em que predominam cascalhos, areias, siltes e argilas. Os cascalhos são a fração mais pesada e tornam-se mais grosseiros para montante dos cursos d'água, predominam grãos arredondados, sub-arredondados, angulosos e sub-angulosos de quartzo e fragmentos de rochas. Blocos de matações são frequentes nesses

depósitos. As areias, siltes e argilas são abundantes e apresentam estruturas sedimentares, como estratificação cruzada tabular, acanalada e plano-paralela.

Os depósitos aluviais mais recentes, dos cursos d'água ativos, são atribuídos ao Quaternário, enquanto os mais antigos, de cursos d'água inativos e abandonados, pertencem ao Terciário. Esses materiais, geralmente, estão recobertos por solos diversos, predominando na área de estudo os latossolos.

A Figura 6.9, a seguir, apresenta um mapa litológico síntese para a área do CNPMS e seu entorno.

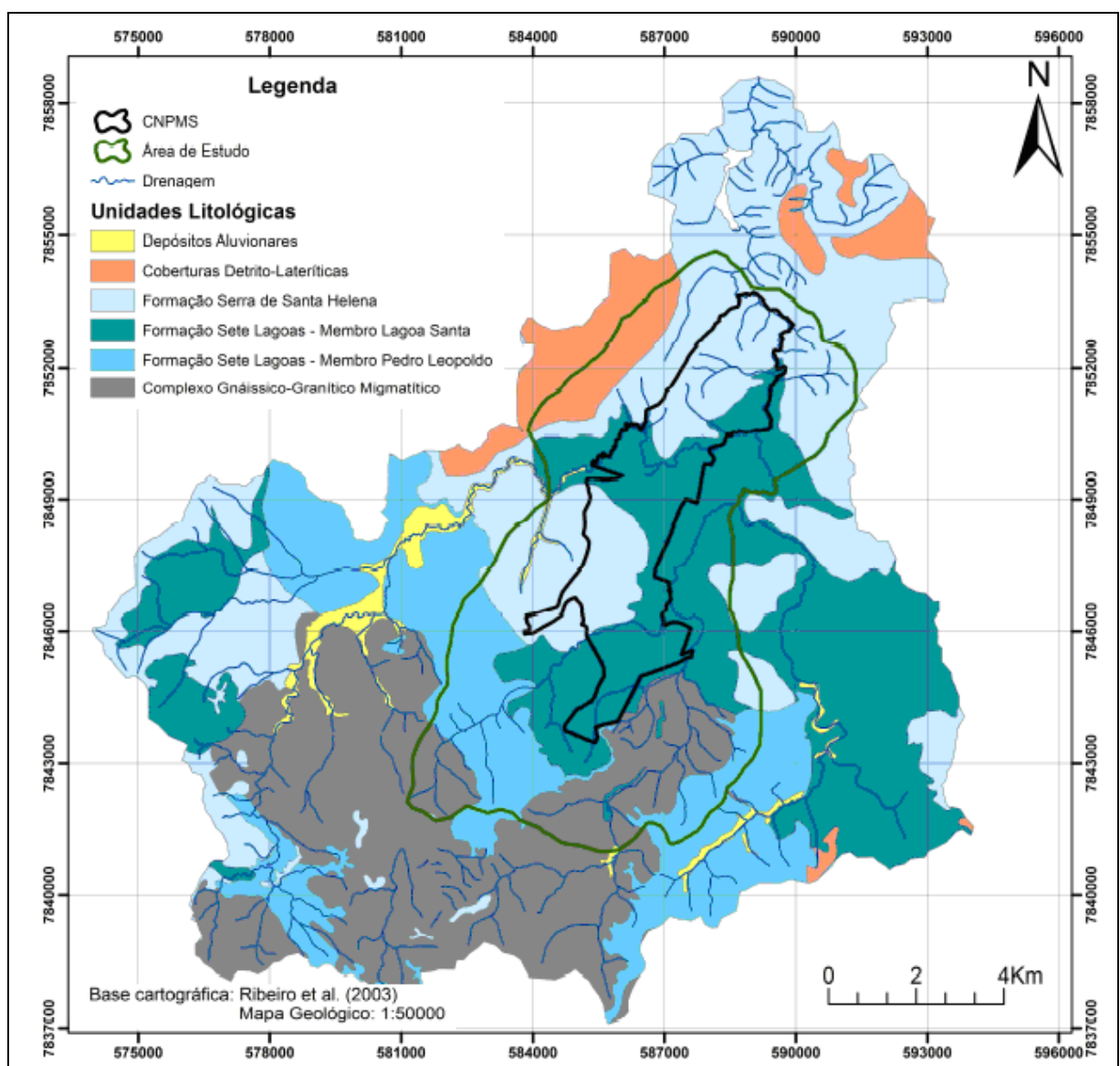


Figura 6-10 - Mapa litológico simplificado da área de estudo e seu entorno
(Fonte: Modificado de Ribeiro, 2003)

6.8 Geomorfologia

Com base no trabalho de Pessoa (2005), observa-se que o desenvolvimento do relevo da região de Lagoa Santa e proximidades (incluindo Sete Lagoas e Prudente de Moraes) está tipicamente associado aos três cenários principais de compartimentação morfoestrutural, quais sejam: Domínios de “Carste Coberto”; “Carste Exposto”; e “Carste Intraestratal”.

Segundo esse autor, em cada um desses compartimentos (domínios) existe uma relação de causa e efeito dada pelo posicionamento dos estratos de calcário calcítico no interior do empilhamento litoestratigráfico. Verifica-se que, em função desses calcários calcíticos responderem de forma muito mais acelerada aos mecanismos de dissolução atuantes em presença da água, a ação da morfogênese nesses materiais ocorre muito antes do que nos outros materiais presentes e, assim, dita as regras acerca dos processos primordiais de elaboração do modelado.

No entanto, o fator relativo à presença do calcário não atua de forma isolada, estando outros fatores atrelados aos processos como um todo. Pessoa (2005) observa, ainda, que há três fatores principais atuantes nesses processos, sendo que os mesmos interagem de maneira associada, a depender do grau de inter-relacionamento entre ambos, espacialmente.

O primeiro fator, já citado, refere-se à localização dos estratos de calcário calcítico, sendo o mais importante, em função de ser o que responde mais rapidamente aos mecanismos de dissolução em presença da água. Através da solubilização quase total de seu conteúdo, iniciam-se as primeiras alterações físicas no modelado do relevo, as quais podem se expressar de maneiras diversas, e que, em geral, em decorrência do processo contínuo de dissolução, podem acarretar na criação de espaços vazios em subsuperfície, com possíveis implicações na superfície do terreno.

O segundo fator está relacionado à espessura do manto de cobertura pedológica e à localização dos outros tipos litológicos que se encontram invariavelmente intercalados dentro do pacote litoestratigráfico.

O terceiro fator é constituído pelas estruturas originadas pelos processos de deformação que atuaram na região, como falhas, fraturas, contatos estruturais, foliações minerais etc. Observa-se que sua expressão é melhor caracterizada ao longo de todo o conjunto de paisagem.

Pessoa (2005) destaca que, no domínio do “Carste Coberto”, o processo de intemperismo que atuou em toda a região manifesta-se de maneira mais homogênea e uniforme ao longo de sua faixa de abrangência, onde a interferência dos atributos estruturais, como falhas e fraturas, atuaram de forma localizada. Os siltitos e argilitos da Formação Serra de Santa Helena foram, nesse compartimento, quase que totalmente decompostos pelos processos intempéricos, não restando vestígios de estruturas primárias reliquiares que pudessem ser observadas em superfície. Nota-se, como resultado, a presença de solos vermelhos argilosos, em geral constituindo profundos mantos do material poroso sobre o pacote de rochas calcárias.

Segundo Pessoa (*op.cit.*), essas características do compartimento do “Carste Coberto” estão relacionadas com a condição na qual se encontra a superfície do assoalho cristalino, em vista de que toda a sua faixa de abrangência concorda com as porções menos acidentadas dessa superfície basal. Sua característica mais notável refere-se à presença de calcários calcíticos, predominantemente, diretamente abaixo desse manto de decomposição, observando-se em conjunto às estruturas localizadas (como fraturas e falhas de contatos interestratais), sua influência sobre os processos morfogenéticos em superfície.

Tal conformação do pacote litoestratigráfico proporcionou a ocorrência de um carste coberto, típico desse domínio, sendo que uma das feições comumente observadas refere-se à forma de descarga do lençol freático no meio intersticial, através de pequenos lagos que se constituem em pequenas depressões, quase fechadas localmente, e funcionam como mantenedores dos cursos d’água que se desenvolvem a partir dos mesmos, numa condição perene ou intermitente.

Na região do município de Lagoa Santa, situado nas proximidades de Sete Lagoas, Pessoa (2005) verificou situações distintas de desenvolvimento dos processos de carstificação, as quais estão apresentadas na Figura 6.10.

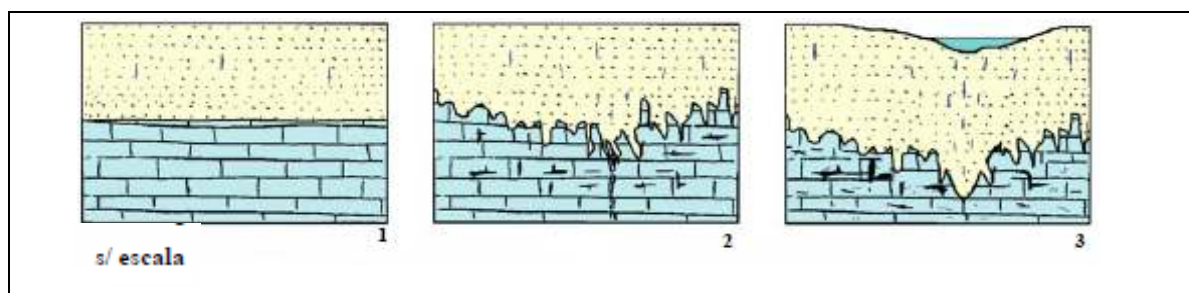


Figura 6-11 – Seções esquemáticas interpretadas das feições superficiais e subterrâneas típicas do compartimento do Carste Coberto, com base nas observações da superfície topográfica e dos dados das sondagens. (Fonte: Modificado de PESSOA, 2005)

Segundo Pessoa (*op. cit.*), há certos locais onde não são observados indícios de dissolução em superfície, sendo representado pelo tipo 1 da Figura 6.10, o exemplo mais simples em questão. Além disso, esse autor verificou que, em determinadas zonas cobertas pelo manto de intemperismo, dolinas de dissolução podem se desenvolver no contato com a zona episcárstica. O tipo 2, da Figura 6.10, busca ilustrar tais circunstâncias presentes em profundidade.

Ainda de acordo com esse autor, outras situações decorrem do fato de que, às vezes, os metassedimentos estão associados a fraturas subverticais, não perceptíveis no nível do terreno, onde os processos de dissolução podem estar se desenvolvendo, de forma mais intensa, até que originam num dado momento, o início da formação de depressões superficiais, que passam a acumular águas pluviais. Esse mecanismo tende a se desenvolver de forma gradual, à medida que se inicia a estocagem sazonal de água na superfície argilosa do terreno, alimentando, lenta e verticalmente ao longo do tempo, as faixas de maior permeabilidade no contato solo/rocha, tornando-se assim, mais condicionada a essas zonas de absorção da zona epicárstica. Essas feições de relevo possivelmente devem estar associadas às condições apresentadas no tipo 3 da Figura 6.10.

A Figura 6.11 ilustra os aspectos principais do domínio do Carste Coberto, onde se encontram feições encobertas, em corte de taludes, e, em parte, expostas nos sopés dos maciços calcários.

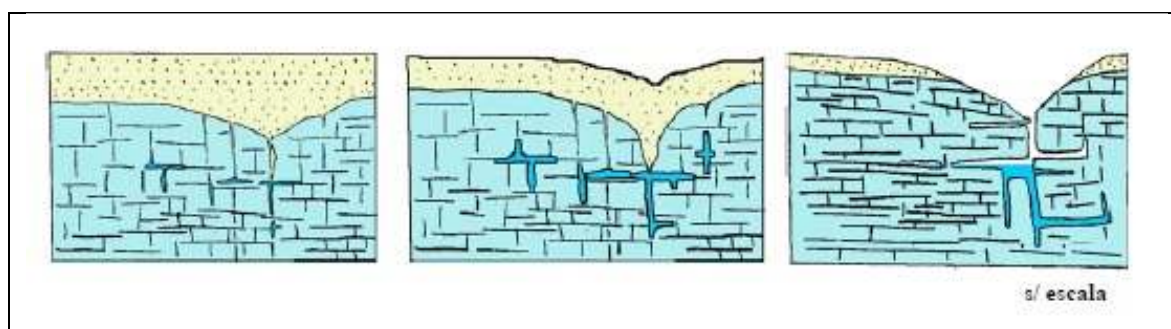


Figura 6-12 – Seções esquemáticas demonstrando as feições típicas de desenvolvimento dos compartimentos cársticos em superfície ou observados em subsuperfície pelo decapeamento. (Fonte: PESSOA, 2005)

Quanto aos outros dois domínios definidos por Pessoa (2005), ressalta-se que o domínio do “Carste Exposto” define os locais onde foi observada a presença de feições do tipo dolina, de forma agrupada ou isolada, sendo que o domínio do “Carste Intraestratal”, por sua vez, representa uma faixa em que os estratos de rocha carbonática mais pura encontram-se intercalados aos estratos de rochas metapelíticas.

6.9 Hidrogeologia

De acordo com Machado (2011), há duas regiões de características bastante distintas em termos de infiltração da água e de recarga dos aquíferos, na área do CNPMS.

Na primeira região, de maior recarga, nota-se um relevo mais suave, coincidindo com a presença das rochas da Formação Sete Lagoas – Membro Lagoa Santa, que apresentam maior solubilidade. Nessa área, a rede de drenagem é mais escassa e há presença de dolinas deixando clara uma extensa área de recarga dos aquífero cárstico devido à alta taxa de infiltração provocada pela presença de canais subterrâneos.

A segunda região, localizada nos extremos norte e sul da área do CNPMS, destaca-se pela presença da Formação Serra de Santa Helena, associada a um relevo bastante ondulado indicando piores condições de recarga visto que os solos dessa área são pouco permeáveis e o relevo acidentado facilita o escoamento superficial.

Os aquíferos existentes no entorno do Centro de Pesquisa refletem diretamente a composição litológica, a textura do meio de percolação das águas subterrâneas e a geometria de seus respectivos litotipos associados.

Segundo Machado (*op.cit*), os aquíferos presentes na área de estudo correspondem a três classes distintas de rochas, sendo a primeira e mais importante constituída pelas rochas pelito-carbonáticas do Grupo Bambuí, representada na área pelas formações Sete Lagoas (calcários) e Serra de Santa Helena (pelitos). A segunda classe corresponde aos litotipos do embasamento cristalino, representada por gnaisses e migmatitos; e a terceira refere-se essencialmente aos materiais de alteração das rochas supracitadas, os quais se distribuem de acordo com a intensidade de transporte - alúvios, colúvios e elúvios.

Essa autora define quatro tipos diferentes de aquíferos na área de estudo, com base na descrição geológica, quais sejam:

- Aquífero Granular, constituído pelas coberturas superficiais;
- Aquífero Cárstico, representado pelas rochas da Formação Sete Lagoas (calcários);
- Aquífero Fraturado-Cárstico, associados à presença de intercalações lentes calcárias entre as rochas pelíticas, na Formação Serra de Santa Helena; e,
- Aquífero Fraturado, presente no domínio do Complexo Gnáissico-Migmatítico.

Cada uma dessas unidades aquíferas está descrita no texto a seguir.

6.9.1 Aquífero Granular

As características hidráulicas desses aquíferos são muito variáveis, sendo que, na região, o principal fator de diferenciação é o material de origem do solo. Destacam-se na área dois tipos principais de solos; os Latossolos presentes na maior parte da área, tendo como material de origem as rochas pelíticas e suas coberturas associadas; e os cambissolos que se encontram associados à presença da rocha pelítica típica da Formação Serra de Santa Helena.

Os latossolos, conforme já descrito anteriormente, são muito argilosos, mas podem apresentar condutividade elevada devido ao arranjo estrutural dessas partículas em forma de micro agregados.

Já os cambissolos são caracterizados por apresentarem duas camadas distintas: uma fina camada de material cascalhento que apresenta algum grau de cimentação e uma camada de material silto-argiloso, bastante compacto, com estrutura laminar.

Esses aquíferos são explorados na região por meio da escavação de cisternas e cacimbas, com profundidade máxima de 20 m. Sua utilização é principalmente para abastecimento doméstico sendo que, no CNPMS, tais águas têm apenas uso laboratorial, visto que as águas de origem cárstica do poço que abastece o centro de pesquisa apresentam um alto grau de dureza.

6.9.2 Aquífero Cárstico

O aquífero cárstico corresponde à faixa de rochas calcárias, onde o fluxo e o armazenamento estão condicionados por condutos de fraturas alargadas por dissolução do material carbonático.

As rochas calcárias mais puras são mais suscetíveis à solubilização, o que faz com que as áreas de presença do Membro Lagoa Santa apresentem um grau de carstificação mais elevado.

A recarga dos aquíferos cársticos se dá, segundo Mourão *et. al.* (2001), em áreas de afloramento das rochas carbonáticas, em locais onde há drenança a partir dos aquíferos granulares sobrepostos e em zonas de absorção cárstica de águas subterrâneas condicionadas pela presença de dolinas e sumidouros.

Na área em estudo, pode-se constatar uma ampla área de recarga localizada na porção central coincidente com o afloramento da Formação Sete Lagoas em um terreno plano, onde a densidade de drenagem torna-se muito baixa e onde alguns córregos perdem carga em pequenos trechos.

A descarga natural desses aquíferos ocorre, segundo Pessoa (1996), quando o volume infiltrado atinge zonas de circulação lenta e mais profunda, na forma de uma recarga efetiva, e/ou escoar ao longo dos condutos endocársticos rumo ao Rio das Velhas, que é o nível de base regional, visto que o embasamento cristalino não funciona como um receptor de água. Salienta-se, porém, que parte dessa descarga ocorre nas drenagens superficiais constituídas pelos ribeirões Jequitibá e Matadouro, bem como no córrego Marinheiro. Além disso, a descarga também pode ocorrer artificialmente, por meio da exploração da água subterrânea através de poços tubulares.

Dentro do CNPMS, existem quatro poços tubulares, sendo dois deles jorrantes. Esses poços têm profundidade em torno de 70 m, sendo que os poços não jorrantes apresentam nível estático de aproximadamente 5 m.

Toda a água para consumo humano utilizada no CNPMS tem origem nesses poços tubulares, sendo que suas vazões médias são 312 m³/dia para o par principal de poços (bombeados alternadamente) e de 150 m³/dia para os poços jorrantes.

6.9.3 Aquífero Fraturado-Cárstico

Os aquíferos fissurados-cársticos, segundo Mourão *et al.* (2001), associam-se à existência de pacotes rochosos nos quais se verifica a mistura ou alternância de frações argilo-siltosas e carbonáticas. Esses sistemas apresentam aspectos hidráulicos contrastantes e variando desde aquíferos fissurados a aquíferos cársticos, passando por características intermediárias aos dois.

O fluxo nesses aquíferos está relacionado às fraturas existentes nas rochas ardósianas que, devido à presença de lentes calcárias, podem se alargar pela dissolução da rocha tornando o fluxo mais concentrado.

O processo de infiltração mais eficaz, de acordo com Pessoa (1996), ocorre ao longo das zonas mais intensamente fraturadas em que metassedimentos encontram-se com espessura em

torno de 60 m. Nas zonas cobertas por espessos mantos de intemperismo a recarga é lenta e só ocorre através de filtrações verticais descendentes, ou ainda em zonas congruentes aos cursos d'água em que o talvegue corresponde a traços do tipo “riacho-fenda”.

A descarga do aquífero é feita principalmente por meio de drenança para o aquífero cárstico subjacente, sendo que a área de descarga coincide com a sua área de recarga associada ao maior grau de fraturamento, o que também aumenta o processo de carstificação.

A presença desse tipo de aquífero na região é pouco comum, visto que existem poucos vestígios da existência das rochas da Formação Serra de Santa Helena, que normalmente já se encontram bastante intemperizadas.

6.9.4 Aquífero Fraturado

Os aquíferos fissurados, segundo Costa (2008), estão associados à existência de fraturas em rochas que apresentam porosidade praticamente nula. Essas fraturas são formadas por variações nas condições de tensão verificadas durante vários episódios na história geológica dessas rochas.

Na área em questão, esses aquíferos estão associados às rochas do complexo gnáissico-migmático, constituído por granitóides de composição diversificada localizados no extremo sul do domínio de estudo.

O fluxo e o armazenamento da água são restritos às zonas de discontinuidades das rochas, havendo, de acordo com Pessoa (1996), duas formas de fluxo: uma mais rasa, interconectada hidraulicamente ao manto de intemperismo; e outra profunda, em regime de confinamento exercido pelo isolamento de fraturas em maiores profundidades.

Segundo Mourão *et. al.* (2001), o encaixamento de trechos de cursos d'água em sistemas de fraturas e a drenança a partir do manto de cobertura colúvio-eluvionar, que pode em determinados locais ser bastante espesso, promovem a recarga do aquífero.

As principais formas de descarga do aquífero são: a infiltração da água para as zonas mais profundas; a transferência de água para os cursos d'água; e a ocorrência de fontes pontuais e difusas que brotam de fissuras, ou em zonas de contato entre o saprolito e a rocha fresca.

6.9.5 Modelo Hidrogeológico

No desenvolvimento do modelo hidrogeológico computacional, elaborado por Machado (2011) para a área do CNPMS, foram incorporados os elementos integrantes do modelo hidrogeológico conceitual, incluindo suas respectivas unidades hidroestratigráficas, os aspectos geológicos, as condições de recarga, o sistema de drenagem superficial, a conformação topográfica do terreno, os poços de bombeamento e os poços de monitoramento do nível d'água.

O domínio hidrogeológico estudado, definido por Machado (2011), segue os altos topográficos situados no entorno do CNPMS, de forma a limitar uma bacia hidrográfica. Essa área de estudo apresenta um sentido de escoamento d'água das bordas para o centro e de sul para norte, seguindo em direção aos níveis de base locais, ribeirões Jequitibá, Matadouro e Marinheiro e, conseqüentemente, rumo ao nível de base regional, que é o Rio das Velhas.

A Figura 6.12 apresenta um mapa litológico com os limites horizontais do modelo definidos a partir da delimitação das sub-bacias dos córregos Jequitibá e Matadouro.

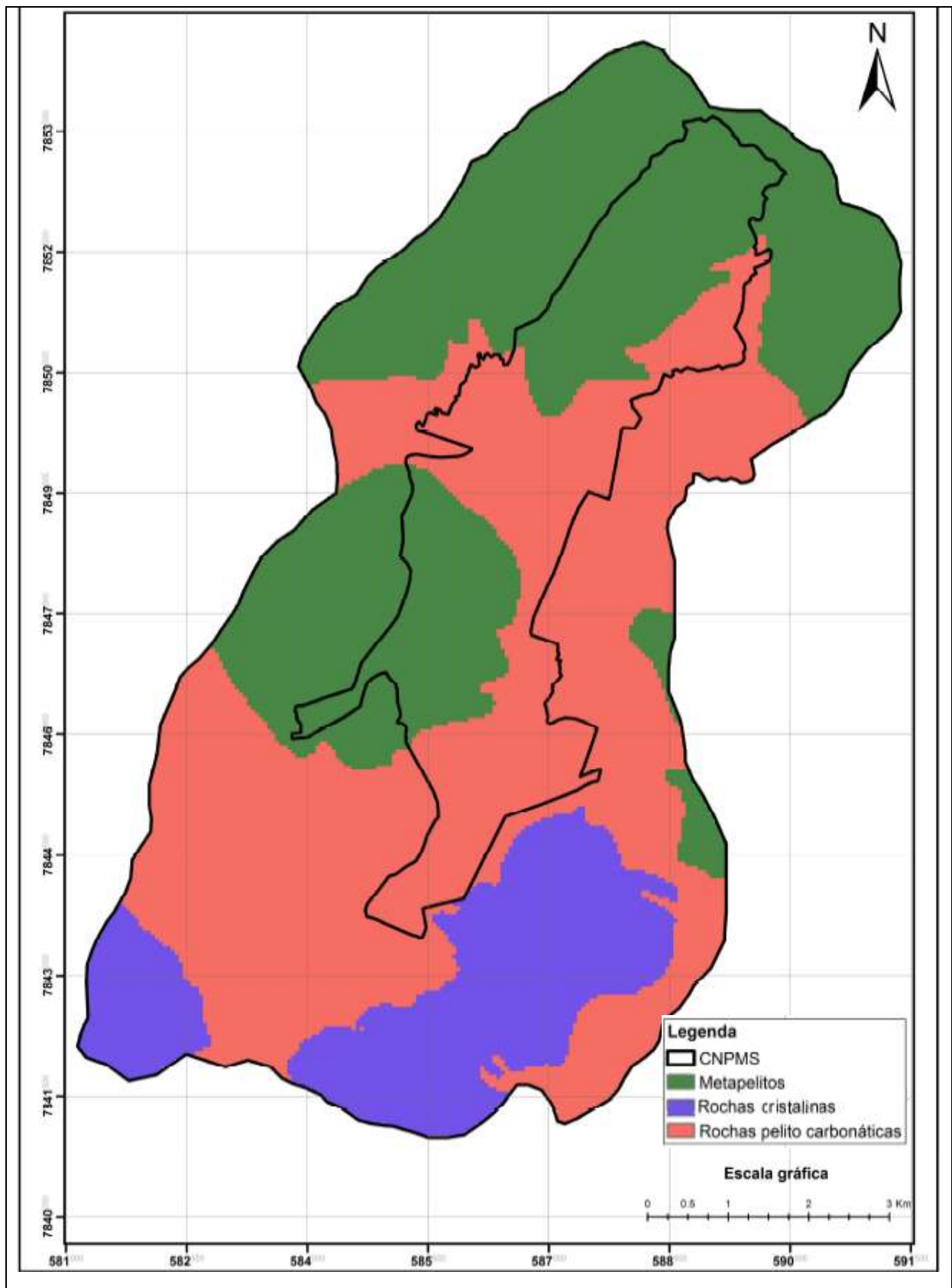


Figura 6-13 – Mapa litológico com os limites horizontais do modelo hidrogeológico computacional na área do CNPMS e suas imediações. (Fonte: MACHADO, 2011)

Machado (*op.cit.*) considerou em seu trabalho dez unidades hidroestratigráficas, sendo uma delas representativa dos solos da região, três referentes aos saprolitos originários da Formação Serra de Santa Helena, três unidades correspondentes aos calcários da Formação Sete Lagoas e três unidades representativas das rochas do embasamento cristalino.

A Formação Sete Lagoas foi dividida em três unidades: uma porção correspondente a uma região carstificada com elevada condutividade hidráulica e duas porções relativas ao calcário fraturado, considerando que o grau de fraturamento diminui com a profundidade. Na região mais elevada da área de estudo, o calcário fraturado foi alocado a uma profundidade de 40 metros (essa profundidade do calcário foi atingida no PC-01); já nas cotas mais baixas, o calcário apresenta-se mais próximo da superfície e foi acomodado no modelo a uma profundidade de 30 metros.

O embasamento cristalino foi diferenciado por uma porção superior referente ao saprolito e à presença de fraturas, além de uma porção inferior relativa à rocha menos fraturada, mais impermeável. O limite inferior do modelo é caracterizado pelas rochas íntegras do embasamento cristalino, consideradas impermeáveis.

Os valores das condutividades hidráulicas das unidades hidroestratigráficas foram variados, mantendo-se sempre uma coerência com os valores mencionados pela literatura. Os valores obtidos após a calibração do modelo hidrogeológico computacional, para cada unidade hidroestratigráfica, estão apresentados na Tabela 6.1.

Tabela 6-1 – Valores de condutividade hidráulica (K) adotados para cada uma das unidades hidroestratigráficas após a calibração do modelo hidrogeológico computacional. (Fonte: MACHADO, 2011)

Unidades Hidroestratigráficas	K – Condutividade Hidráulica (m/s)		
	K_x	K_y	K_z
Solos em geral	8×10^{-5}	8×10^{-5}	8×10^{-5}
Solo/Saprolitos da Formação Serra de Santa Helena (intemperizado)	3×10^{-5}	3×10^{-5}	3×10^{-6}
Solo/Saprolitos da Formação Serra de Santa Helena (medianamente estruturado)	4×10^{-5}	4×10^{-5}	4×10^{-6}
Solo/Saprolitos da Formação Serra de Santa Helena (mais estruturado)	1×10^{-6}	1×10^{-6}	1×10^{-7}
Formação Sete Lagoas (medianamente fraturado)	1×10^{-6}	1×10^{-6}	1×10^{-6}
Formação Sete Lagoas (pouco fraturado)	1×10^{-7}	1×10^{-7}	1×10^{-7}
Formação Sete Lagoas (carstificada)	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}
Cristalino (intemperizado)	5×10^{-6}	5×10^{-6}	5×10^{-6}
Cristalino (fraturado)	1×10^{-6}	1×10^{-6}	1×10^{-6}
Cristalino (pouco fraturado)	1×10^{-7}	1×10^{-7}	1×10^{-7}

A Figura 6.13 apresenta as equipotenciais do nível d'água freática e as direções do fluxo d'água subterrânea, no entorno do CNPMS, obtidas através do modelo hidrogeológico computacional desenvolvido por Machado (2011).

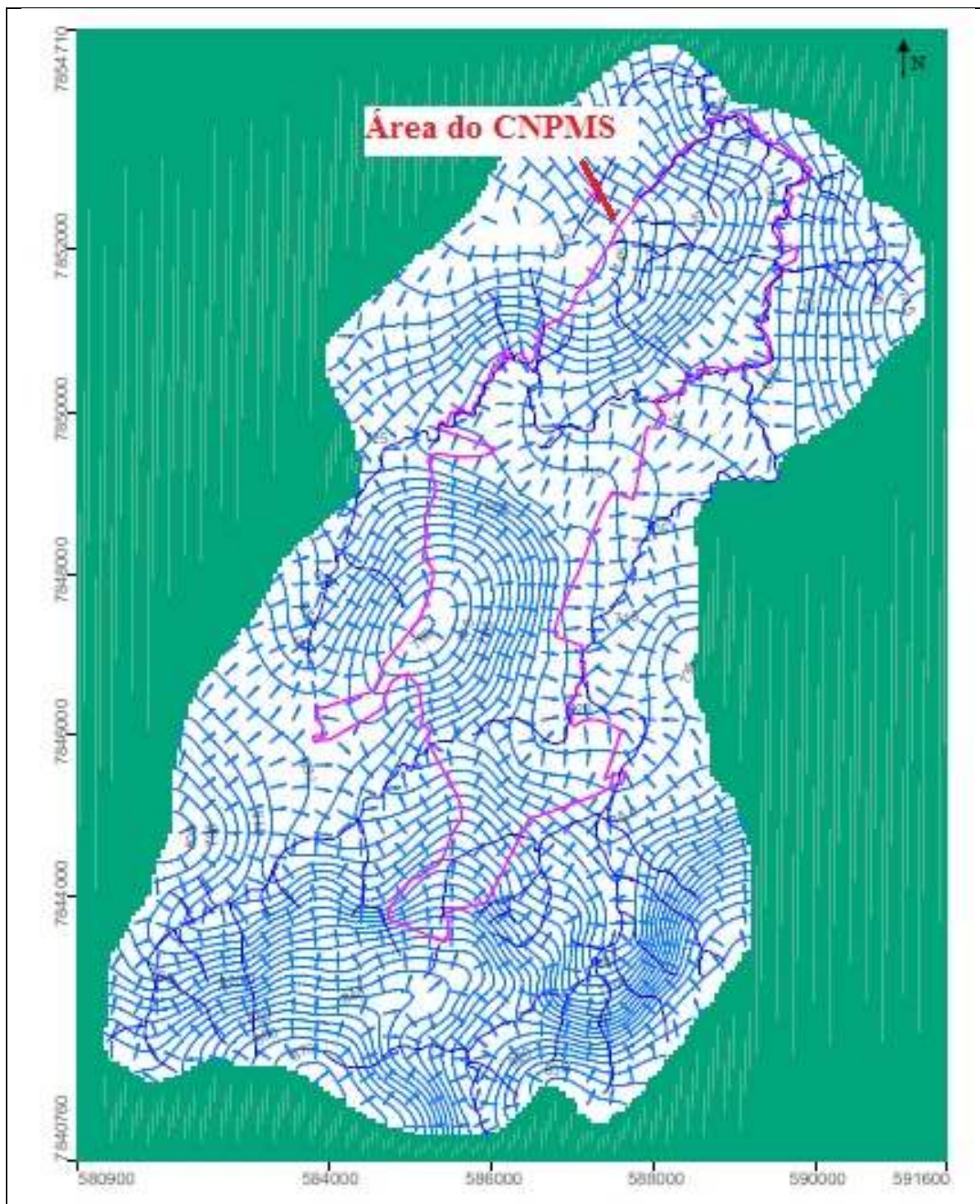


Figura 6-14 – Equipotenciais do nível d'água freática e direções do fluxo d'água subterrânea, no entorno do CNPMS, obtidas através do modelo hidrogeológico computacional (Fonte: MACHADO, 2011)

Como observado na Figura 6.13, o modelo hidrogeológico computacional mostra que o fluxo de água subterrânea ocorre dos altos topográficos em direção às respectivas drenagens, tais como córregos Jequitibá e Matadouro, e de sul para norte, em direção ao nível de base local, que é o rio das Velhas.

A Figura 6.14, a seguir, apresenta uma síntese das condições de contorno alocadas no modelo hidrogeológico computacional de Machado (2011).

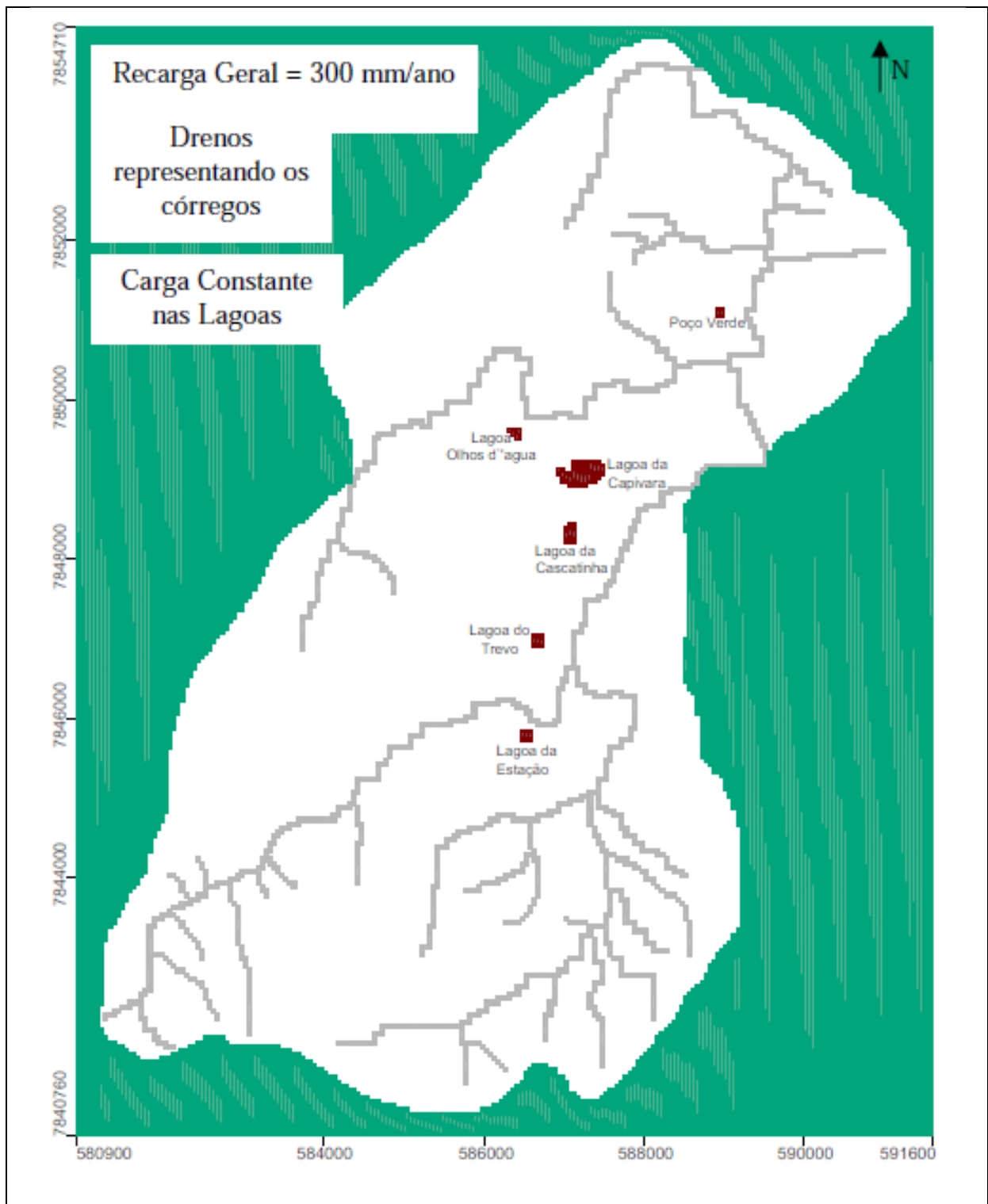


Figura 6-15 – Síntese das condições de contorno do modelo hidrogeológico computacional (Fonte: MACHADO, 2011)

Tal modelo hidrogeológico indica que as lagoas Olhos d'Água e Subida da Estação são áreas de descarga da água subterrânea, e na região da lagoa da Capivara o fluxo d'água subterrânea tende a ser epidérmico, com uma contribuição limitada na parte superior do escoamento

freático. Em profundidade, o fluxo de água sob a lagoa se direciona para os elementos de base, representados pela lagoa Olhos D'água e córrego Matadouro.

As linhas de fluxo mais profundas que alimentam os sistemas das lagoas Olhos D'água e Subida da Estação têm origem nas áreas de recarga local, as quais hospedam as áreas agrícolas do CNPMS e, conseqüentemente, as potenciais influências dessas atividades nessas áreas serão refletidas nesses pontos de descarga.

Por outro lado, contrário à expectativa do modelo conceitual original, a lagoa da Capivara não constitui um elemento de descarga das linhas de escoamento mais profunda, corroborada pelas informações piezométricas dos poços PC-06 e PC-07. A lagoa da Capivara é um sistema de trânsito das águas cujo destino final é representado pela lagoa Olhos d'água e pelo córrego Matadouro.

Os processos de interação água superficial e água subterrânea, que ocorrem na lagoa Subida da Estação e no complexo lagoa Capivara e lagoa Olhos d'Água, constituem importantes elementos hidrogeológicos locais, podendo ser interpretados como indicadores das relações de causa e efeito pertinentes às atividades agrícolas e à qualidade resultante nas águas subterrâneas e superficiais.

6.9.6 Vulnerabilidade natural do sistema aquífero

De acordo com Machado (2011), a vulnerabilidade natural do aquífero freático, gerado pela distribuição do índice DRASTIC Agrícola na área de estudo, mostra vulnerabilidades que variam de baixa a extrema, com predomínio da vulnerabilidade muito alta e alta (49,9 km² ou 64,3% da área). A vulnerabilidade aumenta com a proximidade dos ribeirões Matadouro e Jequitibá e diminui nos altos topográficos.

Com base no estudo preliminar da vulnerabilidade natural foi possível observar que as áreas de cultivo agrícola no CNPMS estão localizadas nos locais determinados como vulnerabilidade moderada a alta, existindo a possibilidade de contaminação da água subterrânea.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados deste estudo estão divididos em três partes distintas. Na primeira parte, são apresentados os resultados relacionados aos tipos de geomateriais definidos na área da fazenda experimental da EMBRAPA em Sete Lagoas - MG. Na segunda, são delineadas as principais características e classificações das águas dos aquíferos existentes no CNPMS, baseadas em análises de diagramas de Piper, dendogramas provenientes de análises de *cluster*, gráficos temporais, cálculos de índices de saturação dos minerais feitos com o programa PHREEQC e perfis de fluxos nas unidades hidrogeológicas estudadas. Na terceira parte, por fim, será apresentado um modelo hidrogeoquímico conceitual para o sistema aquífero existente na área do CNPMS. Cabe salientar, entretanto, que as duas primeiras partes são apresentadas a seguir, neste capítulo, e a terceira é tratada exclusivamente no Capítulo 8.

7.1 Discretização e caracterização dos tipos de solo

Conforme descrito na metodologia apresentada no Capítulo 4, foram coletadas cerca de seiscentas (600) amostras de solo em 41 pontos de amostragem (Figura 4.2), durante o desenvolvimento do projeto em que se insere este trabalho. Desse universo, trezentas e nove (309) amostras tiveram suas cores discretizadas com base na Carta de Cores de Munsell. Nesse montante, de aproximadamente 50% do total amostrado, foram identificados trinta e oito (38) tipos de solo com cores distintas, com matizes (tonalidades) compreendidas entre os valores “2,5YR”, “5YR”, “7,5YR”, “10YR” e “2,5Y”. A Tabela 7.1 apresenta a relação dos 38 tipos de solos, considerados como os mais representativos da área do CNPMS, e o padrão de cor de Munsell que cada um deles representa.

7.1.1 Caracterização química dos tipos de solo

Diante da limitação financeira do projeto, apenas sessenta (60) amostras, dentre as trezentas e nove (309), foram submetidas à análise dos teores dos seguintes elementos químicos, os quais são convencionalmente analisados em amostras de solos existentes em clima tropical: alumínio - Al, silício - Si, ferro - Fe, cálcio - Ca, magnésio - Mg, potássio - K, titânio - Ti, fósforo - P, sódio - Na, zircônio - Zr, manganês - Mn, cobre - Cu e zinco - Zn. No universo analisado, todos os 38 tipos de geomateriais foram representados por pelo menos uma amostra.

A Tabela 7.1 apresenta os teores determinados para os 38 tipos de solo, sendo alguns deles representados por seus respectivos valores médios. A Tabela 7.2, em complemento, mostra a relação das 60 amostras analisadas quimicamente e o local de origem de cada uma delas.

Tabela 7-1 - Relação dos 38 tipos de solos, o padrão de cor de Munsell (e os valores correspondentes em RGB) que cada um deles representa e as concentrações dos elementos neles analisados

Tipo Solo	Cor/Matiz/Valor (Carta de Munsell)	Carta Munsell	RGB	RGB 0-255 (*)	Concentrações de metais (mg/kg) nos 38 tipos de solos discretizados na área do CNPMS												
					Ca	Cu	Fe	P	Mg	Mn	K	Na	Ti	Zn	Zr	Al	Si
1	2,5YR/4/6			141, 78, 52	300	62	71600	1000	900	200	1900	1600	9200	46	313	189320	132970
2	2,5YR/4/8			151, 73, 40	800	42	61100	700	800	100	1800	2100	8500	50	310	193560	154980
3	2,5YR/5/6			170, 103, 80	750	42	59350	750	700	100	1750	1500	8150	44	296	191265	156440
4	2,5YR/5/8			181, 93, 57	400	55	63800	900	850	150	1160	1600	9050	50	308	189415	155060
5	2,5YR/7/6			227, 155, 127	400	23	80500	700	5500	< 100	22800	1600	7000	32	292	169950	182230
6	5YR/4/4			129, 83, 63	2900	50	58100	1500	1900	300	5900	1800	6400	59	249	177830	174010
7	5YR/4/6			141, 77, 46	1200	45	40100	1500	3700	300	16200	1200	4900	81	180	172430	208600
8	5YR/5/6			168, 105, 71	400	50	67200	1000	900	200	2200	1500	8300	55	290	188450	142480
9	5YR/5/8			177, 98, 50	350	53	76600	1150	900	150	2250	1500	7450	51	285	188525	85550
10	5YR/6/6			195, 132, 98	371	61	76257	1229	2071	200	8457	1543	7014	50	282	166536	182021
11	5YR/6/8			207, 125, 79	600	77	71600	1100	4900	100	20800	1100	6200	49	246	135310	220540
12	5YR/7/6			225, 157, 121	300	20	82400	700	5700	< 100	2400	1600	6900	33	293	145550	213760
13	7,5YR/4/3			122 87 66 (**)	2300	46	43100	1300	1800	200	5200	1300	6900	63	248	182590	175380
14	7,5YR/4/6			136, 79, 40	1300	40	65000	1500	3300	200	10500	1300	6700	62	261	164520	184100
15	7,5YR/5/4			153, 111, 85	2200	49	38600	1100	1900	200	5200	1400	5800	61	241	188250	195990
16	7,5YR/5/6			165, 106, 63	1067	53	68033	1733	1767	433	5267	1100	6700	83	256	175513	182900
17	7,5YR/5/8			171, 101, 39	500	43	66200	1100	3200	< 100	11200	1300	8200	48	302	170100	181280
18	7,5YR/6/4			181, 138, 110	1500	49	37500	1000	2100	100	6300	1800	6700	69	254	179670	206410
19	7,5YR/6/6			193, 133, 90	700	44	68567	1233	1767	200	6167	1500	6467	63	264	177353	75313
20	7,5YR/6/8			200, 127, 65	467	34	49067	733	3833	150	17200	1633	4200	58	257	144980	209540
21	7,5YR/7/6			222, 160, 114	900	37	57200	767	4233	200	18500	1267	5467	51	240	167277	203320
22	10YR/4/6			132, 85, 34	400	46	45000	1100	6000	5200	28400	800	2600	96	118	108390	279930
23	10YR/5/4			150, 113, 81	1200	45	4010	1500	3700	300	16200	1200	4900	81	180	172430	208600
24	10YR/5/6			160, 109, 54	106900	24	37700	6900	5700	2300	13000	600	2300	92	87	62910	210100
25	10YR/6/3			173,143,117(**)	313420	7	9600	1500	2000	700	1700	200	700	39	22	24770	56800
26	10YR/6/4			179, 140, 105	298670	7	11200	2100	2300	900	2600	200	700	51	21	25050	68760
27	10YR/6/6			189, 135, 80	400	54	68733	1333	7167	1400	18800	1133	3667	119	178	118407	246617
28	10YR/6/8			195, 131, 55	500	54	82500	2200	1700	400	6000	1700	5200	126	226	138460	220400
29	10YR/7/2			193, 172, 153	167730	13	18900	1300	4900	700	3500	1000	600	45	19	22400	218580
30	10YR/7/4			204, 166, 130	170440	21	26300	1700	7700	700	8800	1400	1600	53	60	57460	153690
31	10YR/7/6			216, 162, 107	500	43	50200	1275	4725	800	22025	875	5100	92	210	148225	233023
32	10YR/8/4			233, 194, 155	1500	21	28900	500	8500	< 100	39800	1200	6000	32	212	166090	211060
34	10YR/8/6			243, 189, 132	400	52	48600	2200	8600	100	35900	1500	400	97	202	120750	270140
34	2,5Y/6/4			172, 141, 101	2100	67	105700	4500	4000	8200	14000	1100	3900	246	168	142240	189510
35	2,5Y/6/6			182, 137, 73	3000	92	128400	4100	9500	9500	35300	1300	5500	241	153	14538	177460
36	2,5Y/7/2			193, 175, 151	119700	12	17800	1100	4200	700	3100	1000	400	50	18	16960	277860
37	2,5Y/7/3			179 172 139(**)	142590	21	19550	1100	6600	700	5500	1600	650	47	30	28265	238325
38	2,5Y/8/2			217, 200, 174	500	5	1500	300	10300	< 100	47000	900	5000	20	174	124110	306900

(*) Disponível em Munsell (2000); (**) Média dos valores RGB dos códigos de Munsell imediatamente anterior e posterior; Valores em cor azul foram obtidos da média de 2 amostras; Valores em cor verde foram obtidos da média de 3 amostras; Valores em cor marrom foram obtidos da média de 4 amostras; ; Valores em cor vermelha foram obtidos da média de 6 amostras.

Tabela 7-2 – Relação das sessenta (60) amostras analisadas quimicamente e o local de origem de cada uma delas

Número Sequencial	Código do Poço/Sondagem	Código da amostra*	Descrição da Cor de Munsell (H V/C)**
1	PC – 05	AM – 2 / 52	2,5 YR 4/6
2	PC – 02	AM – 6 / 30	2,5 YR 4/8
3	PC – 02	AM – 4 / 30	2,5 YR 5/6
4	PC – 02	AM – 5 / 30	2,5 YR 5/6
5	PC – 01	AM – 1 / 43	2,5 YR 5/8
6	PC – 02	AM – 8 / 30	2,5 YR 5/8
7	PC – 05	AM – 1 / 52	2,5 YR 5/8
8	PC – 15	AM – 14 / 15	2,5 YR 7/6
9	TRADO – A3	AM – 1 / 9	5 YR 4/4
10	TRADO – B3	AM – 1 / 6	5 YR 4/6
11	PC – 03	AM – 4 / 25	5 YR 5/6
12	PC – 03	AM – 1 / 25	5 YR 5/8
13	PC – 05	AM – 13 / 52	5 YR 5/8
14	PC – 01	AM – 4 / 43	5 YR 6/6
15	PC – 02	AM – 10 / 30	5 YR 6/6
16	PC – 02	AM – 11 / 30	5 YR 6/6
17	PC – 02	AM – 12 / 30	5 YR 6/6
18	PC – 04	AM – 2 / 40	5 YR 6/6
19	PC – 06	AM – 2 / 6	5 YR 6/6
20	PC – 06	AM – 5 / 6	5 YR 6/8
21	PC – 15	AM – 13 / 15	5 YR 7/6
22	TRADO – A2	AM – 1 / 12	7,5 YR 4/3
23	TRADO – B2	AM – 1 / 5	7,5 YR 4/6
24	PC – 23	AM – 1 / 6	7,5 YR 5/4
25	PC – 03	AM – 10 / 25	7,5 YR 5/6
26	PC – 08	AM – 1 / 8	7,5 YR 5/6
27	TRADO – A4	AM – 3 / 6	7,5 YR 5/6
28	PC – 07	AM – 1 / 38	7,5 YR 5/8
29	PC – 23	AM – 3 / 6	7,5 YR 6/4
30	PC – 02	AM – 14 / 30	7,5 YR 6/6
31	PC – 21	AM – 9 / 20	7,5 YR 6/6
32	PC – 23	AM – 5 / 6	7,5 YR 6/6
33	PC – 01	AM – 7 / 43	7,5 YR 6/8
34	PC – 07	AM – 5 / 38	7,5 YR 6/8
35	PC – 12	AM – 12 / 25	7,5 YR 6/8
36	PC – 01	AM – 11 / 43	7,5 YR 7/6
37	PC – 16	AM – 2 / 6	7,5 YR 7/6
38	PC – 19	AM – 11 / 20	7,5 YR 7/6
39	PC – 04	AM – 30 / 40	10 YR 4/6
40	PC – 07	AM – 23 / 38	10 YR 5/6
41	PC – 07	AM – 21 / 38	10 YR 6/3
42	PC – 07	AM – 19 / 38	10 YR 6/4
43	PC – 02	AM – 15 / 30	10 YR 6/6
44	PC – 05	AM – 50 / 52	10 YR 6/6
45	PC – 05	AM – 51 / 52	10 YR 6/6
46	PC – 02	AM – 24 / 30	10 YR 6/8
47	PC – 07	AM – 29 / 38	10 YR 7/2
48	PC – 07	AM – 28 / 38	10 YR 7/4
49	PC – 01	AM – 16 / 43	10 YR 7/6
50	PC – 03	AM – 15 / 25	10 YR 7/6
51	PC – 05	AM – 32 / 52	10 YR 7/6
52	TRADO – A2	AM – 9 / 12	10 YR 7/6
53	PC – 16	AM – 4 / 6	10 YR 8/4
54	PC – 03	AM – 19 / 25	10 YR 8/6
55	PC – 20	AM – 23 / 30	2,5 Y 6/4
56	PC – 20	AM – 24 / 30	2,5 Y 6/6
57	PC – 07	AM – 30 / 38	2,5 Y 7/2
58	PC – 07	AM – 31 / 38	2,5 Y 7/3
59	PC – 07	AM – 36 / 38	2,5 Y 7/3
60	TRADO – B1	AM – 6 / 6	2,5 Y 8/2

*AM – X/Y (X = profundidade da amostra e Y = profundidade total da perfuração)

** H V/C (H = Hue = Tonalidade ou Matiz; V = Valor = Luminosidade; C = Cromo = Saturação)

7.1.2 Caracterização mineralógica dos tipos de solo

Como mencionado no capítulo “Metodologia”, amostras das frações argila/areia de 17 dos 38 tipos de solo foram submetidas à análise de Difratomia de Raios-X, no laboratório da EMBRAPA-Instrumentação de São Carlos – SP. Posteriormente, o corpo técnico do CNPMS da EMBRAPA realizou uma interpretação desses difratogramas, por meio do programa CRISTALOGRAPH, a fim de identificar os minerais existentes nas 17 amostras analisadas. Cabe salientar, no entanto, que o método utilizado identificou de forma qualitativa os minerais, ou seja, a quantidade relativa a cada um desses minerais não foi determinada, o que, ainda assim, foi suficiente para atender o escopo deste trabalho. Ressalta-se, entretanto, que os resultados obtidos nessa interpretação foram complementados com aqueles adquiridos em trabalhos anteriores (SANS, 1973 e 1986; GALVÃO, 1996 e VIANA, 2005), que também foram desenvolvidos dentro da área do mesmo centro de pesquisas.

A Figura 7.1 apresenta uma superposição de todos os 17 difratogramas produzidos, na qual são destacados os principais picos encontrados e os prováveis minerais que eles representam.

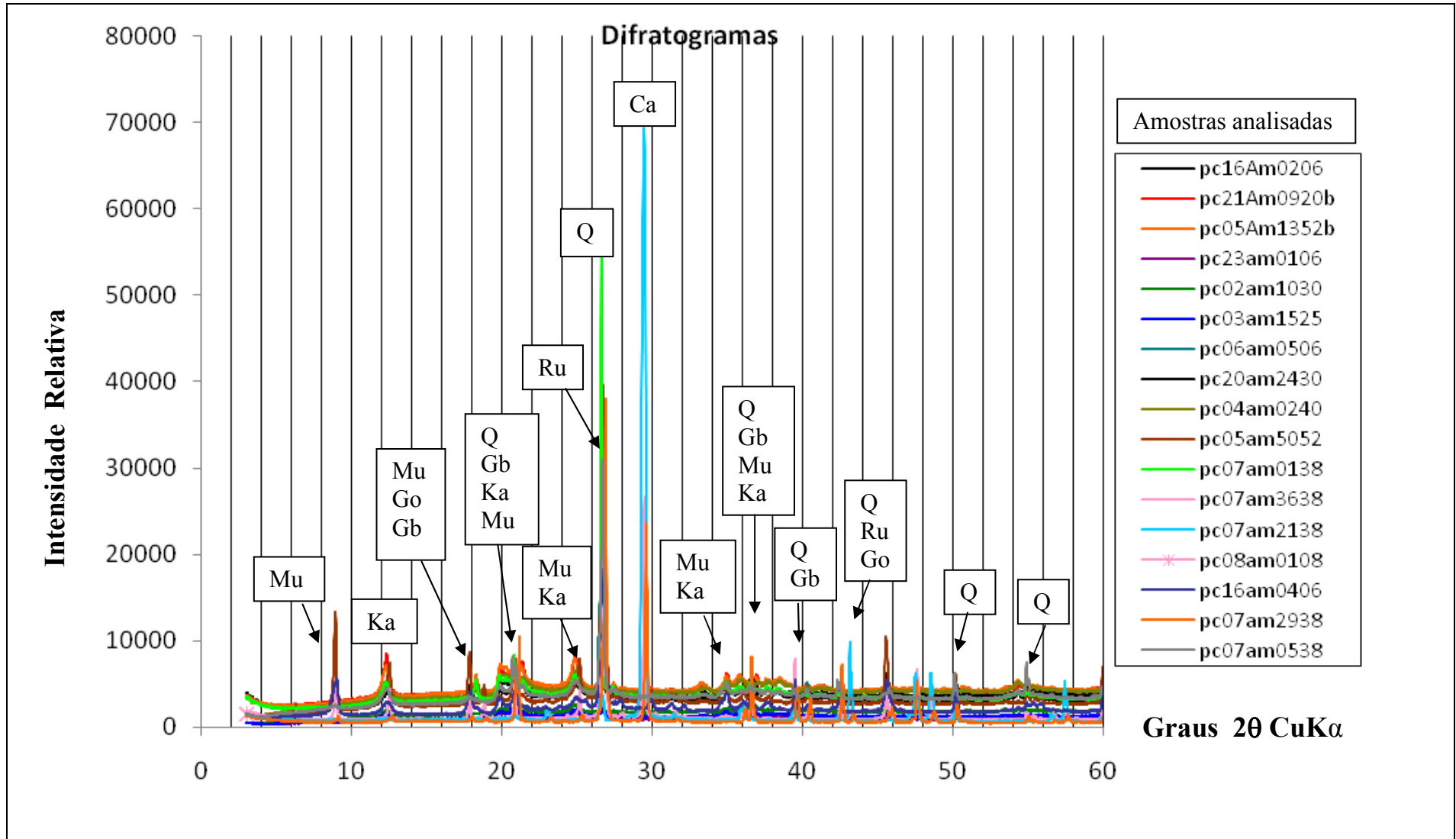


Figura 7-1 – Difratogramas superpostos das 17 amostras analisadas na área do CNPMS (Mu=muscovita/illita; Ka=caulinita; Go=goethita; Gb=gibbisita; Q=quartzo; Ru=rutilo; Ca=calcita)

Inicialmente, tentou-se fazer uma inferência quantitativa da mineralogia presente nas amostras analisadas a partir de cálculos estequiométricos, os quais foram realizados com base nos resultados das análises químicas dos solos. Entretanto, não foi possível chegar a uma conclusão sobre o teor (mg/kg) de cada um dos minerais e óxidos assumidos como existentes nos 38 tipos de solo definidos na área estudada.

Dessa maneira, a única informação quantitativa obtida das análises difratométricas é que apenas os minerais presentes em uma quantidade superior a 5% são identificados nos difratogramas.

Essa mineralogia, conforme observada nos difratogramas (Figura 7.1), é relativamente uniforme entre os perfis e está em consonância com trabalhos anteriores, feitos em áreas adjacentes (SANS, 1973; GALVÃO e SCHULZE, 1996).

Inicialmente pensou-se em discretizar os tipos de geomateriais existentes na área do CNPMS a partir das cores de Munsell, caracterizadas nas amostras coletadas nas perfurações de poços e furos de sondagem e assumir, assim, que cada tipo de geomaterial com uma mesma cor teria a mesma composição química e mineralógica. Uma vez feita essa discretização, a intenção era elaborar os perfis geoquímicos e mineralógicos de cada uma das perfurações/sondagens realizadas na área do CNPMS, associando à cada cor descrita os teores químicos dos elementos analisados, bem como a mineralogia obtida a partir de análises de difratometria para os tipos de solo com cores similares.

Entretanto, após a realização de uma análise de *cluster* feita com os resultados da composição química das 60 amostras de solo analisadas, verificou-se que não há uma relação direta e biunívoca entre a cor de Munsell da amostra e a composição química, visto que os grupos formados a partir da utilização dessa ferramenta estatística mostraram que cores diferentes podem apresentar composições químicas semelhantes e, em contraposição, solos com colorações semelhantes (ou próximas) não possuem, necessariamente, a mesma composição química.

A Figura 7.2, a seguir, mostra o dendograma obtido a partir da análise de cluster das 60 amostras que foram analisadas quimicamente.

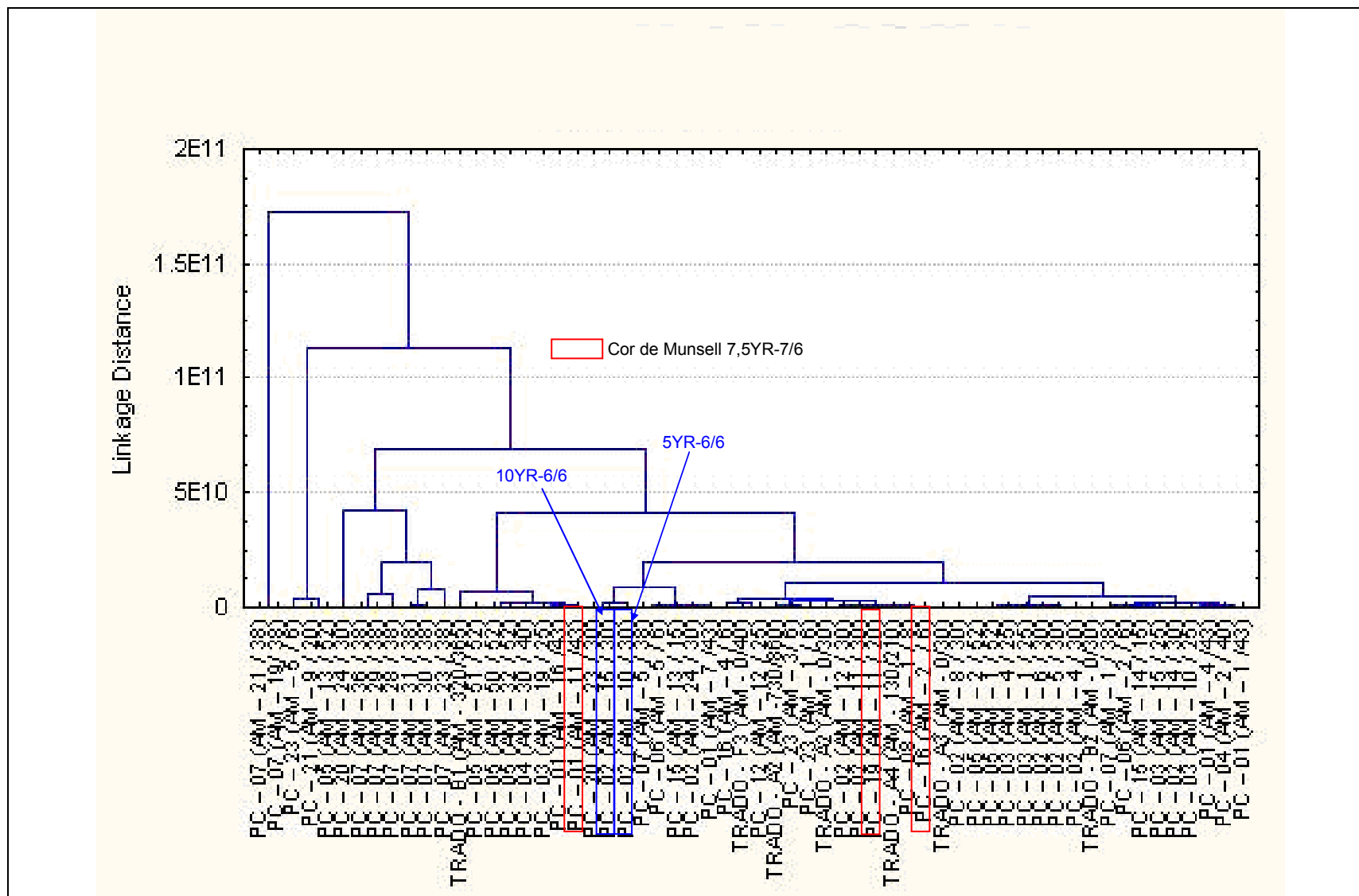


Figura 7-2 – Dendrograma obtido a partir da análise de *cluster* das 60 amostras de solo que foram analisadas quimicamente (*Complete Linkage – Squared Euclidean distances*)

Na Figura 7.2 é possível perceber que as três amostras que possuem a cor de Munsell igual a 7,5YR-7/6 (PC01-AM11/43; PC16-AM2/6 e PC19-AM11/20), por exemplo, foram separadas em grupos de *cluster* distintos e, de maneira oposta, os tipos de solo 5YR-6/6 (PC02-AM10/30) e 10YR-6/6 (PC02-AM15/30) pertencem a um mesmo grupo de *cluster*, mesmo sendo discretizados por colorações distintas.

Diante da impossibilidade da elaboração dos perfis químicos e mineralógicos para todas as perfurações/sondagens, foram feitos perfis esquemáticos para três setores da área do CNPMS (Figuras 7.3, 7.4 e 7.5) representando a variação, em profundidade, dos teores dos principais elementos químicos analisados nas amostras de solo.

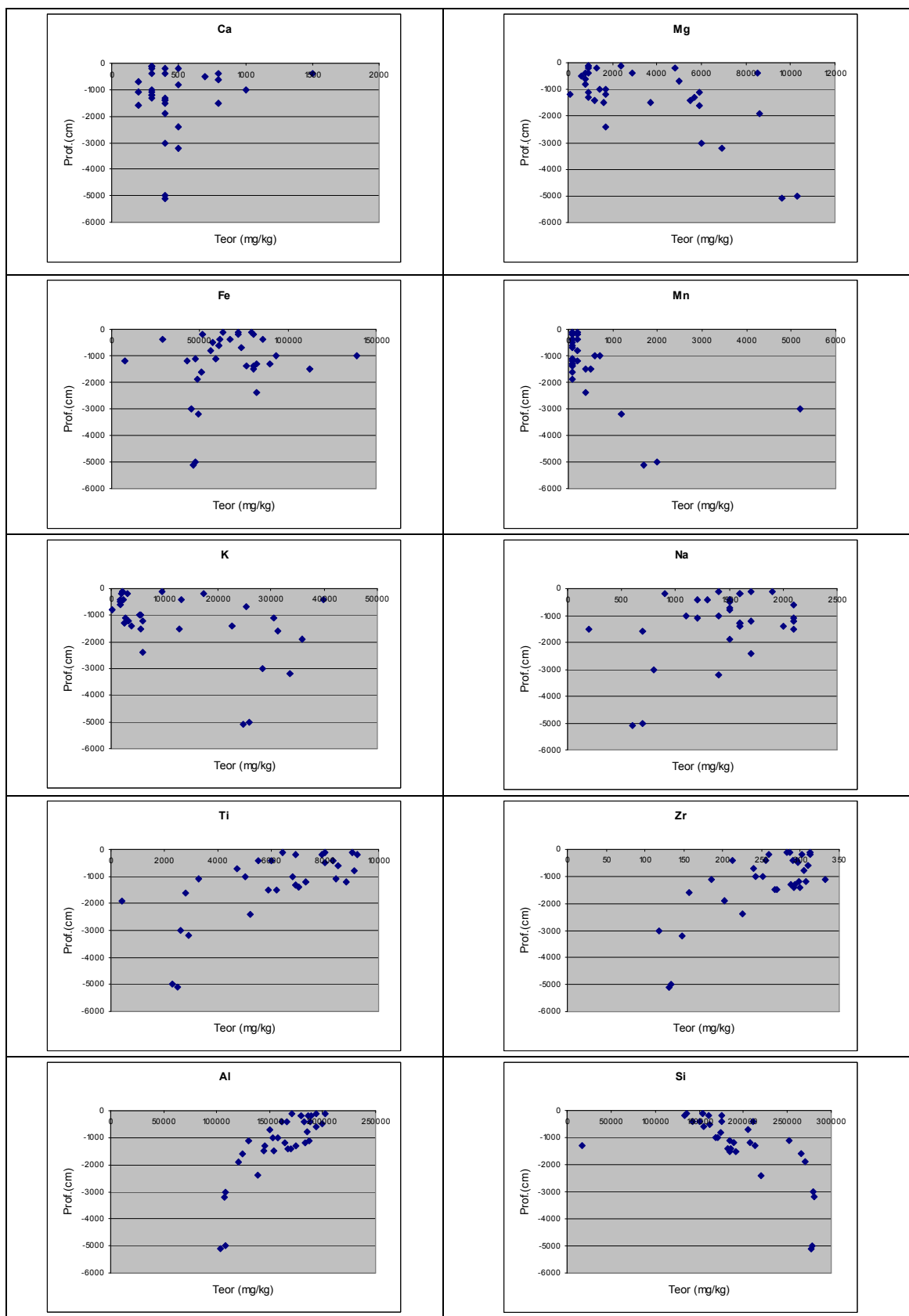


Figura 7-3 – Variação (em profundidade – cm) dos teores dos principais elementos químicos analisados nos solos estudados nas imediações do Pivô 3, próximo ao PC03 (área central do CNPMS)

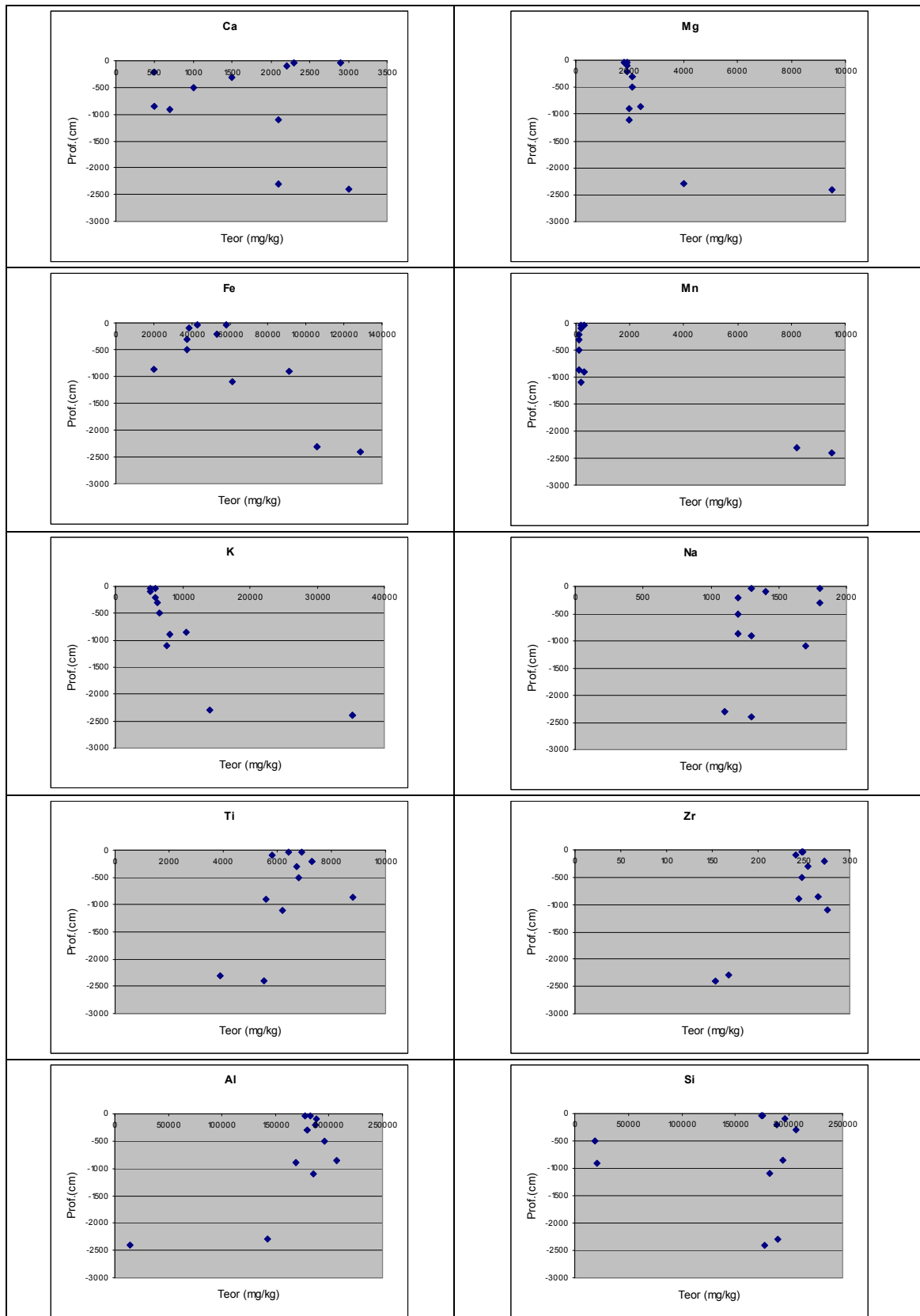


Figura 7-4 – Variação (em profundidade – cm) dos teores dos principais elementos químicos analisados nos solos estudados nas imediações do setor Sul do CNPMS

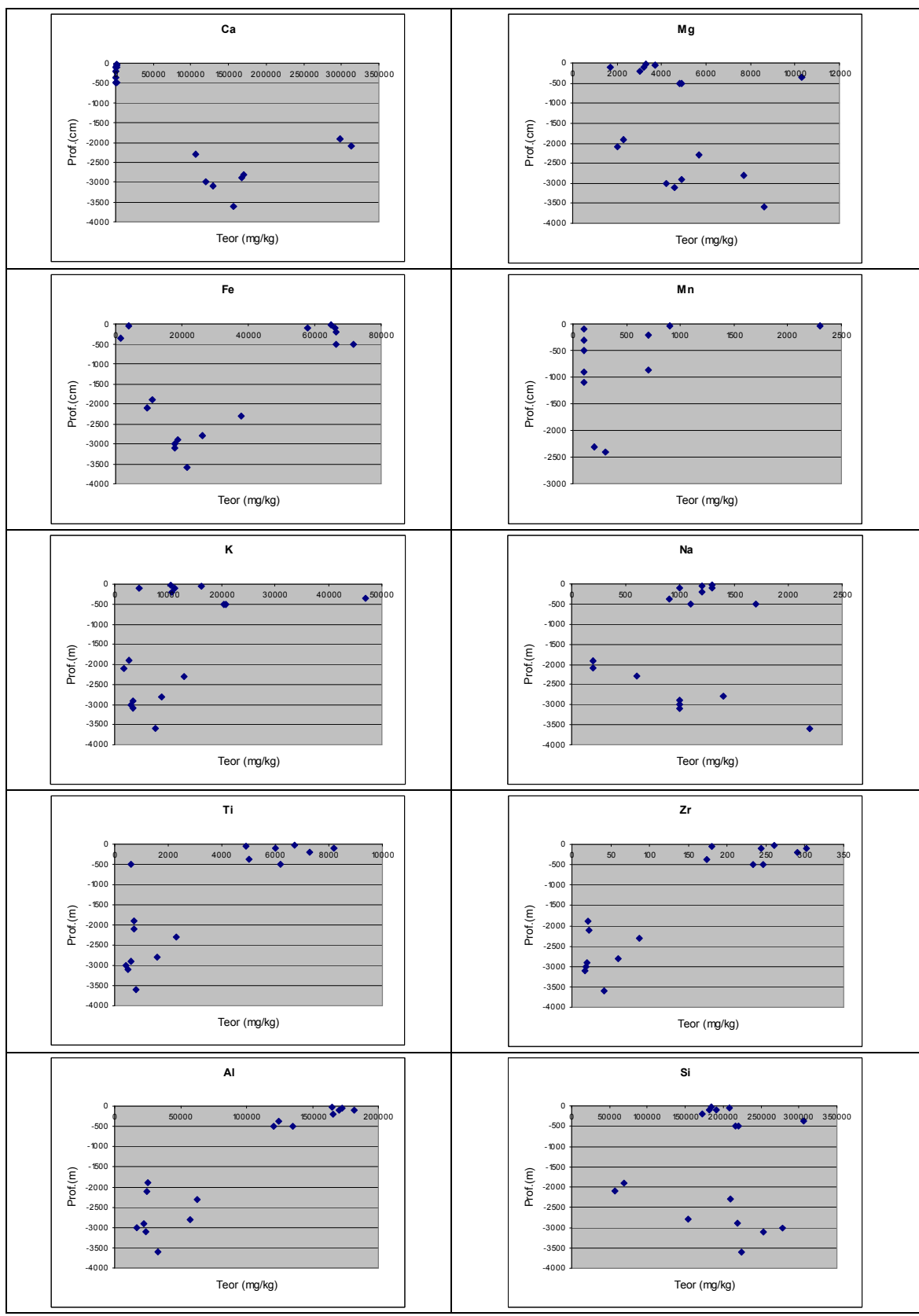


Figura 7-5 – Variação (em profundidade – cm) dos teores dos principais elementos químicos analisados nos solos estudados nas imediações das lagoas da Capivara e Olhos D’água e do córrego Matadouro (Setor centro-norte do CNPMS)

A Figura 7.3 apresenta a variação dos teores dos principais elementos químicos analisados nos solos estudados nas imediações do Pivô 3 (área central do CNPMS), na qual foram utilizados dados químicos das amostras dos poços PC01, PC02, PC03, PC04, PC05, PC12, PC15 e PC16.

A Figura 7.4 busca representar o setor situado na parte sul da área, envolvendo dados dos poços PC19, PC20, PC21 e PC23 e dos furos de sonda A1, A2, A3 e A4.

A Figura 7.5, por sua vez, ilustra o perfil do solo encontrado na área situada nas imediações das lagoas da Capivara e Olhos D'água e do córrego Matadouro, no setor centro-norte do CNPMS, a partir das composições químicas dos solos dos poços PC06, PC07, PC08 e dos furos de sonda B1, B2 e F3.

Analisando os dados dessas três figuras, verifica-se que os teores de Mg e Si apresentam uma tendência de aumento com a profundidade nas três situações. Quanto ao elemento K, verificou-se nas Figuras 7.3 e 7.4 que o seu teor no solo aumenta com a profundidade. Porém, na Figura 7.5, ao contrário, percebe-se que o teor de K no solo diminui com a profundidade. A partir desses resultados, que são apenas uma pequena amostra do universo estudado, pode-se inferir que a porção basal do perfil pedológico, representativo da área situada nas imediações das lagoas da Capivara e Olhos D'água, apresenta uma menor expressão do metapelito alterado (saprolito) da Formação Serra de Santa Helena, visto que apresenta um menor teor de K e maiores concentrações de Si.

Como era previsto, os teores de Ti, Zr e Al são maiores em profundidades menores, nos três casos analisados, diante da pouca mobilidade destes elementos.

Nas Figuras 7.3 e 7.4, os teores de Na no solo tendem a diminuir com a profundidade. Na Figura 7.5, por sua vez, ocorre o inverso, onde se verifica uma tendência de aumento do teor desse elemento com a profundidade. Esse resultado está em desacordo com o previsto, que seria um comportamento semelhante entre Na e K.

Para o elemento Fe, percebe-se, nas Figuras 7.3 e 7.5, que existe uma pequena propensão a diminuição do seu teor no solo com a profundidade. Nas figuras 7.4 e 7.5, os teores de Mn seguem o comportamento dos teores de Fe, indicando uma imobilização desses elementos, como era imaginado. Ressalta-se, entretanto, que na Figura 7.3, que representa os pontos

situados próximos ao pivô de irrigação 3, percebe-se que apenas os teores de Mn são, em geral, maiores nas menores profundidades.

Apesar de não muito nítida, parece haver uma tendência de aumento de Ca com a profundidade, nas três figuras analisadas.

Nas Tabelas 7.3 e 7.4, a seguir, são apresentados os minerais determinados (via Difratomia de Raios-X) e as suas respectivas profundidades de ocorrência nos solos do CNPMS. As duas tabelas mostram a variação mineralógica com a profundidade, de uma maneira genérica, com base nas caracterizações mineralógicas já realizadas na área do CNPMS, ou seja, considerando as 17 análises difratométricas realizadas neste estudo, acrescidas dos dados obtidos junto aos trabalhos de Sans (1986) e Viana (2005).

Tabela 7-3 - Variação da mineralogia existente nos solos do CMPMS de acordo com a profundidade

Estudo realizado por Sans (1986)			
Código Amostra	Prof. (cm) Amostra	Minerais encontrados	
	0 -195	caulinita, muscovita, Vermiculita intercalada com hidróxidos, gibbisita, Anatásio, rutilo, quartzo, Crisobalita, hematita e goethita.	
Estudo realizado por Viana (2005)			
Código Amostra	Prof. (cm) Amostra	Minerais encontrados	
	0 -300	caulinita, goethita, hematita, Anatásio, mica (illita)	
Este presente trabalho (2013)			
Código Amostra	Prof. (cm) Amostra	Cor Munsell	Minerais encontrados
PC07 – AM01/38	0-100	7,5 YR 5/8	quartzo, gibbisita, caulinita, goethita
PC08 – AM01/08	0-100	7,5 YR 5/6	quartzo, caulinita, rutilo, gibbisita, Anatásio, goethita
PC23 – AM01/06	0-100	7,5 YR 5/4	quartzo, caulinita, rutilo, gibbisita, goethita
PC16 – AM02/06	100-200	7,5 YR 7/6	muscovita, rutilo, quartzo, caulinita, gibbisita, goethita
PC04 – AM02/40	100-200	5 YR 6/6	caulinita, gibbisita, rutilo, quartzo
PC16 – AM04/06	300-400	10 YR 8/4	muscovita, rutilo, quartzo, caulinita, gibbisita, goethita
PC06-AM05/06b	400-500	5 YR 6/8	quartzo, caulinita, muscovita, illita, gibbisita, goethita
PC07 – AM05/38	400-500	7,5 YR 6/8	quartzo, caulinita, rutilo, muscovita, gibbisita
PC21 – AM09/20	800-900	7,5 YR 6/6	quartzo, caulinita, rutilo, muscovita, goethita
PC02-AM10/30b	900-1000	5 YR 6/6	caulinita, quartzo Haloisita, hematita, goethita, Vermiculita, illita
PC05 – AM13/52	1200-1300	5 YR 5/8	caulinita, gibbisita, rutilo, quartzo
PC03-AM15/25b	1400-1500	10 YR 7/6	caulinita, muscovita, quartzo, goethita
PC07 – AM21/38	2000-2100	10 YR 6/3	calcita, quartzo
PC20 – AM24/30	2300-2400	2,5 Y 6/6	muscovita, caulinita, quartzo, goethita
PC07 – AM29/38	2800-2900	10 YR 7/2	quartzo, calcita, Anatásio, goethita, muscovita
PC07 – AM36/38	3500-3600	2,5 Y 7/3	quartzo, calcita, muscovita
PC05 – AM50/52	4900-5000	10 YR 6/6	quartzo, muscovita, goethita

Tabela 7-4 – Ocorrências minerais de acordo com a profundidade em amostras de solo coletadas na área do CNPMS, com base nos dados obtidos neste estudo e nos trabalhos desenvolvidos por Sans (1986) e Viana (2005)

Prof. (cm) Amostra	Cor	Qz	Gb	Ka	Go	Ru	An	Mu	It	Hm	Vm	Ca
0-100		x	x	x	x	x	x					
100-200		x	x	x	x	x		x				
200-300												
300-400		x	x	x	x	x		x				
400-500		x	x	x	x	x		x	x			
500-600												
600-700												
700-800												
800-900		x		x	x	x		x				
900-1000		x		x	x				x	x	x	
1000-1100												
1100-1200												
1200-1300		x	x	x		x						
1300-1400												
1400-1500		x		x	x			x				
1500-1600												
1600-1700												
1700-1800												
1800-1900												
1900-2000												
2000-2100		x										x
2100-2200												
2200-2300												
2300-2400		x		x	x			x				
2400-2500												
2500-2600												
2600-2700												
2700-2800												
2800-2900		x			x		x	x				x
2900-3000												
...												
3500-3600		x						x				x
...												
4900-5000		x			x			x				

OBS: QZ(quartzo), Gb(gibbissita), Ka(caulinita), GO(goethita), Ru(rutilo), An(Anatásio), Mu(muscovita), It(illita), Hm(hematita), Vm(Vermiculita) e Ca(calcita)

Uma análise rápida dos quadros (tabelas) anteriores mostra que os minerais quartzo, goethita, muscovita e caulinita ocorrem tanto nos estratos de solo mais rasos (mais avermelhados) como nos mais profundos (mais amarelados). No entanto, os minerais hematita, rutilo e gibbissita estão mais restritos apenas aos solos menos profundos (mais avermelhados).

7.2 Caracterização das águas subterrâneas

Como descrito no item “Metodologia”, foram coletadas amostras de água subterrânea em 30 pontos situados dentro do Centro Nacional de Pesquisas de Milho e Sorgo (CNPMS) da EMBRAPA, entre os meses de novembro de 2010 e outubro de 2011, coincidindo, aproximadamente, com o ano hidrológico 2010-2011. A Tabela 4.3, no Capítulo 4, apresenta a descrição e localização dos pontos monitorados, cujas localizações podem ser visualizadas no mapa da Figura 4.3.

Cabe ressaltar, neste momento, que os trinta (30) pontos amostrados fazem parte de um mesmo sistema aquífero (livre), o qual é constituído, por sua vez, por dois aquíferos distintos, porém interligados hidráulicamente entre si, conforme informam os modelos hidrogeológicos de Batista (2009) e Machado (2011), que consideram impermeável o embasamento cristalino (assoalho). São eles o “Aquífero Poroso de Cobertura”, composto por latossolos, que variam de tonalidades de cor vermelha a amarela, constituídos basicamente pelos minerais caulinita, quartzo, gibbissita, goethita, hematita, muscovita e Vermiculita e o “Aquífero Fissural-Cárstico”, constituído por rochas metapelíticas carbonáticas (mineralogia principal: quartzo, muscovita e calcita) e, em sua maioria, por rochas calcárias, compostas quase exclusivamente pelo mineral calcita (CaCO_3), visto que apresentam pureza da ordem de 98%, conforme destaca Piló (1998). Esse mesmo autor, entretanto, relata a eventual presença dos minerais quartzo e pirita, como acessórios dessa rocha.

Além disso, é importante destacar que em vinte e seis (26), dos trinta (30) pontos, foram amostradas águas do aquífero de cobertura (poroso) e, nos demais quatro pontos, foram coletadas amostras de água exclusivamente no aquífero fissural-cárstico. No Aquífero Poroso de Cobertura, as amostras foram coletadas em 22 poços de monitoramento, 2 cisternas e 2 nascentes/surgências e, no Aquífero Fissural-Cárstico, em 3 poços de produção da EMBRAPA e em um piezômetro (PC07).

Todas as amostras foram encaminhadas ao laboratório central da COPASA, localizado em Belo Horizonte-MG, no qual foram analisados diversos parâmetros físico-químicos. Os resultados das análises se encontram no APÊNDICE e estão separados por pontos de amostragem. Nessas tabelas são apresentados, também, os valores das medianas (com e sem *outliers*), os quartis inferiores e superiores e os *outliers* ($> \text{Mediana} + 1,5\text{DP}$ ou $< \text{Mediana} - 1,5\text{DP}$), para os períodos: total, seco e chuvoso. Salienta-se, porém, que os resultados de alguns parâmetros não estão apresentados nessas tabelas, visto que a frequência de não detecção dos mesmos foi de 100%. Tais parâmetros e seus respectivos limites de detecção são os seguintes: As $< 0,003$; Cd $< 0,001$; Pb $< 0,003$; Cu $< 0,0066$; Cr $< 0,0183$; Hg $< 0,0002$; Se $< 0,0002$; NO₂ $< 0,0310$ e Fluoreto $< 0,09$.

A análise desses resultados gerou alguns sub-produtos, que se encontram listados a seguir e serão descritos nos próximos subitens. Os sub-produtos dos estudos realizados foram os seguintes:

- 1 - Balanço Iônico das amostras de água subterrânea;
- 2 - Classificação das águas subterrâneas do CNPMS;
- 3 - Caracterização dos tipos hidroquímicos obtidos com a análise de *cluster*;
- 4 - Análise do comportamento temporal das concentrações dos principais parâmetros físico-químicos, para cada ponto amostrado;
- 5 - Caracterização das águas subterrâneas a partir das medianas dos índices de saturação dos principais minerais existentes na área do CNPMS; e
- 6 - Análise do comportamento temporal dos índices de saturação dos principais minerais existentes na área do CNPMS, para cada ponto amostrado;

7.2.1 Balanço Iônico

A acurácia das análises para os íons maiores foi estimada a partir da Eletroneutralidade (E.N.), conforme metodologia proposta por Custodio e Llamas (1983), que leva em consideração os valores de Condutividade Elétrica medidos nas amostras de água, como descrito no item 4.5 do Capítulo Metodologia.

Dentre as amostras analisadas, verificou-se que os erros analíticos estão aceitáveis para 80% das mesmas, como mostra a Tabela 7.5. No entanto, deve-se destacar que os pontos PC07,

TUBE01, PC08, PC12 e CIST03 apresentaram amostras com erros no balanço iônico iguais a 92%, 58%, 42%, 42% e 42%, respectivamente.

Tabela 7-5 – Quantificação dos erros de balanço iônico encontrados nas amostras analisadas

Ponto	Número de Amostras	Número de Erros Não Aceitáveis	Número de Erros Negativos	Número de Erros Positivos
PC01	12	1	4	8
PC02	12	1	7	5
PC03	12	0	7	5
PC04	12	0	5	7
PC05	12	1	6	6
PC06	12	2	2	10
PC07	12	11	3	9
PC08	12	5	8	4
PC09	12	2	7	5
PC10	11	2	5	6
PC11	12	2	9	3
PC12	12	5	6	6
PC13	12	2	4	8
PC14	11	4	6	5
PC15	12	1	7	5
PC16	12	2	6	6
PC17	12	1	5	7
PC18	12	1	6	6
PC19	12	3	6	6
PC20	12	2	7	5
PC21	12	3	4	8
PC22	12	3	3	9
PC23	12	1	5	7
CIST01	12	2	6	6
CIST03	12	5	7	5
NASC01	12	1	4	8
SURG01	12	0	6	6
TUBE01	12	7	10	2
TUBE02	12	2	5	7
TUBE04	12	1	7	5
TOTAL	358	73	173	185

Tais resultados revelam, por exemplo, que 11 das 12 amostras coletadas para o poço PC07 não são confiáveis e os dados dos pontos TUBE01, PC08, PC12 e CIST03 devem ser

analisados criteriosamente, descartando aquelas amostras com valores de erros acima do aceitável.

Percebe-se, entretanto, que os resultados da avaliação dos erros analíticos não apontam uma tendência de resultados positivos ou negativos, visto que 52% deles foram positivos (+) e 48 negativos (-), denotando haver um erro aleatório e não sistemático.

A propósito, acredita-se que esses erros possam ter sido causados tanto na fase de análise laboratorial como na etapa de amostragem. Uma possível fonte de erro, por exemplo, pode ter sido a precipitação de metais durante o transporte ou armazenamento das amostras, haja vista que somente no dia seguinte à coleta, no laboratório, as mesmas foram filtradas (em membranas de 0,45 μ m) e acidificadas (após a filtração). Outra possível causa de erro pode estar relacionada à demora na análise do parâmetro alcalinidade, que não foi analisado em campo, mesmo considerando que as amostras tenham sido refrigeradas durante todo o trajeto até o laboratório. Essa última causa de erro, a propósito, pode explicar o fato dos pontos que apresentam os maiores percentuais de erros estarem dentre aqueles que possuem os mais elevados valores medianos de alcalinidade total e dureza total.

7.2.2 Resultados das análises físico-químicas das águas subterrâneas do CNPMS

As Tabelas 7.6 e 7.7 apresentam um resumo dos resultados obtidos nas análises das amostras de água subterrânea coletadas ao longo do período de novembro de 2010 a outubro de 2011, na área do CNPMS. Nessas tabelas são apresentadas as medianas, com *outliers*, dos valores obtidos para cada parâmetro analisado.

Tabela 7-6 – Medianas das concentrações na água subterrânea, dos parâmetros analisados em cada um dos pontos amostrados (1ª parte)

Ponto	Al (mg/L)	Ba (mg/L)	Ca (mg/L)	Zn (mg/L)	NO3 (mg/L)	SiO2 (mg/L)	Mg (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	NH4 (mg/L)	STD (mg/L)	Cl (mg/L)	pH Lab	CE Lab (µS/cm)	Fe (mg/L)
CIST01	0,0776	0,0190	41,20	0,0173	1,17	7,03	3,60	0,34	0,146	0,35	122,00	1,75	8,19	203,25	0,06
CIST03	0,0742	0,0185	50,00	0,1185	1,17	8,50	6,00	0,26	0,146	0,22	156,00	2,00	8,20	263,40	0,04
NASC01	0,0742	0,0135	5,20	0,0210	0,56	5,08	1,92	0,25	0,146	0,28	40,00	2,00	6,38	25,91	0,05
PC01	0,0742	0,0620	11,20	0,0165	1,24	7,56	1,20	0,42	0,146	0,55	56,00	4,00	6,37	40,00	0,17
PC02	0,3287	0,0230	1,40	0,0130	1,63	4,50	0,48	0,25	0,146	0,22	36,00	2,25	5,63	8,66	0,06
PC03	0,1255	0,0190	4,40	0,0130	0,81	3,11	0,48	0,25	0,146	0,33	34,00	2,00	6,35	21,63	0,10
PC04	0,0742	0,0360	6,20	0,0140	1,56	7,64	0,48	0,27	0,146	0,35	42,00	4,50	6,30	23,68	0,05
PC05	0,1750	0,0245	6,00	0,0130	1,24	3,31	1,68	0,25	0,146	0,37	34,00	2,25	7,10	45,45	0,08
PC06	0,4610	0,0370	8,00	0,0130	2,86	4,85	3,12	0,34	0,146	0,21	48,00	4,00	6,75	46,00	0,10
PC08	0,0742	0,0218	38,80	0,0130	1,92	8,75	5,52	0,46	0,146	0,38	177,00	3,50	8,27	275,25	0,04
PC09	0,7420	0,0255	37,20	0,0130	1,18	1,09	2,16	0,25	0,146	0,31	130,00	3,00	7,77	187,55	0,35
PC10	0,0742	0,0220	2,80	0,0145	0,46	3,07	0,48	0,25	0,146	0,34	24,00	3,00	6,09	26,94	0,24
PC11	0,0776	0,0230	8,00	0,0130	1,24	5,55	1,68	0,30	0,146	0,35	48,00	3,00	6,75	45,45	0,06
PC12	0,0742	0,0325	8,80	0,0130	0,64	6,87	1,44	0,26	0,146	0,26	160,00	2,50	7,12	106,01	0,10
PC13	0,0877	0,0147	16,00	0,0130	2,73	5,10	2,64	0,46	0,146	0,26	50,00	3,00	7,05	78,15	0,10
PC14	0,2361	0,0240	16,00	0,0130	0,77	3,81	0,72	0,25	0,146	0,50	76,00	3,00	6,87	66,00	0,12
PC15	0,7530	0,0175	4,00	0,0130	1,28	3,13	0,96	0,25	0,146	0,52	48,00	2,50	6,48	29,48	0,56
PC16	0,0742	0,0180	1,20	0,0140	0,51	1,93	0,96	0,25	0,146	0,29	27,00	1,75	6,37	13,03	0,35
PC17	0,2700	0,0560	20,00	0,0260	1,78	6,89	1,44	0,32	0,146	0,41	115,00	3,50	6,80	102,30	0,58
PC18	0,2450	0,0150	3,60	0,0180	1,43	6,03	2,40	0,27	0,146	0,45	54,00	3,25	6,66	46,10	0,31
PC19	1,7200	0,0225	4,80	0,0143	6,80	4,15	0,48	0,35	0,146	0,50	62,00	3,25	6,33	45,25	0,35
PC20	0,5600	0,0500	8,40	0,0230	1,04	6,59	0,48	0,37	0,146	0,58	106,00	2,50	6,92	114,80	0,46
PC21	0,5296	0,0184	2,00	0,0130	1,62	3,46	1,20	0,25	0,146	0,27	24,00	2,50	5,89	23,78	0,16
PC22	0,1100	0,0140	7,20	0,0130	7,48	3,26	2,16	0,30	0,146	0,37	34,00	2,75	6,69	42,55	0,19
PC23	0,0742	0,0122	11,20	0,0130	10,85	2,67	2,16	0,31	0,146	0,48	56,00	2,50	7,08	74,85	0,46
SURG01	0,0742	0,0125	8,00	0,0130	0,73	3,75	1,68	0,25	0,146	0,16	30,00	2,00	6,54	44,25	0,04
PC07	0,3150	0,1815	13,60	0,0130	1,82	5,55	2,88	21,67	4,47	0,55	236,00	5,00	11,23	620,80	0,04
TUBE01	0,0742	0,0265	39,60	0,0130	1,84	10,42	9,84	0,37	1,75	0,33	206,00	2,00	7,99	339,50	0,04
TUBE02	0,0742	0,0155	44,00	0,0140	0,49	8,04	6,48	0,30	0,146	0,29	148,00	2,50	8,30	236,55	0,04
TUBE04	0,0742	0,0170	45,60	0,0130	1,06	6,87	3,60	0,26	0,146	0,24	148,00	2,50	8,03	261,45	0,04

* Foram utilizados os dados com *outliers*

Tabela 7-7 – Medianas das concentrações na água subterrânea, dos parâmetros analisados em cada um dos pontos amostrados (2ª parte)

Ponto	Mn (mg/L)	SO4 (mg/L)	HCO3 (mg/L)	CO3 (mg/L)	Alc.Hidr. (mg/LCaCO3)	Alc.Total (mg/LCaCO3)	Dureza Ca (mg/LCaCO3)	Dureza Total (mg/LCaCO3)
CIST01	0,02	1,46	151,28	0,00	0,00	124,00	103,00	115,00
CIST03	0,02	1,17	183	0,00	0,00	150,00	125,00	149,00
NASC01	0,02	1,36	17,69	0,00	0,00	14,50	13,00	22,00
PC01	0,19	4,67	18,91	0,00	0,00	15,50	28,00	36,00
PC02	0,04	1,84	5,49	0,00	0,00	4,50	3,50	5,50
PC03	0,03	1,98	10,98	0,00	0,00	9,00	11,00	14,00
PC04	0,05	2,00	12,81	0,00	0,00	10,50	15,50	18,00
PC05	0,04	1,42	37,82	0,00	0,00	31,00	15,00	36,00
PC06	0,04	3,30	21,96	0,00	0,00	18,00	20,00	30,00
PC08	0,02	1,59	187,27	0,00	0,00	155,50	97,00	131,00
PC09	0,04	1,58	126,88	0,00	0,00	100,00	93,00	114,00
PC10	0,09	1,43	10,98	0,00	0,00	9,00	7,00	10,00
PC11	0,04	1,84	18,91	0,00	0,00	16,75	20,00	36,00
PC12	0,02	2,06	79,3	0,00	0,00	65,00	22,00	28,00
PC13	0,02	1,34	38,43	0,00	0,00	31,50	40,00	52,00
PC14	0,02	2,61	42,7	0,00	0,00	35,00	40,00	40,00
PC15	0,03	2,52	7,93	0,00	0,00	8,50	10,00	13,00
PC16	0,06	0,96	6,71	0,00	0,00	5,50	3,00	9,00
PC17	0,14	13,75	26,84	0,00	0,00	22,00	50,00	55,00
PC18	0,03	1,81	14,03	0,00	0,00	11,50	9,00	23,50
PC19	0,03	2,87	12,2	0,00	0,00	10,00	12,00	23,00
PC20	0,10	13,52	34,16	0,00	0,00	28,00	21,00	40,00
PC21	0,02	2,08	6,1	0,00	0,00	5,00	5,00	16,00
PC22	0,02	2,46	15,86	0,00	0,00	13,00	18,00	29,00
PC23	0,02	1,70	37,21	0,00	0,00	30,50	28,00	39,00
SURG01	0,02	1,25	29,28	0,00	0,00	24,00	20,00	35,00
PC07	0,02	4,00	0,00	61,50	16,50	142,00	34,00	40,00
TUBE01	0,02	2,11	233,63	0,00	0,00	195,50	99,00	144,00
TUBE02	0,02	1,29	157,99	0,00	0,30	131,00	110,00	142,00
TUBE04	0,02	0,89	181,17	0,00	0,00	149,50	114,00	135,00

* Foram utilizados os dados com *outliers*

7.2.3 Classificação das águas subterrâneas do CNPMS

Conforme destacam Vidal e Kiang (2002), existem algumas formas de agrupar e classificar as amostras de água do ponto de vista hidrogeoquímico. Porém, essas classificações ocorrem a partir de concentrações representadas como razões, que mascaram as diferenças quantitativas. Como exemplo, pode-se citar o que ocorre no diagrama de *Piper*, em que cátions ou ânions de duas amostras apresentam proporções semelhantes entre si, ainda que possuam diferentes concentrações.

Conforme destaca Hem (1985), uma prática comum na literatura sobre a representação da qualidade de água é se referir ou classificar as águas com os termos “água bicarbonatada cálcica” ou “água cloretada sódica”. Segundo esse autor, essas classificações são derivadas de inspeção de análises e representam os cátions e ânions predominantes, expressos em miliequivalentes por litro. Essas classificações servem apenas como uma informação geral e não pode se esperar que sejam precisas. Entretanto, esse mesmo autor salienta que os cálculos de razões são obviamente úteis no estabelecimento de similaridades químicas entre distintas coleções de água, como, por exemplo, em grupos de análises representando um terreno geológico simples, ou um simples aquífero, ou uma zona aquífera.

A análise no Diagrama de *Piper* da Figura 7.6 revela que todos os pontos amostrados na área do CNPMS, de uma maneira geral, apresentam uma tendência à fácies Bicarbonatada Cálcica, tanto para as águas oriundas do aquífero fissural-cárstico (PC07, TUBE01, TUBE02 e TUBE04), como para as águas provenientes do aquífero de cobertura (os demais 26 pontos de amostragem), considerando-se as medianas (sem *outliers*) dos parâmetros Ca, Mg, Na, K, HCO₃, CO₃, SO₄ e Cl.

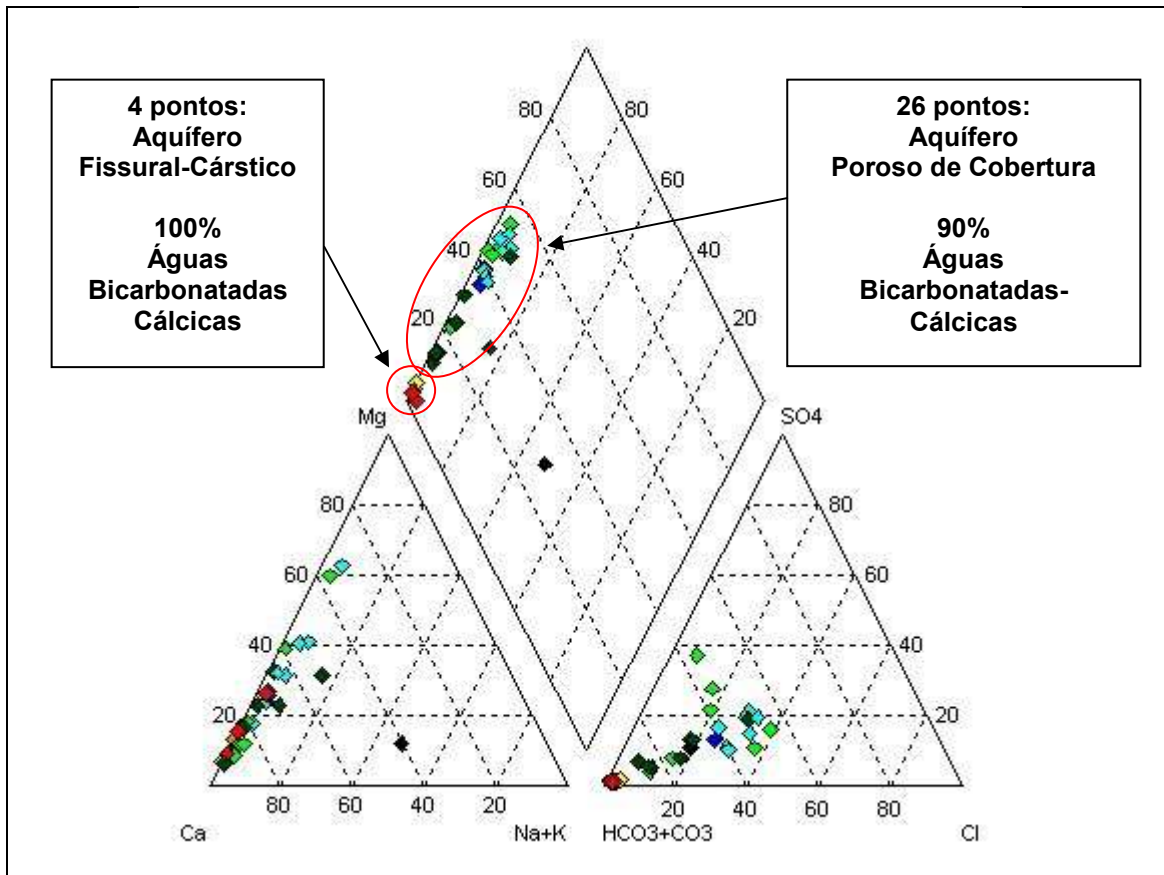


Figura 7-6 – Diagrama de Piper dos 30 pontos amostrados, com os dados das medianas dos resultados dos parâmetros analisados

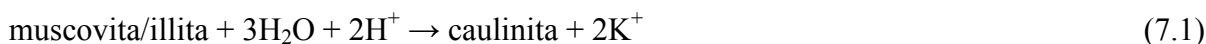
A comparação dos ânions indicou que as águas se comportam de maneira homogênea, e se constatou a predominância do íon bicarbonato (HCO_3^-) sobre os íons cloreto (Cl^-) e sulfato (SO_4^{2-}). Essa característica é considerada muito comum para ambientes desenvolvidos em solos ricos em argilossilicatos e, principalmente, em ambientes formados por rochas carbonáticas, onde o conteúdo de Cl^- e SO_4^{2-} é, em geral, baixo, como destaca Santos (2008). Conforme descrevem Custodio e Llamas (1983), a quantidade de HCO_3^- na água subterrânea é devida a alguns fatores, incluindo: o CO_2 dissolvido, originário do ar atmosférico e do solo; a dissolução de calcitas e dolomitas; a hidrólise de silicatos, em presença do CO_2 e o valor do pH da solução.

No caso da área do CNPMS, a maioria das amostras apresentou um valor de pH abaixo de 8,3, o que explica a alcalinidade ser, predominantemente, expressa pelo íon bicarbonato. Entretanto, em alguns pontos como os poços de monitoramento PC08 e PC09, bem como nos poços de produção da EMBRAPA (TUBE01, TUBE02 e TUBE04), verificou-se que algumas amostras apresentaram alcalinidade devida tanto aos íons bicarbonatos quanto aos íons carbonatos. Cabe destacar que, no piezômetro PC07, algumas amostras apresentaram valores

de pH da ordem de 11, mostrando, conseqüentemente, alcalinidades inerentes tanto aos íons carbonato quanto aos íons hidroxila. No entanto, existe uma forte suspeita que a qualidade das águas desse poço encontra-se, ainda, alterada pelo cimento utilizado para impermeabilizar a sua base, durante a sua construção.

Já no caso dos cátions, observou-se que os íons cálcio (Ca^{+2}) predominaram sobre os íons magnésio (Mg^{+2}) e, esses, sobre os íons potássio (K^{+}) e sódio (Na^{+}). Esses dois últimos, a propósito, apresentaram valores inferiores aos limites de detecção dos métodos utilizados para analisá-los, na grande maioria das amostras.

No entanto, nas amostras coletadas na porção superior do Aquífero Poroso de Cobertura, que não está em contato com o substrato rochoso carbonático, esperava-se que as concentrações de sódio e, principalmente, de Potássio fossem superiores às de cálcio. Tal expectativa se deve ao fato das amostras de solo coletadas nesse aquífero não possuírem minerais com cálcio em sua constituição, mas, por sua vez, apresentarem, em algumas delas, a presença de muscovita/illita, mineral cuja alteração produz apenas caulinita e íons Potássio, como mostra a seguinte reação:



Observa-se, ainda, que caso o elemento sódio esteja substituindo o Potássio em algumas posições na estrutura da muscovita, o produto da reação da equação 7.1 apresentará também o íon Na^{+} .

Entretanto, as amostras de água subterrânea coletadas nessa porção superior do aquífero de cobertura apresentam baixas concentrações dos cátions K^{+} e Na^{+} , sempre inferiores às concentrações de Ca^{+2} . Por outro lado, dentre as amostras de solo analisadas na área do CNPMS, aquelas coletadas nessa porção do aquífero mostram teores de sódio e Potássio sempre superiores aos de cálcio. A propósito, acredita-se que o cálcio existente nessa porção do aquífero possa ser oriundo da lixiviação de corretivos agrícolas utilizados nas áreas de cultivo do CNPMS ou transportado da porção basal desse aquífero, que está em contato com a rocha calcária. Diante dessa aparente contradição entre as concentrações desses elementos no solo e na água subterrânea, suspeita-se que possa estar havendo aí uma troca iônica nos solos que constituem o arcabouço da porção superior Aquífero Poroso de Cobertura, ou seja, imagina-se que os íons Ca^{+2} sejam substituídos pelos íons Na^{+} e K^{+} nos minerais

argilominerais existentes na área, como a caulinita. Entretanto, cabe ressaltar que isso vai contra a argumentação de Panoso *et al.* (2002), que destaca que os solos que compõem essa região do aquífero são muito intemperizados, com predomínio de caulinita e óxidos de ferro (hematita) e de alumínio (gibbsita), o que implica em elevada carga positiva e baixa capacidade de troca catiônica – CTC da argila.

Corroborando com essa hipótese, cita-se Davis (1961 *apud* HEM, 1985), que destaca que, em áreas irrigadas a troca de cálcio por sódio, na porção úmida do solo, pode ocorrer nos dois sentidos, podendo flutuar extensivamente em épocas e locais diferentes. Em complemento, informa-se que Hanshaw (1964 *apud* HEM, 1985) mostrou que argilas, quando compactadas, podem adsorver preferencialmente sódio ao cálcio.

Por outro lado, essa hipótese pode ser descartada ao se entender que na CTC do solo há uma predominância de cálcio, em relação ao Potássio e magnésio, em função desses últimos estarem, provavelmente, presentes nas estruturas das micas (illita, muscovita, Vermiculita e interstratificados) e na caulinita, não trocáveis, não sendo disponibilizados à água subterrânea.

7.2.4 Caracterização de tipos hidroquímicos a partir de análise de *cluster*

Tendo em vista o grande número de dados físico-químicos de água subterrânea obtidos neste trabalho e da necessidade de agrupar as amostras e de conhecer as suas diferenças, optou-se por tratar, também, estatisticamente os resultados, por meio do método de análise multivariada de agrupamentos (*cluster*). Foram analisados os dados tanto do aquífero fissural-cárstico como, principalmente, os dados do aquífero poroso de cobertura, buscando saber se existem grupos com características hidroquímicas semelhantes em cada um dos aquíferos.

Deve-se enfatizar que a análise de *cluster*, como já mencionado no capítulo Referencial Teórico, é uma técnica que busca agrupar elementos de dados baseando-se na similaridade entre eles, sendo que os grupos são determinados de forma a obter-se uma homogeneidade dentro deles e heterogeneidade entre eles. O método hierárquico de *cluster* consiste em uma série de sucessivos agrupamentos, ou sucessivas divisões de elementos, em que eles são agregados ou desagregados. Essas divisões ocorrem a partir das características dos elementos. No caso da hidrogeoquímica, as características são os parâmetros químicos da água.

Para realizar a análise de agrupamentos (*cluster*) neste trabalho, considerou-se separadamente os dados dos dois aquíferos que compõem o sistema aquífero local, visto que os mesmos possuem composições químicas e mineralógicas distintas. Foram utilizadas as medianas dos resultados, com o objetivo de atenuar os erros de balanço encontrados, principalmente por se tratar de erros aleatórios e não sistemáticos. Duas populações distintas foram consideradas, sendo uma representada por amostras dos vinte e seis (26) pontos do Aquífero Poroso de Cobertura e outra por amostras dos quatro (4) pontos do Aquífero Fissural-Cárstico. Foram utilizadas como variáveis, para as duas populações, os seguintes parâmetros: Mediana pH Laboratório (pH_{Lab}), Mediana Condutividade Elétrica Laboratório (Cond_{Lab}), Mediana Alcalinidade Total Laboratório (AlcTot_{Lab}), Mediana Dureza Total Laboratório (DurTot_{Lab}) e Mediana SiO₂.

Neste momento, cabe ressaltar, ainda, que foram feitas diversas tentativas em busca do melhor conjunto de dados a ser analisado pelo método de análise de *cluster*. Tentou-se inicialmente utilizar um conjunto com todos os dados obtidos para os 14 principais parâmetros analisados (pH, Condutividade elétrica, Ca, Mg, K, Ba, Fe, Al, HCO₃, Cl, SO₄, NO₃, Ba, Dureza Total), em seguida por 12, 10, 8, 6, 5 e 4 parâmetros. Entretanto, em todos esses casos a “sensação” era de que não havia coerência nos grupos de *cluster* apresentados, visto que alguns pontos que possuem águas com características físico-químicas aparentemente semelhantes não se mostraram em um mesmo grupo de aglomerados (*cluster*).

Diante disso, entendeu-se que essas análises estatísticas poderiam estar sendo influenciadas, negativamente, pela existência do grande número de *outliers* existente na base de dados analisada. Assim, decidiu-se realizar a análise de *cluster* com os valores das medianas dos cinco parâmetros físico-químicos considerados mais representativos e com os resultados relativamente confiáveis: pH_{Lab}., Cond_{Lab}, AlcTot_{Lab}, DurTot_{Lab} e SiO₂. A escolha da Mediana como medida de tendência central adotada foi feita após a verificação de que todos os cinco parâmetros, exceto pH_{Lab}, seguiam uma distribuição LogNormal.

Além disso, um novo impasse surgiu quanto à manutenção ou retirada dos *outliers*, que mesmo para esses parâmetros selecionados, ainda se mostravam presentes em quantidades consideráveis. Diante dessa dúvida, resolveu-se produzir os dendogramas que retratassem os dados, com e sem *outliers*, visto que não se tinha certeza de que se tratava de erros ou

“discrepâncias sazonais naturais” existentes no sistema aquífero ao longo de um ano hidrológico.

Analisando-se os grupos sugeridos nos dois dendogramas, que, a propósito, foram gerados a partir da distância Euclidiana e do método de Ligação Completa (*Complete Linkage*), verificou-se que os mesmos se mostraram bastante semelhantes. No entanto, optou-se pela opção mais conservadora, ou seja, a utilização dos dados de medianas, sem *outliers*.

Na análise de *cluster* das medianas, sem *outliers*, os dados hidroquímicos das amostras coletadas nos 26 pontos (situados no aquífero de cobertura) foram classificados pela Análise Hierárquica de *Cluster* em espaço 5-dimensional e o resultado obtido foi o dendograma apresentado na Figura 7.7. Vale salientar que, dentro de um mesmo dendograma, uma maior similaridade é verificada entre os pontos que apresentam uma menor distância “(Dlink/Dmax)x100”.

Considerando o corte realizado no valor de (Dlink/Dmax.)x100 igual a 30, seis grupos foram selecionados com base no exame visual do dendograma, cada um representando, assim, um grupo com hidroquímica distinta para o sistema aquífero estudado.

A escolha do número de *clusters* (aglomerados) foi subjetiva, estando em consonância com Güller *et al.* (2002), que destaca que a escolha do número ideal de grupos depende do investigador, visto que não há teste para determinar a quantidade ideal de grupos no conjunto de dados.

Os grupos definidos e seus respectivos pontos associados foram os seguintes:

- Grupo 1: PC02, PC03, PC10, PC11, PC15, PC16 e PC21;
- Grupo 2: PC12;
- Grupo 3: PC01, PC04, PC13, PC17, PC18, PC20 e NASC01;
- Grupo 4: PC05, PC06, PC14, PC19, PC22, PC23 e SURG01;
- Grupo 5: PC09; e
- Grupo 6: PC08, CIST01 e CIST03.

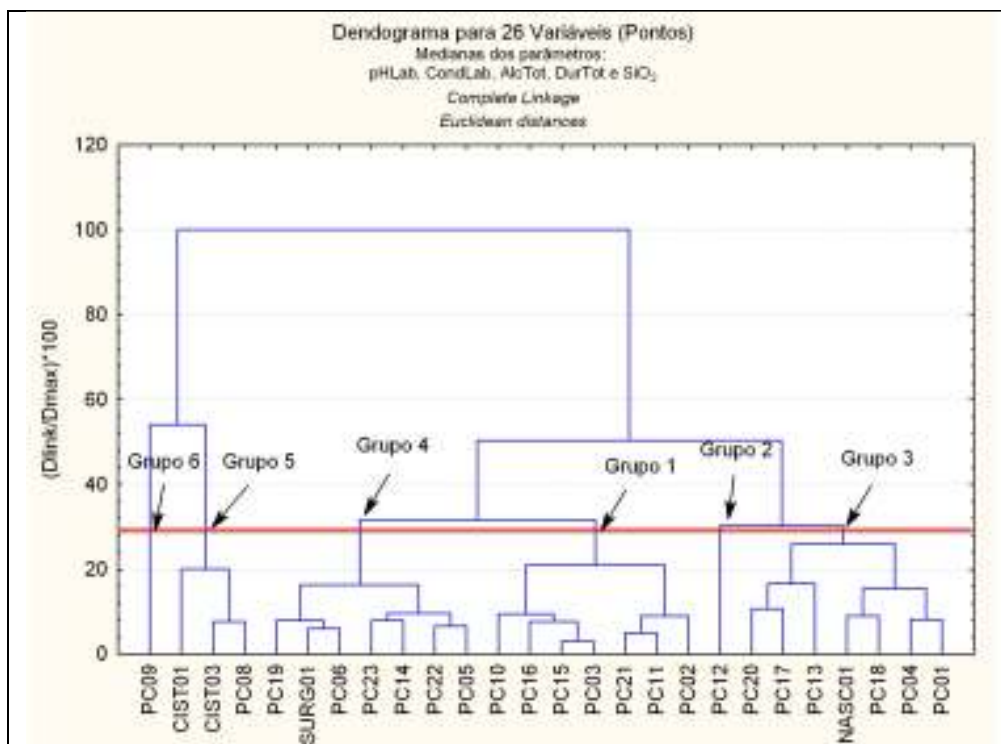


Figura 7-7 – Dendrograma resultado da análise de *Cluster* para os 26 pontos do Aquífero Poroso de Cobertura

No que se refere à análise de agrupamentos (*cluster*) do Aquífero Fissural-Cárstico, foram separados 2 grupos, como mostrado na Figura 7.8. Vale destacar, no entanto, que esse dendrograma (Figura 7.8) evidencia que as amostras do poço PC07 mostram grandes distâncias aos três poços (TUBE01, TUBE02, TUBE03). Os grupos de *cluster* para esse aquífero foram discriminados com as seguintes composições:

- Grupo 7 (TUBE01, TUBE02, TUBE03); e
- Grupo 8 (PC07).

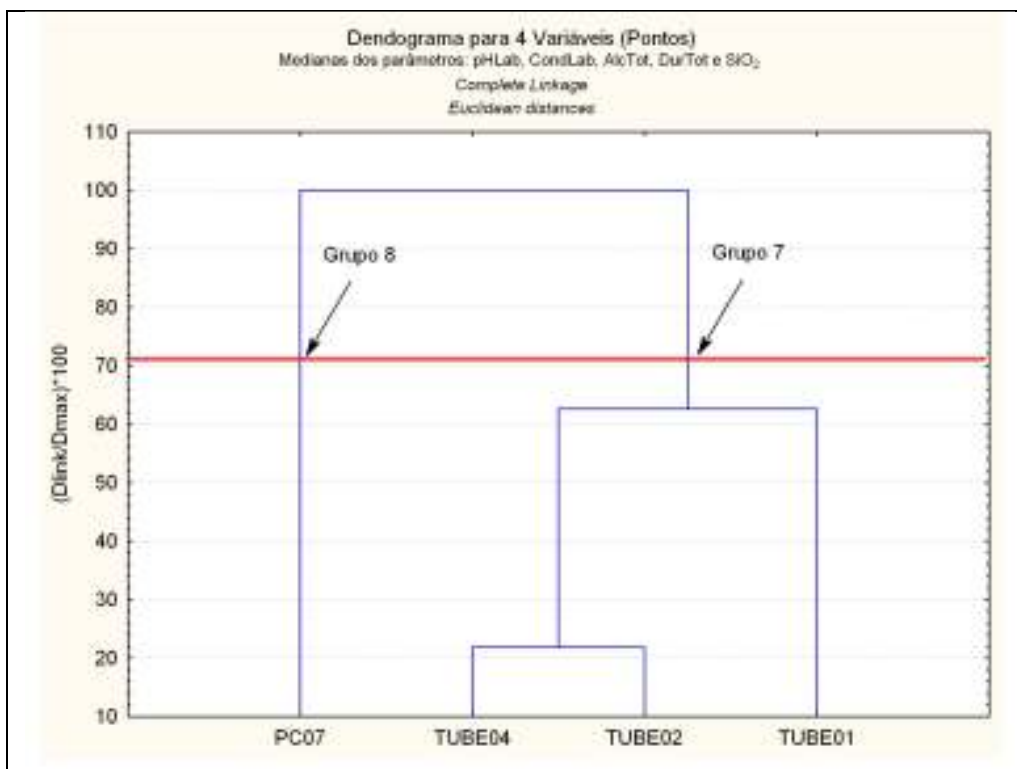


Figura 7-8 – Dendrograma resultado da análise de *cluster* para os quatro pontos do aquífero fissural-cárstico

As Tabelas 7.8 (Grupo 1), 7.9 (Grupo 2), 7.10 (Grupo 3), 7.11 (Grupo 4), 7.12 (Grupo 5), 7.13 (Grupo 6), 7.14 (Grupo 7) e 7.15 (Grupo 8), a seguir, apresentam os valores das medianas obtidos nas análises de *cluster*. Esses resultados estão separados por grupos e por pontos de amostragem e são uma síntese da composição química dos principais grupos de água subterrânea provenientes de diferentes contextos hidrogeológicos.

Em complemento, a Figura 7.9 mostra a distribuição espacial dos grupos de *cluster* na área do CNPMS e os gráficos das Figuras 7.10 a 7.14, possibilitam a visualização das diferenças existentes entre os valores de mediana dos parâmetros Condutividade Elétrica, pH, Dureza Total, Alcalinidade Total e SiO₂, em cada um dos grupos de *cluster*.

Tabela 7-8– Grupo 1 – Medianas, sem *outliers*, dos parâmetros analisados

Pontos	PC02	PC03	PC10	PC11	PC15	PC16	PC21	Quartil 1	Mediana	Quartil 3
Cond Lab (µS/cm)	8,22	18,66	15,80	11,72	26,46	11,50	17,61	11,61	15,80	18,14
pH Lab	5,56	6,35	6,09	5,60	6,48	6,34	5,69	5,65	6,09	6,35
Dur. Total (mg/l CaCO ₃)	4,50	14,00	10,00	8,00	10,00	8,00	10,00	8,00	10,00	10,00
Alc.Total (mg/l CaCO ₃)	4,00	7,50	8,00	6,00	7,00	5,00	5,00	5,00	6,00	7,25
SiO ₂ (mg/l)	4,10	2,91	3,07	2,76	2,85	1,85	3,46	2,81	2,91	3,27
Ca* (mg/L)	1,00	3,60	2,40	1,60	3,20	0,80	1,60	1,30	1,60	2,80
Mg* (mg/L)	0,48	0,48	0,48	0,48	0,96	0,96	0,72	0,48	0,48	0,84
K (mg/L)	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Na (mg/L)	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46
Fe (mg/L)	0,05	0,07	0,23	0,11	0,51	0,30	0,16	0,09	0,16	0,27
Mn(mg/L)	0,04	0,03	0,08	0,16	0,03	0,06	0,02	0,03	0,04	0,07
Al (mg/L)	0,1437	0,0776	0,0742	0,7420	0,5100	0,0742	0,3992	0,08	0,14	0,45
Ba (mg/L)	0,0190	0,0170	0,0220	0,0220	0,0170	0,0180	0,0178	0,02	0,02	0,02
NH ₄ (mg/L)	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,01	0,01	0,01
Cl (mg/L)	0,17	0,23	0,33	0,34	0,52	0,25	0,25	0,24	0,25	0,33
SO ₄ (mg/L)	1,75	2,00	2,75	2,75	2,50	1,75	2,50	1,88	2,50	2,63
NO ₃ (mg/L)	1,64	1,84	1,35	1,63	2,21	0,79	1,97	1,49	1,64	1,91
STD (mg/L)	1,14	0,64	0,38	0,29	1,01	0,49	1,61	0,43	0,64	1,08

Tabela 7-9 – Grupo 2 – Medianas, sem outliers, dos parâmetros analisados

Pontos	PC12	Quartil 1	Mediana	Quartil 3
Cond Lab ($\mu\text{S/cm}$)	19,46		19,46	
pH Lab	7,76		7,76	
Dur. Total (mg/l CaCO_3)	15,00		15,00	
Alc.Total (mg/l CaCO_3)	9,00		9,00	
SiO_2 (mg/l)	7,24		7,24	
Ca^* (mg/L)	4,40		4,40	
Mg^* (mg/L)	0,96		0,96	
K (mg/L)	0,25		0,25	
Na (mg/L)	1,46		1,46	
Fe (mg/L)	0,09		0,09	
Mn(mg/L)	0,02		0,02	
Al (mg/L)	0,0742		0,0742	
Ba (mg/L)	0,0150		0,0150	
NH_4 (mg/L)	0,0130		0,0130	
Cl (mg/L)	0,23		0,23	
SO_4 (mg/L)	2,50		2,50	
NO_3 (mg/L)	1,76		1,76	
STD (mg/L)	0,58		0,58	

Tabela 7-10– Grupo 3 – Medianas, sem *outliers*, dos parâmetros analisados (*Cluster*)

Pontos	PC01	PC04	PC13	PC17	PC18	PC20	NASC01	Quartil 1	Mediana	Quartil 3
Cond Lab (µS/cm)	39,70	21,34	77,40	90,15	28,67	77,45	24,68	26,67	39,70	77,43
pH Lab	6,21	6,19	6,71	7,07	6,66	6,91	6,32	6,27	6,66	6,81
Dur. Total (mg/l CaCO ₃)	35,50	15,50	50,00	54,00	20,00	28,00	21,00	20,50	28,00	42,75
Alc.Total (mg/l CaCO ₃)	13,00	10,00	30,00	20,00	5,00	26,00	14,00	11,50	14,00	23,00
SiO ₂ (mg/l)	7,16	7,60	5,00	7,20	6,18	6,56	5,30	5,74	6,56	7,18
Ca* (mg/L)	10,20	5,80	16,00	20,00	2,40	8,40	4,80	5,30	8,40	13,10
Mg* (mg/L)	0,84	0,48	2,16	1,20	2,40	0,48	1,92	0,66	1,20	2,04
K (mg/L)	0,41	0,26	0,41	0,31	0,25	0,31	0,25	0,26	0,31	0,36
Na (mg/L)	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46
Fe (mg/L)	0,10	0,04	0,10	0,55	0,21	0,43	0,05	0,08	0,10	0,32
Mn(mg/L)	0,16	0,05	0,02	0,12	0,02	0,09	0,02	0,02	0,05	0,11
Al (mg/L)	0,0742	0,0742	0,0742	0,2177	0,1572	0,0850	0,0742	0,07	0,07	0,12
Ba (mg/L)	0,0500	0,0320	0,0143	0,0540	0,0150	0,0385	0,0135	0,01	0,03	0,04
NH ₄ (mg/L)	0,0165	0,0130	0,0130	0,0250	0,0155	0,0180	0,0165	0,01	0,02	0,02
Cl (mg/L)	0,50	0,35	0,23	0,36	0,45	0,58	0,28	0,32	0,36	0,48
SO ₄ (mg/L)	3,00	5,00	2,75	4,25	3,00	2,00	2,00	2,38	3,00	3,63
NO ₃ (mg/L)	4,49	1,90	1,29	9,49	1,65	13,22	1,33	1,49	1,90	6,99
STD (mg/L)	1,12	1,51	2,61	1,49	0,73	0,91	0,48	0,82	1,12	1,50

Tabela 7-11– Grupo 4 – Medianas, sem *outliers*, dos parâmetros analisados (*Cluster*)

Pontos	PC05	PC06	PC14	PC19	PC22	PC23	SURG01	Quartil 1	Mediana	Quartil 3
Cond Lab (µS/cm)	37,95	44,35	61,50	41,20	37,30	67,00	44,50	39,58	44,35	53,00
pH Lab	6,93	6,59	6,85	6,33	6,59	6,90	6,40	6,50	6,59	6,88
Dur. Total (mg/l CaCO ₃)	29,00	30,00	38,00	20,00	28,00	36,00	36,00	28,50	30,00	36,00
Alc.Total (mg/l CaCO ₃)	19,50	18,00	13,00	8,00	17,00	27,00	24,00	15,00	18,00	21,75
SiO ₂ (mg/l)	3,21	4,61	3,81	4,01	3,33	2,83	4,00	3,27	3,81	4,01
Ca* (mg/L)	4,80	8,00	12,00	2,40	7,20	10,40	8,00	6,00	8,00	9,20
Mg* (mg/L)	1,44	2,88	0,48	0,48	1,68	1,92	0,96	0,72	1,44	1,80
K (mg/L)	0,25	0,31	0,25	0,30	0,31	0,30	0,25	0,25	0,30	0,31
Na (mg/L)	1,46	2,54	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46
Fe (mg/L)	0,08	0,10	0,09	0,29	0,19	0,25	0,04	0,09	0,10	0,22
Mn(mg/L)	0,03	0,05	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03
Al (mg/L)	0,1310	0,2579	0,1552	0,1850	0,0771	0,0742	0,0742	0,08	0,13	0,17
Ba (mg/L)	0,0230	0,0350	0,0235	0,0190	0,0140	0,0103	0,0120	0,01	0,02	0,02
NH ₄ (mg/L)	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,01	0,01	0,01
Cl (mg/L)	0,35	0,25	0,48	0,50	0,37	0,39	0,16	0,30	0,37	0,43
SO ₄ (mg/L)	1,00	3,25	2,50	3,50	2,75	2,50	2,00	2,25	2,50	3,00
NO ₃ (mg/L)	1,42	3,28	2,31	2,83	1,62	1,48	1,44	1,46	1,62	2,57
STD (mg/L)	1,02	2,50	0,74	5,31	7,53	11,34	0,66	0,88	2,50	6,42

Tabela 7-12– Grupo 5 – Medianas, sem *outliers*, dos parâmetros analisados (*Cluster*)

Pontos	PC09	Quartil 1	Mediana	Quartil 3
Cond Lab ($\mu\text{S/cm}$)	188,45		188,45	
pH Lab	7,93		7,93	
Dur. Total (mg/l CaCO_3)	118,00		118,00	
Alc.Total (mg/l CaCO_3)	97,50		97,50	
SiO_2 (mg/l)	1,08		1,08	
Ca^* (mg/L)	38,40		38,40	
Mg^* (mg/L)	1,68		1,68	
K (mg/L)	0,25		0,25	
Na (mg/L)	1,46		1,46	
Fe (mg/L)	0,20		0,20	
Mn(mg/L)	0,03		0,03	
Al (mg/L)	0,0742		0,0742	
Ba (mg/L)	0,0235		0,0235	
NH_4 (mg/L)	0,0130		0,0130	
Cl (mg/L)	0,29		0,29	
SO_4 (mg/L)	3,00		3,00	
NO_3 (mg/L)	1,52		1,52	
STD (mg/L)	0,77		0,77	

Tabela 7-13– Grupo 6 – Medianas, sem *outliers*, dos parâmetros analisados (*Cluster*)

Pontos	PC08	CIST01	CIST03	Quartil 1	Mediana	Quartil 3
Cond Lab (µS/cm)	276,55	203,25	260,90	232,08	260,90	268,73
pH Lab	8,12	8,04	8,06	8,05	8,06	8,09
Dur. Total (mg/l CaCO ₃)	129,00	115,00	149,00	122,00	129,00	139,00
Alc.Total (mg/l CaCO ₃)	155,00	121,50	150,00	135,75	150,00	152,50
SiO ₂ (mg/l)	8,38	7,14	8,45	7,76	8,38	8,42
Ca* (mg/L)	37,20	41,20	52,80	39,20	41,20	47,00
Mg* (mg/L)	4,80	3,84	4,80	4,32	4,80	4,80
K (mg/L)	0,45	0,32	0,26	0,29	0,32	0,39
Na (mg/L)	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46
Fe (mg/L)	0,04	0,06	0,04	0,04	0,04	0,05
Mn(mg/L)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Al (mg/L)	0,0742	0,0880	0,0742	0,07	0,07	0,08
Ba (mg/L)	0,0216	0,0190	0,0190	0,02	0,02	0,02
NH ₄ (mg/L)	0,0130	0,0130	0,1300	0,01	0,01	0,07
Cl (mg/L)	0,36	0,43	0,20	0,28	0,36	0,40
SO ₄ (mg/L)	3,50	1,25	2,00	1,63	2,00	2,75
NO ₃ (mg/L)	1,59	1,54	1,27	1,41	1,54	1,57
STD (mg/L)	1,90	0,92	1,17	1,05	1,17	1,54

Tabela 7-14– Grupo 7 – Medianas, sem *outliers*, dos parâmetros analisados (*Cluster*)

Pontos	TUBE01	TUBE02	TUBE04	Quartil 1	Mediana	Quartil 3
Cond Lab ($\mu\text{S/cm}$)	340,00	238,45	262,40	250,43	262,40	301,20
pH Lab	8,06	8,21	8,05	8,06	8,06	8,14
Dur. Total (mg/l CaCO_3)	150,00	145,00	145,00	145,00	145,00	147,50
Alc.Total (mg/l CaCO_3)	195,50	131,00	154,00	142,50	154,00	174,75
SiO_2 (mg/l)	10,79	7,85	6,87	7,36	7,85	9,32
Ca^* (mg/L)	43,20	44,00	46,40	43,60	44,00	45,20
Mg^* (mg/L)	9,60	4,80	2,88	3,84	4,80	7,20
K (mg/L)	0,36	0,30	0,25	0,28	0,30	0,33
Na (mg/L)	1,73	1,46	1,46	1,46	1,46	1,60
Fe (mg/L)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Mn(mg/L)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Al (mg/L)	0,0742	0,0742	0,0742	0,07	0,07	0,07
Ba (mg/L)	0,0260	0,0160	0,0170	0,02	0,02	0,02
NH_4 (mg/L)	0,0130	0,0130	0,0130	0,01	0,01	0,01
Cl (mg/L)	0,33	0,29	0,24	0,26	0,29	0,31
SO_4 (mg/L)	2,00	2,25	2,50	2,13	2,25	2,38
NO_3 (mg/L)	2,03	1,39	0,84	1,12	1,39	1,71
STD (mg/L)	0,92	0,49	0,84	0,67	0,84	0,88

Tabela 7-15– Grupo 8 – Medianas, sem *outliers*, dos parâmetros analisados (*Cluster*)

Pontos	PC07	Quartil 1	Mediana	Quartil 3
Cond Lab ($\mu\text{S/cm}$)	746,50		746,50	
pH Lab	11,23		11,23	
Dur. Total (mg/l CaCO_3)	47,00		47,00	
Alc.Total (mg/l CaCO_3)	164,00		164,00	
SiO_2 (mg/l)	5,18		5,18	
Ca^* (mg/L)	13,60		13,60	
Mg^* (mg/L)	2,40		2,40	
K (mg/L)	23,74		23,74	
Na (mg/L)	4,50		4,50	
Fe (mg/L)	0,04		0,04	
Mn(mg/L)	0,02		0,02	
Al (mg/L)	0,3000		0,3000	
Ba (mg/L)	0,1830		0,1830	
NH_4 (mg/L)	0,0130		0,0130	
Cl (mg/L)	0,59		0,59	
SO_4 (mg/L)	5,25		5,25	
NO_3 (mg/L)	4,00		4,00	
STD (mg/L)	1,82		1,82	

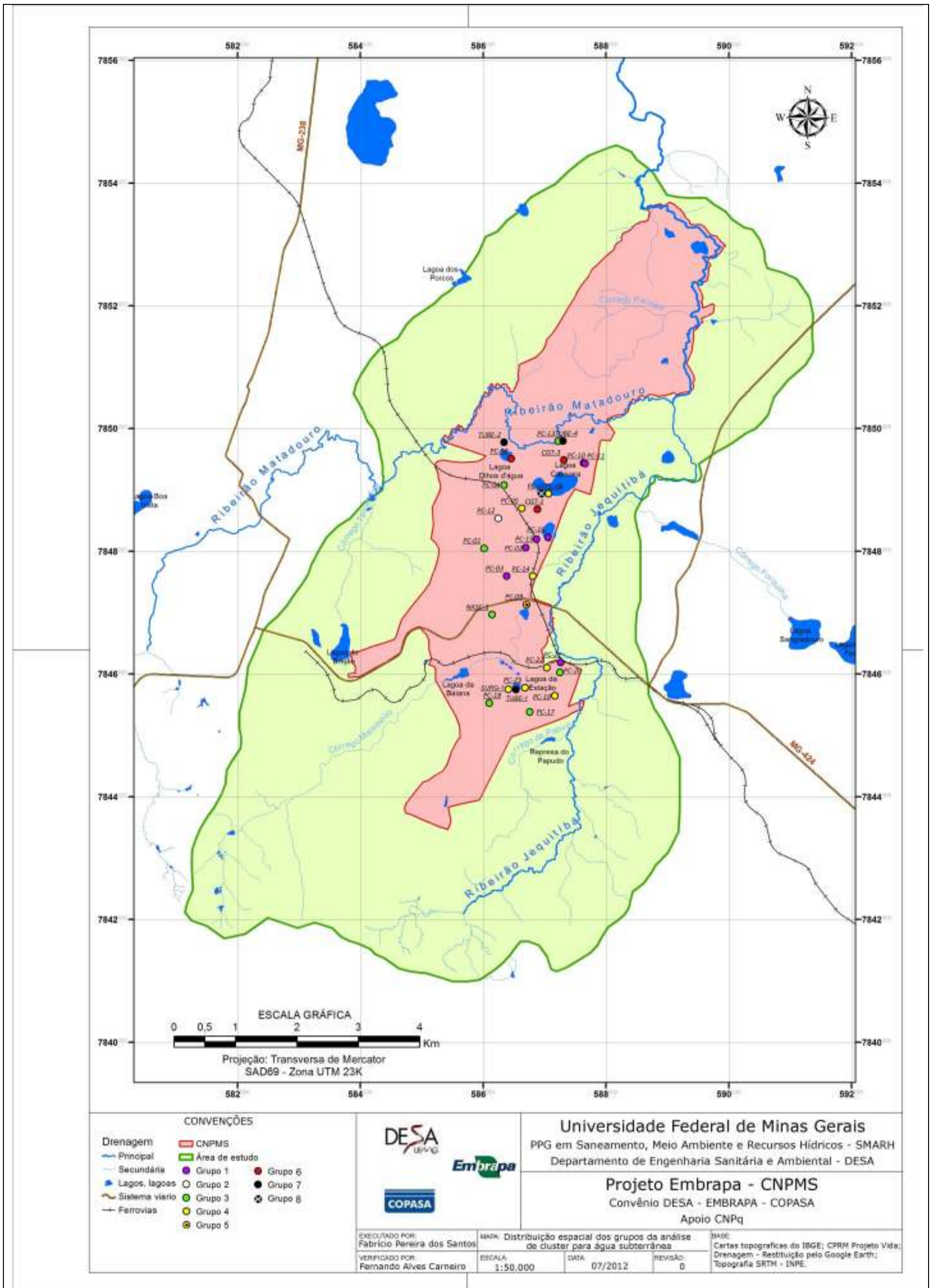


Figura 7-9 – Mapa com a distribuição espacial dos grupos produzidos na análise de aglomerados (cluster)

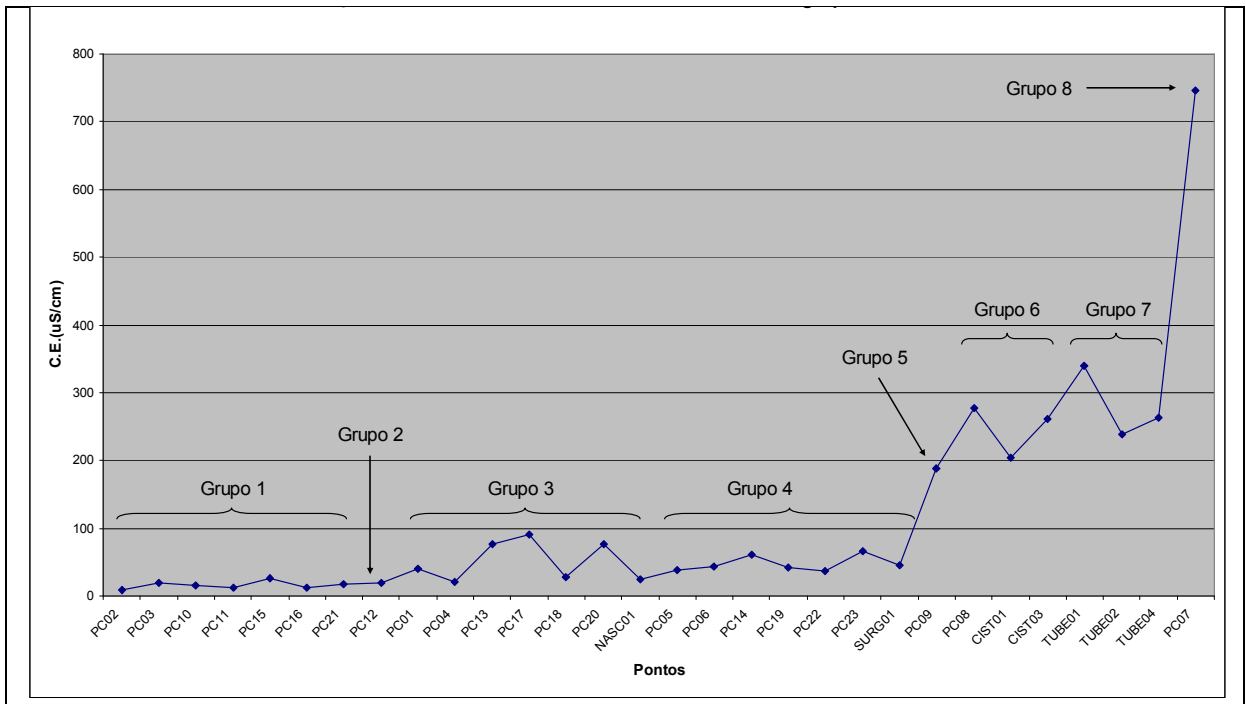


Figura 7-10 – Variação dos valores de Condutividade Elétrica entre os grupos de *cluster*

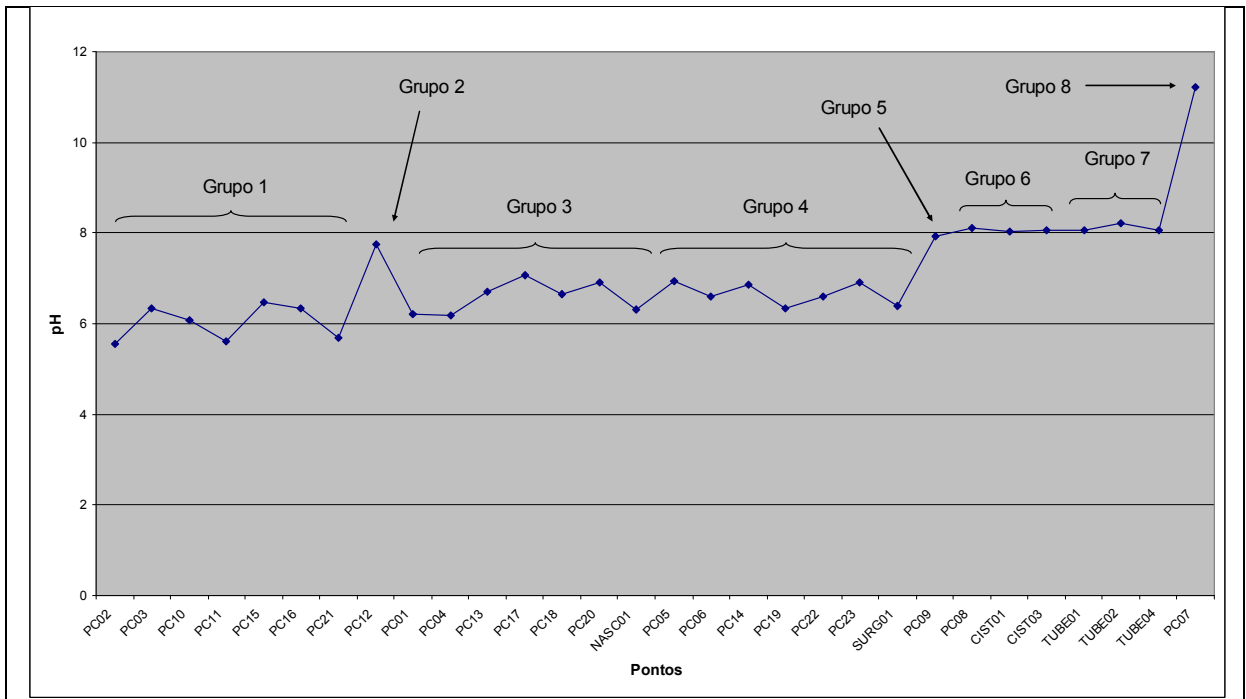


Figura 7-11 – Variação dos valores de pH entre os grupos de *cluster*

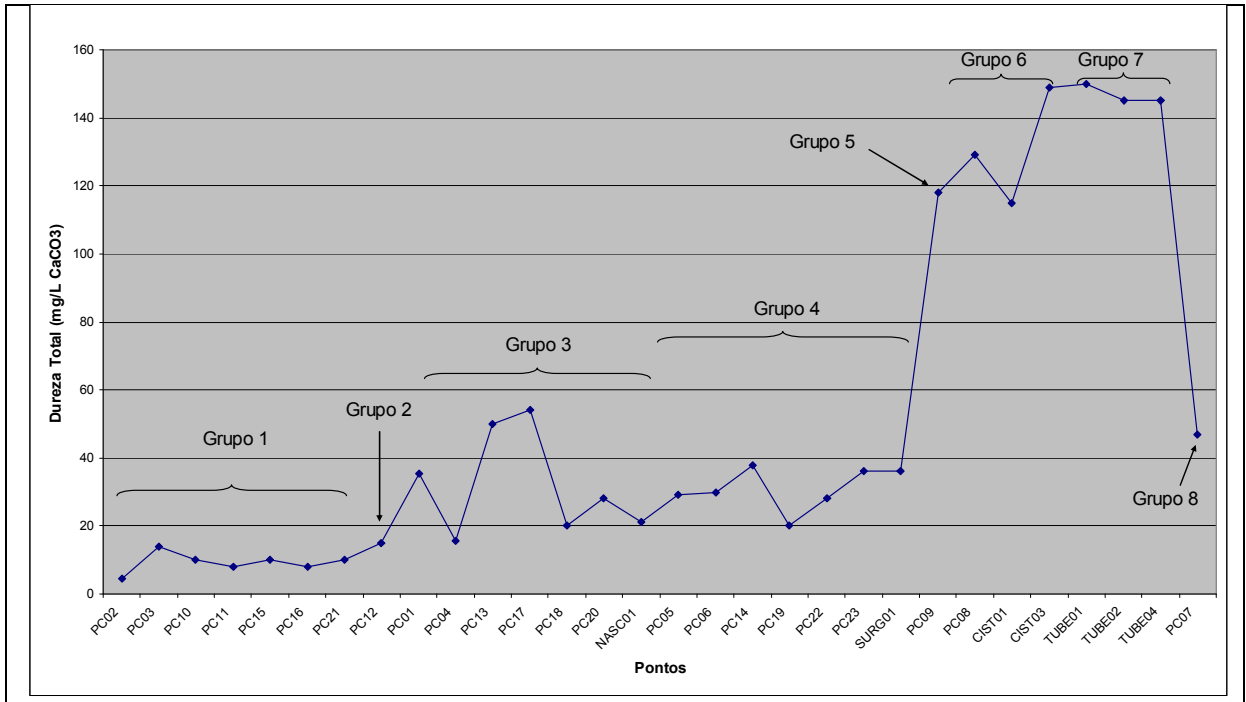


Figura 7-12 – Variação dos valores de Dureza Total entre os grupos de *cluster*

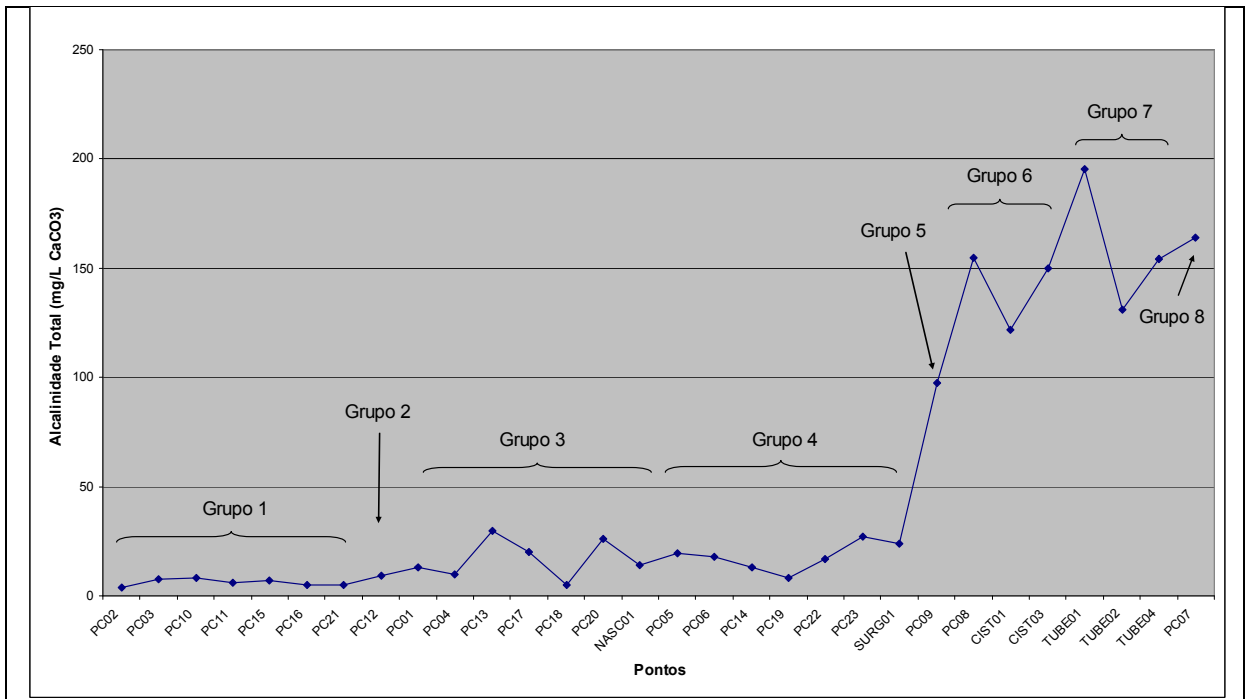


Figura 7-13 – Variação dos valores de Alcalinidade Total entre os grupos de *cluster*

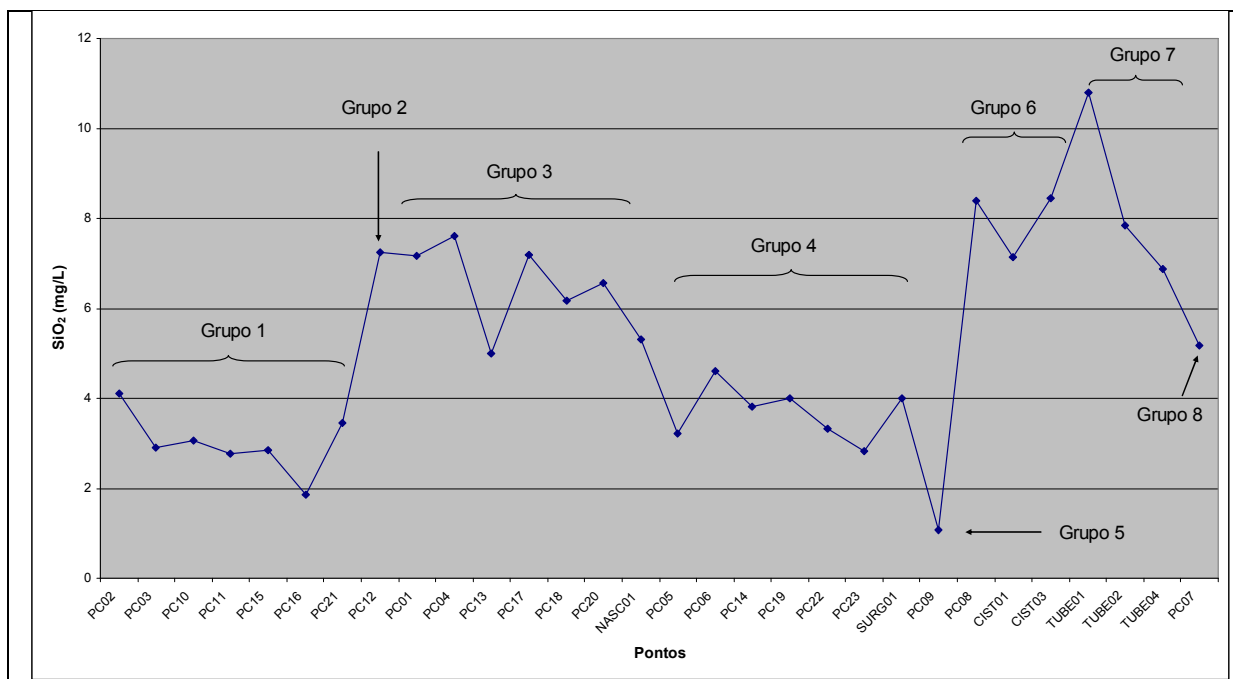


Figura 7-14 – Variação dos valores de sílica entre os grupos de *cluster*

Nos subitens a seguir serão descritas e analisadas as principais características e classificações hidroquímicas das águas subterrâneas amostradas, de acordo com os grupos de *cluster* discretizados anteriormente. Serão apresentados e interpretados os diagramas de Piper e Stiff confeccionados para cada um desses grupos, destacando que os diagramas de Piper foram produzidos com os valores das medianas de cada um dos parâmetros analisados. Já os diagramas de Stiff foram elaborados a partir dos dados de cada amostra analisada.

Grupos 1 e 2

Comparando os resultados obtidos para o Grupo 1 (Tabela 7.8) com os dos demais grupos, percebe-se os pontos inseridos nesse grupo apresentam pH levemente ácido (Mediana = 6,1), baixos valores de Condutividade Elétrica (em função dos baixos valores de Sólidos Totais Dissolvidos - STD), com mediana igual a apenas 15,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$, além de baixos valores de Dureza Total (mediana = 10 mg/L de CaCO_3), Alcalinidade Total, devida ao íons bicarbonato, com mediana = 6 mg/L de CaCO_3 e de sílica (2,91 mg/L de SiO_2).

O Grupo 2 (PC12), por sua vez, também apresenta baixos valores para as medianas (sem *outliers*) dos parâmetros Condutividade Elétrica, Dureza Total, Alcalinidade Total. No entanto, os valores medianos de pH e SiO_2 mostraram-se significativamente mais elevados que os do Grupo 1. A mediana do parâmetro pH para o PC12 é igual a 7,76, ou seja, tendendo a um pH levemente alcalino, destoando do pH levemente ácido encontrado no Grupo 1. No

que se refere à concentração mediana de SiO_2 encontrada no Grupo 2 (7,24 mg/L), verifica-se que a mesma é maior que o dobro daquela encontrada no Grupo 1 (2,91 mg/L).

O bicarbonato é o ânion predominante em 100% das medianas do Grupo 1 e o cálcio é o cátion preponderante em 85% dos valores medianos. As águas desse grupo são classificadas como Bicarbonatadas-Cálcicas para 85% das amostras analisadas e Bicarbonatadas-Magnesianas para 15% delas, de acordo com os diagramas de *Piper* (Figura 7.15) e os de *Stiff* (Figura 7.16). Nessas mesmas figuras, verifica-se que a água do poço PC12, que representa o Grupo 2, é classificada como Bicarbonatada-Cálcica.

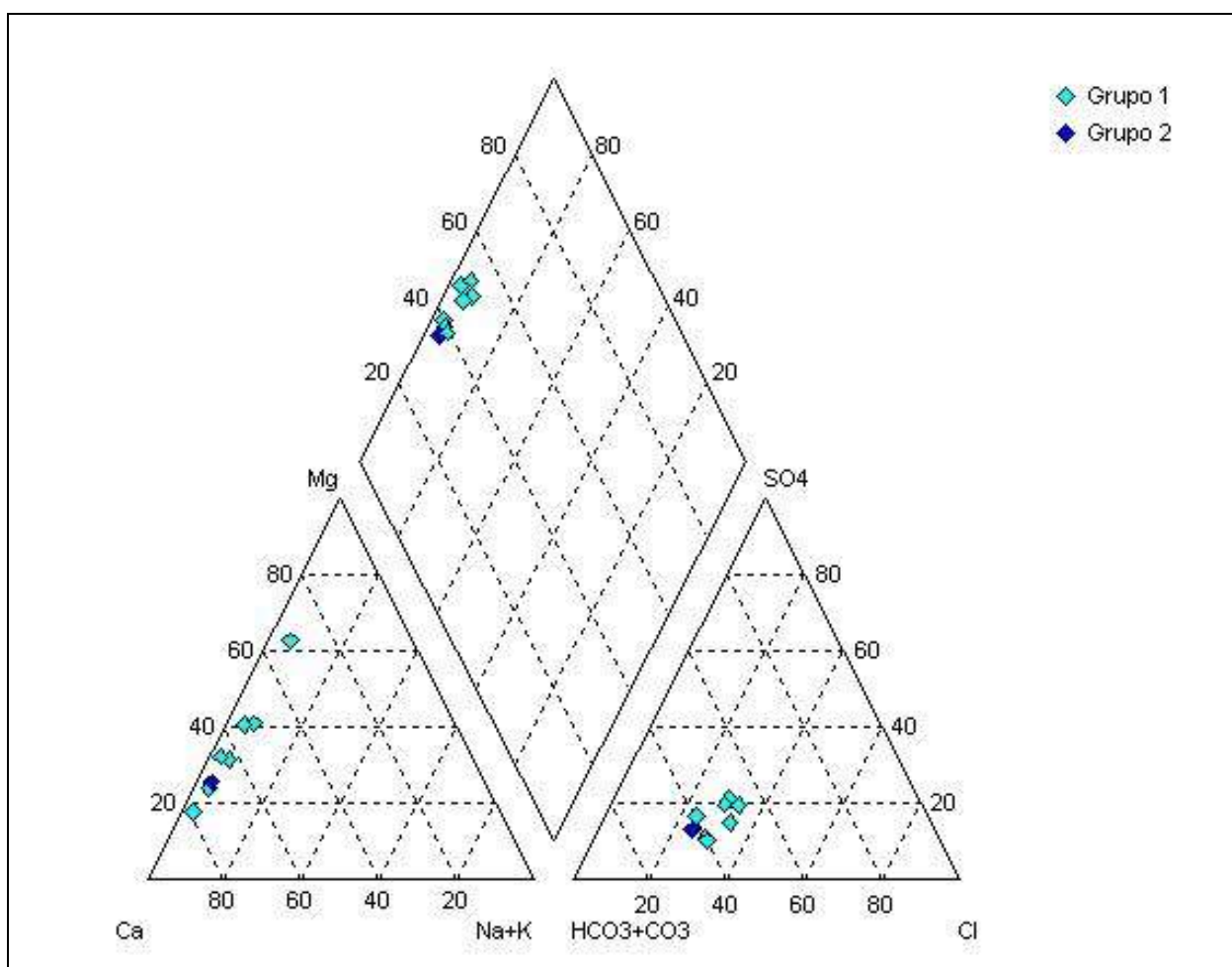


Figura 7-15 – Diagrama de Piper para os pontos dos Grupos 1 e 2

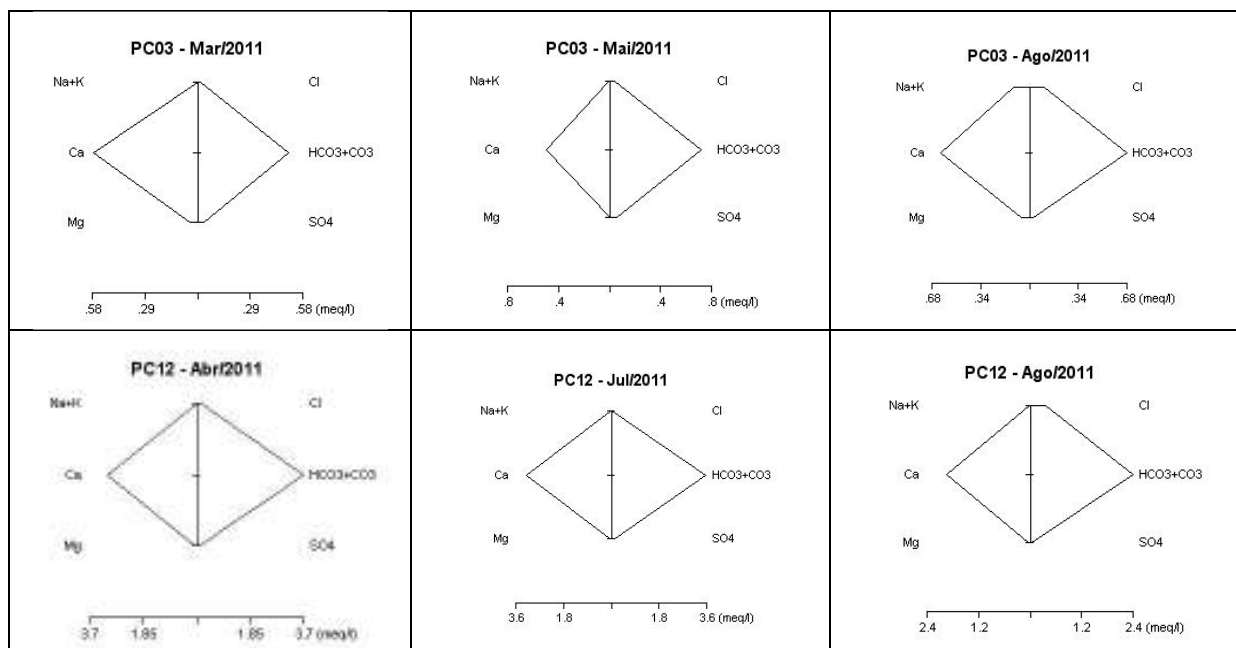


Figura 7-16 – Diagramas de Stiff de algumas amostras coletadas no PC03 (Grupo 1) e no PC12 (Grupo 2)

Os baixos valores de Condutividade Elétrica (em consequência dos baixos valores de STD) encontrados nas amostras analisadas para os pontos do Grupo 1 retratam uma baixa mineralização das águas que circulam nas regiões do aquífero poroso de cobertura situadas nas imediações das entradas d'água desses poços. Analisando-se os dados da literatura, verifica-se que composição química das águas dos pontos do Grupo 1 apresenta-se semelhante àquela da água de chuva, conforme caracterização feita por Appelo e Postma (2005).

Diante dessas informações, uma conclusão a que se pode chegar é que as águas que circulam nos pontos do Grupo 1 são oriundas de zonas rasas do aquífero poroso de cobertura (Latosolos vermelho-amarelos) e que possuem um tempo de trânsito (permanência) no aquífero muito curto.

No mapa da Figura 7.9, que traz a distribuição dos pontos amostrados e o tipo hidroquímico (grupo de *cluster*) ao qual pertencem, percebe-se que os pontos do Grupo 1 não estão concentrados em apenas um determinado setor da área estudada, estando os mesmos distribuídos ao longo de toda a área do CNPMS.

Tal fato mostra que a água subterrânea mais rasa apresenta as mesmas características físico-químicas ao longo de toda a área do CNPMS (com base no período analisado), provavelmente circulando em solos com a presença dos mesmos minerais: quartzo, gibbissita, goethita,

hematita e, eventualmente, a caulinita, que são minerais poucos solúveis, cujas interações com a água de chuva geram águas pouco mineralizadas.

Com relação ao Grupo 2, os valores das medianas (sem *outliers*) mostram que as águas do poço PC12, cuja localização pode ser vista na Figura 7.9, possuem um pequeno tempo de circulação no aquífero e são provenientes da porção mais rasa do aquífero. Entretanto, ao se considerar os *outliers*, as águas desse poço passam a ser características de um tempo de circulação intermediário, o que se mostrou ser mais coerente. É importante ressaltar que os valores das medianas obtidos para esse poço foram os que mais variaram ao se retirar os *outliers*. Não por acaso, esse poço representa, solitariamente, um dos grupos da análise de *cluster*, visto que os resultados das análises inerentes a esse poço são ímpares, destoando significativamente das águas dos poços que captam água em porções semelhantes do aquífero de cobertura.

Neste momento, tendo em vista que os poços PC10 e PC11 fazem parte do Grupo 1, serão apresentados os resultados e as análises obtidas de um teste (estatístico) de hipóteses realizado com vistas a avaliar se há diferenças significativas ou não entre as composições químicas das águas amostradas nos dois poços. O motivo da realização desse teste provém do fato desses poços estarem situados a montante (PC10) e a jusante (PC11) do ponto de lançamento do esgoto químico dos laboratórios de análises físico-químicas de água e solo, situados no prédio da Sede Administrativa da EMBRAPA (nas proximidades da lagoa da Capivara).

Para a realização desse teste de hipótese, utilizou-se o teste não-paramétrico *Mann-Whitney U test*, disponível no *software Statistica 6.1*, para verificar se há diferenças significativas entre as medianas dos parâmetros Condutividade Elétrica (CE), pH, bicarbonato (HCO_3^-) e cálcio (Ca^{+2}) em todas as amostras coletadas nos poços PC10 e PC11, entre nov/2010 e out/2011. Assumiu-se que: H_0 - As duas populações não diferem significativamente, considerando-se $\alpha = 0,05$ e H_1 - As duas populações diferem significativamente, considerando-se $\alpha = 0,05$.

Os resultados dos cálculos obtidos nesse *software* encontram-se resumidos nas Tabelas 7.16, 7.17, 7.18 e, 7.19, nos quais se verifica que os valores de “p”, em todas as tabelas, mostram-se superiores ao nível de significância 0,05. Logo, esses resultados mostram que não se deve rejeitar H_0 , indicando que o comportamento das populações analisadas (inerentes aos resultados dos parâmetros CE, pH, HCO_3^- e Ca) não se difere entre os poços PC10 e PC11, dentro de um nível de significância de 5% (ou confiança de 95%).

Tabela 7-16 – Resultados do teste de Mann-Whitney para o parâmetro CE (PC10 e PC11)

	<i>Rank Sum CE PC10</i>	<i>Rank Sum CE PC11</i>	U	Z	p-level	<i>Z adjusted</i>	p-level	<i>Valid N CE PC10</i>	<i>Valid N CE PC11</i>	<i>2*1side d exact p</i>
Var2	137,5	115,5	49,5	0,7223	0,4701	0,7262	0,4677	11	11	0,4778

Tabela 7-17 – Resultados do teste de Mann-Whitney para o parâmetro pH (PC10 e PC11)

	<i>Rank Sum pHLab PC10</i>	<i>Rank Sum pHLab PC11</i>	U	Z	p-level	<i>Z adjusted</i>	p-level	<i>Valid N pHLab PC10</i>	<i>Valid N pHLab PC11</i>	<i>2*1side d exact p</i>
Var2	165,5	134,5	56,5	0,8948	0,3708	0,8952	0,3706	12	12	0,3776

Tabela 7-18 – Resultados do teste de Mann-Whitney - parâmetro HCO₃ (PC10 e PC11)

	<i>Rank Sum HCO3 PC10</i>	<i>Rank Sum HCO3 PC11</i>	U	Z	p-level	<i>Z adjusted</i>	p-level	<i>Valid N HCO3 PC10</i>	<i>Valid N HCO3 PC11</i>	<i>2*1side d exact p</i>
Var2	137,5	115,5	49,5	0,7223	0,4701	0,7262	0,4677	11	11	0,4778

Tabela 7-19 – Resultados do teste de Mann-Whitney para o parâmetro Ca (PC10 e PC11)

	<i>Rank Sum Ca PC10</i>	<i>Rank Sum Ca PC11</i>	U	Z	p-level	<i>Z adjusted</i>	p-level	<i>Valid N Ca PC10</i>	<i>Valid N Ca PC11</i>	<i>2*1side d exact p</i>
Var2	171,0	129,0	51,0	1,2124	0,2253	1,2313	0,2182	12	12	0,241

Diante dessa análise, é plausível considerar que os poços PC10 e PC11 recebem águas de uma mesma porção (superior) do Aquífero Poroso e que os efluentes do esgoto químico lançados no período de nov/2010 a out/2011, na área situada entre os poços PC10 e PC11, não causaram alterações significativas nos valores medianos dos parâmetros CE, pH, HCO₃ e cálcio.

Grupo 3

Os pontos inseridos nesse grupo apresentam pH levemente ácido (Mediana = 6,66), um pouco mais próximo ao pH neutro que os pontos do Grupo 1. Quanto aos parâmetros Condutividade Elétrica, Dureza Total, Alcalinidade Total e Sílica, verifica-se que o Grupo 3 apresenta baixos valores medianos. Entretanto, ainda assim, suas águas mostram-se cerca de duas vezes mais mineralizadas que as do Grupo 1.

Neste grupo, o bicarbonato é o ânion predominante em 100% das amostras e o cálcio é o cátion preponderante em 85% de suas águas. Em 15% das medianas, o íon magnésio apresentou concentrações superiores às do íon cálcio, porém existe um forte indício que se trata de erros de análise ou digitação de dados no laboratório. De todo o modo, as águas desse

grupo são classificadas como Bicarbonatadas-Cálcicas para pelo menos 85% das amostras analisadas, de acordo com os diagramas de *Piper* (Figura 7.17) e os de *Stiff* (Figura 7.18).

Os pontos pertencentes ao Grupo 3 encontram-se distribuídos, geograficamente, por toda a área do CNPMS e recebem água do aquífero situado na base do Aquífero Poroso de Cobertura.

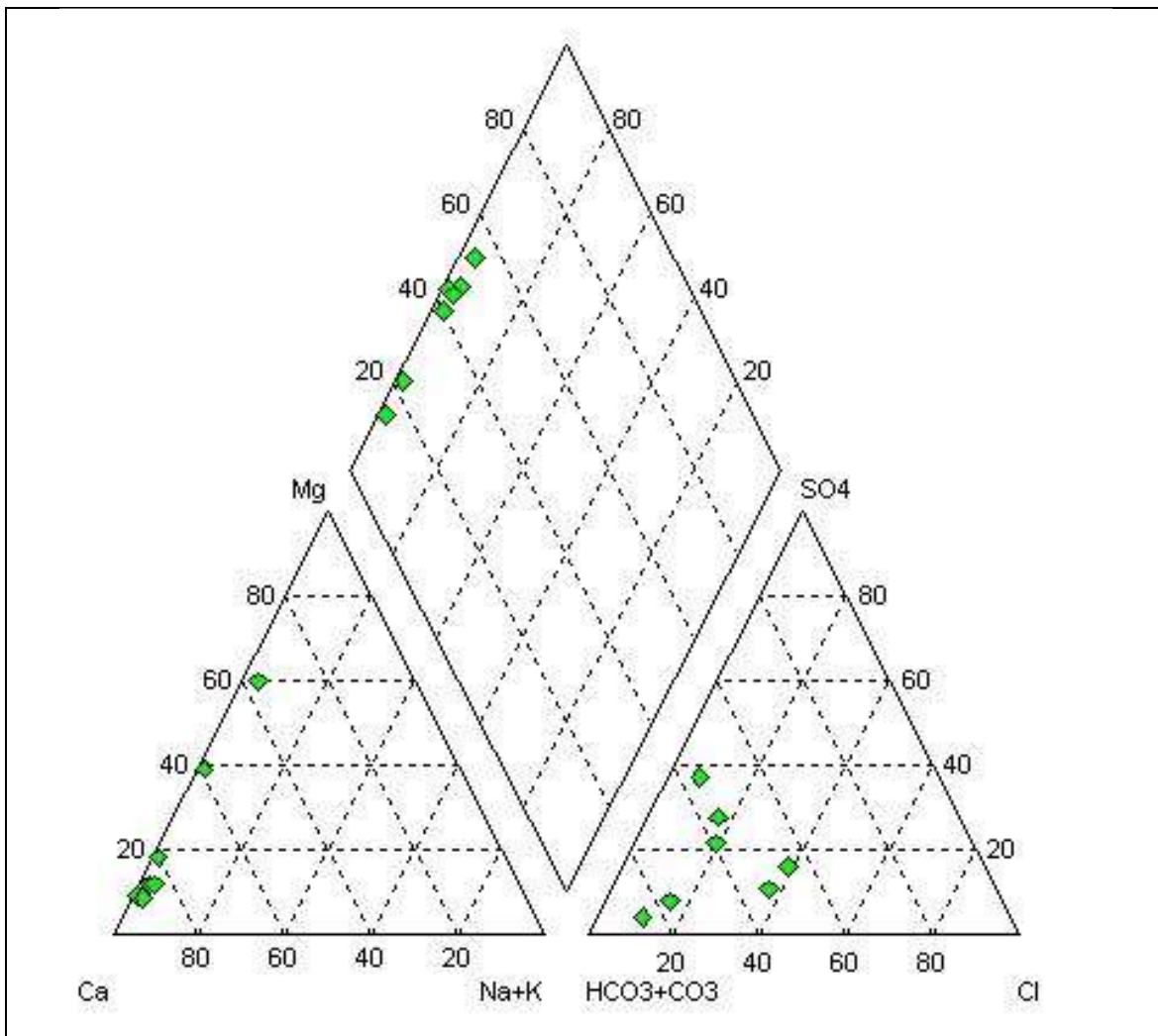


Figura 7-17 – Diagrama de Piper para os pontos do Grupo 3

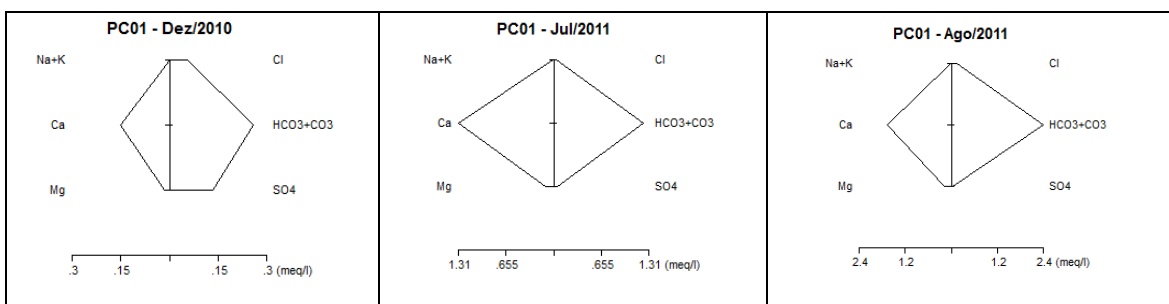


Figura 7-18 – Diagramas de Stiff para valores de medianas dos pontos do Grupo 3

Grupo 4

O Grupo 4 apresenta valores de medianas bem próximos àqueles determinados para o Grupo 3. Entretanto, a diferença entre esses grupos encontra-se nas medianas calculadas para o parâmetro sílica, visto que no Grupo 4, a mediana de SiO₂ chega a ser quase a metade daquela encontrada no Grupo 3. Ou seja, as águas desses dois grupos são bem semelhantes no que se diz respeito aos cinco parâmetros utilizados na análise de *cluster*, porém o Grupo 4 apresenta águas com teores de sílica solúvel um pouco menos representativos. É possível que os solos que compõem os aquíferos que recebem água dos pontos do Grupo 4 (PC05, PC06, PC14, PC19, PC22, PC23 e SURG01) apresentem um menor teor em minerais constituídos por silicatos que aqueles situados nos pontos do Grupo 3, pois acredita-se que os dois grupos representem águas com um tempo de trânsito no aquífero com a mesma ordem de grandeza.

O bicarbonato é o ânion predominante em 100% das medianas e o cálcio é o cátion preponderante em 100% dos valores medianos dos ânions do Grupo 4. Logo, as águas desse grupo são classificadas como Bicarbonatadas-Cálcicas para 100% das medianas calculadas, de acordo com os diagramas de *Piper* (Figura 7.19) e os de *Stiff* (Figura 7.20).

Os pontos pertencentes ao Grupo 4 encontram-se distribuídos, geograficamente, por toda a área do CNPMS, porém com maior concentração na sua porção sul e, assim como os pontos do Grupo 3, recebem água do aquífero situado na base do Aquífero Poroso de Cobertura.

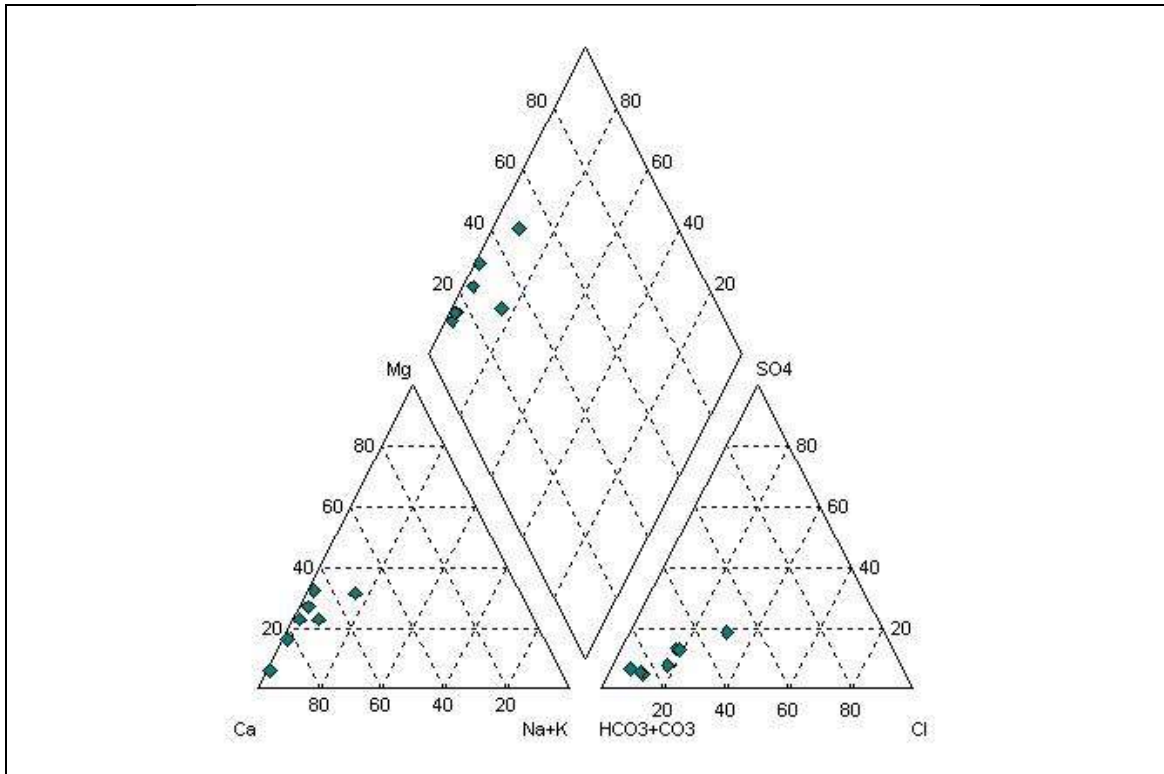


Figura 7-19 – Diagrama de Piper para os pontos do Grupo 4

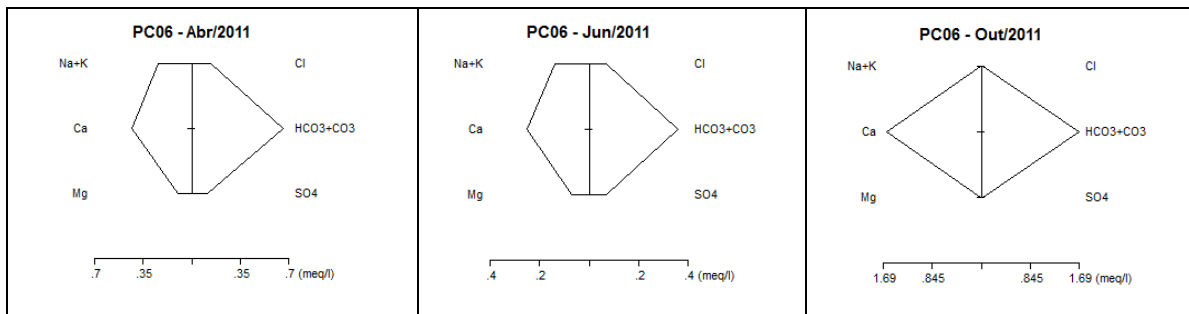


Figura 7-20 – Diagramas de Stiff para valores de medianas dos pontos do Grupo 4

Grupos 5 e 6

Os grupos 5 e 6 apresentam, quando comparados com os grupos 1 a 4, valores elevados de Condutividade Elétrica, pH, Dureza Total e Alcalinidade Total. Aparentemente, a alta salinidade apresentada pelas águas dos poços pertencentes a esses dois grupos pode ser justificada pela circulação de suas águas em níveis mais profundos, propiciando um maior tempo de contato com rochas carbonáticas da Formação Sete Lagoas, levando ao incremento significativo do conteúdo salino, representado, em sua grande maioria, pelos íons bicarbonato.

Assim como ocorreu com os grupos 3 e 4, as diferenças mais significativas verificadas entre os grupos 5 e 6 são devidas às concentrações de sílica solúvel. Nos pontos do grupo 5, a

mediana de SiO_2 é igual a 1,08 mg/L, sendo que nos pontos do grupo 6, a mediana desse mesmo parâmetro é praticamente oito vezes maior (8,38 mg/L). Com base nesses valores, pode-se dizer que é bem provável que o percurso feito pelas águas subterrâneas que atingem o poço PC09 (que representa o Grupo 5) não atravessa solos e rochas com teores elevados em sílica. Além disso, é possível que essas águas percorram, durante um período considerável, rochas carbonáticas, haja vista as suas altas concentrações em “bicarbonato + carbonato” e elevados valores de pH.

Nos grupos 5 e 6, o bicarbonato é o ânion predominante em 100% das medianas e o cálcio é o cátion preponderante em 100% dos valores medianos. Logo, as águas desses grupos são classificadas como Bicarbonatadas-Cálcicas para 100% das medianas calculadas, de acordo com os diagramas de Piper (Figura 7.21) e os de Stiff (Figura 7.22).

Como mostra a Figura 7.9, os pontos pertencentes aos Grupos 5 e 6 estão localizados nas proximidades das zonas de descarga existentes na área do CNPMS. O poço PC09, que representa o Grupo 5, encontra-se junto à lagoa do trevo, na porção centro-sul da área. Já os pontos do Grupo 6, estão posicionados nas proximidades das lagoas Olhos D'água e Capivara, na porção centro-norte do CNPMS.

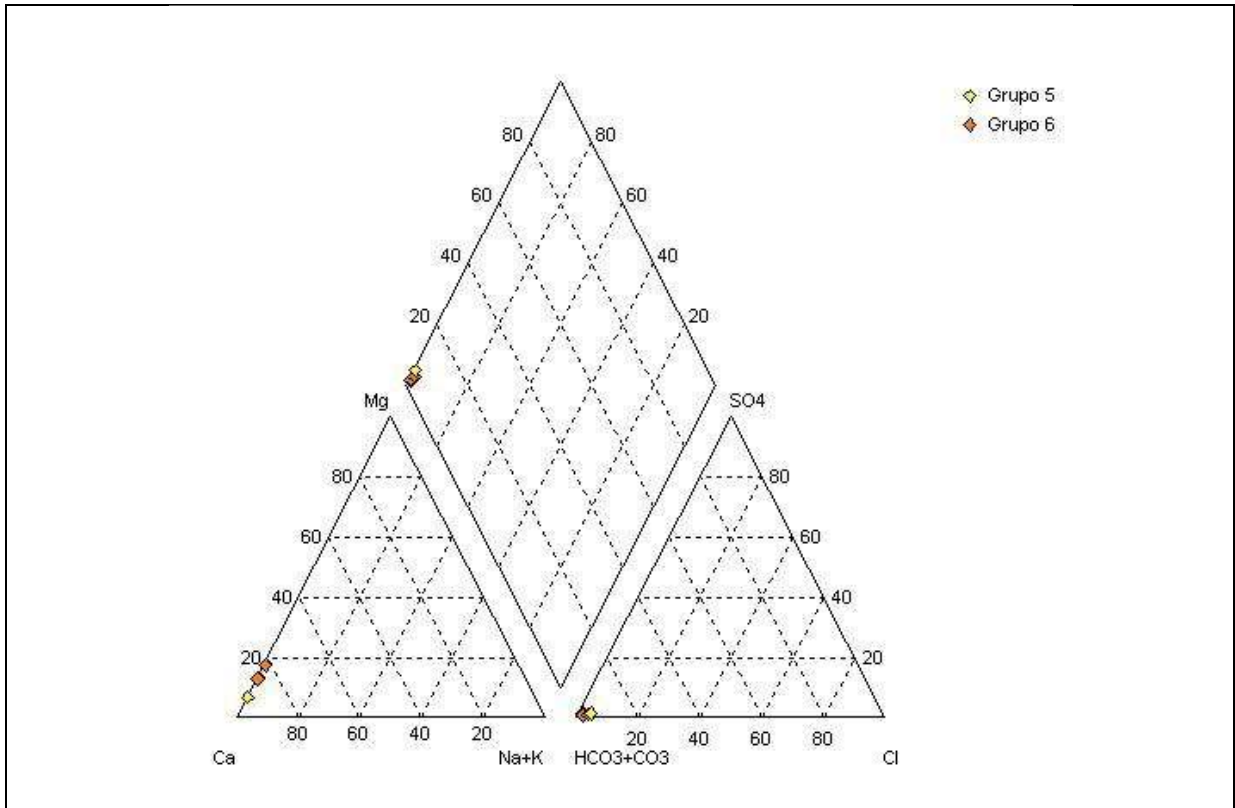


Figura 7-21– Diagrama de Piper para os pontos dos Grupos 5 e 6

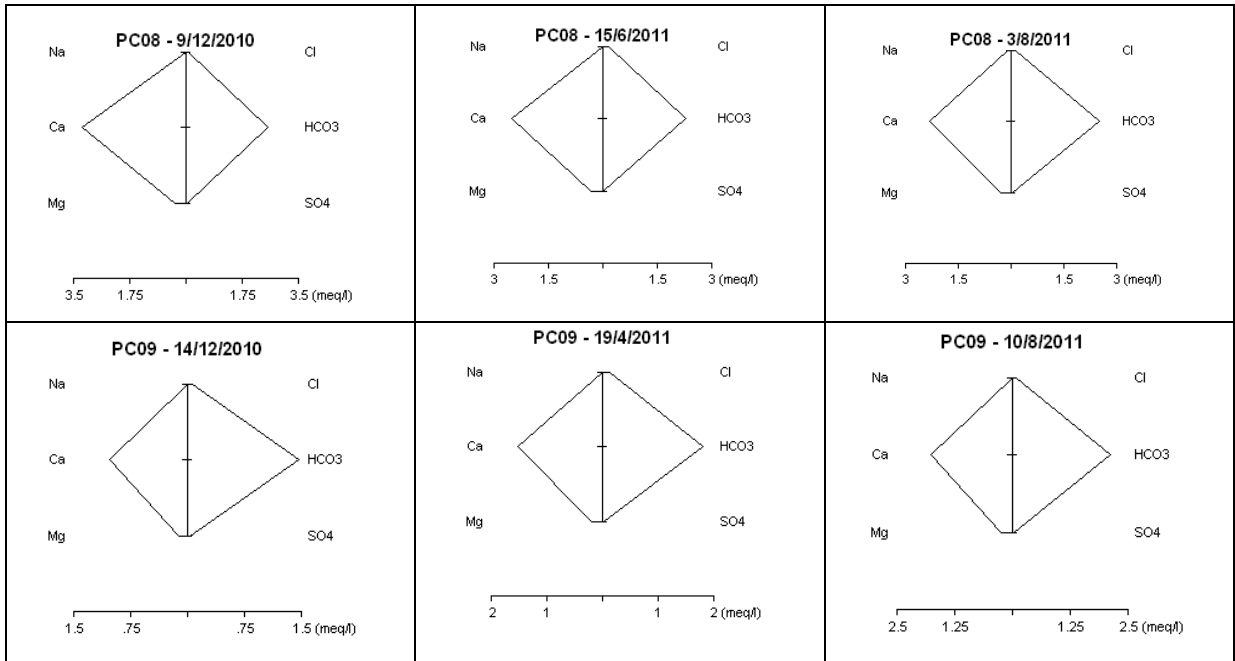


Figura 7-22 – Diagramas de Stiff para valores de medianas dos pontos dos Grupos 5 e 6

Grupos 7 e 8

Como era esperado, as águas dos poços de produção da EMBRAPA (Grupo 7) são classificadas como Bicarbonatadas-Cálcicas (fortemente), haja vista que tais poços captam água no aquífero fissural-cárstico, desenvolvido em rochas calcárias da Formação Sete Lagoas. Os resultados apresentados na Tabela 7.14 mostram valores elevados de medianas para pH (8,06), Dureza Total (145,0 mg/L CaCO₃) e Alcalinidade Total (154,0 mg/L CaCO₃).

Os resultados apresentados pelo PC07 (Grupo 8), como já destacado anteriormente, mostram grandes distâncias dos resultados dos outros três poços (TUBE01, TUBE02, TUBE03), que, assim como ele, captam água do aquífero cárstico. Entretanto, como esse piezômetro não foi submetido a uma limpeza e desenvolvimento eficientes após a perfuração, acredita-se que as suas águas ainda estejam em contato com resíduos da mesma. Vale ressaltar que esse “poço” foi o único no qual se utilizou Bentonita durante a perfuração e que, em acréscimo, teve sua base impermeabilizada com uma calda de cimento. Sendo assim, os resultados obtidos a partir das análises das águas desse “poço” estão sendo consideradas como não confiáveis. Logo, os mesmos foram desconsiderados nas interpretações apresentadas neste trabalho.

O bicarbonato é o ânion predominante em 100% das medianas e o cálcio é o cátion preponderante em 100% dos valores medianos dos ânions dos Grupos 7. Assim, as águas desse grupo são classificadas como Bicarbonatadas-Cálcicas para 100% das medianas calculadas, de acordo com os diagramas de Piper (Figura 7.23) e os de Stiff (Figura 7.24).

O poço TUBE01 situa-se às margens da lagoa da Subida da Estação, na porção sul do CNPMS. Os demais pontos do Grupo 7 (TUBE02 e TUBE04), por sua vez, estão localizados no setor centro-norte do Centro de Pesquisa, nas proximidades do ribeirão Matadouro.

O poço PC07, que representa o Grupo 8, está situado às margens da lagoa da Capivara, na porção central do CNMPS.

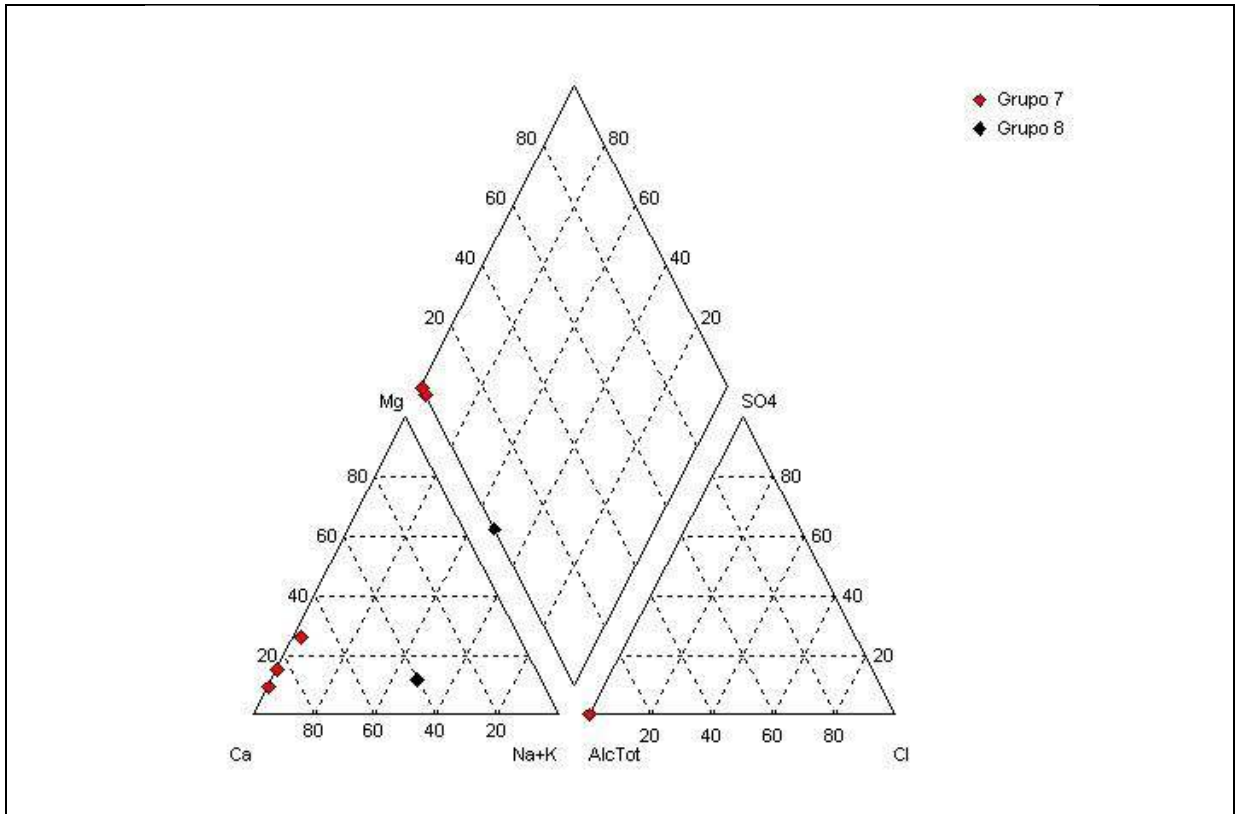


Figura 7-23 - Diagrama de Piper para os pontos dos Grupos 7 e 8

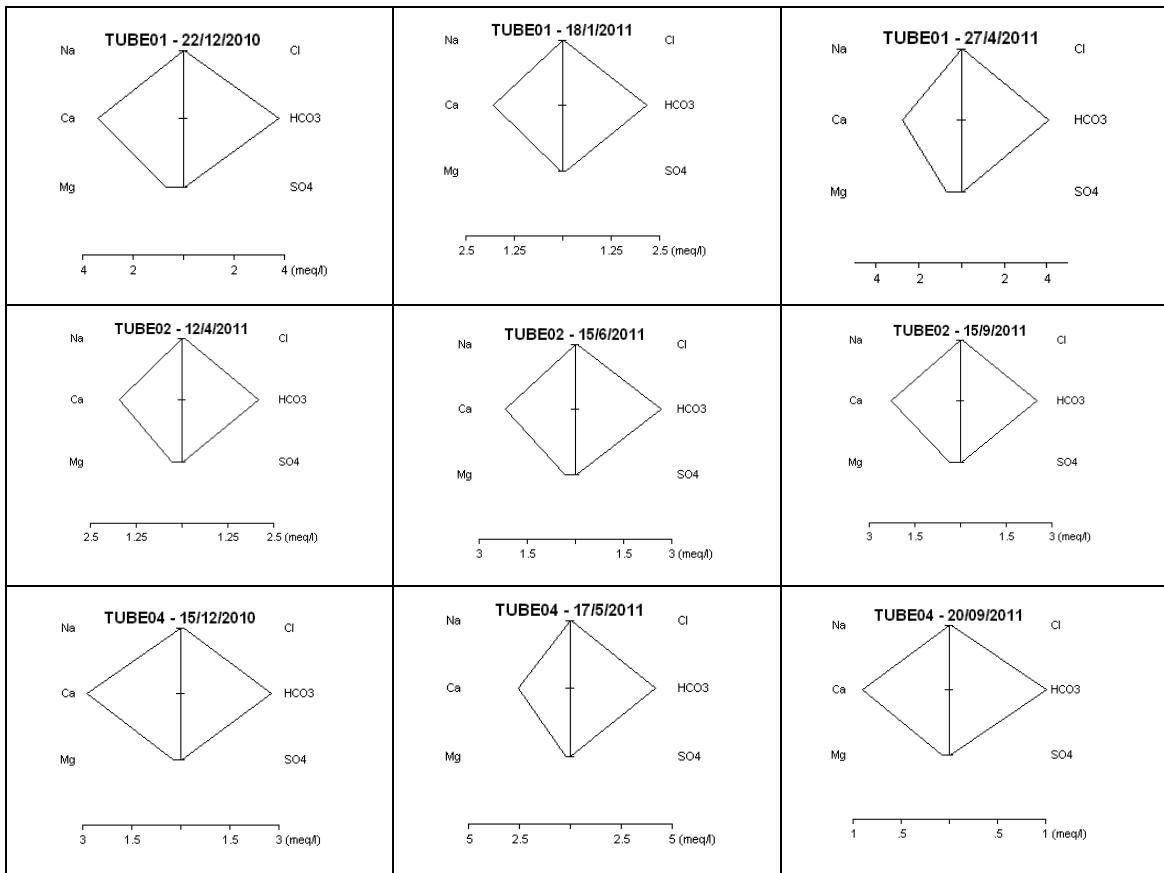


Figura 7-24 – Diagramas de Stiff para valores de medianas dos pontos dos Grupo 7

Conforme destaca Bertolo *et al.* (2007), a interação química da água de percolação com os minerais da rocha hospedeira é o fator mais influente para a ocorrência dos diferentes tipos de espécies químicas na água subterrânea.

A acidez da solução de percolação que adentra o solo relaciona-se com o ácido carbônico (H_2CO_3), produzido pela dissolução do gás carbônico (CO_2) na água e originado do ar atmosférico, da degradação da matéria orgânica do solo e da respiração de raízes. Na medida em que a água subterrânea se move ao longo de sua linha de fluxo no aquífero, espera-se que a acidez seja consumida pelas reações de intemperismo químico e que haja um aumento na quantidade de sólidos dissolvidos na solução de lixiviação (FREEZE e CHERRY, 1979).

De uma forma geral, portanto, espera-se que a água subterrânea de sistemas de fluxos rasos e de rápido tempo de trânsito no aquífero seja mais ácida e com menor quantidade de sólidos dissolvidos, ao passo que a água que possui pH mais elevado e maior quantidade de sólidos dissolvidos seja típica de sistemas de circulação mais profunda, de menor velocidade e de maior tempo de trânsito (BERTOLO *et al.*, 2007).

Com base nessas premissas e analisando-se os dados e a distribuição dos grupos de aglomerados (*cluster*), interpretou-se que os sete grupos de *cluster* originados dos dados inerentes aos aquíferos de cobertura e fissural-cárstico definem três zoneamentos hidroquímicos distintos, quais sejam: raso, intermediário e profundo, os quais, assume-se, estão diretamente associados à circulação e tempo de trânsito da água subterrânea nesse sistema aquífero. Um detalhamento desses zoneamentos é apresentado a seguir.

Zoneamento Raso - ZR (Grupo *cluster* 1) – o fluxo é de circulação rasa e de rápido trânsito (<pH, <CE). As características físico-químicas das águas encontradas nessa zona são bem semelhantes às da água de chuva descrita por Appelo e Postma (2005). Essas águas circulam na porção superior do Aquífero Poroso de Cobertura, que é essencialmente composto por latossolos de coloração vermelho-amarela, constituídos basicamente pelos minerais quartzo, goethita, hematita, gibbsita, barita, zircão, rutilo e caulinita, como mostram os resultados das análises químicas e mineralógicas apresentados no início desse capítulo. Conforme destaca Castro (2011), as zonas de circulação em menor profundidade possuem águas mais ácidas, menos condutivas e pobres em minerais carbonáticos e outros minerais neutralizadores de acidez.

Zoneamento Intermediário - ZI (Grupos *cluster* 2, 3 e 4) – o fluxo circula a profundidades intermediárias e o tempo de trânsito também é intermediário (valores de pH e C.E. intermediários). As águas de circulação em profundidade intermediária são mais alcalinas e condutivas que as do Zoneamento ZR e devem ter circulado na porção basal do Aquífero Poroso de Cobertura, a qual encontra-se em contato direto com o saprolito e o substrato rochoso carbonático. Com base nas análises de solo realizadas neste e em outros trabalhos na área, sabe-se que essa porção do sistema aquífero é constituída por saprolitos (dos metapelitos da Formação Serra de Santa Helena) e pelos solos lateríticos. A provável composição mineralógica desta porção do aquífero é quartzo, goethita, hematita, gibbissita, caulinita e muscovita (K-mica).

Zoneamento Profundo - ZP (Grupos *cluster* 5, 6 e 7) – o fluxo é de circulação mais profunda e de maior tempo de trânsito (>pH e >CE). As águas que circulam neste zoneamento transitaram, primeiramente, pelo aquífero poroso de cobertura e, posteriormente, durante um maior espaço de tempo, pelo aquífero fissural-cárstico. Em alguns casos, como no caso da área de descarga do poço PC08, a água percorre novamente o aquífero de cobertura, após transitar pelo aquífero fissural-cárstico. Destaca-se que, segundo Piló (1998), os calcários da Formação Sete Lagoas encontrados em Lagoa Santa, município próximo a Sete Lagoas, apresentam-se com 98% de pureza. Ou seja, é provável que as águas de circulação profunda, após entrar em contato com a rocha calcária, tenham contato quase exclusivamente com a calcita.

A Tabela 7.20, a seguir, apresenta os valores médios das medianas dos principais parâmetros analisados nesses três zoneamentos hidroquímicos do sistema aquífero da área do CNPMS, bem como uma avaliação se houve aumento ou diminuição dos mesmos na mudança de um zoneamento para o outro.

Tabela 7.20 – Valores médios das medianas dos principais parâmetros analisados nos três zoneamentos hidroquímicos

Zoneamento Hidroquímico	ZR	ZI	ZP	Comparação entre os três zoneamentos
Zona de circulação da água subterrânea	Rasa	Intermediária	Profunda	
Tempo de trânsito no sistema aquífero	Curto	Intermediário	Longo	
Cond Lab ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	15,8	34,50	237,25	Aumentou do ZR para o ZP
pH Lab	6,09	7,00	8,02	Aumentou do ZR para o ZP
Dur. Total ($\text{mg}/\text{l CaCO}_3$)	10	24,33	130,67	Aumentou do ZR para o ZP
Alc.Total ($\text{mg}/\text{l CaCO}_3$)	6	13,67	133,83	Aumentou do ZR para o ZP
SiO_2 (mg/l)	2,91	5,87	5,77	Maior no zoneamento I
Ca^* (mg/L)	1,6	6,93	41,20	Aumentou do ZR para o ZP
Mg^* (mg/L)	0,48	1,20	3,76	Aumentou do ZR para o ZP
K (mg/L)	0,25	0,29	0,29	Igual e maior nos zoneamentos I e P
Na (mg/L)	1,46	1,46	1,46	< 1,46 nos três zoneamentos
Fe (mg/L)	0,16	0,10	0,09	Diminuiu do ZR para o ZP
Mn (mg/L)	0,04	0,03	0,02	Diminuiu do ZR para o ZP
Al (mg/L)	0,14	0,09	0,07	Diminuiu do ZR para o ZP
Ba (mg/L)	0,02	0,02	0,02	Igual nos três zoneamentos
NH_4 (mg/L)	0,01	0,01	0,01	Igual nos três zoneamentos
Cl (mg/L)	0,25	0,32	0,31	Igual e maior nos zoneamentos I e P
SO_4 (mg/L)	2,5	2,67	2,42	Um Pouco Maior no ZI
NO_3 (mg/L)	1,64	1,76	1,48	Um Pouco Maior no ZI

Analisando as médias dos resultados medianos obtidos para os principais parâmetros físico-químicos nos três zoneamentos hidroquímicos, na Tabela 7.20, percebeu-se que:

- Os valores dos parâmetros Condutividade Elétrica - $\mu\text{S}/\text{cm}$ (ZR=15,8; ZI=34,50 e ZP=237,50); o pH (ZR=6,09; ZI=7,00; ZP=8,02); a Dureza Total - $\text{mg}/\text{l CaCO}_3$ (ZR=10,00; ZI=24,33; ZP=130,67) e Alcalinidade Total - $\text{mg}/\text{l CaCO}_3$ (ZR=6,00; ZI=13,67; ZP=133,83) aumentaram da Zona Rasa (ZR) para a Zona Profunda (ZP) do sistema aquífero do CNPMS;

- A sílica – mg/L (ZR=2,91; ZI=5,87; ZP=5,77) aumentou da Zona Rasa (ZR) para as Zonas Intermediária (ZI) e se manteve constante da Zona Intermediária (ZI) para a Zona Profunda (ZP);

- Os parâmetros ferro – mg/L (ZR=0,16; ZI=0,10; ZP=0,09) e alumínio – mg/L (ZR=0,14; ZI=0,09; ZP=0,07) diminuíram da Zona Rasa (ZR) para a Zona Profunda (ZP);

- Os parâmetros sulfato – mg/L (ZR=2,5; ZI=2,67; ZP= 2,42) e nitrato – mg/L (ZR=1,64; ZI=1,76; ZP=1,48) foram praticamente constantes nas três zonas do sistema aquífero, mas um pouco mais elevadas na Zona Intermediária (ZI).

7.2.5 Análise da variação sazonal da composição química das águas subterrâneas

Neste item serão apresentados e analisados os comportamentos sazonais das concentrações dos principais parâmetros, para as amostras coletadas entre os meses de novembro de 2010 e outubro de 2011, em 29 dos 30 pontos (os dados do poço PC07 não fazem parte desta análise). A apresentação e análise serão feitas para os conjuntos de pontos que apresentam comportamentos semelhantes, por parâmetro e ao longo de todo período de análise. Serão destacados os resultados atípicos com relação a um mesmo grupo ou a todo o universo de dados analisado.

A título de informação, destaca-se que, em um primeiro momento, tentou-se fazer uma análise do comportamento das concentrações nos pontos pertencentes aos mesmos grupos de *cluster*, definidos no item anterior. Entretanto, verificou-se que os pontos pertencentes a um mesmo grupo de *cluster* não apresentaram, necessariamente, concentrações com distribuições (comportamentos) similares, ao longo do ano hidrológico 2010-2011, inviabilizando a realização de uma análise sob essa ótica.

Com o objetivo de auxiliar as análises, será apresentada a seguir, a Figura 7.25, que mostra a variação temporal da precipitação pluviométrica na área do CNPMS.

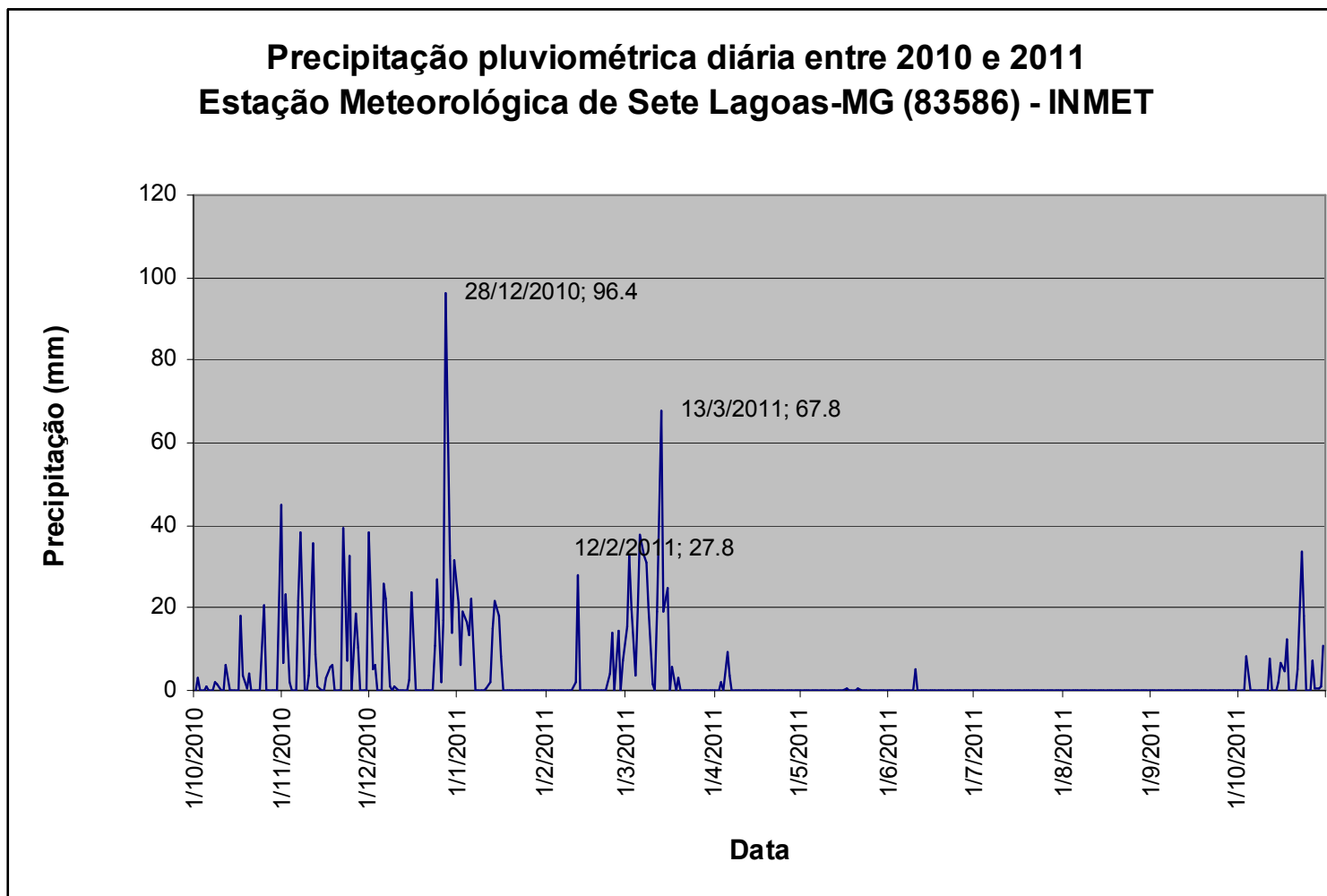


Figura 7-25 - Precipitação pluviométrica diária entre os anos e 2010 e 2011, na Estação Meteorológica de Sete Lagoas-MG (83586 – INMET). Disponível em /www.inmet.gov.br

pH: A Figura 7.26, abaixo, apresenta a variação temporal dos valores de pH, nos pontos de monitoramento de água subterrânea no CNPMS.

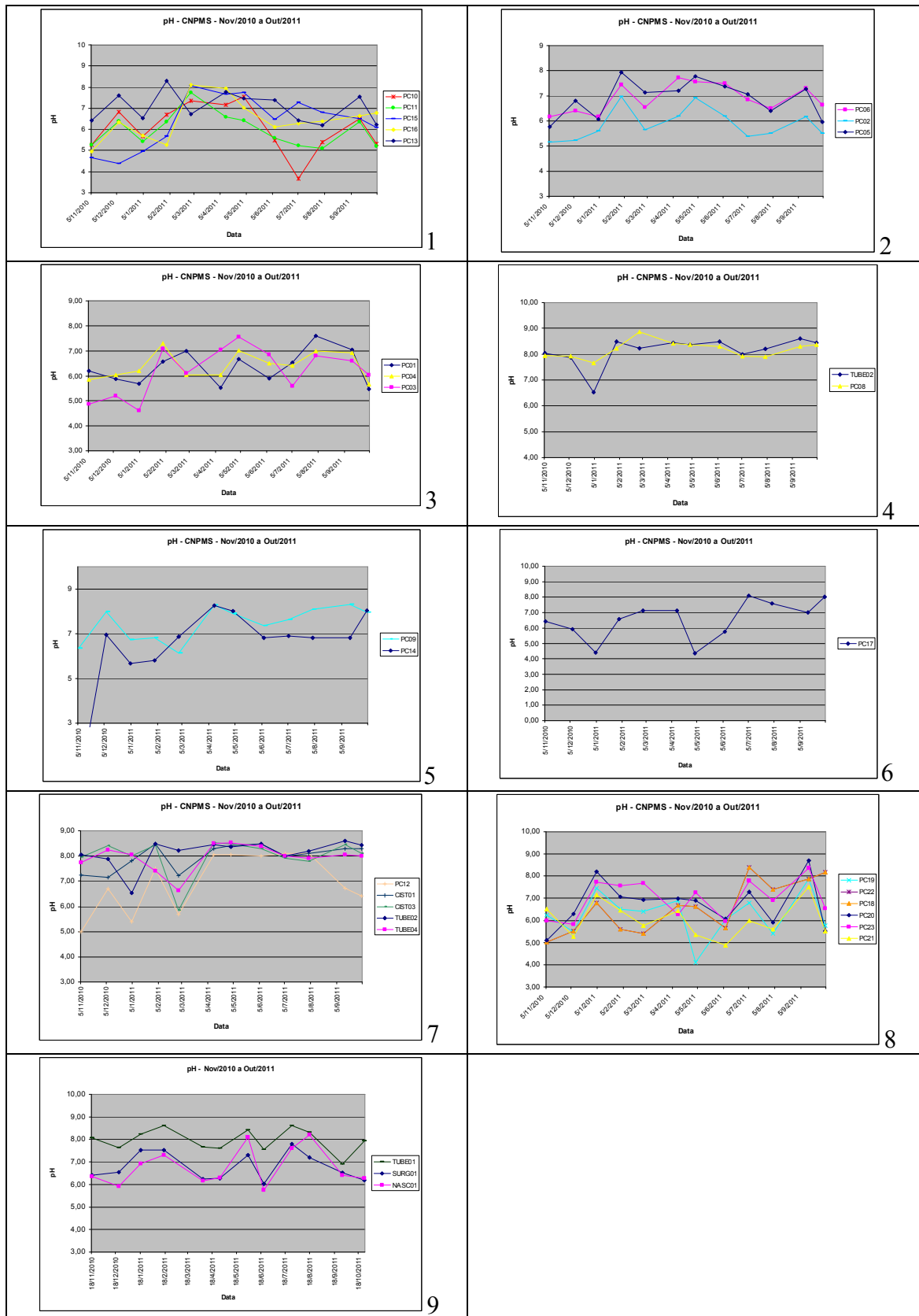


Figura 7-26 – Gráficos temporais de valores de pH nos 29 pontos de amostragem

Comparando as curvas de distribuição do pH referentes aos poços PC10 (Montante do Esgoto Químico) e PC11 (Jusante do Esgoto Químico), traçadas no Gráfico 1 da Figura 7.26, percebe-se que a amostra coletada no PC10, em 13/07/2011, apresentou um baixíssimo valor de pH (3,65). Por sua vez, nessa mesma data, na amostra coletada no PC11, situado a 20 metros de distância do PC10 (a jusante, na mesma linha de fluxo subterrâneo) foi encontrado um valor de pH igual a 5,24.

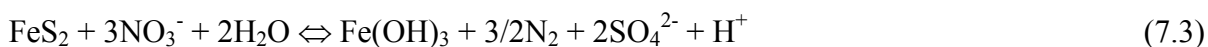
Considerando que não tenham sido analisadas amostras trocadas entre esses poços, o resultado chama atenção pelo fato da amostra coletada a montante (e sem a interferência do esgoto químico) apresentar um valor anômalo de pH. Em busca da explicação para a ocorrência desse valor extremo (mínimo) no poço PC10, que a propósito foi o menor valor de pH determinado nas 359 amostras coletadas em todo o estudo, foram analisados também os gráficos que traçam os comportamentos das concentrações de sulfato e ferro, além dos valores de Condutividade Elétrica, nos meses de maio a setembro de 2011 (mostrados mais adiante no texto, nas Figuras 7.29, 7.30 e 7.31, respectivamente).

Como mostra o Gráfico 7 da Figura 7.27, no mês de julho/2011 ocorreu um pico de concentração de sulfato na amostra coletada no poço PC10, que atingiu um valor de 14,44 mg/L, contrastando com as concentrações das amostras de junho (1,35 mg/L) e agosto (1,68 mg/L). Diante desses resultados, acredita-se que nas imediações do poço PC10 a rocha carbonática constituinte do substrato rochoso (provavelmente Calcário) apresente ocorrências do mineral pirita (FeS_2), cuja oxidação produz o ânion sulfato e uma brusca redução de pH. A propósito, essa é uma das reações mais fortemente produtoras de ácido encontradas na natureza (BAIRD, 2002) e que poderia explicar o baixo valor de pH encontrado e o aumento abrupto na concentração de sulfato na amostra coletada em julho no poço PC10 (Reação descrita pela equação 5.37).

Tal interpretação vai de encontro com a análise feita por Davis (1961 *apud* HEM, 1985), que em estudo realizado em um bateria de poços na Califórnia (EUA), observou que a provável causa para a ocorrência de um pH igual a 4 e uma concentração elevada de sulfato em um dado poço raso por ele estudado foi a oxidação de pirita.

Appelo e Postma (2005) apontam uma alternativa para oxidação da pirita, que é a partir do oxidante nitrato, que pode ser lixiviado da aplicação de fertilizantes agrícolas (Vide Reação 7.3). Como o poço PC10 não está localizado em uma área de plantio e encontra-se a

montante do ponto de lançamento do esgoto químico, essa alternativa não parece ser aplicada a esse caso.



Quanto à água do poço PC11, verificou-se que a mesma também apresentou, nessa mesma data, uma elevação na concentração de sulfato (2,42 mg/L), porém não tão pronunciada quanto àquela ocorrida na água do poço PC10. No caso deste poço, acredita-se que o aumento da concentração de sulfato e a redução do valor de pH ocorreram em virtude da passagem da pluma de H^+ e SO_4^{2-} formada nas proximidades do PC10. Em acréscimo, infere-se, com base no modelo de fluxos subterrâneos de Machado (2011), que a pluma de sulfato tenha atingido o córrego do Matadouro, após passar pelo PC11. No entanto, a pluma de H^+ provavelmente tenha sido neutralizada (tamponada) pelo íon bicarbonato, presente nessas águas, principalmente aquelas que estão em contato com o substrato rochoso carbonático.

Quanto à concentração de ferro, a mesma não apresentou qualquer pico nesse mês e nem nos meses seguintes, tanto nas amostras do poço PC10 quanto nas do poço PC11 (Vide Gráfico 7, na Figura 7.30). Visto que para a intemperização da pirita é necessário um ambiente oxidante e que, nessa condição, o ferro tende a se apresentar na forma de óxidos e/ou hidróxido (pouco solúveis em água), infere-se que esse elemento tenha precipitado na forma de FeOOH , como sugere a Equação 5.37, mencionada anteriormente.

No Gráfico 3 da Figura 7.26, verifica-se que os poços PC01, PC03 e PC04 apresentam um comportamento parecido nas curvas temporais de valores de pH. Entretanto, chamam a atenção os picos (mínimos) de pH ocorridos no poço PC03, em nov/2010 (pH = 4,87) e em jan/2011 (4,60). Buscando uma compreensão para a ocorrência desses baixos valores de pH, foram analisados os dados de concentração de sulfato (Gráfico 1 da Figura 7.27) e percebeu-se que há dois picos de SO_4^{2-} (máximo nas amostras coletadas no mês de janeiro de 2011), sendo uma referente ao PC01 e outra ao PC03.

No que se refere ao poço PC03, acredita-se que o pico (mínimo) de pH ocorrido em jan/2011 está correlacionado ao pico (máximo) de sulfato e a possível causa desses dois picos é interpretada como sendo a oxidação de pirita, que deve ser um dos constituintes da rocha carbonática existente sob a base do poço PC03.

No caso do poço PC01, tendo em vista que na amostra de janeiro/2011 não foi diagnosticada uma elevação no valor de Condutividade Elétrica, ao contrário do que era esperado, acredita-se que o pico de sulfato nesse mesmo mês trata-se de um erro analítico. Sendo assim, apesar do mesmo ter apresentado um pH ácido na amostra de janeiro/2011 (5,69), não ficou evidenciada uma correlação da concentração de sulfato com a queda de pH, cujo valor, a propósito, está bem próximo ao pH esperado para a água da chuva.

Analisando o Gráfico 4 da Figura 7.26, verifica-se que a variação do pH nas águas do poço PC08 foi muito pequena ao longo do ano hidrológico 2010-2011, o que vai de encontro com a informação de que este poço está situado em uma zona de descarga, conforme destacam Machado (2011) e Castro (2011). Generalizando essa observação, pode-se inferir que os fluxos situados em zonas de descarga de águas subterrâneas têm uma tendência a sofrer uma menor variação sazonal do fluxo de água e, conseqüentemente, uma menor variação na composição química de suas águas.

No Gráfico 9, da Figura 7.26, percebe-se uma grande semelhança no comportamento das curvas de pH do poço TUBE01 e da surgência SURG01. Tal fato pode ser justificado pelo posicionamento de ambos em uma mesma zona de descarga (conforme modelo hidrogeológico de Machado, 2011), estando os mesmos, inclusive, situados geograficamente próximos (115m)(Ver Figura 4.3 e Tabela 4.3).

No Gráfico 7 da Figura 7.26, nota-se que o pH do TUBE04 apresentou uma queda brusca em março/2011, a qual, todavia, entende-se que não está relacionada à oxidação de pirita, visto que também se verificou, no mesmo mês, a queda nos valores de Alcalinidade Total, Dureza Total, SiO₂ e Condutividade Elétrica. Logo, acredita-se que tal evento esteja associado à chuva ocorrida em 28/12/2010, cujo acumulado em 24 horas chegou a 96,4 mm, como mostra o gráfico da Figura 7.25.

Caso a suposição anterior seja verdadeira, pode-se inferir que a recarga da água da chuva do dia 28/12/2010 chegou ao poço TUBE04 em aproximadamente 76 dias, visto que a amostragem de água nesse ponto foi feita no dia 14/03/2010. Deve-se salientar, ainda, que o gráfico da Figura 7.25 aponta outro pico de chuva, ocorrido no dia 13/03/2011, porém o mesmo não provocou quedas nos valores de pH nas águas do poço TUBE04. Uma tentativa de explicação para essa ausência de registros seria que a água proveniente desse pulso de

precipitação não teria infiltrado efetivamente no aquífero, devido à saturação do solo (que recobre os aquíferos cársticos), em decorrência do período chuvoso.

Ainda com relação ao Gráfico 7 da Figura 7.26, é expressiva (e intrigante) a semelhança de comportamento entre as curvas de pH (e de outros parâmetros como: Condutividade Elétrica, Alcalinidade Total, Dureza Total e SiO₂) das cisternas CIST01 e CIST03, com as respectivas curvas dos poços TUBE04 e PC12. Buscando entender o que proporciona a semelhança de comportamento dessas curvas, avaliou-se o posicionamento desses pontos no “Mapa de equipotenciais do nível d’água e direções do fluxo d’água subterrânea no entorno do CNPMS” desenvolvido por Machado (2011), vide Figura 6.12 do Capítulo 6, bem como a identificação dos aquíferos que estão sendo captados em cada um deles. Feito isso, verificou-se que apenas os pontos CIST03 e TUBE04 estão posicionados em uma mesma zona de circulação da água subterrânea (zona de descarga), apesar desse poço captar água no Aquífero Fissural-Cárstico, enquanto a cisterna CIST03 recebe água do Aquífero Poroso de Cobertura, assim como os pontos CIST01 e PC12. Sendo assim, uma hipótese pensada para explicar tal semelhança de comportamento é a de que tais pontos estão, talvez, compartilhando uma mesma linha de fluxo, a qual seria controlada por uma morfologia subterrânea que tenha sido moldada sobre uma estrutura geológica (por exemplo: uma falha ou o eixo de um sinclinal de uma dobra com direção aproximadamente Norte-Sul), que possua uma condutividade hidráulica relativamente elevada.

O pico (mínimo) de pH (4,11) ocorrido na amostra do mês de maio/2011, do poço PC19 (Gráfico 8 da Figura 7.26), parece estar correlacionado ao pico (máximo) de concentração de sulfato (34,28 mg/L) obtido na amostra coletada no mês de junho/2011 (Gráfico 1 da Figura 7.27). Neste caso, interpreta-se que tais resultados estão associados a uma “pluma” de sulfato originada nas imediações do poço PC17, em função da suposta presença de pirita na rocha calcária sotoposta à base deste último poço.

SULFATOS:

A Figura 7.27, a seguir, apresenta a variação temporal dos valores de sulfato, nos pontos de monitoramento de água subterrânea no CNPMS.

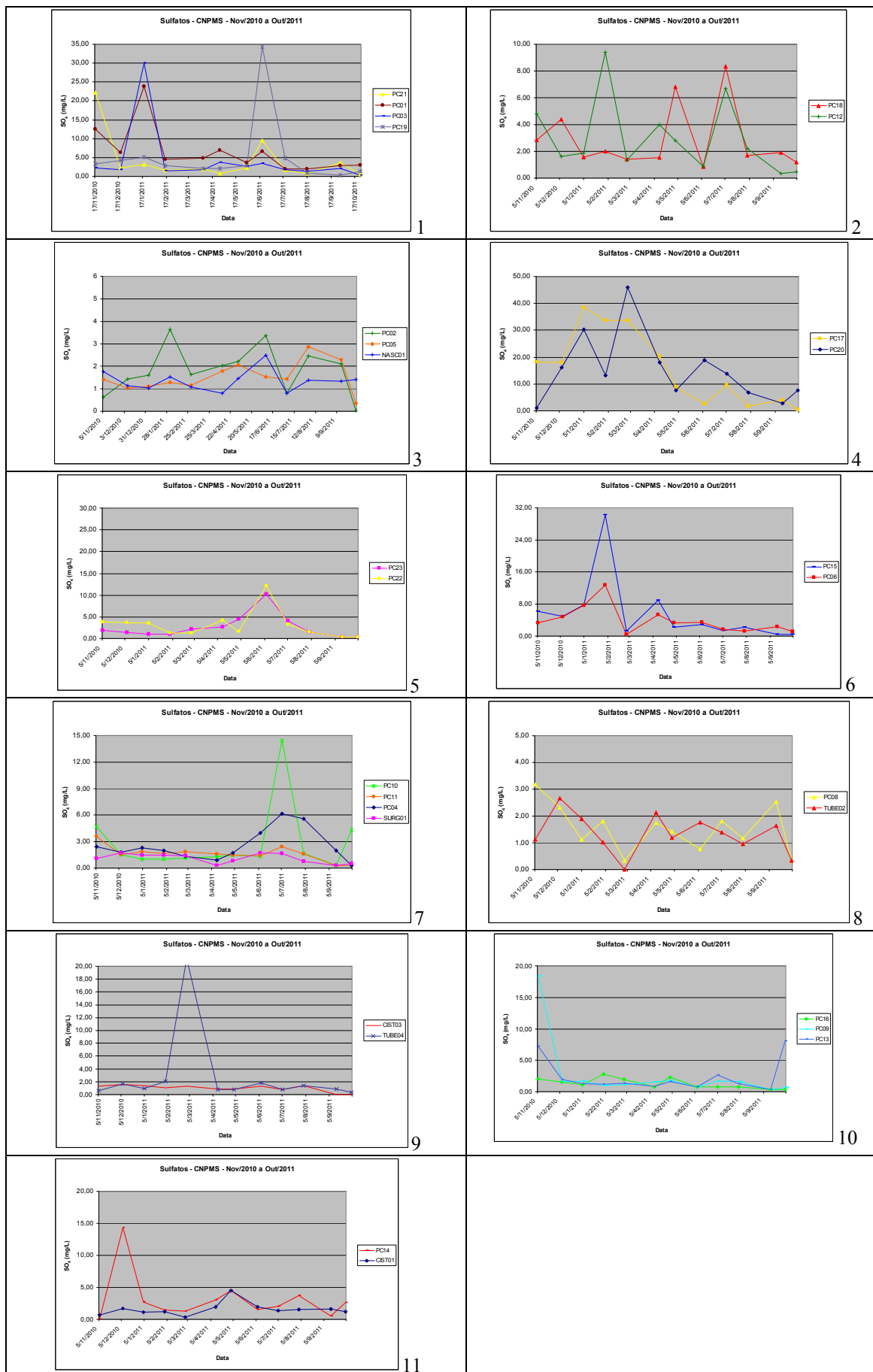


Figura 7-27 – Gráficos temporais de concentrações de sulfatos nos 29 pontos de coleta

O primeiro Gráfico da Figura 7.27 mostra que os poços PC02 e PC05 e a nascente NASC01 apresentam um comportamento semelhante no que se refere às concentrações temporais do íon sulfato. Nestes três pontos, os valores medianos também são similares: 1,84 mg/L (PC02); 1,42 mg/L (PC05) e 1,36 mg/L (NASC01). Uma possível explicação para esses comportamentos é a posição semelhante desses poços no sistema aquífero, ou seja, na porção intermediária situada entre as zonas de recarga e descarga sugeridas no mapa de direções de fluxo da água subterrânea de Machado (2011).

No segundo Gráfico da Figura 7.27, constata-se que o comportamento das curvas de concentração de sulfato é semelhante nos poços PC12 e PC18, ou seja, essas curvas mostram muitas variações (sobe e desce) no período analisado, além de apresentarem valores medianos próximos: PC12 (2,06 mg/L) e PC18 (1,81mg/L). Tal comportamento parece estar associado à variação sazonal da recarga proveniente da água da chuva e, apesar das profundidades relativamente elevadas do nível freático (da ordem 18m no PC12 e 25m no PC18), também possa ser um reflexo de processos de evapotranspiração. Uma possível alternância entre processos de precipitação e solubilização foi cogitada, porém tal suposição foi descartada diante dos valores negativos de Índice de Saturação (SI) obtidos para a barita e a gipsita (possíveis minerais de sulfato existentes nas rochas locais), calculados para as amostras que apresentaram os picos máximos de concentração de SO_4^{-2} .

Uma grande amplitude entre as concentrações máximas e mínimas nos valores de sulfato (da ordem de 40 mg/L), entre as amostras coletadas entre nov/2010 e out/2011, foi identificada nas curvas apresentadas no Gráfico 4 da Figura 7.27, referente aos poços PC17 e PC20.

No caso específico do poço PC17, tal amplitude foi, provavelmente, causada pela oxidação de pirita presente no calcário existente no subsolo, no contato dos aquíferos Fissural-Cárstico e Poroso de Cobertura. Tal afirmativa é feita em função dos baixos valores de pH determinados nas amostras coletadas no PC17, nos meses de janeiro (4,41) e maio (4,35) de 2011.

No poço PC20, por sua vez, o menor pH registrado (5,10) ocorreu em nov/2010, o qual não está relacionado com os picos identificados nas curvas de concentração de sulfato, haja vista que o poço PC20 está situado em uma área de plantio de milho e sorgo, uma possível elevação dos teores de sulfato nas águas do poço PC20 poderia ter sido causada pela adição de corretivos de acidez de solo (que contém gesso em sua composição), porém essa hipótese foi descartada ao se constatar a correlação existente entre os valores de Dureza Total (valores

indiretos do teor em cálcio) com os valores de Alcalinidade Total e a não correlação dos mesmos com as concentrações de sulfato. Outra suposição, entretanto, é que os picos de sulfato podem ter sido causados pela passagem de alternadas “plumas concentradas em SO_4^{-2} ” geradas nas proximidades do poço PC17, que está situado a montante do PC20, como aponta o modelo de fluxos subterrâneos de Machado (2011).

Assim como no PC19 e PC20, os pequenos picos de sulfato ocorridos nos poços PC22 e PC23 (Gráfico 5 da Figura 7.27), em junho/2011, podem também ter sido causados por uma “pluma concentrada em sulfato”, que tenha sido gerada nas imediações do poço PC17. Tal suposição é baseada no fato desses poços PC22 e PC23 não terem apresentado pH abaixo de 5 no mês de junho/2011, apesar de ter sido registrada, em ambos os poços, uma queda nesse mês (pH = 5,89 no PC22 e pH = 5,95 no PC23).

No Gráfico 6 da Figura 7.27, os poços PC06 e PC15, apesar de estarem localizados em regiões e zonas de circulação da água subterrânea distintas, apresentam comportamentos das curvas de concentração de sulfato bastante semelhantes. Entretanto, uma exceção foi verificada nos dados do poço PC15, que apresentou um pico em fevereiro/2011 com alto teor em sulfato (30,23 mg/L). Para esse mesmo poço, a propósito, verificou-se que o valor de pH, em dezembro/2010, foi de apenas 4,39. Suspeita-se, assim, que esse valor tenha sido causado pela oxidação de pirita, que deve estar presente no substrato rochoso e exposta ao contato com as águas oxigenadas (e oxidantes) do Aquífero Poroso de Cobertura.

Ao avaliar o Gráfico 8 da Figura 7.27, chama a atenção a brusca queda na concentração de sulfato ocorrida nas amostras coletadas nos poços PC08 e TUBE02, no dia 2/3/2011. Tal queda pode estar relacionada ao evento chuvoso ocorrido no dia 28/12/2010, que apresentou um acumulado em 24 horas de 96,4 mm (vide gráfico da Figura 7.25). Caso essa suposição seja verdadeira, pode-se dizer que esses poços sofrem influência significativa da recarga da água da chuva, porém com um atraso de cerca de 60 dias. Por conseguinte, pode-se supor que tais poços são vulneráveis a possíveis contaminantes trazidos por essas águas, caso os mesmos não sejam passíveis à degradação ou adsorção durante o seu transporte, nesse intervalo de tempo.

As curvas de concentração de sulfato do poço TUBE04 e da cisterna CIST03, apresentadas no Gráfico 9 da Figura 7.27, mostram um comportamento bastante similar ao longo do período analisado, apesar da ocorrência de um pico (máximo) somente na amostra coletada no

TUBE04, no mês de março de 2011. Diante da similaridade também encontrada nas curvas dos parâmetros pH, Condutividade Elétrica, Alcalinidade Total e Dureza Total para esses dois pontos, confirma-se a informação contida no mapa de fluxos subterrâneos de Machado (2011), que sugere que os mesmos estejam inseridos em uma mesma zona de descarga. Quanto ao pico de concentração de sulfato verificado em março de 2011 (apenas na amostra do TUBE04), trata-se, provavelmente, de um erro de amostragem, analítico ou de digitação.

No Gráfico 10 da Figura 7.27, percebe-se que as concentrações de sulfato nos poços PC09, PC13 e PC16 flutuam sobre um mesmo patamar, da ordem de 2 mg/L, e com comportamentos sazonais parecidos, apesar dos mesmos estarem situados em diferentes setores dentro da área do CNPMS (Ver Figura 4.3) e em zonas de circulação da água subterrânea distintas (Ver Figura 6.12). No entanto, cabe salientar que em uma primeira análise desse gráfico, chama a atenção os picos (máximos) apresentados pelas amostras coletadas em novembro/2010, nos poços PC09 e PC13 e em outubro/2011, no PC09. Analisando os gráficos dos demais parâmetros referentes aos poços PC09 e PC13, não se verifica qualquer correlação com os “picos de sulfato”. Além disso, os poços situados a montante não apresentaram elevações nas concentrações de sulfato, impossibilitando que tais picos fossem provenientes de plumas transportadas pelo fluxo subterrâneo. Sendo assim, supõe-se que tais valores anômalos tratam-se de erros.

De forma parecida ao caso anterior, acredita-se que o pico de concentração de sulfato denunciado no Gráfico 11 da Figura 7.27, inerente à amostra coletada em dez/2010 no poço PC14, é decorrente de um erro, visto que não há correlação com os valores obtidos nos outros parâmetros analisados. Caso seja realmente um erro e a concentração correta de sulfato nessa amostra seja da ordem de grandeza dos demais valores da série de dados do PC14, pode-se considerar que o comportamento das curvas de concentração de sulfato no PC14 e CIST01 são bem próximos, provavelmente pelas semelhantes posições de circulação da água subterrânea no sistema aquífero.

Analisando o gráfico que traça o comportamento do sulfato nos poços PC10 e PC11, percebe-se que, em 13/07/2011, o PC10 apresentou um pico máximo de sulfato (14,44 mg/L), ao passo que o PC11, apesar de ter também apresentado um crescimento, o mesmo foi caracterizado por uma curva mais suave e com máximo igual a 6,13 mg/L (valor relevante, mas inferior à

metade da concentração atingida no PC10). O Gráfico 2 da Figura 7.31, que apresenta as distribuições dos valores de Condutividade Elétrica nos poços PC10 e PC11, mostra dois pequenos picos (máxima) com amplitudes bem próximas, chegando a 120 μ S/cm no PC11 e 130 μ S/cm no PC10. As curvas que mostram o comportamento do ferro nesses poços (Gráfico 7 da Figura 7.30) não denotam nenhum valor anômalo nas amostras coletadas nos dois poços no mês de julho de 2011. Como mencionado nas descrições sobre o pH, é bem provável que nas imediações do poço PC10 o substrato rochoso, Calcário, apresente porções mineralizadas em pirita.

Analisando, de forma conjunta, todos os gráficos que traçam os comportamentos dos parâmetros pH, sulfato e ferro, chamam a atenção as amostras que apresentaram pH inferior a 5, como ocorreu nas curvas dos poços PC10 (3,65), PC15 (4,39 e 4,64), PC17 (4,41 e 4,35), PC19 (4,11) e PC21 (4,89). Ao analisar os picos (mínimos) apresentados pelas amostras de julho/2011, no PC10, de janeiro e maio de 2011, do poço PC17 e de jun/2011, no poço PC21, verifica-se que os mesmos estão correlacionados aos picos (máximos) observados nas curvas de concentração de sulfato, como mostram os Gráficos 7, 4 e 1, respectivamente, da Figura 7.27. Logo, para esses poços, a causa da ocorrência desses baixos valores de pH está associada a uma possível oxidação da pirita (FeS_2), que deve ocorrer nas imediações dos mesmos.

Quanto aos demais baixos resultados de pH observados, não foi possível fazer uma associação direta entre os valores de pH reduzidos com as altas concentrações de sulfato, pelo menos com relação ao mesmo mês de amostragem. No entanto, percebe-se que há ocorrência de picos de sulfato no primeiro ou segundo mês seguinte à detecção dos valores anômalos de pH, como no caso do PC15, que apresentou um valor de pH de 4,39 em dez/2010 e um pico de sulfato (30,23 mg/L) em fev/2011 e do PC19, que registrou um pH de 4,11 em mai/2011 e de sulfato (34,28 mg/L) em jun/2011. No PC17, por exemplo, quando se detectou um pH baixo de 4,35 (Mai/2011- seca), no mês seguinte houve uma queda na concentração de sulfato e SiO_2 . Dois meses depois, entretanto, houve um aumento na concentração desses dois parâmetros.

Uma possibilidade é que esses últimos poços tenham sido atingidos por “plumas com alta concentração de H^+ e de sulfato”, provenientes da oxidação de pirita em pontos situados a montante, no contexto hidrogeológico local, sendo que a diferença de tempo observada entre

os picos de pH (mínimos) e sulfatos (máximos) ocorra em função da distinta mobilidade dos íons H^+ (mais móveis) que os íons sulfatos (menos móveis). No caso dos poços PC19 e PC21, é provável que essas plumas tenham sido originadas nas proximidades do poço PC17, como descrito anteriormente.

Analisando-se, conjuntamente, os gráficos que trazem a variação temporal das concentrações de SO_4^{-2} e pH, é possível verificar que em 75% dos casos em que o pH foi inferior a 5, esses parâmetros se comportaram de forma indiretamente proporcional. Ou seja, verificou-se que quando o pH foi muito baixo (< 5) as concentrações de SO_4^{-2} aumentaram significativamente. Isso foi constatado nas amostras coletadas em jan/2011 no PC03, em jun/2011 no PC21 e em jul/2011 no PC10.

Salienta-se, entretanto, que a água acidificada em função da reação de oxidação da pirita deve sofrer um processo de tamponamento ao entrar em contato com o substrato rochoso carbonático, provocando, assim, um aumento nos valores de pH, ao se atingir equilíbrio com o meio. Cabe ressaltar que a ação desse efeito tampão é relativamente rápida, visto que há um aumento da velocidade da reação de dissolução de carbonatos em valores muito baixos de pH, como destaca Appelo e Postma (2005).

É importante ressaltar neste momento que Piló (1998) encontrou minerais resistentes na fração areia de Latossolos derivados de Calcário, na região de Lagoa Santa, sugerindo proveniência externa, por esses serem incompatíveis com o presumido material de origem. Esses materiais, como quartzo e pirita limonitizada, seriam provenientes da Formação Sete Lagoas (metapelíticas), que constitui o nível superior de deposição do Grupo Bambuí.

Em complemento, Pinto e Neto (2001) destacam que nas ardósias pretas existentes na “Província da Ardósia de Minas Gerais” (Formação Serra de Santa Helena), que recobrem os calcários da Formação Sete Lagoas ou assenta-se diretamente sobre o Complexo Basal (gnaiesses, migmatitos etc) de idade arqueana, a pirita é um mineral relativamente comum, podendo ocorrer formando filmes esfarrapados nos planos de clivagem ardosiana.

Segundo esses autores, as ardósias de cor escura correspondem aos sedimentos da borda sul da bacia Bambuí, formados em zonas de deposição entre o continente e o mar aberto, limitada por um alto-fundo, que restringiria a oxigenação e a renovação de água, tornando anóxico o ambiente de sedimentação, possibilitando a formação das piritas.

Apesar de não ter sido identificado esse mineral (pirita) nos afloramentos de calcário existentes na área do CNPMS, vale destacar que técnicos da EMBRAPA já encontraram algumas amostras dessa rocha, cravejada em pirita, às margens da ferrovia que corta a área do Centro de Pesquisa (Vide Fotos 1 e 2 da Figura 7.28), as quais, provavelmente, foram trazidas de alguma pedreira de calcário da região.



Figura 7-28 – Amostras de calcário, cravejadas em pirita, encontradas nas imediações da ferrovia que corta a área do CNPMS, provavelmente trazidas de alguma pedreira de calcário da região

O gráfico da Figura 7.29 apresenta os traçados das curvas dos Produtos de Atividade Iônica (IAP) para o gesso, bem como a reta que define o Produto de Solubilidade do gesso, nas águas (Bicarbonatadas-Cálcicas) dos aquíferos dos poços PC10, PC15, PC17, PC19 e PC21, que apresentaram valores de $\text{pH} < 5$, entre Nov/2010 e Out/2011. Analisando-se esse gráfico, verificou-se que em nenhum momento houve a precipitação de gesso (CaSO_4), apesar do aumento esporádico do teor de sulfato verificado nesses poços, produzido, provavelmente, a partir da oxidação da pirita.

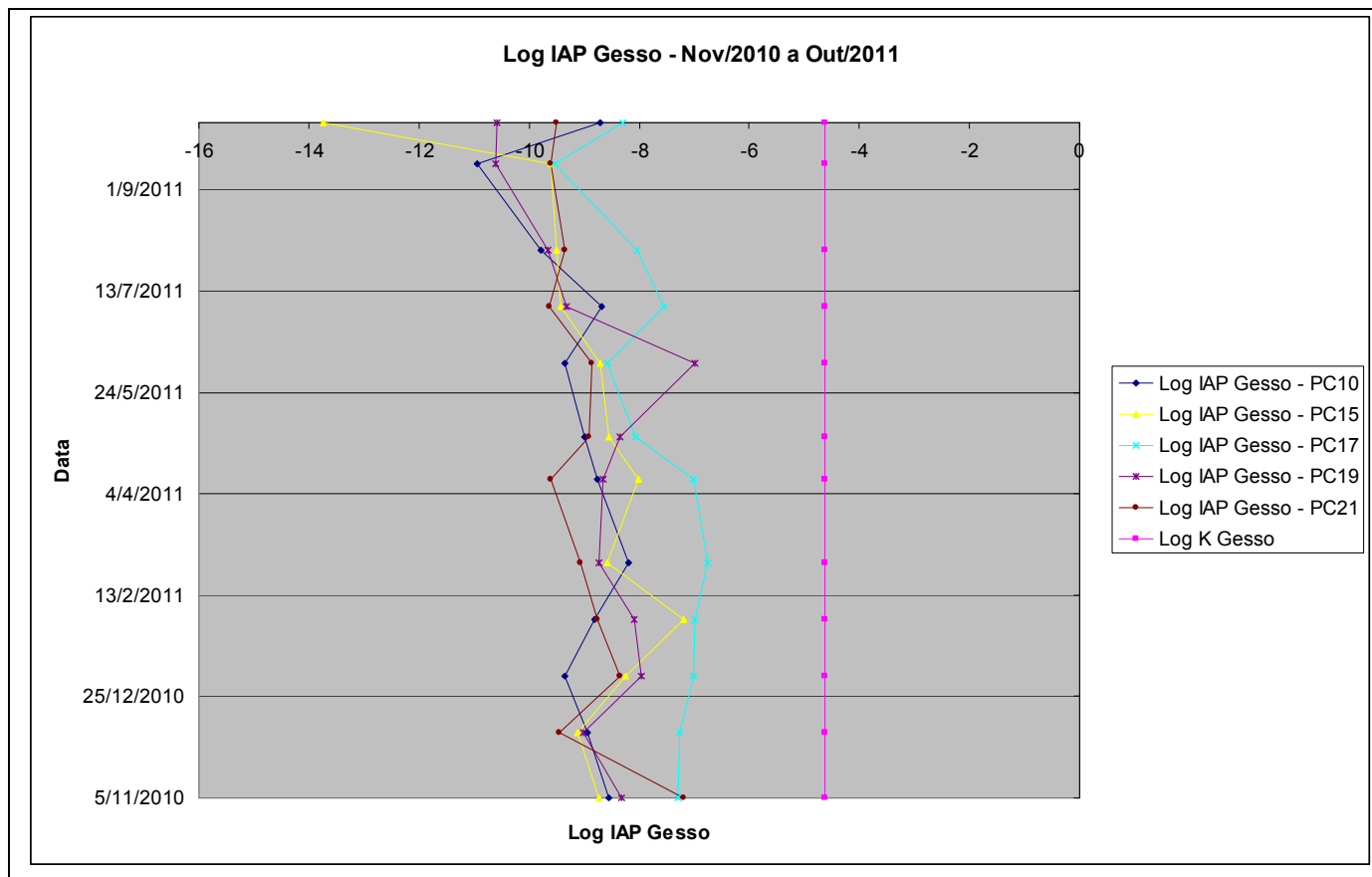


Figura 7-29 – O IAP_{gesso} comparado com o Produto de Solubilidade em local de oxidação da pirita em águas de poços de monitoramento situados na porção sul do CNPMS

FERRO: A Figura 7.30 apresenta a variação temporal dos valores de ferro, nos pontos de monitoramento de água subterrânea no CNPMS.

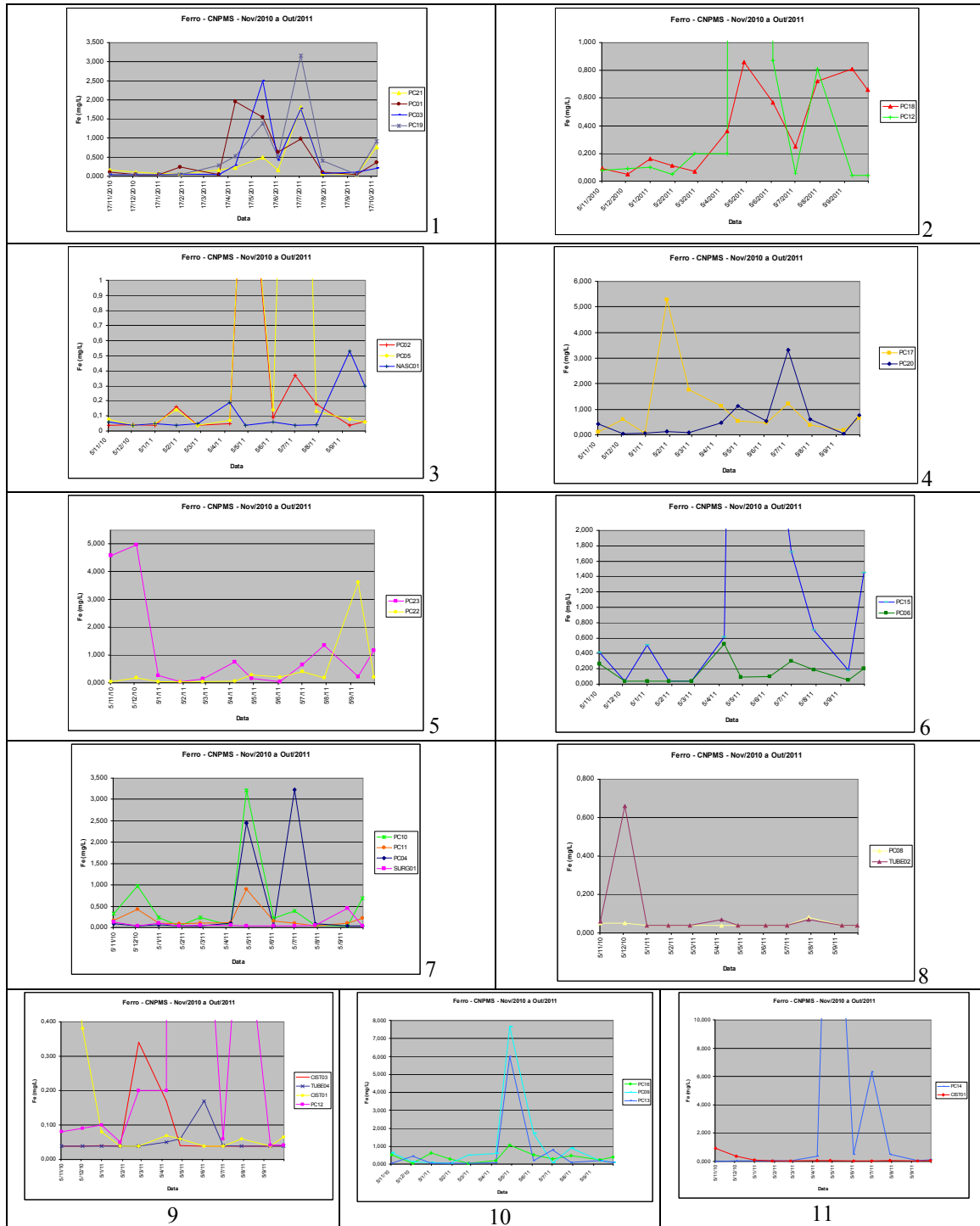


Figura 7-30 - Gráficos temporais de concentrações de ferro nos 29 pontos de coleta

No Gráfico 1, da Figura 7.30, verifica-se que as amostras de água subterrânea coletadas nos poços PC01, PC03, PC19 e PC21, em maio de 2011, e, principalmente, em julho de 2011, apresentaram um aumento nos teores de ferro. Possivelmente esse aumento está relacionado a processos de evapotranspiração e ausência de recarga nesses meses. Além disso, nos poços PC19 e PC21 devem ter ocorrido processos de dissolução de ferro, em função dos episódios de queda de pH, seguidos de processos de precipitação desse elemento, diante da posterior elevação dos valores de pH.

No Gráfico 9 (Figura 7.30), é possível que os valores bastante elevados de concentração de ferro encontrados para os poços PC12, CIST01, CIST03 e TUBE04 sejam decorrentes de erros no procedimento de coleta ou análise das amostras, como acidificá-la sem filtração prévia.

Chamam a atenção, também, os valores apresentados no PC05 em maio e julho de 2011, que foram os mais altos entre as 36 amostras coletadas nos pontos PC05, PC02 e NASC01, representados no Gráfico 3 (Figura 7.30). Caso esses dados estejam corretos, imagina-se que os mesmos estejam associados aos processos de evapotranspiração e à falta de recarga inerentes ao período seco. A queda de concentração evidenciada no mês de junho deve ter ocorrido em função de uma possível precipitação de óxidos/hidróxidos de ferro.

CONDUTIVIDADE ELÉTRICA, ALCALINIDADE TOTAL E DUREZA TOTAL

A correlação existente entre a flutuação das descargas dos aquíferos, ao longo do tempo, com alguns parâmetros químicos como Dureza e Condutividade elétrica são excelentes indicadores dos processos em que se dá a recarga para o interior do aquífero (SHUSTER e WHITE, 1971; TERNAN, 1972; DREISS, 1989; WORTHINGTON *et al.*, 1992) *apud* (PESSOA, 2005). O monitoramento desses parâmetros químicos e de íons dissolvidos, ao longo do tempo, de forma comparativa às medições de descarga, pode fornecer informações sobre os sistemas aquíferos cársticos (PESSOA, 2005).

As Figuras 7.31, 7.32 e 7.33 apresentam a variação temporal dos valores de Condutividade Elétrica, Alcalinidade Total e Dureza Total, nos pontos de monitoramento de água subterrânea no CNPMS.

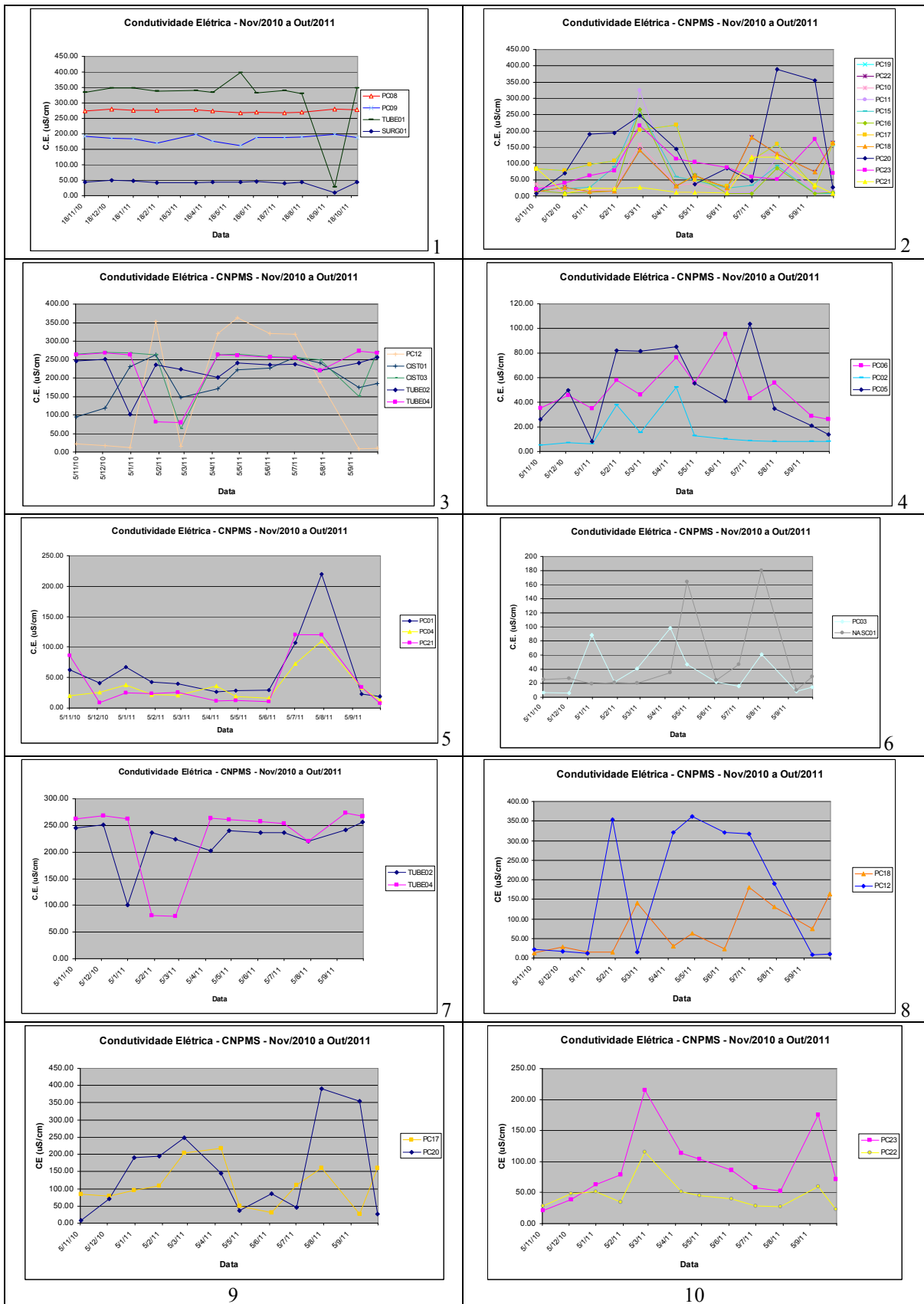


Figura 7-31 - Gráficos temporais de Condutividade Elétrica nos 29 pontos de coleta

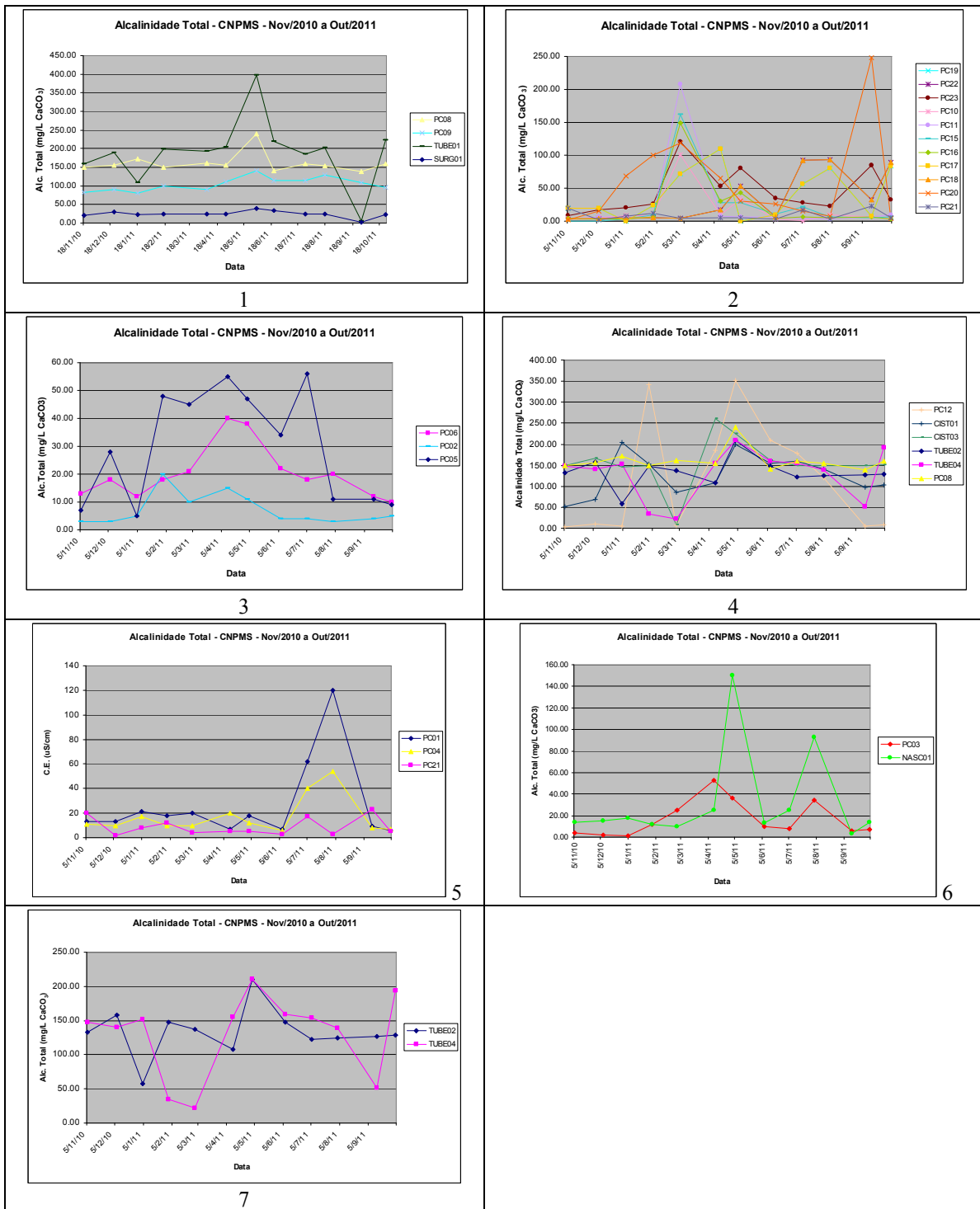


Figura 7-32 - Gráficos temporais de Alcalinidade Total nos 29 pontos de coleta

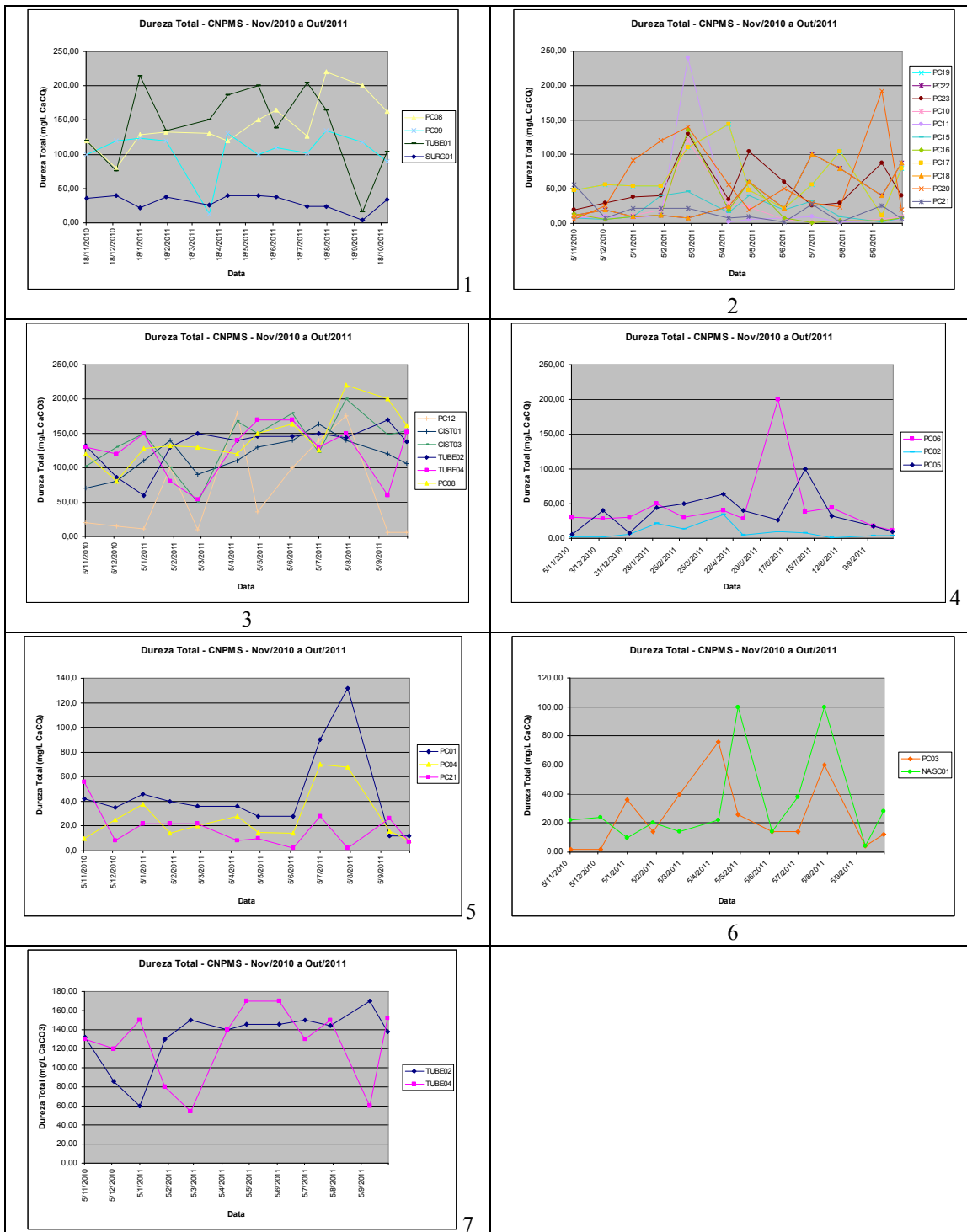


Figura 7-33 - Gráficos temporais de Dureza Total nos 29 pontos de coleta

Na área do CNPMS, a chuva representa a única fonte significativa de recarga do sistema aquífero. Entretanto, neste trabalho não foi realizada análise química em amostras de água da chuva local. A propósito, não foram encontrados quaisquer resultados de análises de água de chuva em estudos realizados dentro e no entorno da região estudada. No entanto, informações sobre a distribuição dos eventos de precipitação pluviométrica na estação meteorológica de Sete Lagoas-83586 (situada dentro do CNMPS), ao longo do período estudado, são facilmente

encontradas na página da internet do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), as quais estão apresentadas na forma de gráfico na Figura 7.25.

Visando avaliar se o nível freático do sistema aquífero existente no CNPMS sofre interferência dos processos de evapotranspiração, analisou-se o comportamento do parâmetro Condutividade Elétrica nos poços com profundidade do nível d'água inferior a 5 metros (mais rasos), ou seja, nos poços PC06 (3,56m), PC08 (2,27m), PC09 (2,64m), PC13 (2,93m) e PC16 (1,94m).

Verificou-se que o poço PC06 parece sofrer influência da evapotranspiração, visto que se identificou um progressivo aumento da concentração de sais dissolvidos em suas águas no período seco, como mostra, de forma indireta, o Gráfico 4 (Figura 7.31), que apresenta a distribuição dos valores de Condutividade Elétrica entre Nov/2010 e Out/2011.

Os poços PC08 e PC09, que estão situados em zonas de descarga, apresentam valores de Condutividade Elétrica (que é proporcional à salinidade) constantes, ou seja, apresentam uma menor influência do processo de evapotranspiração.

Os poços PC13 e PC16, por sua vez, mostram picos (máximos) de valores de Condutividade Elétrica nos meses de fevereiro/2011 e março/2011, respectivamente. No entanto, apesar da forma abrupta e isolada que se apresentam esses picos, bem como da grande amplitude verificada entre os mesmos e seus valores antecessores e conseguintes (ambos acima de 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$), acredita-se que esses picos tenham sido gerados por processos de evapotranspiração e, talvez, também estejam correlacionados com a ausência de chuva registrada no mês de fevereiro de 2011.

Da mesma maneira que os poços PC13 e PC16, foram verificados picos (máximos) de Condutividade Elétrica, entre os meses de janeiro e abril de 2011, nos seguintes pontos de monitoramento (e respectivos meses):

- Pontos PC10, PC11, PC15, PC16, PC17, PC18, PC20, PC22, PC23: mês de março/2011;
- Pontos PC02, PC05, PC06, PC12, CIST01: mês de fevereiro/2011;
- PC03: janeiro e abril/2011;
- PC14: abril/2011.

Entende-se que todos esses poços apresentam, também, uma influência do processo de evapotranspiração, que atua aumentando, principalmente, a concentração de íons bicarbonato em suas águas e, conseqüentemente, os valores de condutividade elétrica.

No que se diz respeito ao poço PC12 especificamente, ressalta-se que o mesmo mostrou-se bastante sensível à variação sazonal, levando-se em consideração as informações extraídas dos gráficos das Figuras 7.31, 7.32 e 7.33. Como exemplo, cabe destacar que os valores de Condutividade Elétrica, Alcalinidade Total e Dureza Total apresentados para a amostra do mês de março/2011 são cerca de vinte vezes maiores do que os respectivos valores do mês anterior (fev/2011) e do mês subsequente (abr/2011). Como dito anteriormente, uma tentativa de explicação para esses picos (máximos) de Condutividade Elétrica (assim como Alcalinidade Total e Dureza Total) é que esses poços tenham recebido, nos meses de fevereiro e março de 2011, águas mais bicarbonatadas-cálcicas provenientes da porção inferior do aquífero de cobertura, que estão em contato com o substrato rochoso carbonático. Isso teria acontecido, nesses meses, em virtude da elevação do nível freático, que foi recarregado pelas chuvas de dez/2010 e jan/2011.

SÍLICA: A Figura 7.34 apresenta a variação temporal dos valores de sílica nos pontos de monitoramento de água subterrânea no CNPMS.

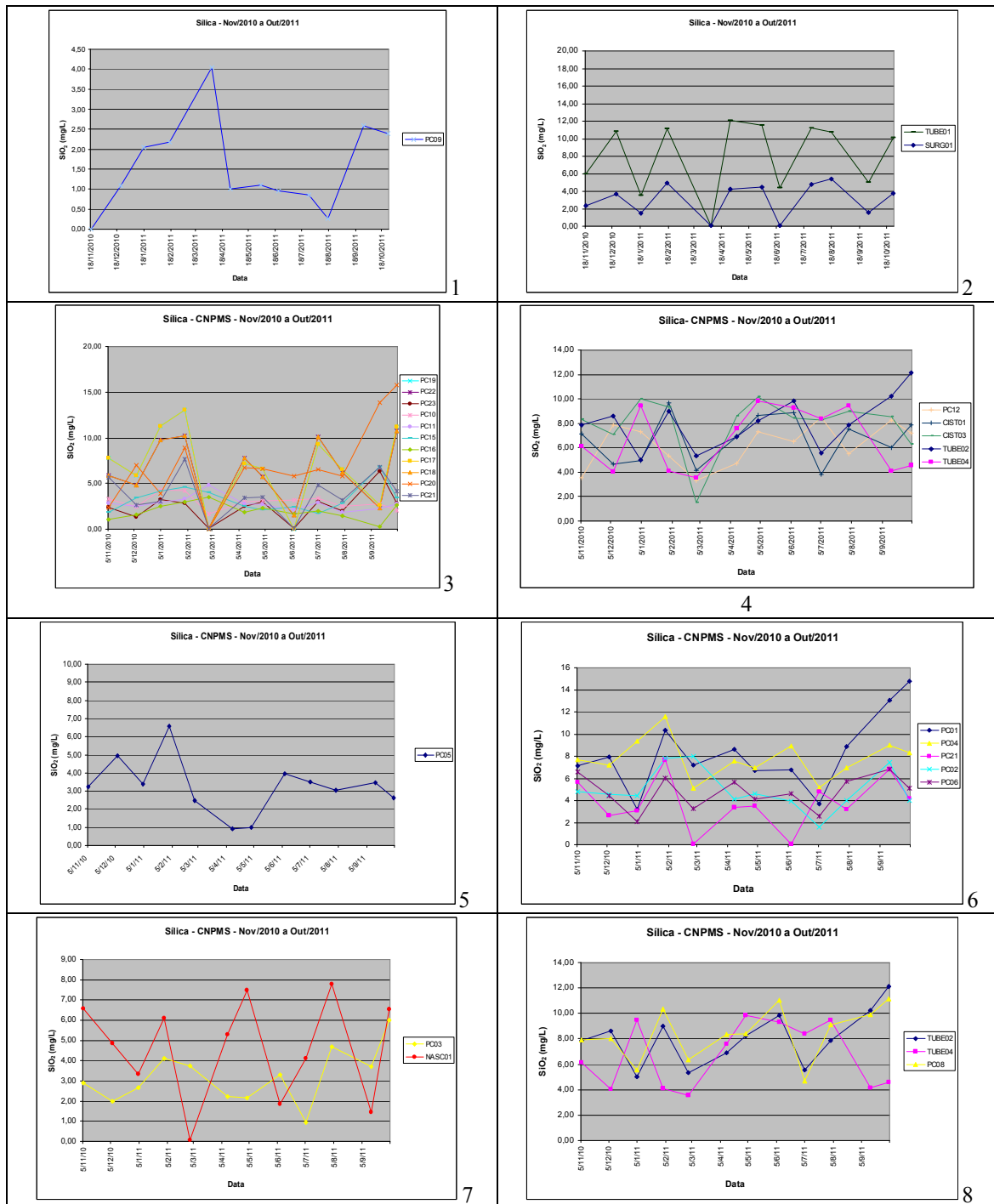


Figura 7-34 - Gráficos temporais de sílica nos 29 pontos de coleta

Quanto ao comportamento da sílica (SiO_2) ao longo do período de amostragem (nov/2010 a out/2011) os parágrafos seguintes descrevem os grupos de pontos que apresentaram curvas semelhantes e as interpretações extraídas dessas semelhanças.

Os pontos PC08, PC12, CIST01, CIST03, TUBE02 e TUBE04 apresentaram comportamentos bem similares, como mostram os Gráficos 4 e 8 (Figura 7.34). Verificou-se, nas amostras coletadas em março e em julho de 2011, quedas nas concentrações de SiO_2 (mg/L), em todos esses pontos. Provavelmente, tais quedas são decorrentes de uma diluição da água do aquífero amostrado, proporcionada pelos eventos chuvosos ocorridos nos dias 28/12/2010 (96,4 mm) e 13/03/2011 (67,8 mm). Caso essas quedas de concentração tenham sido, realmente, provocadas pelas precipitações pluviométricas, percebe-se que existiu um atraso de 60 a 80 dias entre os eventos chuvosos e as quedas nas concentrações. Assumindo essa interpretação como verdade, constata-se que tais poços e cisternas não sofreram, nesses meses, uma “rápida” influência da recarga local. Ou seja, de maneira genérica, pode-se dizer que as águas que circulam nesses poços apresentam um tempo de trânsito “relativamente” elevado, no que tange o sistema aquífero do CNPMS. Por fim, salienta-se que, com exceção do PC12, que apresenta resultados diferenciados dos demais, todos esses pontos pertencem aos grupos de *cluster* que identificam águas de circulação profunda, com elevado tempo de trânsito no sistema aquífero.

No que se diz respeito ao comportamento das curvas apresentadas no Gráfico 2 (Figura 7.34), referente aos pontos TUBE01 e SURG01, o mesmo parece informar que existe uma conexão entre os aquíferos captados pelo poço TUBE01 e a surgência SURG01, apesar desse poço apresentar uma mediana três vezes maior que a da surgência (6 mg/L contra 2 mg/L). A propósito, esses valores medianos de sílica reforçam a hipótese de que as águas captadas no TUBE01 são de circulação mais profunda (e com um maior tempo de residência), conforme interpretações realizadas sobre os resultados da análise de *cluster* apresentada no item 7.2.4.

O Gráfico 6 (Figura 7.34), por sua vez, mostra que as curvas dos poços PC01, PC02, PC04, PC06 e PC21 se comportam de maneira razoavelmente similar, apresentando acréscimos e decréscimos (alternados) de concentração. Analisando-se o “sobe e desce” das concentrações da curva descrita para o poço PC04, verificou-se que o pico de maior valor (quase 12 mg/L), ocorrido no mês de fevereiro/2011, apresenta uma supersaturação ($\text{IS} > 0$) para o mineral quartzo e insaturação para a sílica amorfa ($\text{IS} < 0$), como será discutido, posteriormente, no

item 7.2.6 (Índice de Saturação do Minerais). O poço PC01, entretanto, registrou um pico de mínima em julho/2011 (<4mg/L). Porém, a partir daí, apresentou uma sequência crescente de valores até o mês de out/2011, com o pico de máxima (15 mg/L). Esse pico de 15 mg/L também apresentou um $IS > 0$ para o quartzo e $IS < 0$ para a sílica amorfa. Já o pico de mínima de julho/2011 apresentou um $IS < 0$ tanto para o quartzo como para a $SiO_2(a)$. Ou seja, em julho havia condições para dissolução de quartzo e em outubro precipitação (ou não dissolução) de SiO_2 .

Como destaca Bittencourt *et al.* (2003), são comuns os teores em sílica superiores ao equilíbrio com o quartzo (cerca de 10 ppm), devido a fatores cinéticos. Segundo esses autores, em algumas águas há uma tendência de precipitar a sílica, seja como quartzo, calcedônia ou outros silicatos. Porém, essa reação é mais lenta do que a intemperização da rocha primária. Esses aspectos conduzem a que sejam encontrados teores de sílica superiores àqueles do equilíbrio com o quartzo, que é a a forma cristalizada menos solúvel de sílica.

Na curva que descreve o comportamento temporal da sílica na nascente NASC01 (Gráfico 7 da Figura 7.34), verifica-se que existe uma queda brusca de concentração a cada 3 meses, como ocorreu em março, junho e setembro de 2011. Analisando-se os índices de saturação dos picos mínimos e máximos, ocorridos em fevereiro, maio e agosto/2011, foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 7.21.

Tabela 7.21 – Variação dos índices de saturação do quartzo e sílica amorfa na Nascente do Sapo (NASC01), que recebe as águas de cobertura

Mês/2011	IS_{quartzo}	$IS_{SiO_2(\text{amorfa})}$
Fev	-0,01	-1,28
Mar	-2,03	-3,30
Mai	0,07	-1,20
Junho	-0,53	-1,80
Agosto	0,08	-1,19
Setembro	-0,64	-1,91

Os resultados apresentados na Tabela 7.21 sugerem que na “Nascente do Sapo – NASC01”, a água subterrânea (proveniente do aquífero de cobertura) apresente, ao longo de ciclos alternados, de 3 em 3 meses, ora tendência à solubilização e ora tendência à precipitação (ou não solubilização) de quartzo.

O Gráfico 3, da Figura 7.34, apresenta a distribuição das curvas de SiO₂ (mg/L) para os poços PC10, PC11, PC15, PC16, PC17, PC18, PC19, PC20, PC21, PC22 e PC23. O comportamento temporal das curvas desses poços é, de uma maneira geral, bem parecido. Verifica-se nessas curvas, que os picos de concentrações máximas giram em torno de 10 mg/L, valor próximo ao da supersaturação em quartzo, em águas naturais. Ressalta-se, ainda, que esse gráfico mostra que após a manifestação dos picos de valores máximos de sílica, verifica-se que sempre há uma queda brusca nas concentrações de SiO₂. Como será apresentado no item 7.2.6, a seguir, essas bruscas quedas nos valores de SiO₂ podem ocorrer por causa da precipitação de quartzo.

Uma exceção, no entanto, é verificada nas concentrações de SiO₂ das amostras de setembro e outubro/2011 do PC20, as quais foram da ordem de 15 mg/L. É possível que a supersaturação em SiO₂, que ocorreu nessas amostras, bem como em algumas amostras do PC01 e PC04, tenha sua causa atribuída à combinação de dois fatores: primeiro, devido à atuação do processo de evapotranspiração e, segundo, a possível proximidade da base desse poço ao saprolito e substrato rochoso. Ou seja, acredita-se que a maior quantidade de sílica disponível à dissolução (do saprolito) aliada ao processo de evapotranspiração tenha levado a concentração de sílica a superar o patamar de 10 mg/L e, como consequência, apresentar índice de saturação bem superior a zero (tendência à precipitação).

Na amostra coletada em fevereiro de 2011, no poço PC05, que apresentou a maior concentração em sílica desse poço, o índice de saturação de quartzo foi igual a 0,01, ou seja, em estado de equilíbrio. Entretanto, nos três meses seguintes a fevereiro, como mostra o Gráfico 5 (Figura 7.34), percebeu-se uma queda brusca na concentração de SiO₂, a qual suspeita-se que tenha sido causada pelo desencadeamento de um evento de recarga do aquífero pela água de chuva.

O Gráfico 1 (Figura 7.34) mostra que o poço PC09 apresenta um pico de concentração máxima de SiO₂ em abril de 2011, o qual, no entanto, não foi suficiente para supersaturar a sua água em sílica, haja vista que $IS(sílica) < 0$. O curioso é que, apesar dessa tendência de não precipitação de sílica, verificou-se que, no mês seguinte, houve uma queda brusca na concentração de SiO₂ nesse poço, atingindo o patamar de 1 mg/L, o qual, por sua vez, se manteve até o mês de agosto/2011. Diante desses resultados, supõe-se que esses picos de sílica, nesse poço, sejam influenciados pelos eventos sazonais de recarga do sistema aquífero. Entretanto, como o período compreendido entre maio e agosto representou (como ocorre

historicamente na região) um período seco, com estiagem de chuvas (e recargas), como explicar uma diluição da concentração de sílica nas águas desse poço entre esses meses? Visto que o poço PC09 encontra-se em uma zona de descarga e suas águas são classificadas como de longo tempo de residência no sistema aquífero, é possível que o pulso de chuva ocorrido entre os dias 28/12/2010 e 13/03/2011 tenha gasto cerca de 4 a 5 meses para atingir a zona do aquífero do qual esse poço recebe água. Enfatiza-se que esse tempo de trânsito é um pouco superior àquele apresentado, anteriormente, para as águas dos pontos PC08, CIST01, CIST03, TUBE02 e TUBE04, que também encontram-se em zonas de descarga.

NITRATO: A Figura 7.35, a seguir, apresenta a variação temporal dos valores de nitrato, nos pontos de monitoramento de água subterrânea no CNPMS.

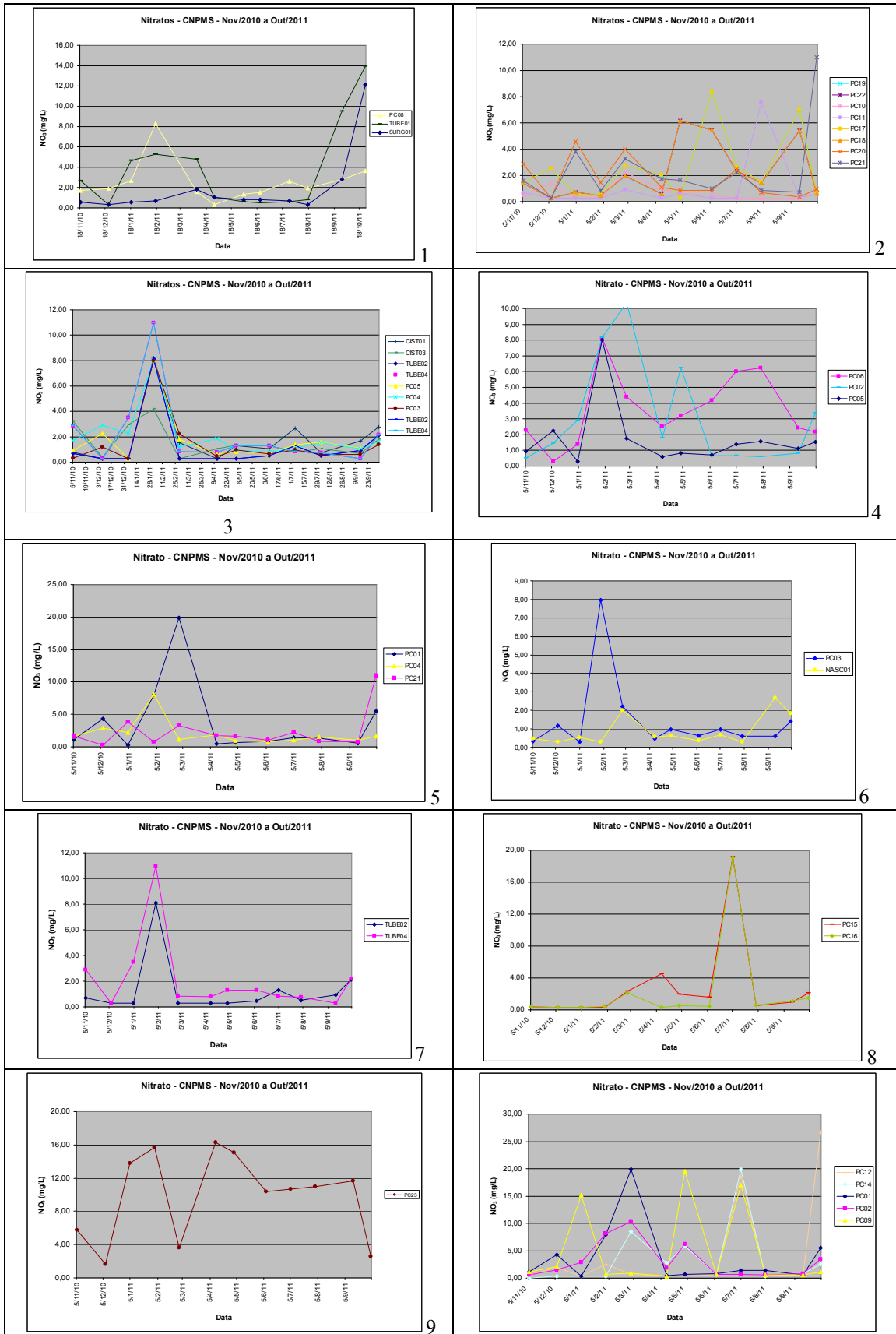


Figura 7-35 - Gráficos temporais de nitrato (VMP = 44,3 mg/L) nos 29 pontos de coleta. O Gráfico 1, da Figura 7.35, mostra que o poço PC08 apresentou um pico bem definido no mês de fev/2012, com valor igual a 8,28 mg/L (NO₃). Além disso, dois picos foram observados na curva do poço TUBE01, nos meses de fev e out/2011, respectivamente, 5,27 mg/L (NO₃) e 13,95 mg/L (NO₃), e um pico foi identificado no ponto SURG01, no mês de outubro de 2011 (12 mg/L).

Analisando-se os dois picos encontrados na curva do TUBE01, constata-se que as suas concentrações em NO₃ (mg/L) representam apenas 12 e 31% do Valor Máximo Permitido (VMP) pela Portaria 2914 (BRASIL, 2011), que estabelece os padrões de potabilidade da água no país. Comparando as curvas dos pontos TUBE01 e SURG01, verifica-se que elas seguem o mesmo comportamento entre os meses de abril e outubro de 2011 e que o pico apresentado pelas amostras do TUBE01, entre janeiro e março, não foi diagnosticado, no entanto, na curva da surgência SURG01.

Diante dessa análise, infere-se que o poço tubular profundo TUBE01, cuja água é utilizada no abastecimento de algumas casas existentes na área do sul do CNPMS, mostra uma relativa vulnerabilidade à contaminação por nitrato, apesar de não apresentar uma qualidade de água fora do padrão de potabilidade, no que se diz respeito ao parâmetro nitrato.

Observando o Gráfico 2 (Figura 7.35), destaca-se que o comportamento verificado entre as curvas dos poços PC17 e PC18 é bastante semelhante, o que, a propósito, era esperado, pois estão interligados por um mesmo sistema de fluxos subterrâneos (conforme modelo de Machado, 2011) e estão situados em áreas não plantadas.

No Gráfico 8, da Figura 7.35, verificou-se que os poços PC15 e PC16 apresentaram valores relativamente elevados de nitrato (mas dentro dos limites da Portaria 2914/11), no mês de julho, bem como um comportamento bastante similar ao longo de todo o período avaliado. A similaridade percebida entre as curvas desses dois poços também era esperada, visto que ao serem analisadas as linhas de fluxo subterrâneo locais, definidas no modelo hidrogeológico desenvolvido por Machado (2011), observa-se que ambos estão compartilhando uma mesma linha de escoamento, com o poço PC15 a montante do PC16.

Os Gráficos 1, 2, 3, 4, 5 e 6, da Figura 7.35, mostram que os valores medianos de nitrato encontram-se abaixo de 5 mg/L de NO₃. Entretanto, alguns picos são notados como os

seguintes: PC01 (mar/2011) = 20 mg/L; PC03 (fev/2011) = 8 mg/L; PC15 (jul/2011) = 19 mg/L; PC16 (jul/2011) = 19 mg/L; TUBE02 (fev/2011) = 8 mg/L; TUBE04 (fev/2011) = 11 mg/L; PC02 (fev/2011) = 10 mg/L; PC05 (fev/2011) = 8 mg/L; PC06 (fev/2011) = 8 mg/L; e PC06 (jul/2011) = 6 mg/L.

Quanto aos picos de concentração acusados nas amostras coletadas em fev/2011 e jul/2011, acredita-se os mesmos devem ter sido causados pelos picos de chuva ocorridos em 28/12/2010 e 13/03/2011, respectivamente. Ou seja, esses eventos chuvosos devem ter lixiviado o nitrogênio existente no solo, proveniente do uso de fertilizantes nas lavouras, para dentro do aquífero. Assim, caso essa análise esteja correta, pode-se entender que tenha sido necessário pouco mais de um mês para que o nitrogênio (como nitrato, sua espécie mais oxidada) atingisse o nível freático do sistema aquífero local.

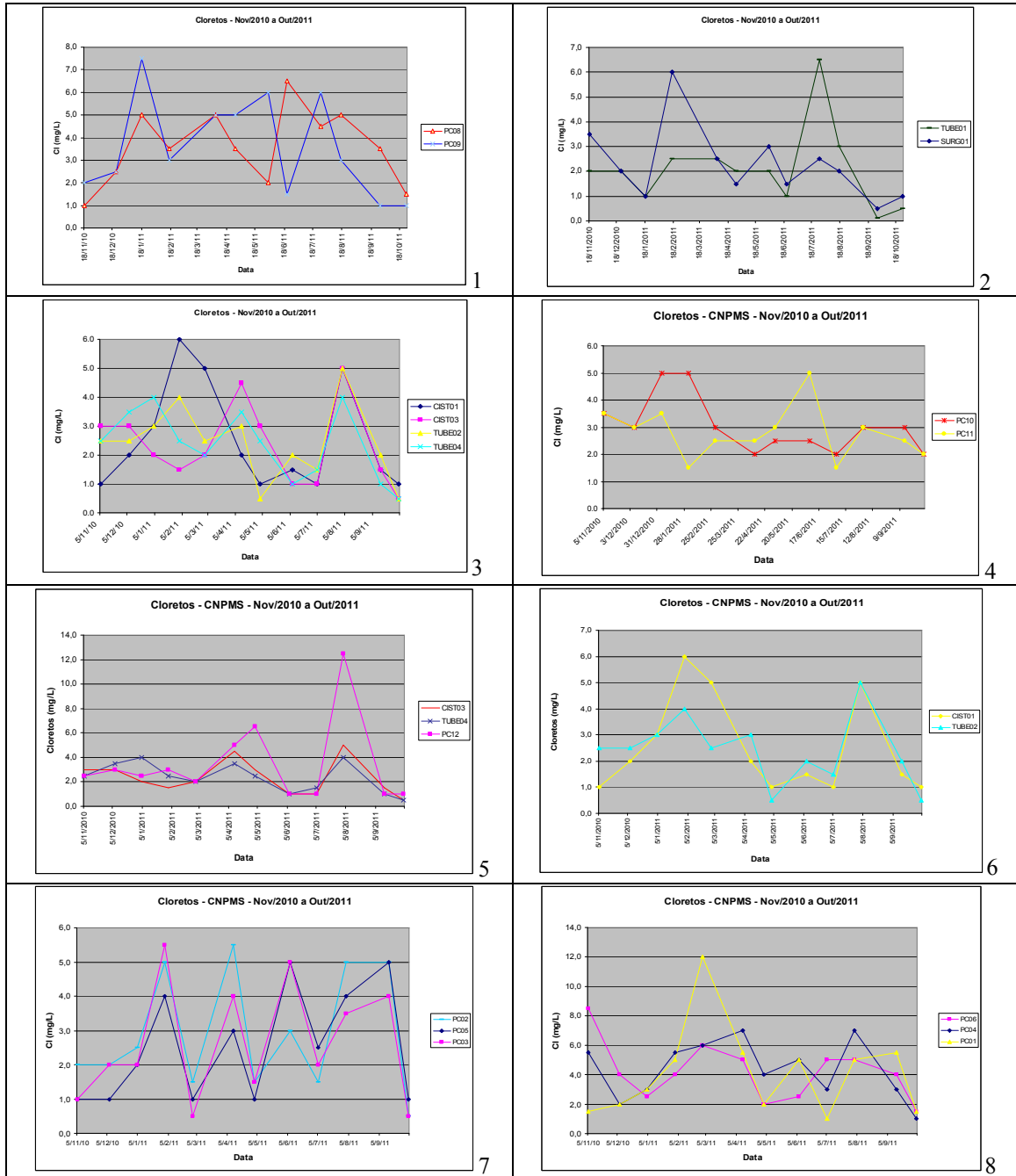
Já o poço PC23 (Gráfico 7 da Figura 7.35) apresentou quatro amostras com valores entre 12 e 16 mg/L e, outras quatro, com teores de nitrato variando de 10 a 12 mg/L. Os dois principais picos (ambos com 16 mg/L) que ocorreram em fevereiro e abril de 2011, possivelmente, também foram originados pelos eventos de chuva ocorridos no fim de dezembro/2010 e início de março/2011.

A análise do Gráfico 10 (Figura 7.35) mostra que o poço PC09 apresentou, no período analisado, picos consideráveis de nitrato nos meses de janeiro (15,15 mg/L de NO_3), maio (19,53 mg/L de NO_3) e julho/2011 (17,1 mg/L de NO_3). Entretanto, comparando esses valores aos limites máximos permitidos em água potável (44,3 mg/L de N), previstos na Portaria 2914 (BRASIL, 2011), observa-se que os mesmos são inferiores à metade desses limites legalmente estabelecidos.

Conforme análise feita no item 7.2.4, o PC09 trata-se de um poço que apresenta águas com circulação profunda no sistema aquífero local. Sendo assim, os picos de valores de nitrato determinados nos meses de janeiro, maio e julho devem corresponder a aplicações de fertilizantes (que contêm nitrato em sua composição) efetuadas provavelmente há mais de 100 dias antes do registro desses dois picos. Tal análise leva em consideração o tempo de residência da água subterrânea nessa porção do sistema aquífero, estimado anteriormente em aproximadamente 120 dias.

Por fim, deve-se ressaltar o pico (máximo) de nitrato registrado no poço PC01 (20 mg/L), em março/2011. Caso esse valor esteja correto, o mesmo é considerado relativamente alto para área que não possui lavoura, haja vista que representa aproximadamente 45% do VMP de nitrato em água potável. Assumindo-o como verdadeiro, o mesmo poderá servir como uma referência para área, quando se quiser avaliar possíveis contaminações de nitrato na água subterrânea dos poços situados nas imediações do poço PC01. Entretanto, é importante salientar que se trata de um dado isolado, não suficiente para se tirar conclusões confiáveis, as quais necessitariam de um período maior de monitoramento.

CLORETO: A Figura 7.36 apresenta a variação temporal dos valores de cloreto, nos pontos de monitoramento de água subterrânea no CNPMS.



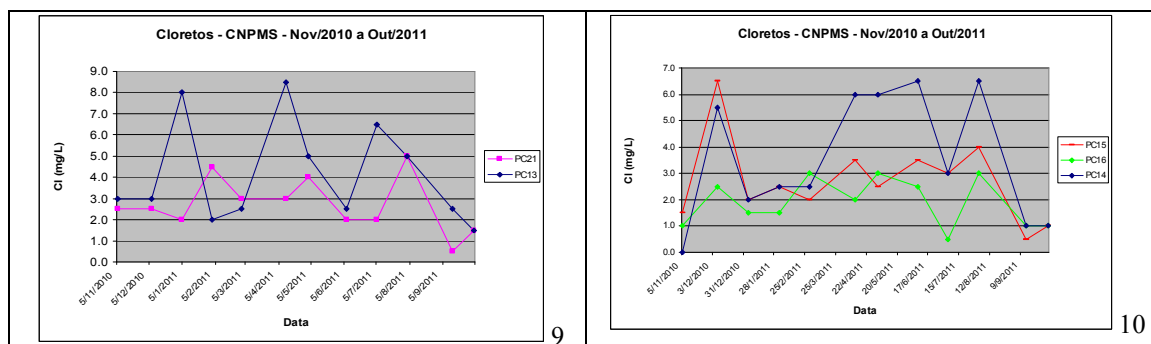


Figura 7-36 - Gráficos temporais de cloretos nos 29 pontos de coleta

O cloreto, em geral, é muito solúvel e estável em solução, logo, dificilmente precipita, não oxida e nem se reduz em águas naturais. A alta solubilidade do cloreto e o lento movimento das águas no aquífero vão provocando aumentos gradativos e constantes dos teores de cloretos nas águas subterrâneas na direção do fluxo (SANTOS, 2008).

O Gráfico 1, da Figura 7.36, apresenta as curvas de concentração de cloretos para os poços PC08 e PC09, ambos situados em zona de descarga, conforme modelo hidrogeológico de Machado (2011). Tais curvas não são muito semelhantes, mas apresentam uma mesma tendência de comportamento, com alternâncias entre picos de máxima e mínima, possivelmente causados pela sazonalidade, que mostra alternâncias entre o período seco (abril a setembro de 2011) e úmido (outubro/2010 a março/2011).

Analisando o Gráfico 2, da Figura 7.36, nota-se um comportamento semelhante entre as curvas de concentração de cloreto do poço TUBE01 e da surgência SURG01, que se encontram separados por apenas 115 metros de distância, como mostra o mapa da Figura 7.9. Em ambos os poços, as amostras dos meses de fevereiro e julho de 2011 apresentaram um aumento na concentração do íon cloreto, com maior destaque para o pico apresentado pelo SURG01, em fevereiro, e pelo TUBE01, em julho, que atingiram concentrações da ordem de 6 mg/L. O comportamento “sobe e desce” das curvas de concentração de cloretos desses dois pontos parece demonstrar que as águas dos aquíferos por eles captados sofrem influência de processos de evapotranspiração.

O Gráfico 3, da Figura 7.36, mostra um comportamento bastante similar entre as curvas de concentração de cloretos dos poços TUBE02 e TUBE04, bem como das cisternas CIST01 e CIST03. Esse comportamento sugere que esses pontos captam água de uma mesma zona do sistema aquífero existente na área do CNPMS. Neste caso, trata-se de uma zona de descarga, que apresenta águas de circulação profunda e com elevado tempo de trânsito, que transitaram tanto pelo aquífero cárstico como pelo aquífero poroso de cobertura. Entretanto, chama a

atenção o comportamento da cisterna CIST01, que está mais afastada dos demais pontos e não se encontra em uma zona de descarga. Já a curva do poço PC08, mencionada em tópicos anteriores, não apresenta traçado semelhante aos desses pontos, ao contrário do que se esperava, pois o mesmo também está situado na mesma zona de descarga do sistema aquífero.

O Gráfico 4, da Figura 7.36, mostra que apesar da proximidade geográfica entre os poços PC10 e PC11 (20 metros de distância), os comportamentos temporais das concentrações de cloretos nos mesmos não são semelhantes, apesar de apresentarem medianas idênticas (3 mg/L).

Por sua vez, um comportamento bem parecido é apresentado entre as curvas temporais de Cl (mg/L) dos poços PC12, TUBE04 e a cisterna CIST03 (Gráfico 5, Figura 7.36). Como enfatizado na análise do parâmetro pH, esses poços, apesar de não estarem situados em um mesmo zoneamento de circulação da água subterrânea e, tampouco, localizados geograficamente próximos, é possível que exista alguma conexão hidráulica (não evidente no modelo hidrogeológico de Machado, 2011) entre os trechos do sistema aquífero captados pelos mesmos.

Uma semelhança muito evidente é verificada entre as curvas apresentadas no gráfico 7 (Figura 7.36), que retratam o comportamento das concentrações de cloreto nos poços PC02, PC03 e PC05. Tal similaridade se deve, provavelmente, ao fato desses poços drenarem águas de zonas de circulação da água subterrânea situadas na porção superior do sistema aquífero, que é influenciado diretamente pela recarga local. Além disso, a despeito do “sobe e desce” verificado nos traçados das curvas dos gráficos, acredita-se que os aquíferos que fornecem água para esses poços sofram influência de processos de evapotranspiração.

A partir da interpretação dos Gráficos 8, 9 e 10, da Figura 7.36, que representam o comportamento temporal do íon cloreto, verifica-se que os poços PC01, PC04 e PC06 seguem uma mesma tendência de comportamento. Por outro lado, os poços PC13 e PC21 se comportam de maneira semelhante e, por fim, os poços PC14, PC15 e PC16 também apresentam curvas similares. Entretanto, acredita-se que nesses três “grupos”, a concentração de cloreto seja influenciada pela questão climática e, provavelmente, tais poços sofram influências dos processos de evapotranspiração, inferidas a partir da alternância entre valores altos e baixos de Cl (mg/L).

BÁRIO:

A Figura 7.37 apresenta a variação temporal dos valores de Bário, nos pontos de monitoramento de água subterrânea no CNPMS.

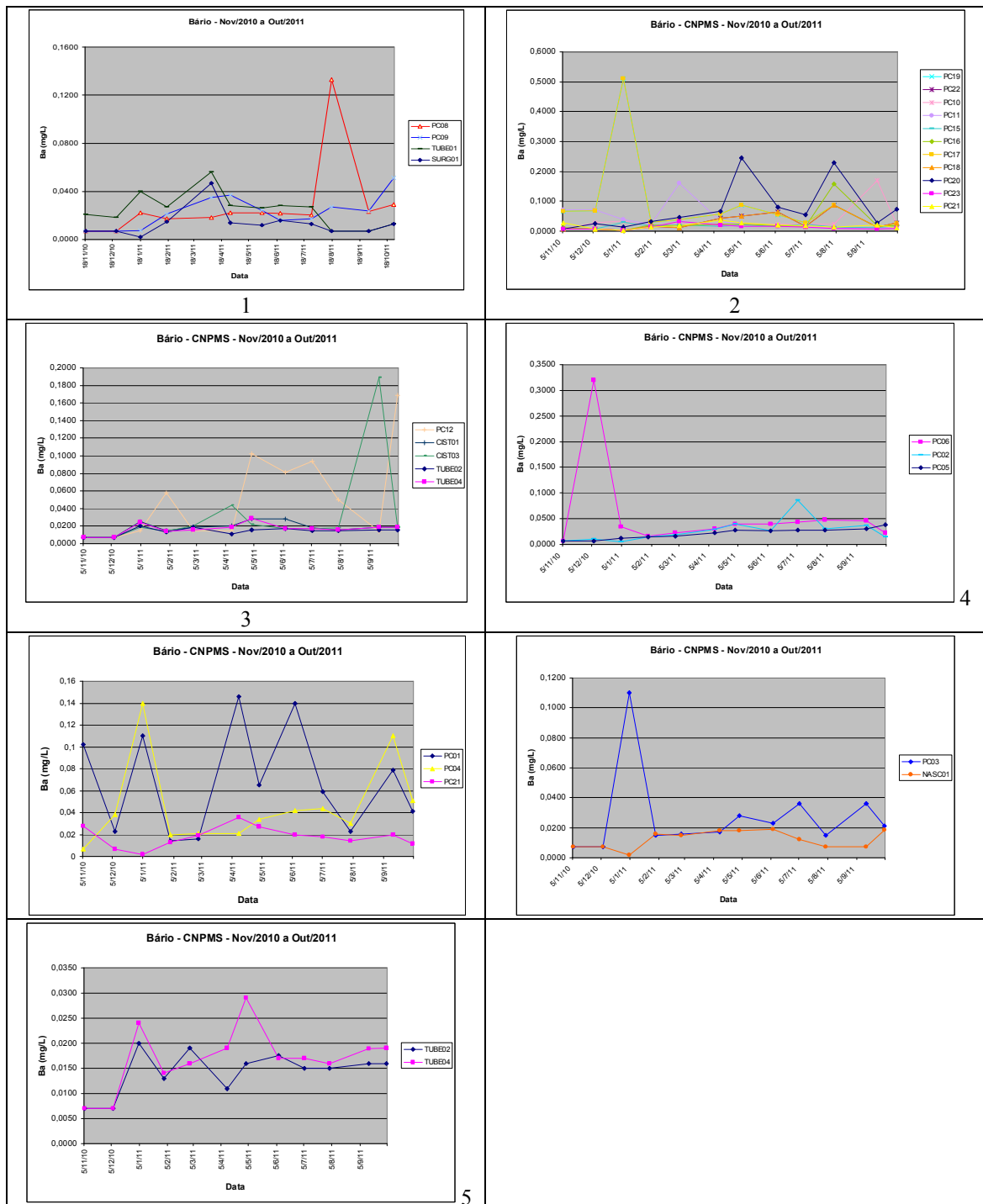


Figura 7-37 - Gráficos temporais de Bário nos 29 pontos de coleta

O Gráfico 1, da Figura 7.37, mostra um comportamento parecido entre as curvas dos poços PC08, PC09, TUBE01 e a surgência SURG01, todos eles situados em zona de descarga, conforme Machado (2011). Cabe destacar, entretanto, que o poço PC08 apresentou um pico (máximo) na amostra coletada no mês de agosto de 2011. Calculando-se o índice de saturação dessa amostra para a barita ($BaSO_4$), o mesmo foi menor que zero, indicando que há uma tendência a dissolução desse mineral, não havendo predisposição à sua precipitação.

Os pontos PC09, TUBE01 e SURG01 apresentaram pequenos picos de elevação nas amostras do mês de março/2011. A causa desses picos foi, possivelmente, decorrente do evento de chuva ocorrido no dia 13/03/2011, visto que as amostras desses poços foram coletadas nos dias 15/03 e 6/4/2011. Além disso, pode-se inferir que o elemento Bário tenha sido lixiviado da parte superior do solo.

No Gráfico 2 (Figura 7.37) verificou-se um comportamento semelhante entre as curvas dos poços PC10, PC11, PC15, PC16, PV17, PC18, PC19, PC20, P21, PC22 e PC23. Visto que tais poços situam-se em distintas localizações geográficas dentro da área do CNPMS e estão inseridos em diferentes grupos de *cluster* (Capítulo 7, item 7.2.4), é provável que o comportamento similar seja controlado pela sazonalidade climática.

O Gráfico 3 (Figura 7.37) mostra comportamento semelhante entre as curvas dos pontos CIST01, TUBE02 e TUBE04. No entanto, os pontos PC12 e CIST03 apresentam uma mesma tendência de concentração em Bário. O maior pico registrado ocorreu na amostra coletada em set/2011, no CIST03 (0,19 mg/L). Apesar de ser a maior concentração obtida nesses pontos, a mesma apresentou um índice de saturação menor que zero, indicando insaturação em barita e uma tendência em não precipitação (ou dissolução) desse mineral.

No Gráfico 4 (Figura 7.37), as curvas dos poços PC02, PC05 e PC06 se comportam de maneira similar. Cabe salientar, entretanto, que o pico (máximo) ocorrido na amostra de dez/2010 do PC06 também mostra insaturação (tendência à dissolução) em relação ao mineral barita ($IS < 0$).

No Gráfico 5 (Figura 7.37), por sua vez, verifica-se que as curvas dos poços PC01, PC04 e PC21 apresentaram alternância entre picos de valores máximos e mínimos. Pensou-se, inicialmente, que tal comportamento pudesse ter sido causado por eventos de dissolução e

precipitação de barita. Entretanto, mesmo o pico de concentração máxima apresentou $IS < 0$, indicando predisposição à solubilização (ou não precipitação) em $BaSO_4$.

O Gráfico 6, da Figura 7.37, mostra que as curvas de concentração de Bário nos pontos PC03 e NASC01 se comportam de maneira parecida. O pico verificado na amostra de jan/2011 do PC03 apresenta um $IS < 0$, indicando que a barita está insaturada.

No que se refere ao comportamento temporal das concentrações de Bário, destaca-se, por fim, que os poços TUBE02 e TUBE04 apresentaram uma semelhança razoável, como mostra o Gráfico 7 (Figura 7.37). No entanto, o maior valor apresentado nas amostras desses dois poços (0,03 mg/L) também não é suficiente para precipitar a barita, visto que o IS desse mineral é menor que zero.

No gráfico da Figura 7.38, a seguir, bem como nos outros gráficos apresentados anteriormente, observa-se que na amostra coletada no mês de janeiro/2011, no poço PC17, houve um aumento nas concentrações de Bário, sulfato e ferro e uma redução no valor de pH. Acredita-se que o aumento na concentração de Bário seja decorrente da lixiviação desse elemento, a partir de camadas mais superficiais do solo. Quanto ao aumento de sulfato e queda de pH, assume-se que tais eventos tenham ocorrido em função da oxidação de pirita, que deve existir nas imediações desse poço.

Como será mostrado no item 7.2.6, a única amostra neste estudo que apresentou $IS(\text{barita}) > 0$ foi a coletada no mês de janeiro de 2011, no poço PC17. Neste caso específico, é possível que essa predisposição à precipitação apresentada por essa amostra tenha ocorrido devido ao “efeito do íon comum”, inerente ao ânion sulfato. Assim, como destaca Davis (1961 *apud* HEM, 1985), a maior abundância natural de sulfato em sistemas de solução aquosa tende a fazer com que haja uma diminuição na solubilidade dos sulfatos de Bário e Estrôncio.

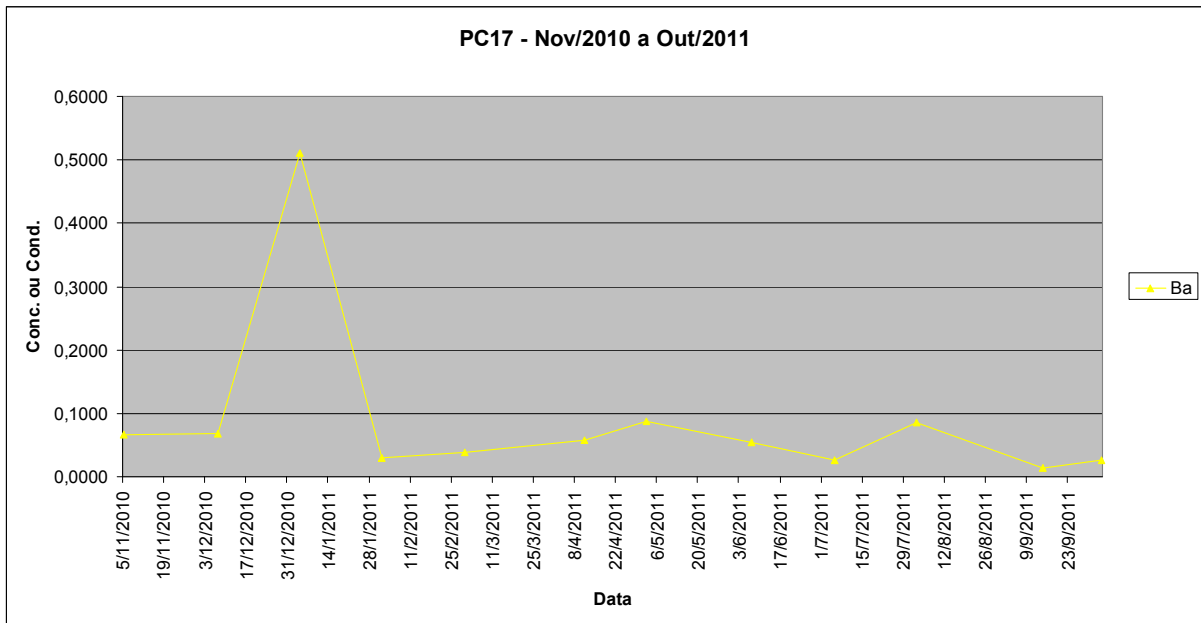
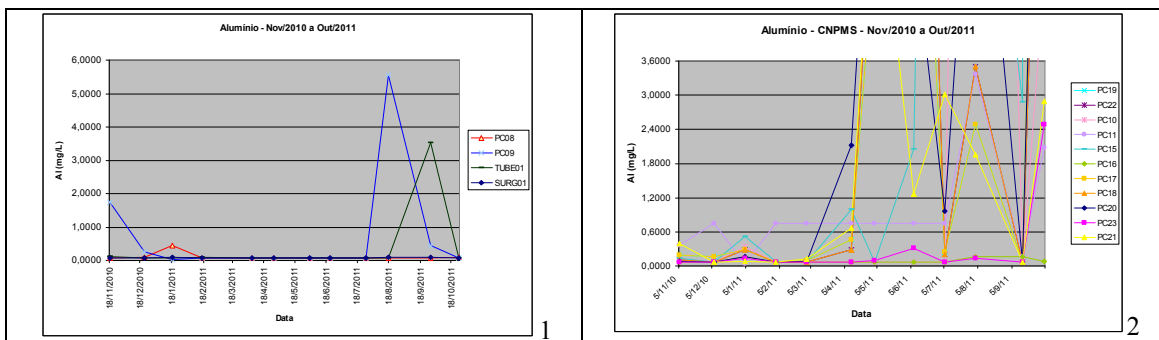


Figura 7-38 - Gráficos temporais de Bário no ponto PC17

ALUMÍNIO:

Os gráficos da Figura 7.39, a seguir, apresentam as curvas de concentração do alumínio, ao longo do período de Nov/2010 a Out/2011. De uma maneira geral, verifica-se que os picos de máximos de valores de alumínio ocorrem no período seco, entre os meses de abril e setembro de 2011. Entretanto, cabe ressaltar que os dados relativos ao teor de alumínio apresentaram um grande número de *outliers*. Caso não sejam decorrentes de erros, é possível que tenham sido produzidos em função da atuação dos processos de evapotranspiração.



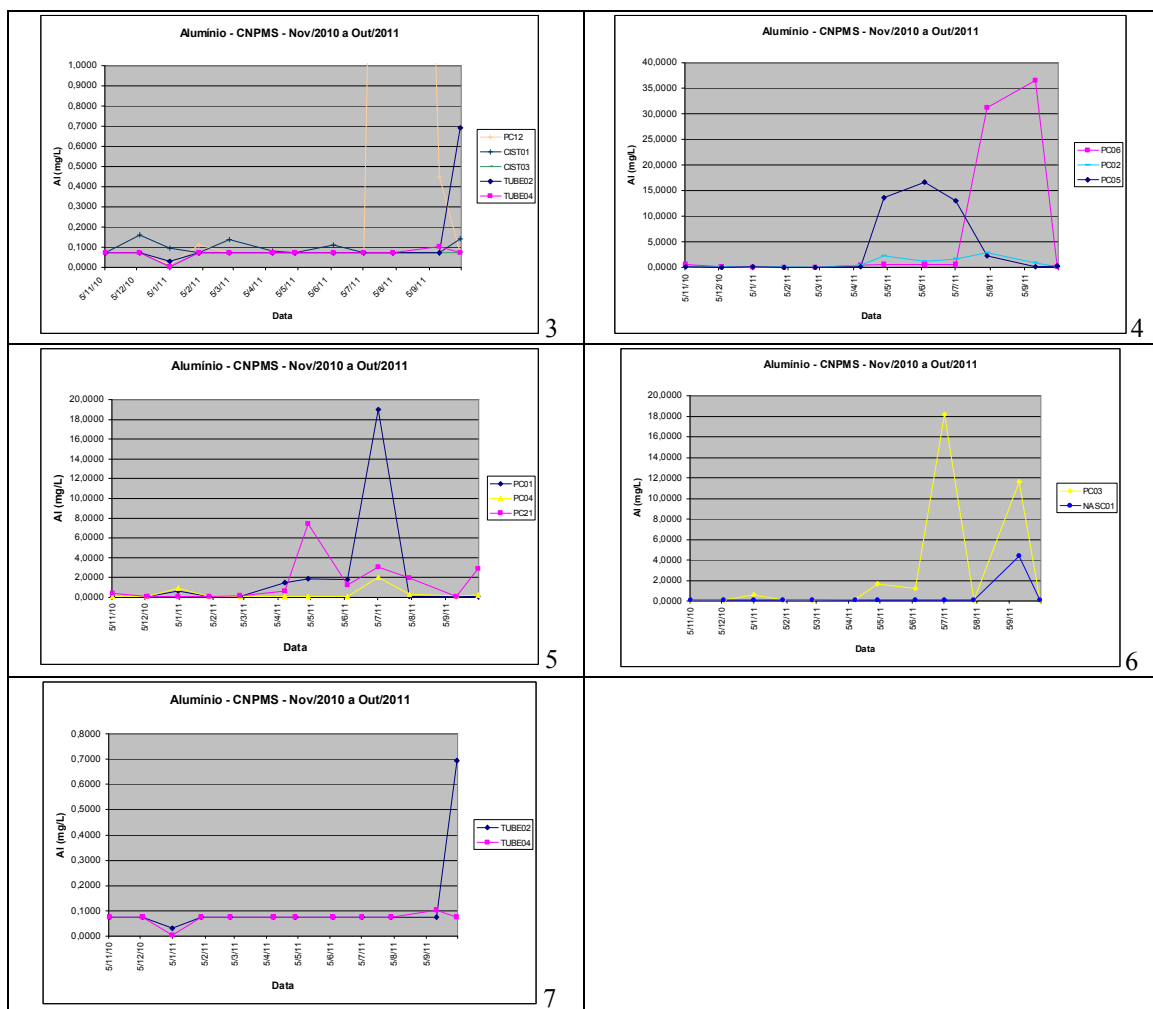


Figura 7-39 - Gráficos temporais de alumínio nos 29 pontos de coleta
POTÁSSIO:

Como destacam Custodio e Llamas (1983), o Potássio pertence ao mesmo grupo de metais alcalinos do sódio, mas nem por isso seus comportamentos no processo de solubilidade são parecidos. Ele ocorre em pequenas quantidades nas águas subterrâneas e, geralmente, suas concentrações são da ordem de um décimo da quantidade de sódio. Esse baixo valor é explicado pela fixação irreversível que o íon potássico sofre pelas argilas, as quais ficam na água em estado coloidal, e por sua participação intensa nos processos de troca iônica.

O potássio é oriundo da decomposição do ortoclásio e de outros silicatos (micas, argilas etc), da dissolução de sais potássicos naturais (Silvinita, Carnalita), em pequenas quantidades da água de chuva, ou ainda da contaminação industrial, minerária e agrícola.

De acordo com Santos (2008), nas águas meteóricas, os teores de potássio estão geralmente no intervalo de 0,1 a 4mg/L, enquanto que nas águas subterrâneas são inferiores a 10 mg/L, sendo mais frequentes valores entre 1 e 5 mg/L.

O Gráfico da Figura 7.40, a seguir, mostra as curvas temporais de concentração de Potássio (K) referente a todos os pontos monitorados (com exceção do PC07). De uma maneira geral, percebe-se que foram diagnosticadas baixas concentrações do íon K^+ em todos os 29 pontos, ao longo de quase todo o período analisado. Alguns picos esporádicos são notados, porém chama a atenção o aumento na concentração desse cátion no mês de outubro de 2011, nas amostras de quase todos os pontos estudados. As únicas causas encontradas para explicar esse evento são, ou uma possível intensificação na utilização de fertilizantes “NPK” nas lavouras do CNPMS nesse mês ou um erro sistemático no processo das análises laboratoriais.

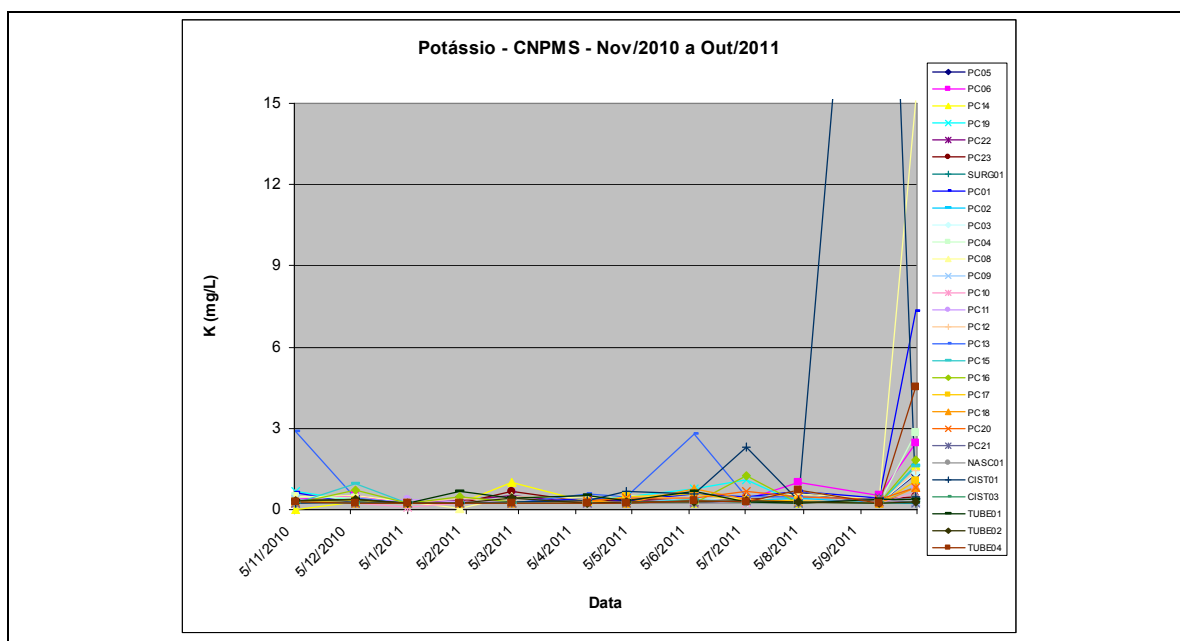


Figura 7-40 – Gráfico com comportamento temporal de Potássio nos 29 pontos de coleta

SÓDIO:

Analisando as curvas do Gráfico da Figura 7.41, percebe-se que nas águas do sistema aquífero existente na área do CNPMS há uma tendência para valores de sódio (Na^+) inferiores a 1,46 mg/L, valor referente ao limite de detecção do método utilizado para analisar esse parâmetro. Entretanto, alguns pequenos picos (máximos) de valores foram percebidos nos meses de junho (principalmente), agosto e outubro de 2011. Destacam-se os valores anômalos registrados na maioria das amostras coletadas no poço PC06, os quais são atribuídas, possivelmente, a resíduos de Bentonita utilizada na perfuração desse poço. A propósito, vale ressaltar que somente utilizou-se esse argilomineral nas perfurações dos poços PC06 e PC07.

De acordo com Santos (2008), em geral, há um aumento gradativo dos teores de sódio das águas subterrâneas a partir da zona de recarga do aquífero em direção às suas porções mais confinadas ou dos seus exutórios. Considerando as limitações dos resultados obtidos, que, em sua maioria foram inferiores ao limite de detecção do método de análise, não foi possível verificar esse comportamento nas águas subterrâneas do sistema aquífero existente no CNPMS.

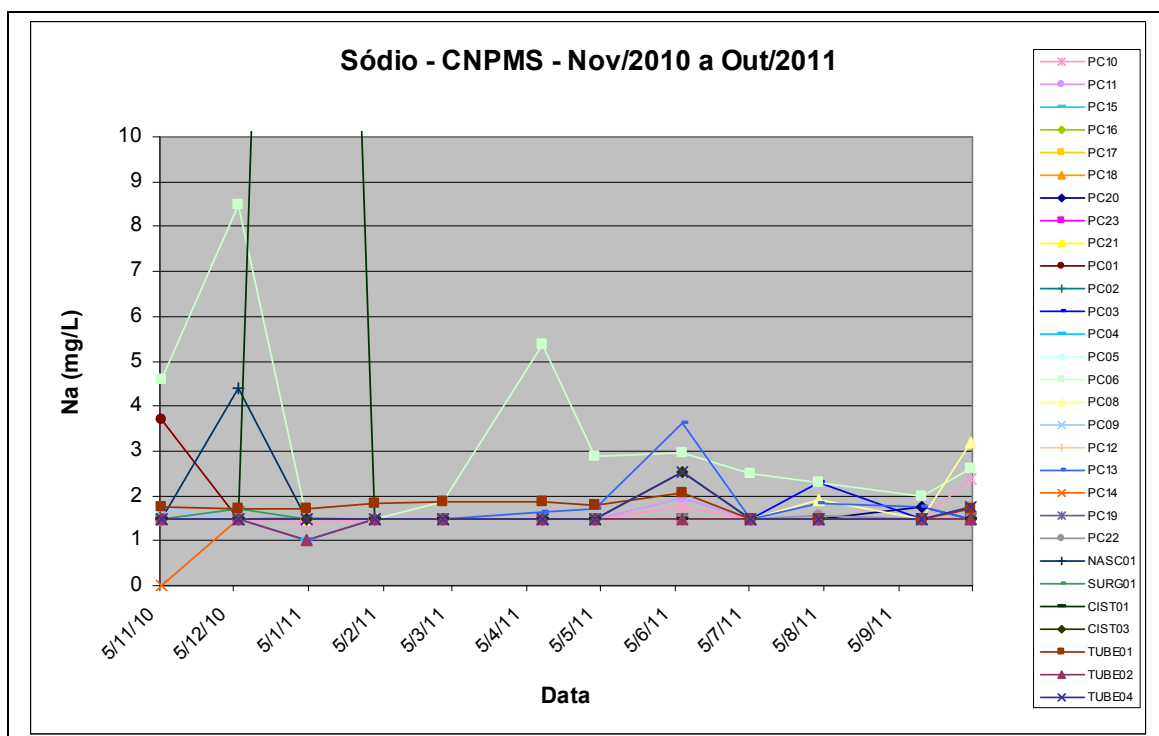


Figura 7-41 – Gráfico com comportamento temporal de sódio nos 29 pontos de coleta

7.2.6 Índices de Saturação dos minerais existentes no solo e subsolo do CNPMS

Como já mencionado no capítulo Referencial Teórico, a água subterrânea reage com rochas e minerais no aquífero e a extensão da reação depende da atividade química da solução, do quimismo dos minerais presentes no aquífero e do tempo de interação entre as duas fases. O estado de equilíbrio da água com a fase mineral pode ser calculado pelo Índice de Saturação (SI), utilizando os resultados analíticos. O Índice de Saturação é definido como o logaritmo da razão entre a atividade dos íons dissolvidos e a constante de equilíbrio, em uma temperatura de 25°C, tal que:

$$IS = \log Q/K \quad (7.4)$$

Na qual: Q é o produto da atividade dos íons dissolvidos e K é a constante de equilíbrio.

A Supersaturação ($IS > 0$) indica que existe tendência à precipitação da fase mineral considerada. $IS = 0$ condiz com o potencial em equilíbrio (ou saturado), isto é, as condições são metaestáveis e não prevalece dissolução ou precipitação. A Subsaturação ($IS < 0$) significa que as condições são favoráveis à dissolução da fase mineral considerada (RAMAGE, 2005).

Este presente item, apresenta, primeiramente, as análises feitas sobre os valores medianos dos índices de saturação de alguns minerais, que, de acordo com os resultados das análises químicas e mineralógicas das amostras de solo (Vide Capítulo 7.1), devem estar presentes na área estudada. Em um segundo momento, serão apresentados e analisados alguns diagramas de estabilidade de aluminossilicatos.

A Tabela 7.22, a seguir, apresenta os valores das medianas dos Índices de Saturação (SI) dos principais minerais identificados nos solos e rochas existentes na área do CNPMS, seja nas análises dos difratogramas realizadas neste presente estudo ou em trabalhos anteriores. Os IS apresentados nessa tabela estão distribuídos de acordo com os grupos de *cluster*, definidos no item 7.2.4. Além disso, de forma complementar, são descritas, nesta tabela, informações sobre o aquífero amostrado, a zona de circulação e o tempo de trânsito da água subterrânea no sistema aquífero, além da profundidade da entrada d'água em cada um dos pontos constituintes dos grupos de *cluster*.

Tabela 7.22 – Valores das medianas dos Índices de Saturação (IS) nas águas subterrâneas, com relação aos principais minerais identificados nos solos e rochas existentes na área do CNPMS

Grupo cluster análise FQ água	Pontos de amostragem	Medianas		Índices de Saturação – IS (Medianas)*										Aquífero amostrado	Zona de circulação da água no aquífero	Entrada D'água Poço	Tempo trânsito água aquífero
		Cond. Lab. (µS/cm)	pH Lab.	quartzo	SiO(a)	gibbistita	goethita	hematita	caulinita	muscovita	calcita	gesso	barita				
G1	PC02	8,7	5,6	-0,15	-1,42	2,55	3,15	8,31	5,43	7,13	-5,59	-4,64	-1,54	Cobertura Regolítica Porosa	Rasa	13 a 30m	Curto
	PC03	21,6	6,4	-0,31	-1,58	1,76	5,13	12,26	3,88	5,41	-3,83	-4,25	-1,89			10 a 25m	
	PC10	26,9	6,1	-0,32	-1,58	0,96	3,92	9,84	2,00	2,23	-3,66	-4,25	-1,81			4 a 9m	
	PC11	11,9	6,7	-0,36	-1,63	1,33	4,19	10,38	2,84	3,48	-4,26	-4,64	-1,79			4 a 9m	
	PC15	29,5	6,5	-0,31	-1,58	2,18	6,68	15,36	4,65	5,88	-130,5	-4,09	-1,95			3 a 6m	
	PC16	13,0	6,4	-0,52	-1,79	1,32	5,78	13,56	2,05	2,17	-4,28	-5,07	-2,05			8 a 15m	
	PC21	23,8	5,9	-0,26	-1,53	2,63	4,52	11,04	5,35	6,64	-4,60	-4,58	-1,83			9 a 20m	
G2	PC12	106,0	7,1	0,04	-1,24	0,93	6,75	15,51	2,48	2,53	-1,32	-3,92	-1,66	Cobertura Regolítica Porosa	Intermediária	12 a 25m	Intermediário
G3	PC01	40,0	6,4	0,08	-1,19	2,29	5,50	13,01	5,68	8,31	-2,96	-3,38	-1,04	Cobertura Regolítica Porosa	Intermediária	25 a 43m(rocha sã)	
	PC04	23,7	6,3	0,09	-1,19	1,27	4,42	10,84	3,60	5,02	-2,92	-4,12	-1,47			29 a 40m(rocha sã)	
	PC13	78,2	7,1	-0,09	-1,36	1,81	6,31	14,63	4,19	6,22	-1,77	-3,85	-2,25	Cobertura Regolítica Porosa	Intermediária	3 a 10m	Intermediário
	PC17	102,3	6,8	0,04	-1,23	2,19	7,43	16,87	3,96	6,08	-2,15	-2,81	-0,49			21 a 30m	
	PC18	46,1	6,7	-0,01	-1,28	2,21	6,74	15,49	5,32	8,31	-3,97	-4,24	-1,88			23 a 40m	
	PC20	114,8	6,9	-0,18	-1,45	1,32	5,95	13,90	2,53	3,25	-3,25	-4,08	-2,02			11 a 30m	
	NASC01	25,9	6,4	-0,09	-1,36	1,09	5,59	13,19	2,53	3,65	-2,89	-4,30	-2,22			1,3 a 1,8m	
G4	PC05	45,5	7,1	-0,28	-1,55	2,42	6,54	15,10	5,10	6,34	-3,99	-4,06	-1,89	Cobertura Regolítica Porosa	Intermediária	11 a 30m(rocha sã)	Intermediário
	PC06	46,0	6,7	-0,28	-1,55	2,06	6,54	15,10	5,10	6,34	-3,99	-4,06	-1,89			3 a 6m	
	PC14	66,0	6,9	-0,22	-1,49	1,59	6,50	15,02	3,29	6,50	-1,94	-3,70	-1,92			8 a 15m	
	PC19	45,3	6,3	-0,18	-1,45	2,32	4,78	11,57	4,35	5,75	-5,13	-4,08	-1,72			9 a 20m	
	PC22	42,6	6,7	-0,29	-1,55	1,93	5,95	13,90	3,50	4,82	-3,25	-3,85	-2,02			5 a 10m	
	PC23	74,9	7,1	-0,38	-1,65	1,28	7,24	16,47	2,42	2,48	-1,70	-4,02	-2,15			3 a 6m	
	SURG01	44,3	6,5	-0,23	-1,50	1,33	5,78	13,56	2,61	2,78	-2,42	-4,21	-2,65			0,4 a 0,6m	
G5	PC08	275,3	8,3	0,14	-1,14	-0,14	6,31	14,63	0,86	2,84	0,68	-3,56	-2,04	Cobertura Regolítica Porosa	Profunda	3 a 8m	Longo
	CIST01	203,3	8,2	-0,23	-1,50	1,33	5,78	13,56	2,61	2,78	-2,42	-4,21	-2,65			12 a 12,5m	
	CIST03	263,4	8,2	0,12	-1,15	-0,24	6,33	14,65	0,46	1,86	0,72	0,65	-3,75			8 a 8,5m	
G6	PC09	187,6	7,8	-0,77	-2,04	1,19	7,78	17,57	2,20	2,52	0,05	-3,48	-2,03	Cobertura Regolítica	Profunda	3 a 6m	Longo
G7	TUBE01	339,5	8,0	0,21	-1,06	0,34	6,29	14,59	1,57	3,25	0,35	-3,42	-1,77	Fissural-Cárstico	Profunda	aprox. entre 40 e 70m	Longo
	TUBE02	236,6	8,3	0,10	-1,18	-0,25	6,31	14,63	0,37	2,13	0,69	-3,61	-2,26			aprox. entre 40 e 70m	
	TUBE04	261,5	8,0	0,03	-1,25	-0,05	6,33	14,67	0,71	2,46	0,58	-3,71	-2,14			aprox. entre 40 e 70m	
G8	PC07	620,8	11,2	-1,56	-2,83	-1,63	5,49	12,99	-5,60	-2,03	-257,78	-3,53	-0,55		Profunda	38m	Longo

* Código de cores para interpretação dos valores de IS:

- 1) Preto: Subsaturado;
- 2) Azul: Equilíbrio;
- 3) Vermelho: Supersaturado.

Com base nos índices de saturação medianos apresentados na Tabela 7.22 (com exceção dos dados do PC07, que não foram considerados) pode-se dizer que, de modo geral, as águas do sistema aquífero existente na área do CNPMS são:

- **Supersaturadas** (com tendência à precipitação e não à dissolução) em **goethita, hematita, caulinita e muscovita (K-mica)** em todos os pontos amostrados, visto que 100% das medianas (dos índices de saturação) são maiores que zero ($IS > 0$);

- **Supersaturadas** (com tendência à precipitação e não à dissolução) em **gibbsita** em quase todos os pontos amostrados, com exceção dos pontos PC08, CIST03, TUBE02 e TUBE04.

Os pontos PC08, CIST03, TUBE02 e TUBE04, nos quais foram encontrados IS (gibbsita) < 0 (tendência à dissolução de gibbsita) e IS (calcita) > 0 (tendência à precipitação de calcita), encontram-se, coincidentemente, em zonas de descarga, de acordo com o modelo hidrogeológico desenvolvido por Machado (2011), onde circulam águas profundas, com longo tempo de residência (ou trânsito) e que estiveram em contato com os solos e rochas dos aquíferos “Poroso da Cobertura Regolítica” e “Fissural-Cárstico”. Diante da pouca mobilidade do alumínio, como destaca Hem (1985), acredita-se que o mesmo deve se precipitar em forma de óxidos/hidróxidos no contato dos aquíferos de Cobertura Regolítica Poroso e Fissural-Cárstico. Dessa forma, as águas que penetram no aquífero Fissural-Cárstico (mais profundo) encontram-se subsaturadas em gibbsita, porém com índices de saturação próximos à situação de equilíbrio ($IS = 0$);

- **Subsaturadas** (com tendência à dissolução e não à precipitação) em barita e gesso, visto que em quase 100% das amostras as medianas calculadas (dos índices de saturação) foram menores que zero ($IS < 0$). A única exceção encontrada refere-se à mediana do IS (gesso) encontrada para o ponto CIST03 (Cisterna próxima ao Restaurante), que foi maior que zero.

- **Subsaturadas** (com tendência à dissolução e não à precipitação) em calcita em quase todos os pontos amostrados, com exceção dos pontos PC08, CIST03, TUBE01, TUBE02 e TUBE04, nos quais as águas se encontram, normalmente, supersaturadas em calcita.

Entende-se que a supersaturação (mediana) em calcita encontrada nas águas amostradas nesses pontos é decorrente do tempo de contato entre as mesmas e a rocha calcária (aquífero profundo), que foi suficiente para ultrapassar o ponto de equilíbrio da saturação desse mineral,

que, como enfatiza Appelo e Postma (2005), possui uma alta solubilidade e reage (cinética química) rapidamente com a água.

- **Subsaturadas** (com tendência à dissolução e não à precipitação) em SiO₂ (a) (sílica amorfa), visto que em 100% das amostras as medianas calculadas (dos índices de saturação) foram menores que zero (IS<0);

- **Subsaturadas** (com tendência à dissolução e não à precipitação) em 65% das medianas de IS (quartzo);

- **Supersaturadas** (com tendência à precipitação e não à dissolução) em 21% das medianas de IS (quartzo): pontos PC01, PC04, PC08, CIST03, TUBE01 e TUBE02 e **Saturadas** (em equilíbrio) em 14% das medianas de IS (quartzo): pontos PC12, PC17, PC18 e TUBE04.

Os valores de IS (quartzo) vêm de encontro com as conclusões do estudo desenvolvido por Deines *et al.* (1974 *apud* HEM, 1985), na Pensilvânia (USA), que mostraram que águas de nascentes, onde o tempo de residência era curto (dias ou semanas), comumente eram insaturadas e aquelas em que o tempo de trânsito era da ordem de meses geralmente estavam próximas da saturação.

DIAGRAMAS DE ESTABILIDADE DE ALUMINOSSILICATOS

Os diagramas de estabilidade de aluminossilicatos, conforme descrição apresentada no Capítulo 5 - Referencial Teórico, são utilizados para verificar a estabilidade e estudar os fenômenos de dissolução e precipitação de minerais aluminossilicatos, partindo do princípio que todo o alumínio é preservado no mineral de alteração, conforme destaca Bertolo (2012).

O H₄SiO₄ permanece indissociável a valores de pH abaixo de 9 e a estabilidade da(s) fases de SiO₂ é determinada pelo produto de solubilidade da reação:



O quartzo tem cinética de reação extremamente lenta, porém soluções grosseiramente supersaturadas desse mineral são comuns. A precipitação lenta de quartzo permite a formação de formas menos estáveis de SiO₂(s) como o SiO₂-amorfo(s) (WILLIAMS *et al.*, 1985 *apud* APPELO e POSTMA, 2005). A fase mais solúvel é SiO₂ amorfa(s), que tem um produto de

solubilidade de cerca de $10^{-2,7}$ (25°C) e impõe a restrição superior para a concentração de sílica dissolvida.

A sílica provavelmente é lançada à água pelo intemperismo de silicatos; porém, como a precipitação de quartzo, aparentemente não consegue acompanhar o ritmo da liberação de sílica, a água se torna supersaturada.

As Figuras 7.42 a 7.50, a seguir, apresentam os diagramas de estabilidade de aluminossilicatos produzidos a partir das amostras coletadas na área do CNPMS, no período de novembro de 2010 a outubro de 2011. Salienta-se, entretanto, que foram lançados nos diagramas os valores medianos obtidos para cada ponto de amostragem e que somente foram utilizados os dados das amostras que captam água no aquífero de cobertura, no qual coexistem os minerais aluminossilicatos, hidróxidos de alumínio e quartzo. As análises feitas com base nos diagramas são apresentadas após os mesmos.

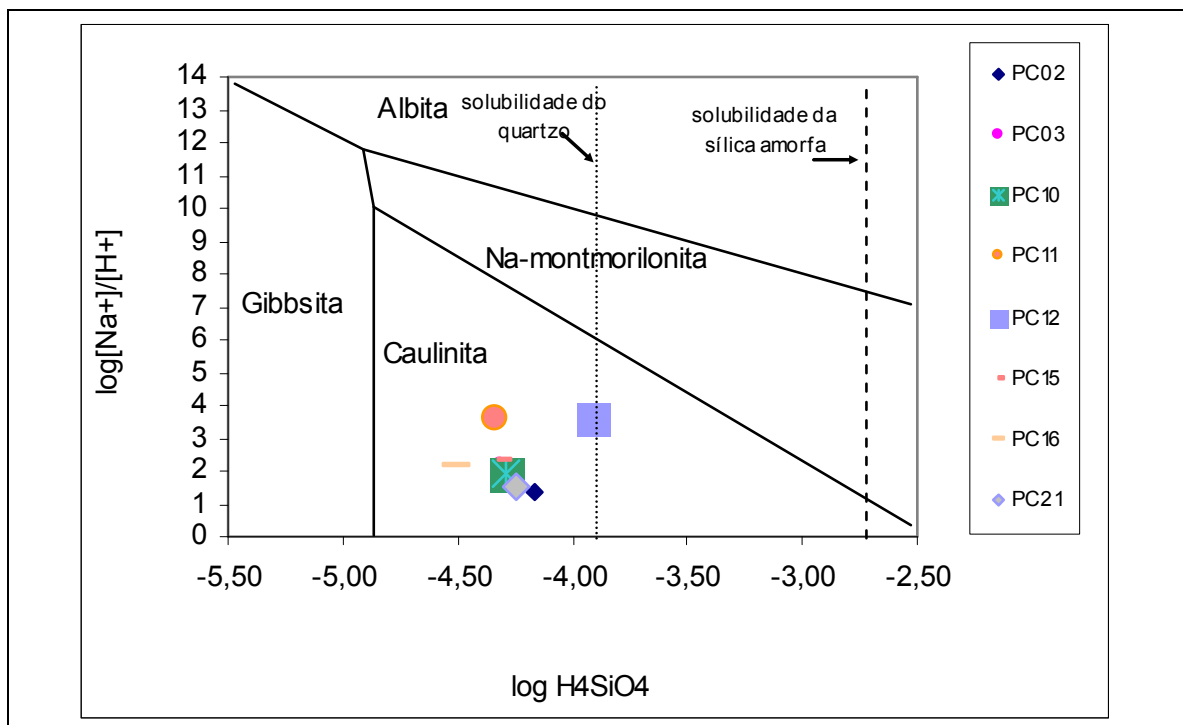


Figura 7-42 – Diagrama de estabilidade da albita e seus produtos de intemperismo, para os pontos do Grupo 1 e do ponto PC12 (Grupo 2)

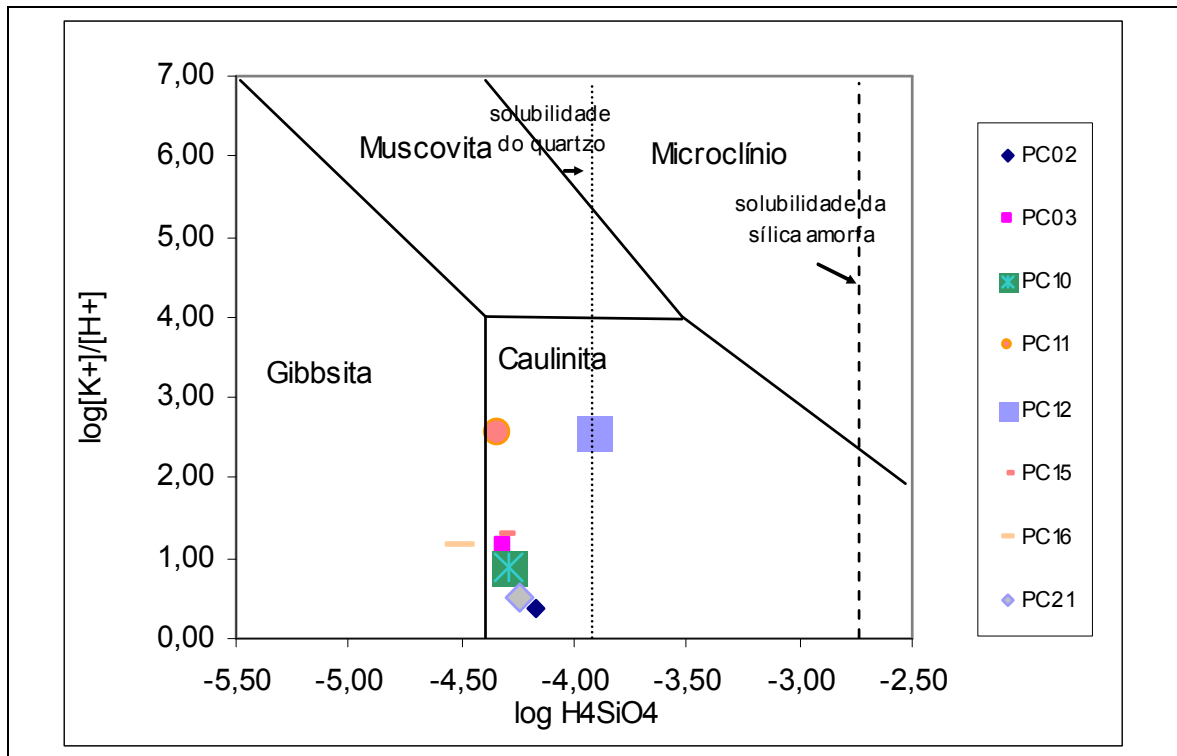


Figura 7-43 - Diagrama de estabilidade da muscovita e seus produtos de intemperismo, para os pontos do Grupo 1 e do ponto PC12 (Grupo 2)

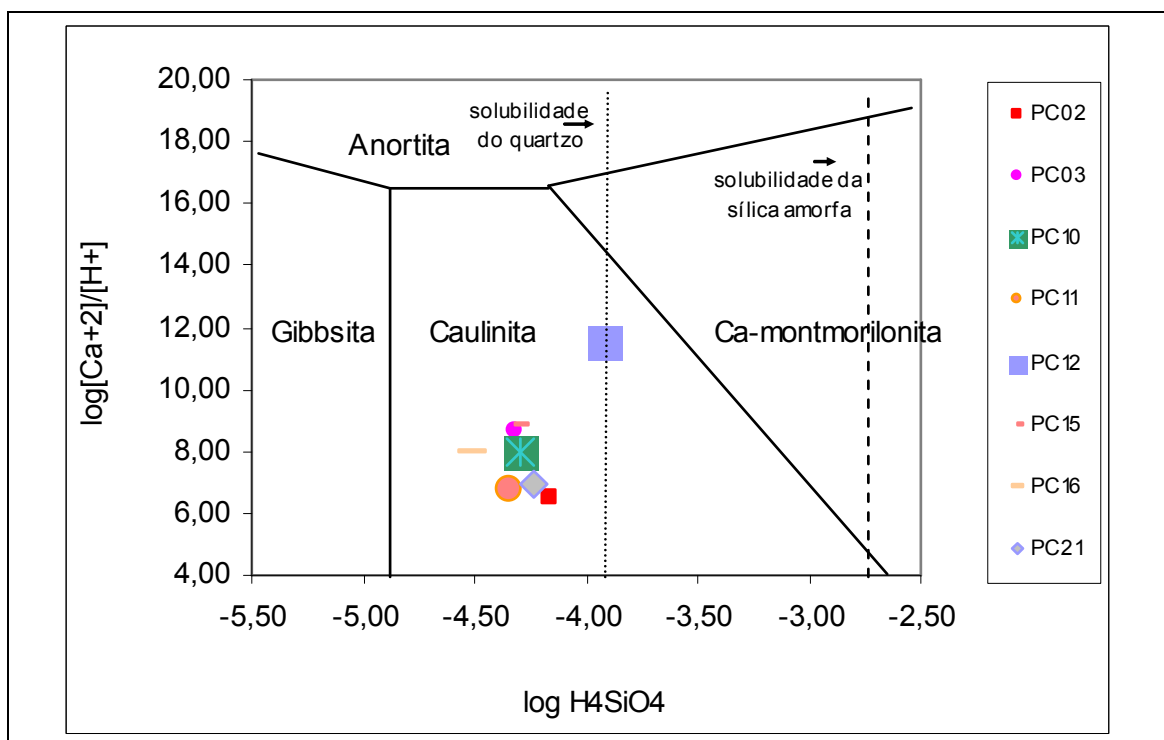


Figura 7-44 - Diagrama de estabilidade da anortita e seus produtos de intemperismo, para os pontos do Grupo 1 e do ponto PC12 (Grupo 2)

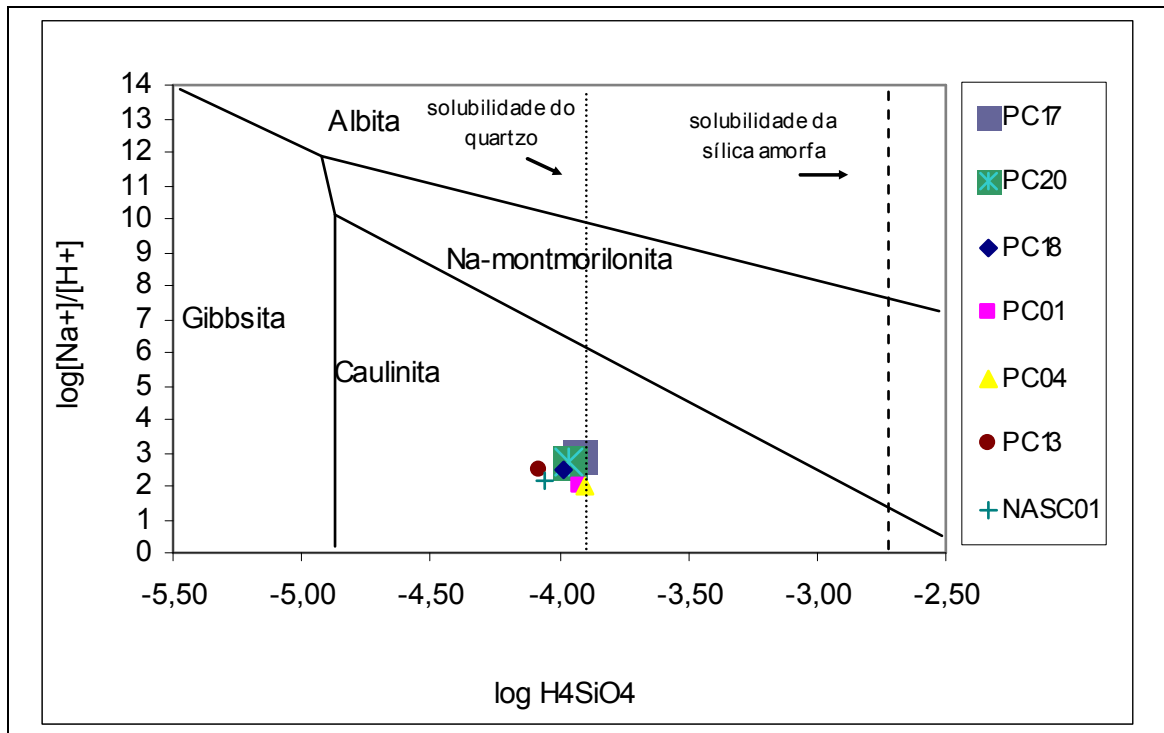


Figura 7-45 – Diagrama de estabilidade da albita e seus produtos de intemperismo, para os pontos do Grupo 3

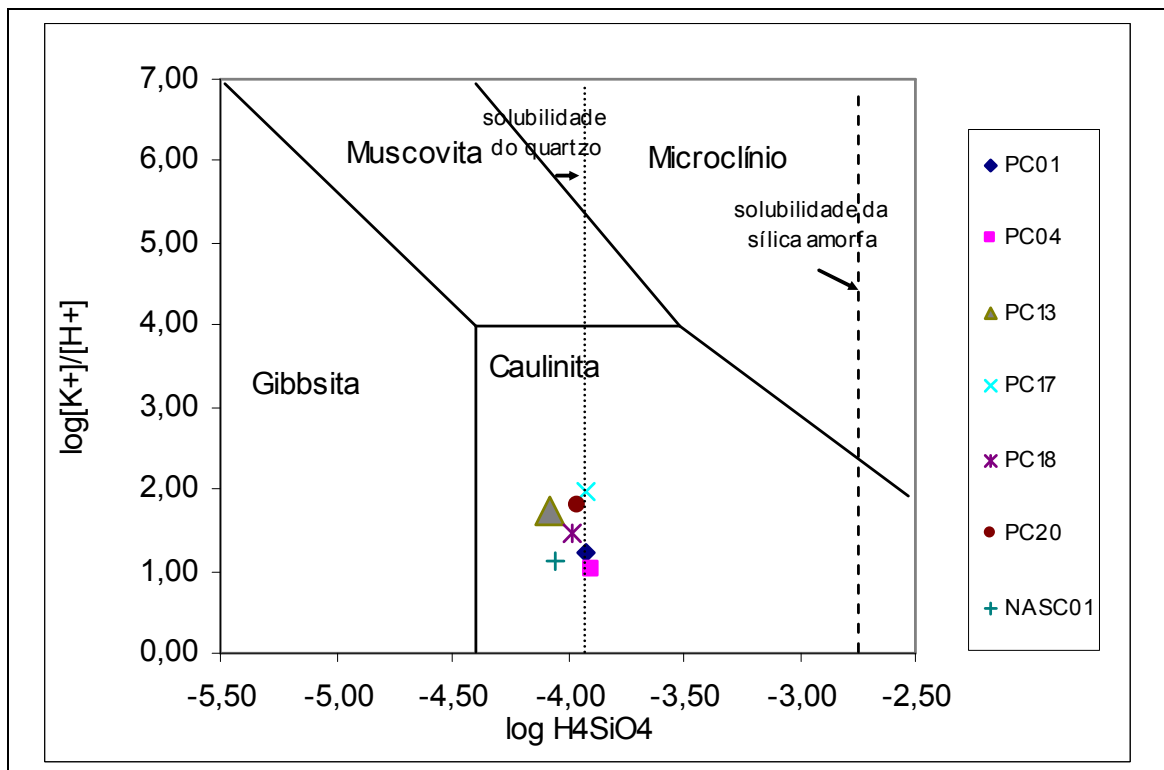


Figura 7-46 - Diagrama de estabilidade da muscovita e seus produtos de intemperismo, para os pontos do Grupo 3

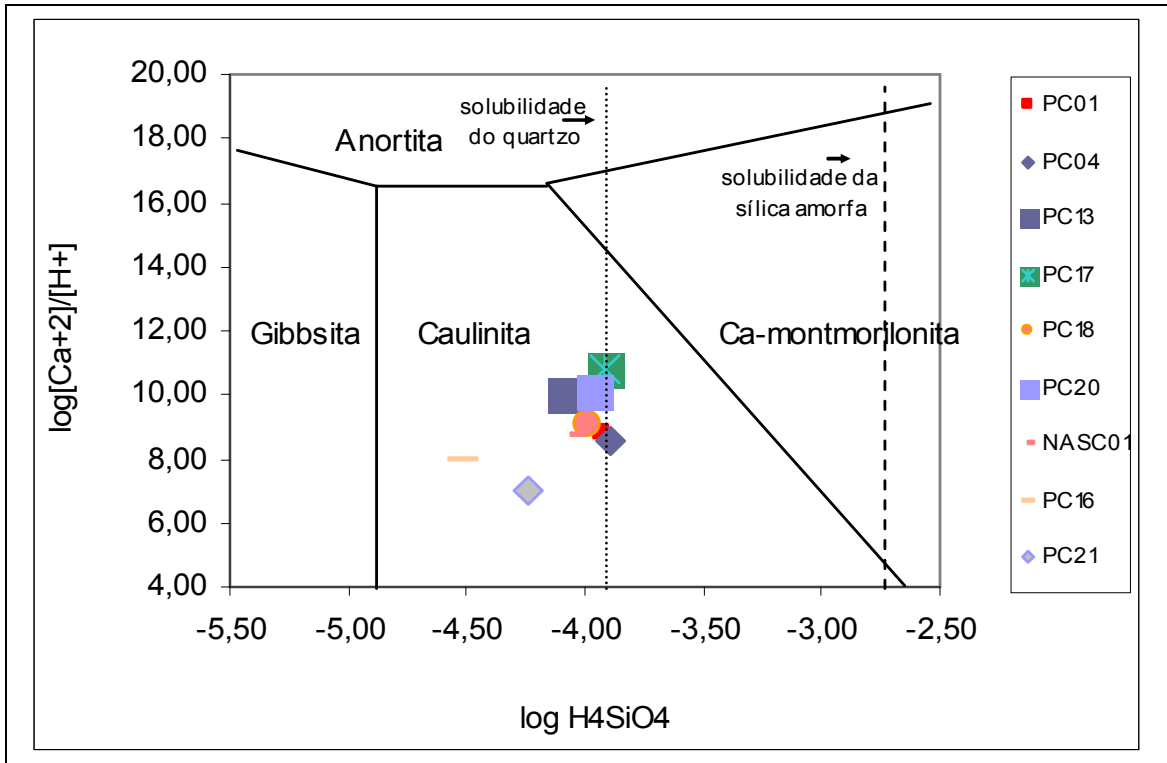


Figura 7-47 - Diagrama de estabilidade da anortita e seus produtos de intemperismo, para os pontos do Grupo 3

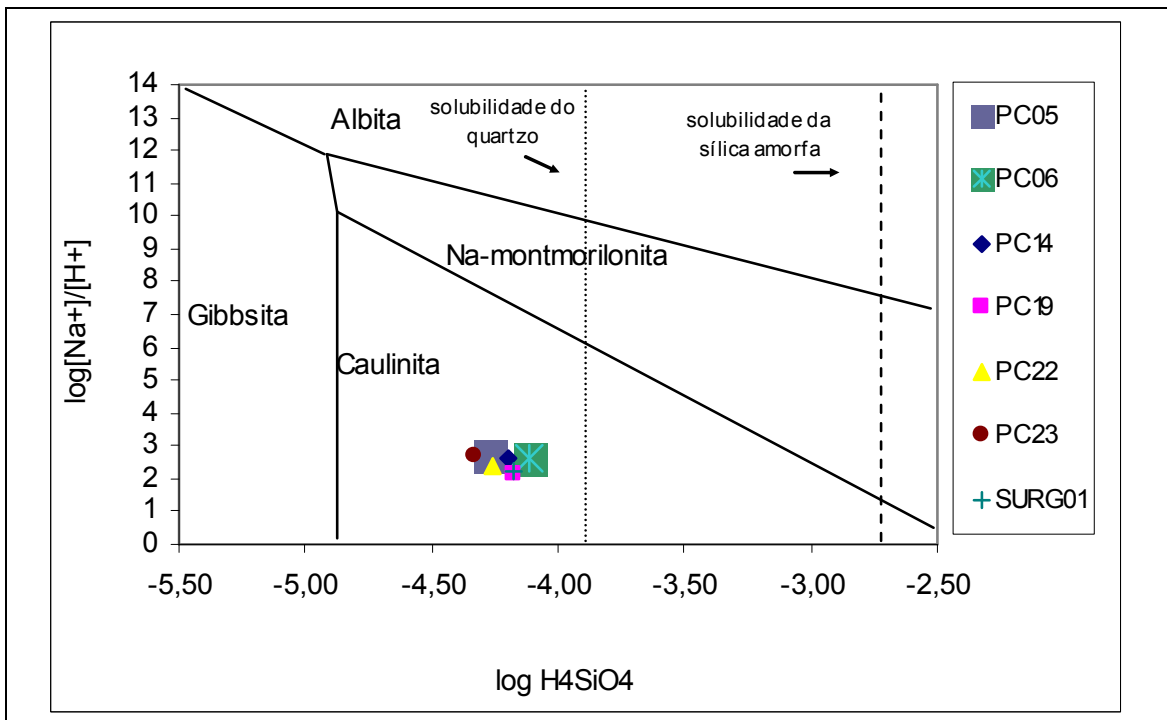


Figura 7-48 - Diagrama de estabilidade da albita e seus produtos de intemperismo, para os pontos do Grupo 4

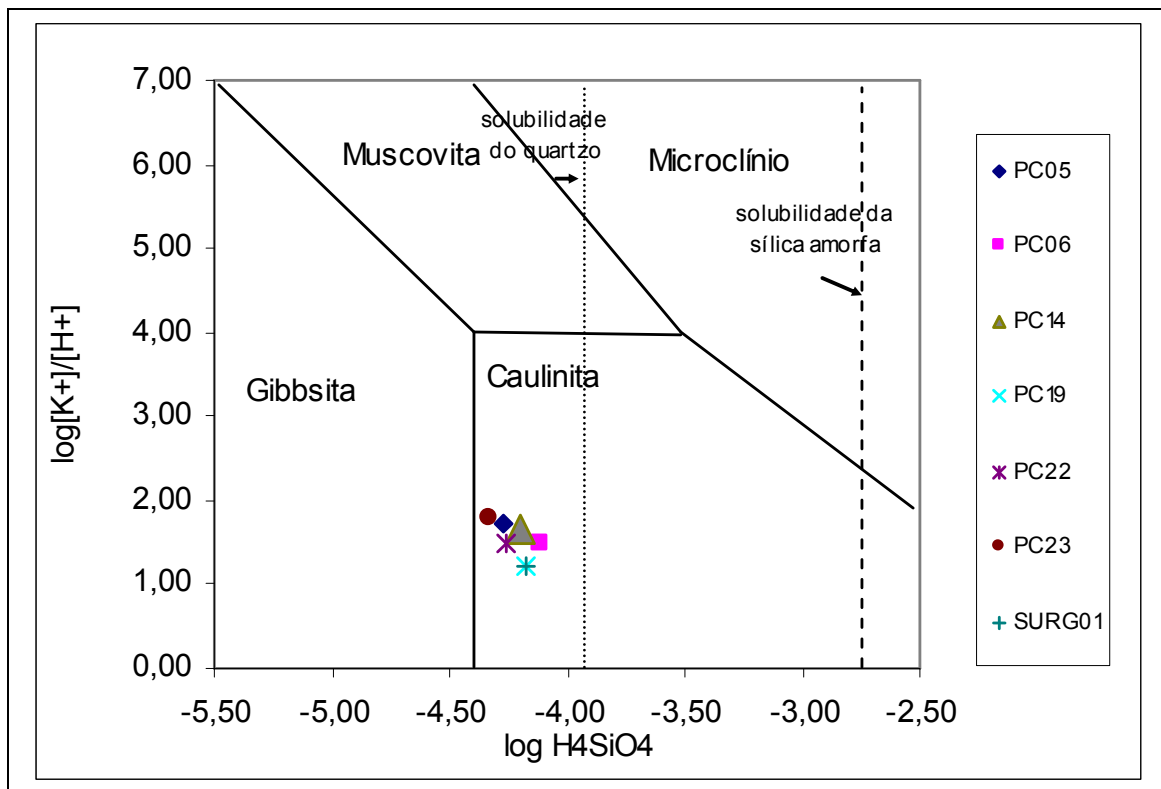


Figura 7-49 - Diagrama de estabilidade da muscovita e seus produtos de intemperismo, para os pontos do Grupo 4

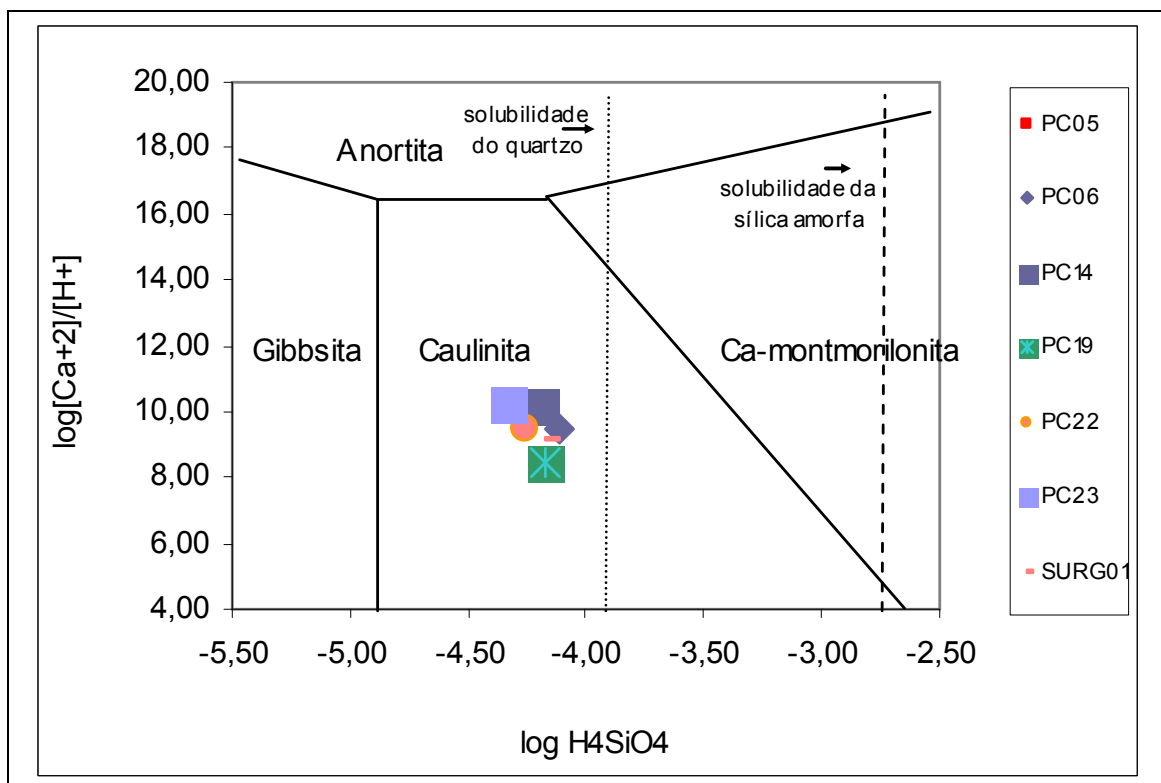


Figura 7-50 - Diagrama de estabilidade da anortita e seus produtos de intemperismo, para os pontos do Grupo 4

De acordo com os diagramas de estabilidade de aluminossilicatos apresentados nas Figuras 7.42 a 7.50, todos os grupos analisados apontam a caulinita como o mineral aluminossilicato provavelmente mais estável. Entretanto, uma exceção é encontrada nos dados do poço PC16 (Grupo 1), que apresentam uma concentração baixa de sílica solúvel e mostram que a gibbisita é o mineral mais estável.

7.2.7 Análise da variação sazonal dos índices de saturação dos minerais existentes no solo e subsolo do CNPMS

Como destacado no capítulo 5 deste trabalho, a geoquímica das águas subterrâneas, também referida como hidrogeoquímica, é uma ciência que relaciona a composição da água aos processos e reações no ambiente de subsuperfície. O enfoque principal da hidrogeoquímica é a compreensão da origem e evolução química dos constituintes presentes na água, em decorrência dos processos físico-químico-biogeoquímicos que acontecem durante o fluxo da água subterrânea nos aquíferos, desde a zona de recarga até os exutórios naturais. Em geral, a composição da água subterrânea é função do sistema solo/rocha através do qual ela percola e da interação entre água, minerais, gases e microorganismos (MESTRINHO, 2008).

Alguns minerais reagem rapidamente em contato com a água. Esse é particularmente o caso para os minerais mais “solúveis”, tais como o gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), halita (NaCl) e fluorita, assim como a maioria dos minerais de carbonatos; nestes casos, o equilíbrio será atingido dentro de um prazo que é curto em comparação com o tempo de residência das águas subterrâneas. Outros minerais, geralmente silicatos, reagem de forma tão lenta que o equilíbrio nunca é atingido a baixas temperaturas e, portanto, o tempo de reação deve ser considerado (APPELO e POSTMA, 2005).

Muitas vezes o equilíbrio não é atingido e, nestes casos, o estado de saturação apenas indica a direção em que os processos podem passar; para a subsaturação a dissolução é esperada e a supersaturação sugere a precipitação (APPELO e POSTMA, 2005).

Este presente item apresenta as interpretações feitas sobre o comportamento temporal dos índices de saturação (IS) de alguns minerais (ou compostos), que, de acordo com os resultados das análises químicas e mineralógicas das amostras de solo (Vide Capítulo 7.1), encontram-se presentes na área estudada, quais sejam: quartzo, sílica amorfa (SiO_2 a), gibbisita, goethita, hematita, caulinita, muscovita (K-mica), calcita, gesso e barita. Tais

interpretações, no entanto, foram elaboradas a partir de diversos perfis geológicos (com indicação do nível d'água) traçados nos setores Sul e Central da área do CNPMS, os quais contemplam todos os pontos monitorados ao longo deste estudo. A seguir estão listados os nomes desses perfis, cujas localizações podem ser visualizadas no mapa da Figura 7.51, bem como os códigos dos pontos que estão inseridos em cada um deles. Ao final da descrição de cada perfil é apresentado um desenho esquemático do mesmo, para melhor visualização do contexto hidrogeológico em se encontra.

Os seguintes perfis foram interpretados com relação aos índices de saturação:

- Perfil 1 (PC01-TUBE02): PC01, PC04, PC08 e TUBE02;
- Perfil 2 (PC01-PC09): PC01, PC03, PC14, PC09 e NASC-01;
- Perfil 3 (PC01-PC11): PC01, PC12, PC05, PC06, PC10 e PC11;
- Perfil 4 (PC12-TUBE04): PC12, CIST01, CIST03 e TUBE04;
- Perfil 5 (PC18 – PC21): PC18, SURG01, TUBE01, PC23, PC17, PC19, PC20, PC22 e PC21; e
- Perfil 6 (PC01-PC16): PC01, PC02, PC15 e PC16.

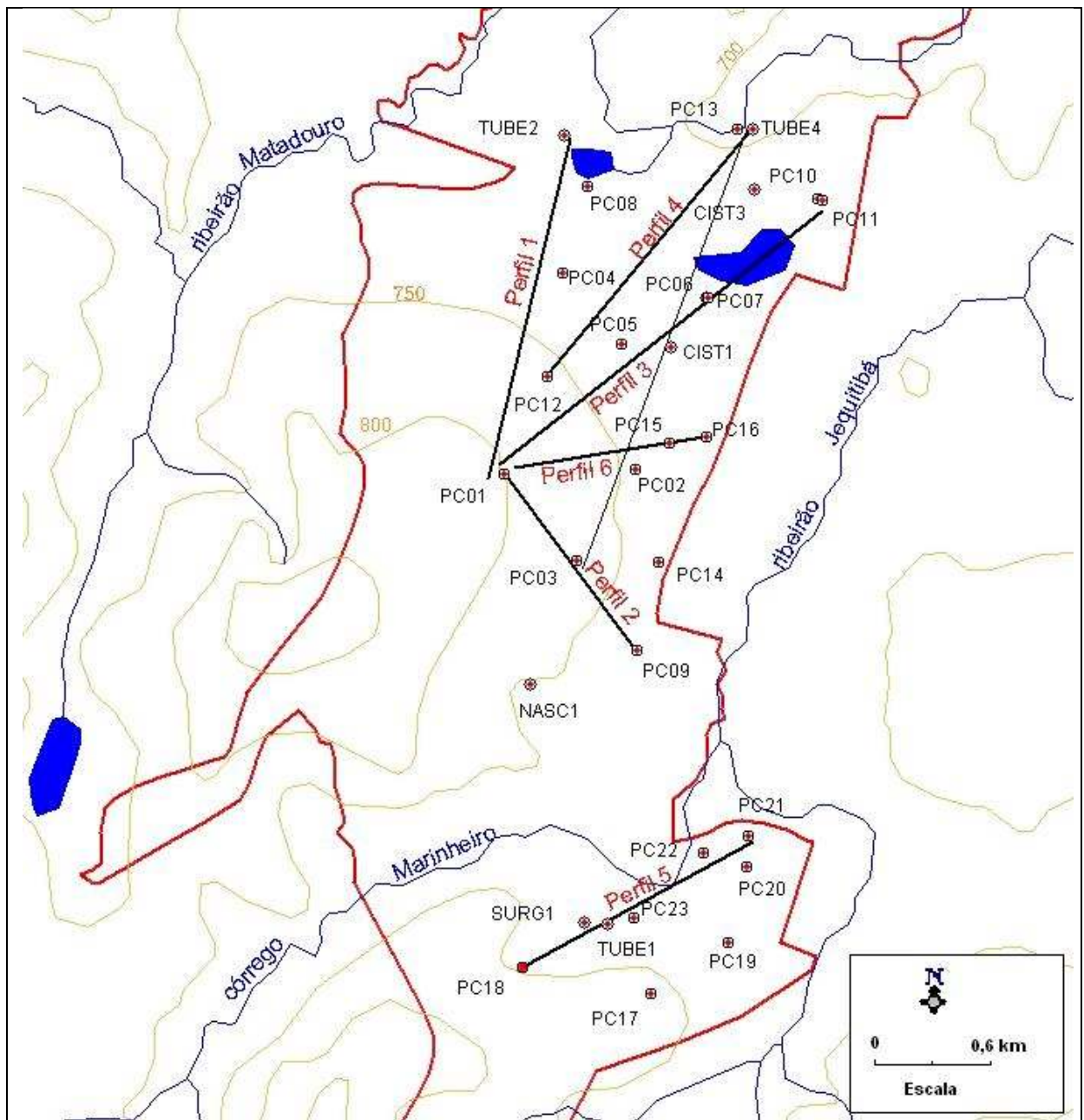


Figura 7-51 – Mapa com a localização dos perfis geológicos (com indicação do nível d’água) traçados na área do CNPMS

PERFIL 1 (PC01 – TUBE02)

A Figura 7.52 apresenta os gráficos que representam o comportamento do índice de saturação de alguns minerais ao longo do Perfil 1.

A Figura 7.54 mostra um perfil esquemático da seção existente entre os poços PC01 e o TUBE02, no qual são representados os traçados inferidos do relevo, do nível freático e das linhas de fluxo subterrâneo.

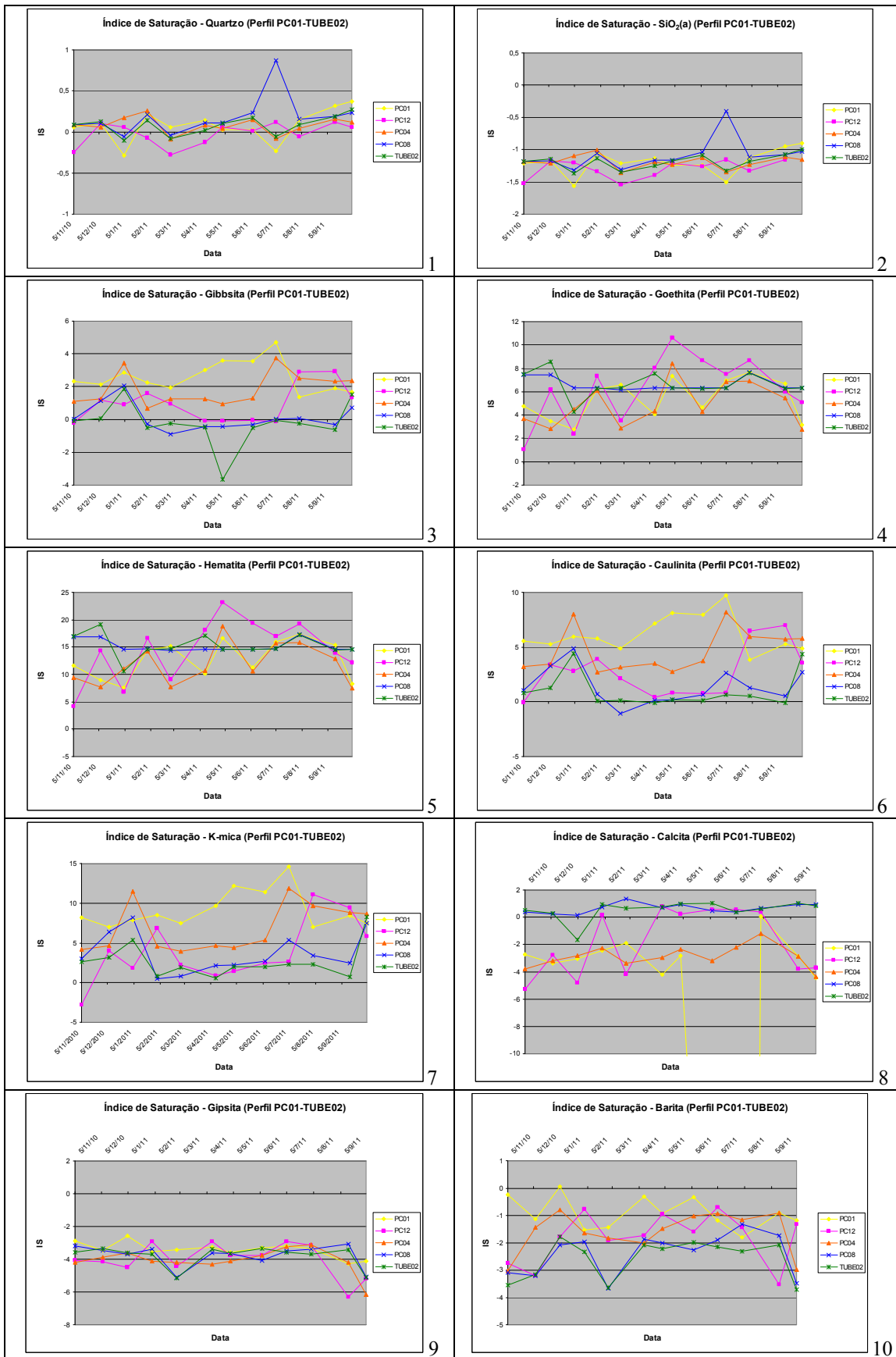


Figura 7-52 - Gráficos mostrando o comportamento do Índice de Saturação de alguns minerais, ao longo do Perfil 1 (PC01-TUBE02)(Nov./2010 a Out./2011)

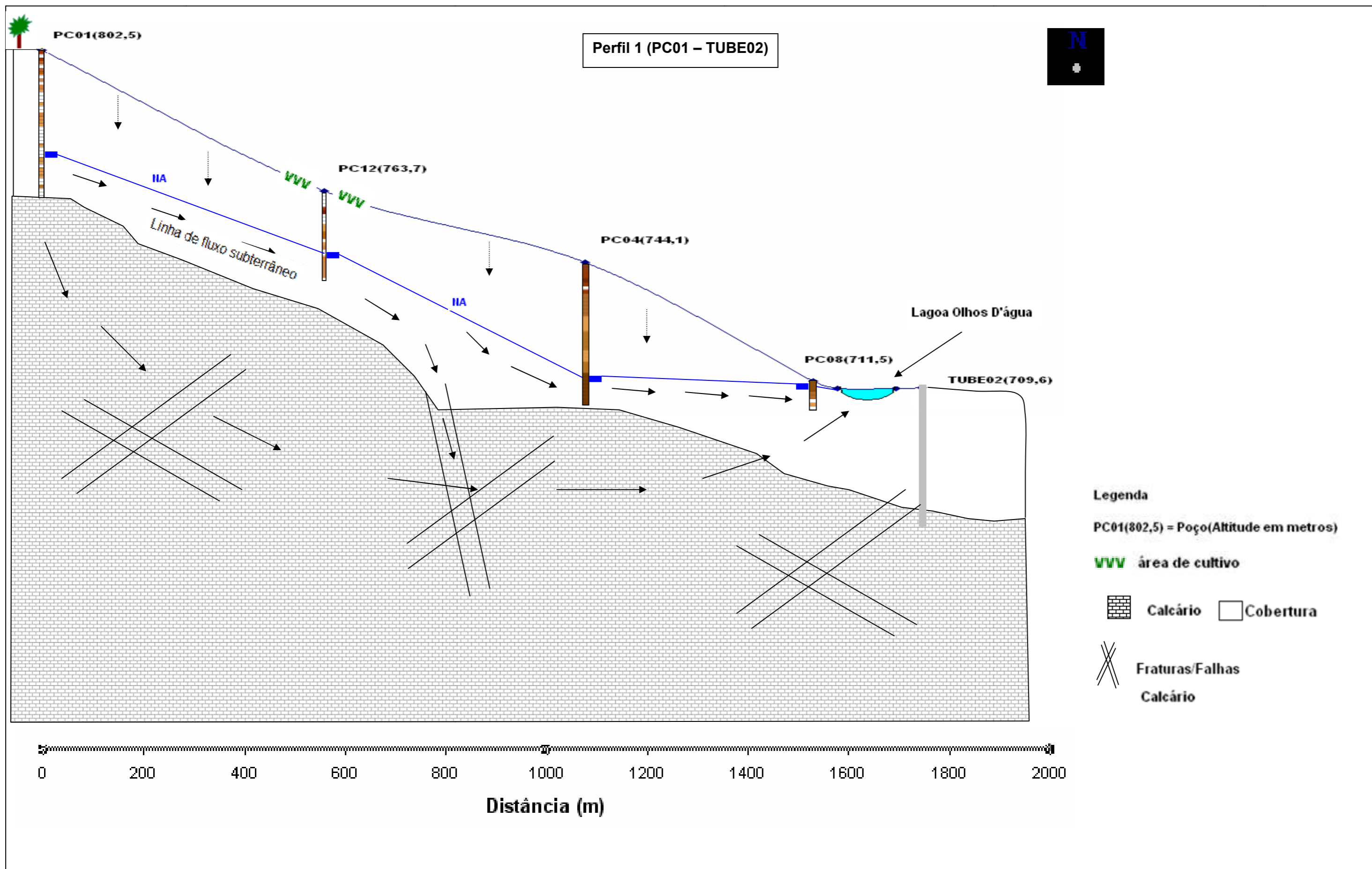


Figura 7-53 – Perfil 1: Perfil hidrogeológico esquemático entre os poços PC01 e o TUBE02

quartzo - Analisando o Gráfico 1 da Figura 7.52, verifica-se que durante três momentos (janeiro, março e julho de 2011) registrou-se queda nos valores de IS (quartzo) em pelo menos três dos cinco pontos.

No primeiro momento, em janeiro de 2011, a diminuição na concentração de sílica dissolvida foi suficiente para tornar a solução (água do aquífero) insaturada ($IS < 0$), com potencial à dissolução de quartzo nas águas dos poços PC01, PC08 e TUBE02. A provável causa dessa diluição é atribuída ao pico de chuva ocorrido em 28/12/2010.

Em um segundo momento, no mês de março de 2011, houve uma queda no valor do IS (quartzo) em quatro dos cinco poços, os quais atingiram valores abaixo de zero, ou seja, com a água insaturada em quartzo. É possível que essas quedas no valor de IS (quartzo) tenham sido causadas pela recarga das águas do evento chuvoso ocorrido em 13/03/2011.

Nos meses de maio, junho e julho de 2011 (o terceiro momento), não foi registrado nenhum pico de chuva significativo, logo, acredita-se que a diminuição nos valores dos índices de saturação dos poços PC01, PC04 e TUBE02 são decorrentes dos picos de recarga causados pelos eventos chuvosos ocorridos em dez/2010 e mar/2011.

sílica amorfa - O Gráfico 2, que apresenta as curvas de IS para o $SiO_2(a)$, mostra que nos poços PC01, PC12, PC04, PC08 e TUBE02 não houve precipitação de sílica amorfa, em nenhum momento, entre os meses de Nov./2010 e Out./2011, visto que o IS foi sempre menor que zero.

gibbisita - No Gráfico 3, percebe-se que as curvas de IS (gibbisita) dos poços PC01 e PC04 apresentaram, ao longo de todo o período de estudo, supersaturadas em gibbisita ($IS > 0$). Nota-se também, no caso desses dois poços, que quando o IS (gibbisita) atingiu picos (máximos) de valores próximos a 4, ocorreram, nos meses seguintes, quedas nos índices de saturação. Acredita-se que essas quedas aconteceram em função do desencadeamento de eventos de precipitação desse mineral.

Observando as curvas dos poços PC08 e TUBE02, por sua vez, verifica-se que as mesmas transitaram, na maior parte do tempo, por valores de índice de saturação entre -1 e zero, ou seja, próximo à região de saturação em gibbisita. Baseado nessas informações e nas descritas no parágrafo anterior, infere-se que houve precipitação de gibbisita ao longo do percurso da

água subterrânea, entre as zonas de recarga (Próxima ao PC01) e descarga (Próxima aos poços PC08 e TUBE02). Tal inferência é embasada pelo fato da água subterrânea ter apresentado $IS > 0$ nas águas do PC01 e PC04 e $IS < 0$ nas águas dos poços PC08 e TUBE02.

Quanto ao poço PC12 (que está situado geograficamente entre os poços PC01 e PC04), o mesmo apresentou águas insaturadas ($IS < 0$) em gibbissita em cinco dos doze meses de amostragem. Os maiores valores de IS registrados nas curvas desse poço ($IS > 0$, da ordem de 3) foram obtidos nos meses (secos) de agosto e setembro de 2011.

goethita e hematita - Em todos os cinco poços deste perfil (PC01, P12, PC04, PC08 e TUBE01), cujos comportamentos do índice de saturação estão registrados nos Gráficos 4 e 5, da Figura 7.52, verificou-se que suas águas estiveram supersaturadas em goethita e hematita ao longo de todo o ano hidrológico 2010-2011. Entretanto, nos poços PC01, PC04 e PC12, os valores de índice de saturação da goethita apresentaram-se bastante variáveis (sobe e desce), ao longo do intervalo de tempo analisado, refletindo eventuais precipitações ou influências de processos de evapotranspiração. Em contrapartida, nos poços TUBE02 e no PC08 (principalmente), observou-se uma relativa constância nos valores de IS, que variaram entre 6 e 8, para a goethita, e entre 14 e 18, para a hematita. Essa pequena variação nos índices de saturação de goethita e hematita, observadas nas águas desses dois poços, se deve, ao que tudo indica, à localização dos mesmos em uma das zonas de descarga do sistema aquífero local.

caulinita e muscovita - Nos gráficos 6 e 7, da Figura 7.52, que trazem as curvas de índice de saturação da caulinita e K-mica (muscovita), verificou-se que a maioria das amostras coletadas nos poços PC01, PC04, PC08, PC12 e TUBE02 estavam supersaturadas ($IS > 0$) no aluminossilicato caulinita e no mineral muscovita. Nas amostras dos poços PC01 e PC04, em especial, esses índices estiveram sempre acima de 2,6 (caulinita) e 4 (muscovita). No poço PC12, observou-se que as amostras coletadas entre abril e julho/2011 apresentaram-se próximas ao equilíbrio, ou seja, próximas ao estado de saturação tanto em caulinita como em muscovita. Por fim, nos poços PC08 e TUBE02, que apresentaram curvas bem semelhantes nos dois gráficos, notou-se que os valores de IS de caulinita estiveram, entre os meses de fevereiro e setembro de 2011, bem próximos à zero (estado de equilíbrio) e os referentes à muscovita compreendidos entre zero e cinco ($0 < IS < 5$). Outro aspecto que chamou a atenção foi o comportamento semelhante entre a curva do PC04 e as curvas dos poços PC08 e

TUBE02, em ambos os gráficos, embora os valores absolutos dos índices de saturação apresentados pelas amostras do PC04 tenham sido visualmente maiores. Além disso, foram verificados picos (máximos) de valores de IS (caulinita) nos meses de janeiro e julho de 2011, nas curvas desses três pontos, mostrando que possivelmente há uma influência climática no estado de saturação desses minerais ao longo de um ano hidrológico, como foi registrado entre 2010 e 2011.

calcita - No que se diz respeito ao comportamento dos índices de saturação da calcita, nos poços inseridos no Perfil PC01-TUBE02, o Gráfico 8, da Figura 7.52, mostra que em quase 100% das amostras dos poços PC08 e TUBE02 a solução encontrava-se saturada em CaCO_3 , com valores de IS (calcita) compreendidos entre 0 e 1,4. A única exceção foi a amostra coletada no mês de janeiro/2011, no TUBE02, que se apresentou subsaturada em carbonato de cálcio (IS = -1,67). Diante desses dados, tudo leva a crer que as águas desses dois poços estiveram em contato com a rocha calcária, durante um período de tempo suficiente para atingir o equilíbrio de dissolução da calcita na água que percolava o aquífero. Logo, é interessante destacar que na zona de descarga em que estão situados os poços PC08 e TUBE02, a água do aquífero cárstico encontra-se sem poder de dissolução da rocha calcária, diante da sua supersaturação em carbonato de cálcio.

No caso do poço PC12, verificou-se uma diferença de comportamento do índice da saturação nos períodos de chuva e seco, sendo que, neste último, as amostras estavam sempre supersaturadas em CaCO_3 , sem potencial para dissolução da calcita.

No caso dos poços PC01 e PC04, as amostras apresentaram-se sempre subsaturadas em CaCO_3 , ou seja, com $\text{IS} < 0$. Considerando que ambos os poços recebem águas que circulam no contato entre o substrato rochoso e a cobertura porosa constituída por latossolos, presume-se que o tempo de trânsito da água subterrânea, gasto no percurso entre os poços PC01 e PC04, não foi suficiente para saturar a água em CaCO_3 .

barita e gesso - Com relação aos estados de equilíbrio dos “minerais” que apresentam sulfato em sua composição química (barita e gesso), verifica-se que as curvas dos Gráficos 9 e 10 revelam que as águas que circularam nos aquíferos dos poços PC01, PC04, PC08, P12 e TUBE02 não se apresentaram saturadas em BaSO_4 e CaSO_4 , no período compreendido entre nov./2010 e out./2011. Cabe destacar, porém, que uma exceção foi registrada na amostra

coletada no poço PC01, em janeiro/2011, que apresentou um IS (barita) = 0,05, ou seja, atingindo um estado de equilíbrio na saturação desse mineral.

Assume-se aqui, que o Bário detectado nas águas das amostras analisadas é proveniente da barita. Por outro lado, as fontes de sulfato e cálcio nas águas do sistema aquífero local devem ter suas origens associadas, respectivamente, à oxidação de pirita (provavelmente existente no substrato rochoso, como mencionado em itens anteriores deste trabalho) e às rochas calcárias existentes na área. Caso exista a presença de gesso na fase sólida do sistema aquífero local, o mesmo deve ter sua origem associada aos corretivos agrícolas utilizados na área do CNPMS. Entretanto, em nenhuma das 17 amostras de solo que foram analisadas por difratometria de raios-X, neste trabalho, e nas amostras analisadas em trabalhos realizados anteriormente no CNPMS, foi identificada a presença desse mineral.

PERFIL 2 (PC01 – PC09)

A Figura 7.54 apresenta os gráficos que representam o comportamento do índice de saturação de alguns minerais ao longo do Perfil 2.

A Figura 7.56 mostra um perfil esquemático da seção existente entre os poços PC01 e o PC09, no qual são representados os traçados inferidos do relevo, do nível freático e das linhas de fluxo subterrâneo.

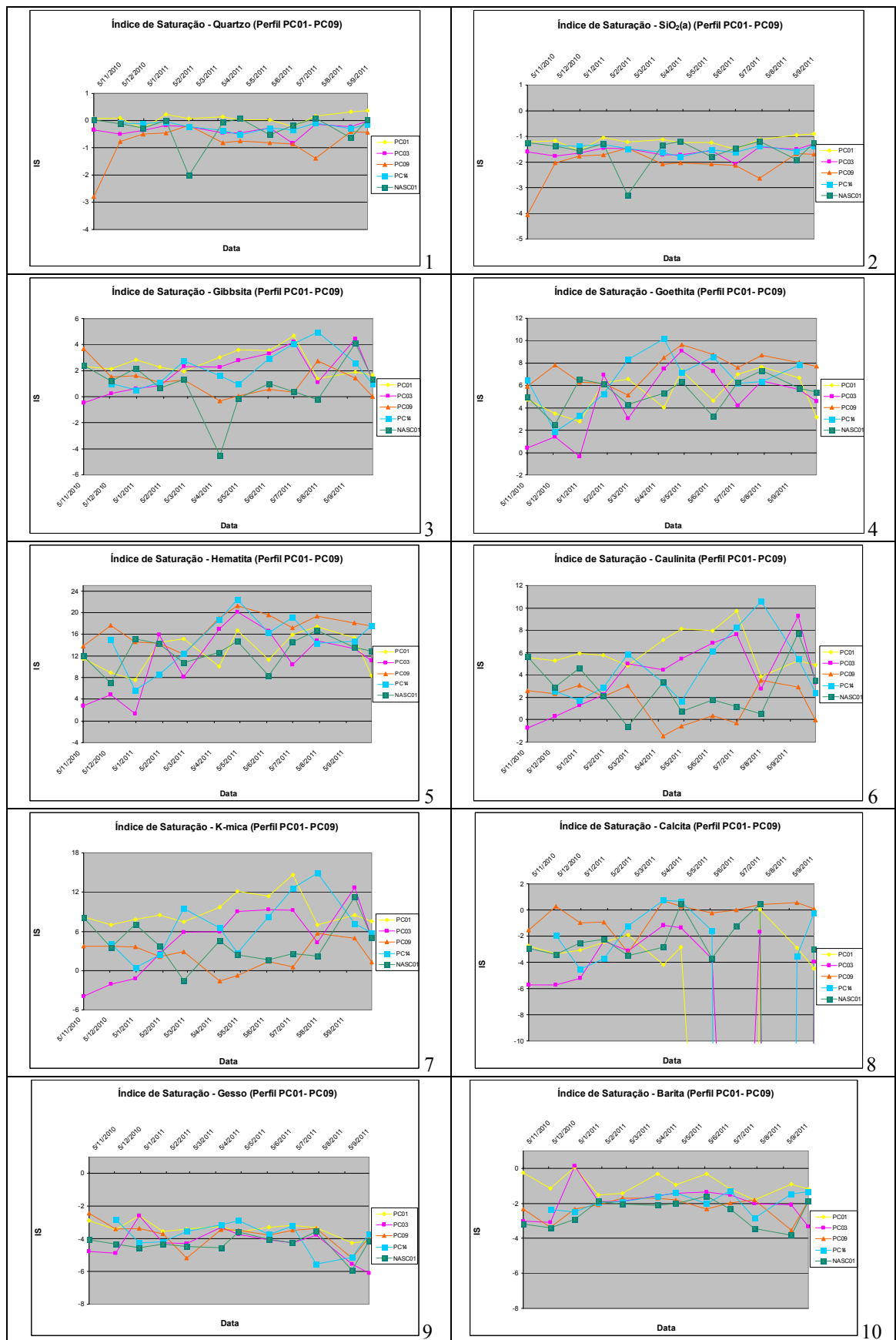


Figura 7-54 - Gráficos mostrando o comportamento do Índice de Saturação de alguns minerais, ao longo do Perfil 2 (PC01-PC09)(Nov./2010 a Out./2011)

Perfil 2 (PC01 – PC09)

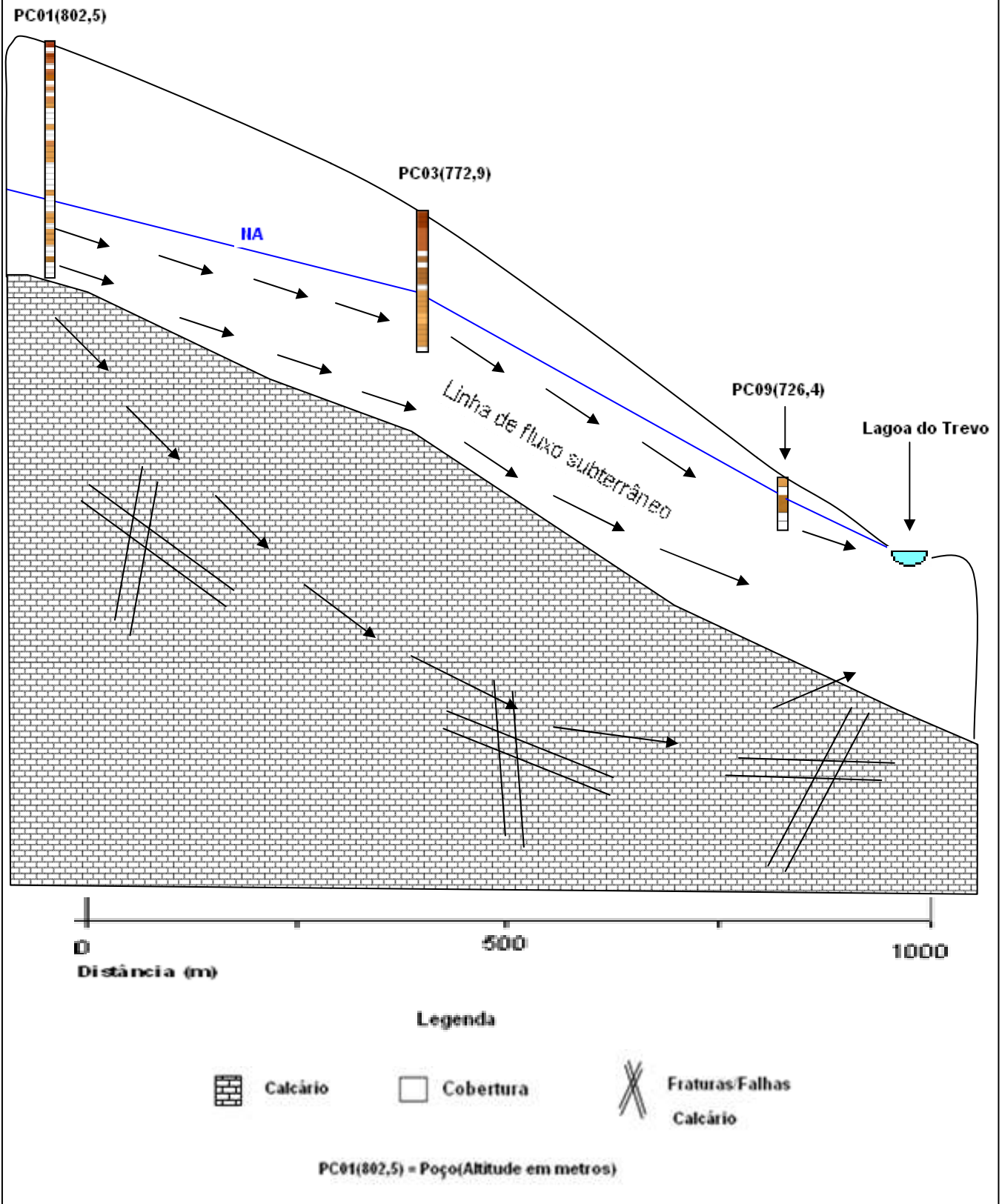


Figura 7-55 - Perfil 2: Perfil hidrogeológico esquemático entre os poços PC01 e o PC09

quartzo - No Gráfico 1, da Figura 7.54, percebe-se que as águas dos aquíferos dos poços PC03, PC09 e PC14 estiveram sempre subsaturadas em SiO_2 ($\text{IS} < 0$) e aquelas do ponto NASC01 e, principalmente, pelo PC01 estiveram sempre próximas ao estado de equilíbrio à saturação de quartzo ($\text{IS} = 0$), no período compreendido entre nov./2010 e out./2011.

No que se refere ao PC03, o resultado se explica pelo fato desse poço receber águas da porção superior do aquífero de cobertura, com menor tempo de trânsito e circulação rasa. Além disso, nessa porção do sistema aquífero, a fonte de sílica é quase exclusivamente o quartzo, que é pouco solúvel e possui uma lenta cinética de dissolução.

Quantos aos pontos PC01 e NASC01, situados em uma zona de circulação intermediária, mostra-se que, provavelmente, as águas recebidas pelos mesmos estiveram em contato com solos com presença de minerais silicatos, além do quartzo, durante tempo suficiente para quase atingir a saturação em sílica.

O poço PC14, no entanto, apesar de também se encontrar inserido em uma zona de circulação intermediária, apresentou águas com uma concentração mediana em sílica inferior às dos pontos PC01 e NASC01. É possível que as águas desse poço tenham percorrido fases (solos/rochas) situadas na porção superior do aquífero de cobertura, com menor teor em sílica.

No caso do poço PC09, situado em uma zona de descarga, segundo o modelo de Machado (2011), há indícios que tenha ocorrido precipitação de quartzo (ou sílica) ao longo do percurso da água subterrânea, que, segundo esse mesmo modelo, tem sua recarga nas proximidades do PC01. Tal hipótese se fundamenta no fato de que todas as amostras coletadas no PC01 se apresentaram supersaturadas, ao passo que as águas no poço PC09 estiveram sempre insaturadas nesse mineral, mesmo apresentando características de circulação profunda e longo tempo de residência, típicas de uma zona de descarga.

sílica amorfa - O Gráfico 2 (Figura 7.54), que apresenta as curvas de IS para o $\text{SiO}_2(a)$, mostra que em todos os poços do perfil não houve precipitação de sílica amorfa, entre Nov./2010 e Out./2011, visto que o IS foi sempre menor que zero.

gibbisita - No Gráfico 3, da Figura 7.54, que apresenta o comportamento dos índices de saturação da gibbisita, verifica-se que:

- Os poços PC01 e PC14 apresentaram, ao longo do período de análise, valores de IS sempre maiores que zero e, conseqüentemente, com águas supersaturadas em gibbissita;
- O PC03 apresentou um crescimento dos índices de saturação praticamente linear entre os meses de nov./2010, quando o IS foi menor que zero (insaturação em gibbissita), e jul./2011, quando o IS atingiu valor acima de 4 (supersaturação em gibbissita);
- Nas amostras referentes ao mês de ago/2011, nos poços PC01 e PC03 registrou-se uma brusca queda nos índices de saturação, a qual deve denunciar uma precipitação de gibbissita nos aquíferos desses dois poços;
- O comportamento da curva de IS (gibbissita) referente ao ponto NASC01, situado em uma zona de circulação intermediária, foi relativamente semelhante ao do PC09, que se encontra em uma zona de descarga; e
- Os comportamentos das curvas dos poços PC03 e PC09 foram opostos, praticamente espelhados. Ou seja, nos meses em que houve crescimento dos índices no PC03, observou-se queda nos valores de IS calculados para o PC09. Visto que o poço PC09 situa-se na porção mais a jusante das linhas de fluxo subterrâneo que o ligam ao PC03, infere-se que ocorre precipitação de gibbissita na porção do aquífero situada entre estes dois poços.

goethita e hematita - Nos Gráficos 4 e 5, da Figura 7.54, chama a atenção o comportamento bem similar apresentado, no período seco, pelas curvas de índice de saturação em goethita e hematita nos pontos desse perfil, principalmente entre as dos poços PC03 e PC09. Em ambos os gráficos (goethita e hematita), verificou-se, no intervalo de um ano, três picos de máximos, alternados com três picos de mínimos, nas curvas referentes aos cinco pontos. É provável que tais alternâncias tenham sido causadas por processos de evaporação, aliados (ou não) à atuação de eventos de precipitação. Em todas as amostras coletadas, nos cinco pontos, verificou-se uma supersaturação em goethita e hematita, com exceção da amostra coletada em jan/2011, no PC03, onde se registrou uma ligeira insaturação em goethita.

caulinita e muscovita - Os comportamentos das curvas de índices de saturação em caulinita e muscovita são bastante semelhantes para os poços PC01, PC03 e PC14, no período seco, como mostram os Gráficos 6 e 7, da Figura 7.54. Da mesma forma, uma razoável semelhança é denotada entre as curvas dos pontos NASC01 e PC09.

Nos gráficos que mostram o comportamento dos IS (caulinita) e IS (K-mica), verifica-se que a grande maioria das amostras coletadas nos pontos que fazem parte desse perfil se apresentaram supersaturadas em relação à caulinita e à muscovita. Porém, em algumas amostras dos pontos NASC01, PC09 e PC03 foram registrados índices de saturação negativos para a caulinita e muscovita. Sendo assim, interpreta-se que deve haver uma estabilidade do mineral caulinita nos aquíferos desses pontos. Os diagramas de estabilidade, mostrados nas figuras 7.42 a 7.50, confirmam essa interpretação.

calcita - A grande maioria das curvas do Gráfico 8 (Figura 7.54) mostram valores insaturados em calcita, ou seja, com um potencial à dissolução desse mineral. No entanto, os poços PC03, PC09 (principalmente), PC14 e NASC01 tiveram suas águas supersaturadas em calcita, durante alguns meses no ano hidrológico 2010-2011. Esses eventos de supersaturação devem ter ocorrido em função da atuação da superposição de dois processos: o contato dessas águas com rochas carbonáticas, durante um intervalo de tempo suficiente para supersaturá-las e a evapotranspiração, causando um aumento na concentração. No caso específico do poço PC09, é possível que suas águas tenham sofrido uma maior influência do primeiro processo, visto que o mesmo encontra-se em uma zona de descarga e suas águas devem ter circulado em zonas de maior profundidade do sistema aquífero e com um tempo de trânsito relativamente elevado.

gesso - O Gráfico 9 (Figura 7.54) retrata que as águas que circulam nos poços PC01, PC03, PC09, PC14 e a Nascente NASC01 estiveram, durante o período de estudo, subsaturadas em CaSO_4 , não apresentando predisposição à precipitação de gesso.

barita - No Gráfico 10 (Figura 7.54), que apresenta as curvas de IS(barita) para o perfil PC01-PC09, percebe-se que em apenas duas amostras houve tendência à saturação em barita. Uma no PC01, já mencionada anteriormente, e outra no PC03, ambas no mês de jan/2011.

PERFIL 3 (PC01 – PC11)

A Figura 7.56 apresenta os gráficos que representam o comportamento do índice de saturação de alguns minerais ao longo do Perfil 3.

A Figura 7.58 mostra um perfil esquemático da seção existente entre os poços PC01 e o PC11, no qual são representados os traçados inferidos do relevo, do nível freático e das linhas de fluxo subterrâneo.



Figura 7-56 - Gráficos mostrando o comportamento do Índice de Saturação de alguns minerais, ao longo do Perfil 3 (PC01- PC11)(Nov./2010 a Out./2011)

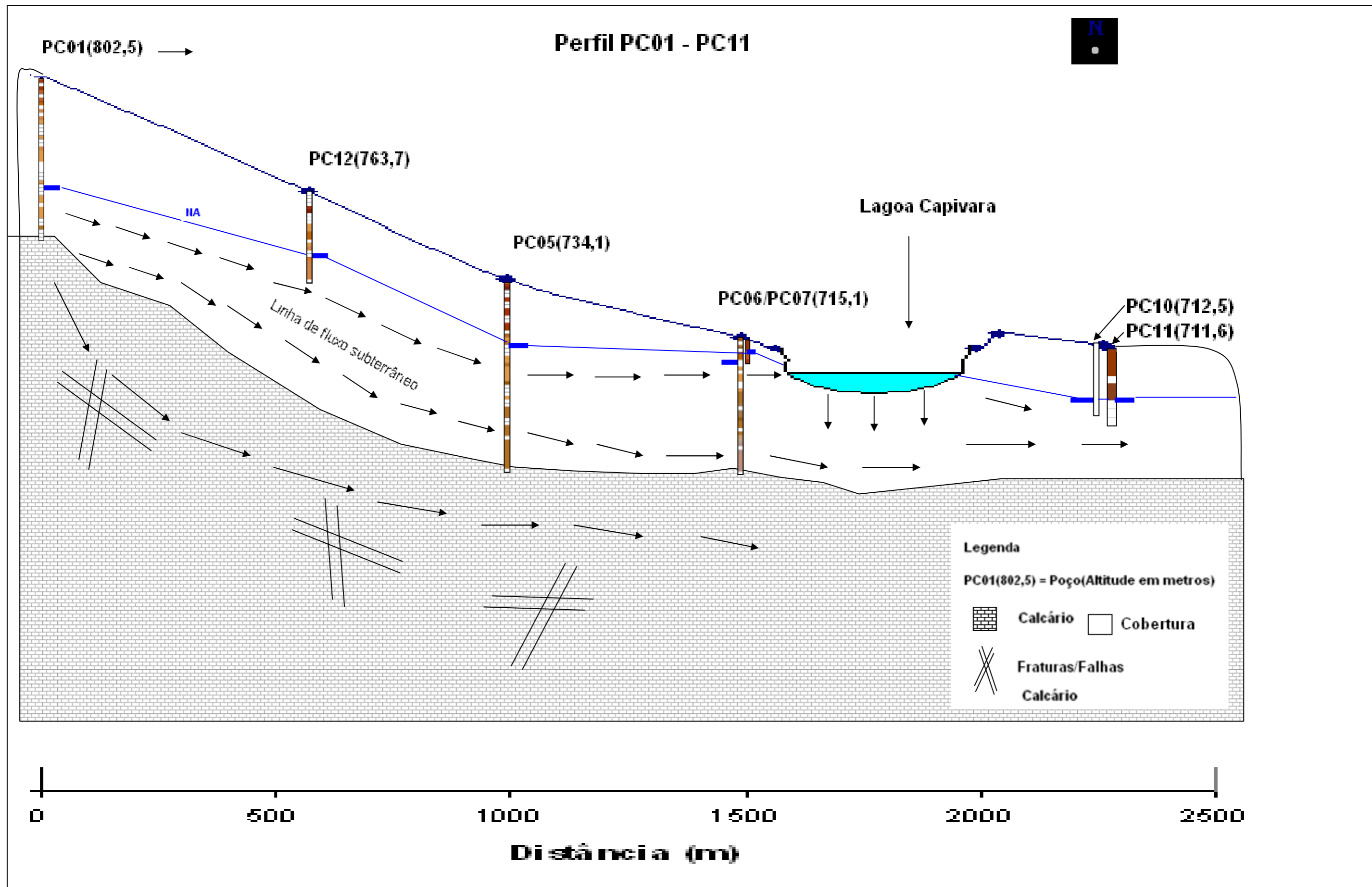


Figura 7-57 – Perfil 3: Perfil hidrogeológico esquemático entre os poços PC01 e o PC11

quartzo e sílica amorfa - Os Gráficos 1 e 2 (Figura 7.56) mostra que existe uma boa semelhança entre as curvas de IS (quartzo) e IS ($\text{SiO}_{2(a)}$) dos poços PC01 e PC06. Visto que esses poços estão geograficamente afastados, a 1500 m de distância, acredita-se que essa semelhança ocorra em função de seus aquíferos responderem de forma parecida às alterações climáticas que ocorrem sazonalmente na região. Nas curvas de IS(quartzo) e IS($\text{SiO}_{2(a)}$) de ambos os poços, são verificadas duas quedas repentinas de valores dos índices de saturação, sendo uma em março e outra em julho/2011. Supõe-se que essas quedas tenham ocorrido em função de eventos de recarga dos aquíferos, com as águas provenientes dos picos de precipitação pluviométrica ocorridos na área do CNPMS. Entretanto, não se pode afirmar que as quedas de IS registradas nos dois poços são provenientes dos mesmos eventos pluviométricos (responsáveis pelo processos de recarga), visto que o nível freático no PC01 (30 m) é bem mais profundo que no PC06 (3,5 m) e que esses poços, apesar de estarem em uma mesma linha de fluxo, estão afastados em cerca de 1500 m, conforme modelo de fluxos de águas subterrâneas de Machado (2011).

Outra questão interpretada nos Gráficos 1 e 2, da Figura 7.56, trata-se da origem da sílica dissolvida detectada em cada um desses dois poços. Supõe-se que no poço PC01 a mesma não tenha sua fonte principal em cristais de quartzo, mas em outro(s) silicato(s), como a caulinita e/ou muscovita. Tal hipótese se baseia no fato do IS (quartzo) transitar, grande parte do tempo, na região de supersaturação (ou não dissolução) de quartzo, o que não seria provável de ocorrer somente por causa da solubilização desse mineral, que possui lenta reação de dissolução. Quanto ao PC06, a sua curva de IS (quartzo) mostrou-se quase sempre inserida na região de subsaturação (ou de dissolução) desse mineral, o que torna razoável a hipótese de que o quartzo seja a principal fonte de sílica.

gibbisita, goethita e hematita - Os Gráficos 3, 4 e 5 (Figura 7.56) mostram que houve uma tendência à precipitação de gibbisita, goethita e hematita ao longo do perfil traçado entre os poços PC01 e PC11. Porém, nos poços PC10 (montante do esgoto químico) e PC11 (jusante do esgoto químico) ocorreu, entre maio e agosto de 2011, uma queda nos valores de IS desses três minerais. Diante da queda de pH registrada nas amostras coletadas nesses dois poços nesse mesmo período, acredita-se que a mesma tenha sido responsável pelo aumento da solubilidade dos elementos ferro e alumínio nas águas do aquífero desses poços, visto que há uma maior solubilização de metais em valores de pH próximos ou inferiores a 4, como destaca Hem (1985).

caulinita e muscovita - A partir das curvas traçadas nos Gráfico 6 e 7 (Figura 7.56), observou-se que houve sempre uma tendência à não solubilização de caulinita e muscovita ao longo do Perfil 3 (PC01-PC11), como ratificam os diagramas de estabilidade apresentados nas Figuras 7.42 a 7.50. Cabe ressaltar, porém, que no mês de julho/2011 a porção do aquífero situada no entorno do poço PC10 apresentou um potencial à dissolução de caulinita e muscovita, em função do baixo pH registrado nesse período, provavelmente provocado pela oxidação de pirita.

calcita - De um modo geral, o Gráfico 8 (Figura 7.56), que apresenta as curvas de IS (calcita) dos poços do Perfil 3 (PC01-PC11), mostra que houve uma tendência à solubilização (às vezes próxima ao equilíbrio) da calcita nas águas que circulam no entorno desses poços. A não saturação (em CaCO_3) das águas amostradas nos poços PC05, PC06, PC10 e PC11 se deve ao fato dos mesmos receberem água da porção superior do Aquífero Poroso de Cobertura, que não está em contato direto com o substrato rochoso carbonático. No caso do PC01, que recebe água da porção inferior do aquífero de cobertura, infere-se que o tempo de contato com as rochas carbonáticas não tenha sido suficiente para atingir o estado de equilíbrio, ou seja, a saturação em CaCO_3 .

gesso e barita - Baseando-se nos dados plotados nos Gráficos 9 e 10 (Figura 7.56), verificou-se que há uma tendência à solubilização (ou não precipitação) de CaSO_4 e BaSO_4 ao longo do perfil PC01-PC11. Entretanto, ressalta-se que quatro amostras coletadas no poço PC01 apresentaram valores de IS (barita) bem próximos ao equilíbrio, situados entre -0,33 e 0,05. Analisando-se o gráfico temporal com as concentrações de sulfato, no item 7.2.5, verifica-se que esse aumento nos IS (barita) são decorrentes dos aumentos nas concentrações de SO_4^{-2} , os quais, aparentemente, não foram causados pela oxidação de pirita.

PERFIL 4 (PC12 – TUBE04)

A Figura 7.58 apresenta os gráficos que representam o comportamento do índice de saturação de alguns minerais, ao longo do Perfil 4.

A Figura 7.60 mostra um perfil esquemático da seção existente entre os poços PC12 e o TUBE04, no qual são representados os traçados inferidos do relevo, do nível freático e das linhas de fluxo subterrâneo.

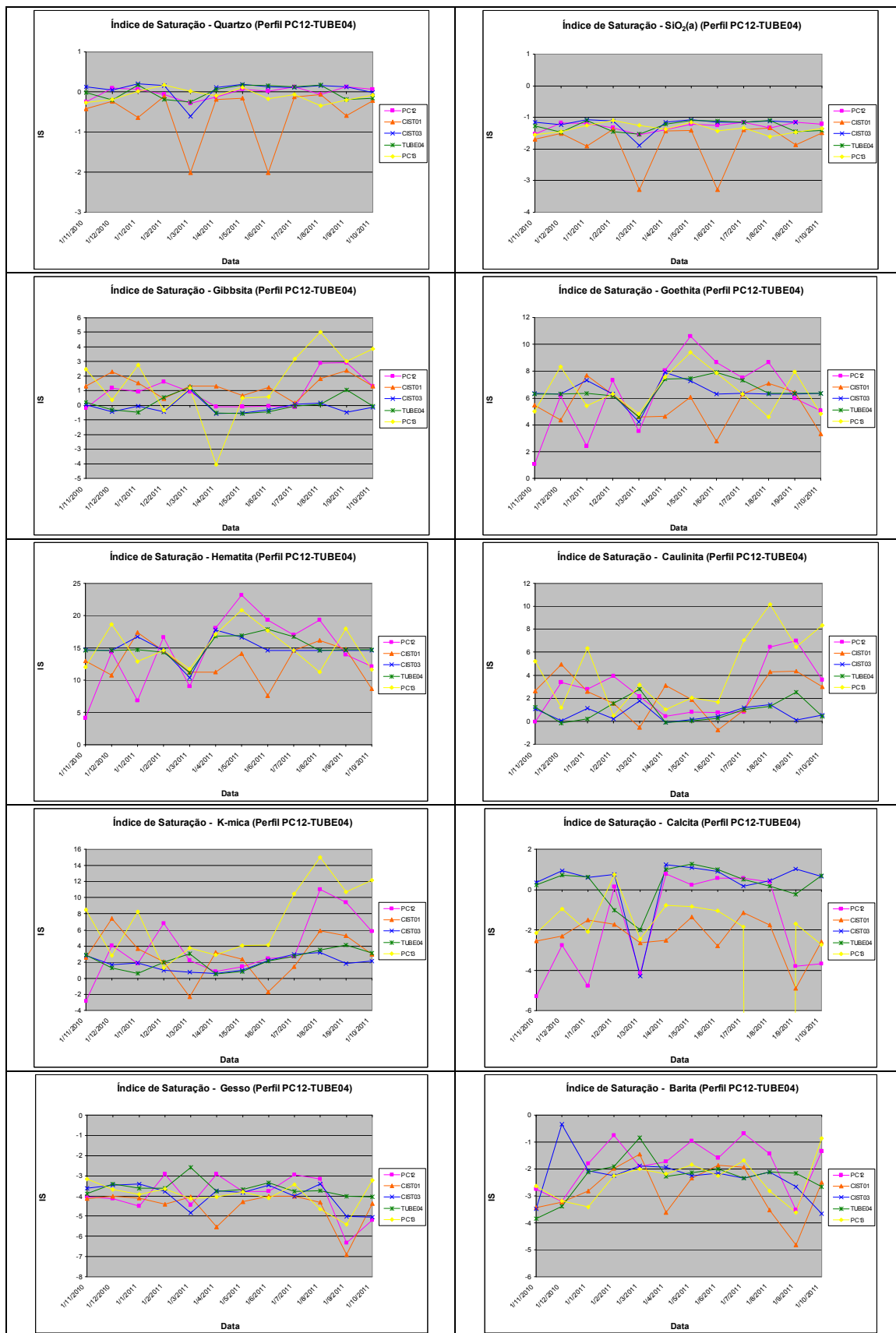


Figura 7-58 - Gráficos mostrando o comportamento do Índice de Saturação de alguns minerais, ao longo do Perfil 4 (PC12-TUBE04)(Nov./2010 a Out./2011)

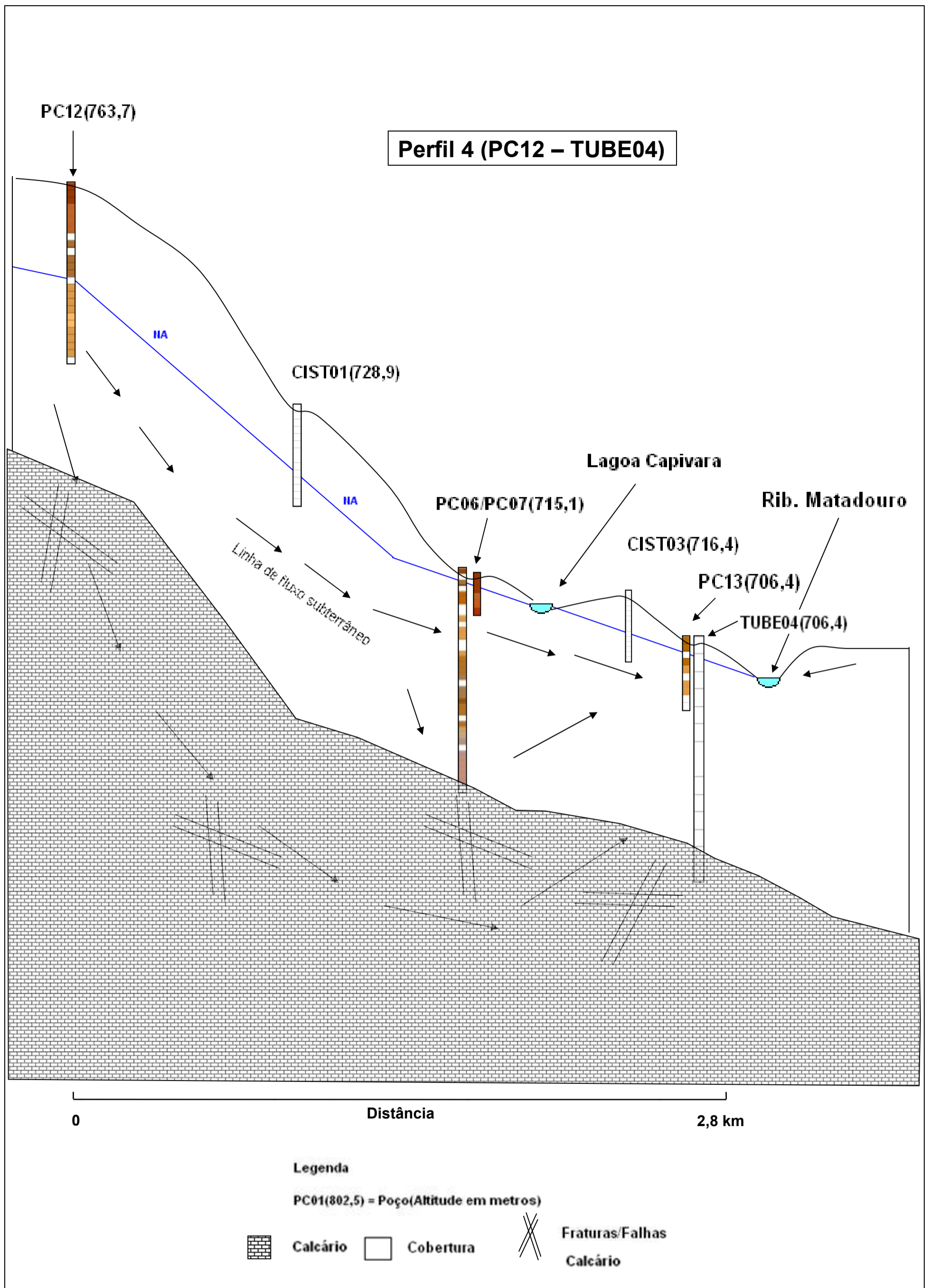


Figura 7-59 - Perfil 4: Perfil hidrogeológico esquemático entre os poços PC12 e o TUBE04

quartzo - Baseando-se nos resultados apresentados no Gráfico 1 (Figura 7.58), percebe-se que nos pontos PC12, CIST03 e TUBE04 há uma tendência ao estado de saturação (equilíbrio) em quartzo, haja vista que o índice de saturação (IS) desse mineral encontra-se, na maioria das amostras, nas proximidades de zero. No mês de março/2011, porém, ocorreu uma queda nos valores de IS, os quais se mostraram negativos, com tendência à dissolução de quartzo. Caso essa queda tenha ocorrido em função do aumento da recarga no aquífero, possivelmente a mesma tenha sido causada pelo pico de chuva do dia 28/12/2010 (96,4 mm). O pico de chuva do dia 13/03/2011 está descartado, visto que algumas amostras desse perfil foram coletadas após essa data. Cabe-se destacar a semelhança de comportamento entre as curvas de IS(quartzo) do TUBE04, que capta água do Aquífero Fissural-Cárstico, com as da cisterna CIST03 que recebe água do Aquífero Poroso de Cobertura. Esse fato ratifica a hipótese de que esses pontos estão situados em uma mesma zona de descarga.

A curva IS (quartzo) relacionada ao CIST01, ao contrário dos demais pontos desse perfil, apresentou-se sempre abaixo de zero, mostrando uma tendência à dissolução de quartzo. Além disso, nota-se que essa mesma curva apresentou duas quedas bruscas, uma em março/2011, coincidente com a dos demais pontos desse perfil, e outra em junho/2011. Caso estes valores estejam corretos, entende-se que os mesmos podem ter sido provocados pelos eventos chuvosos do final de dezembro de 2010 e meados de março de 2011, respectivamente.

sílica amorfa - O comportamento das curvas de IS de $\text{SiO}_2(\text{a})$, para os poços do Perfil PC12-TUBE04, é semelhante às IS de quartzo, como esperado, porém apresentando valores sempre inferiores a zero. Como discutido no parágrafo anterior, verificou-se que os poços desse perfil apresentam uma tendência a não dissolução de quartzo; no entanto, como IS (sílica amorfa) < 0 , observa-se uma predisposição à dissolução de sílica de outros minerais silicatados, como a caulinita e/ou muscovita (Gráfico 2 – Figura 7.58).

gibbsita - O Gráfico 3, da Figura 7.58, mostra que os pontos PC12 e CIST01 (localizados geograficamente próximos), assim como o par de pontos CIST03-TUBE04 (também situados próximos um ao outro), apresentam, entre si, um comportamento do IS da gibbsita semelhante. Entretanto, dentre todos os pontos, o único que apresentou tendência à precipitação de gibbsita (IS > 0), ao longo de todo o período analisado, foi a cisterna CIST01 (Escritório do Barão). Os demais pontos, por sua vez, apresentaram alternâncias de

comportamento ao longo do ano, com alguns períodos mais propensos à precipitação e outros à dissolução. No poço PC12, por exemplo, verificou-se que, no período compreendido entre abril e julho/2011, o índice de saturação esteve negativo, mas próximo a zero, indicando uma situação de quase equilíbrio na saturação de gibbissita, sendo que nos outros meses do ano apresentou uma tendência a precipitação.

Os pontos CIST03 e TUBE04 apresentaram um pico de máxima no mês de março, com os índices de saturação em gibbissita um pouco acima de 1. No entanto, no mês seguinte houve um pico de mínima, quando os IS (gibbissita) atingiram valores em torno de -0,5. Imagina-se que tenha ocorrido precipitação de gibbissita entre os meses de março e abril/2011, tanto nos aquíferos desses dois pontos como dos poços PC12 e PC13.

goethita e hematita - Os Gráficos 4 e 5 (Figura 7.58) mostram que todas as amostras dos pontos pertencentes ao perfil PC12-TUBE04 apresentaram valores de IS (goethita) e IS (hematita) acima de zero, ou seja, com potencial à precipitação desses minerais. Assim como nos gráficos da gibbissita, verifica-se, também, que há uma boa semelhança entre as curvas de IS(goethita) e IS(hematita) para os pontos CIST03 e TUBE04. Já entre os pontos PC12 e o CIST01, todavia, não se percebe uma grande semelhança entre as curvas; porém, nota-se que ambas apresentam alternâncias entre valores altos e baixos.

caulinita - O Gráfico 6 (Figura 7.58) mostra que nos poços PC12, CIST01, CIST03 e TUBE04 houve, entre Nov/2010 e Out/2011, uma tendência à não dissolução de caulinita, haja vista que os valores de índice de saturação para esse mineral foram, em sua maioria, superiores a zero. Tal análise é referendada pelos diagramas de estabilidade apresentados nas Figuras 7.42 a 7.50, nos quais se constata que a caulinita é o aluminossilicato mais estável.

muscovita - As curvas de IS (K-mica), apresentadas no Gráfico 7 (Figura 7.58), mostram que não se verificou uma tendência à dissolução de muscovita nos pontos inseridos no perfil PC12-TUBE04, visto que os valores de índice de saturação da muscovita transitaram sempre acima do valor zero.

calcita - A partir das curvas traçadas no Gráfico 8 (Figura 7.58), pode-se dizer que as águas do aquífero situado no entorno da cisterna CIST01 se encontraram sempre subsaturadas em calcita ao longo de todo o ano hidrológico 2010-2011. Nos pontos CIST03 e TUBE04, no

entanto, houve uma tendência leve à supersaturação em calcita, com o IS compreendido entre zero e 1.

Chama a atenção neste gráfico, entretanto, uma brusca queda nos índices de saturação de calcita verificada nas amostras coletadas em março/2011, mostrando ter havido nesse mês uma forte tendência à solubilização de CaCO_3 . Acredita-se que essa queda, que também foi verificada na amostra coletada no poço PC12, tenha sido causada pelo pico de chuva ocorrido em 28/12/2010, ou seja, cerca de 70 dias antes do dia da amostragem (14/03/2011). Aliás, essa data de coleta elimina a possibilidade de influência causada pelo evento chuvoso ocorrido no dia 13/03/2011.

Destaca-se, ainda, que as águas do PC12 mostraram uma predisposição à precipitação de calcita entre os meses de abril e agosto de 2011, coincidente com o período seco. O sobe e desce verificado nos valores de IS (calcita) do PC12 parece mostrar que o aquífero existente nas imediações desse poço é mais influenciado pelos processos de evapotranspiração e alterações climáticas sazonais que os demais pontos do perfil. Além disso, é bastante provável que a base do poço PC12, cuja perfuração não atingiu o substrato rochoso (constituído provavelmente por calcário), esteja situada próxima à mesma.

gesso - O Gráfico 9 da Figura 7.58 mostra, claramente, que as águas que circulam na porção do sistema aquífero, situada entre os poços PC01 e TUBE04, estiveram sempre insaturadas em CaSO_4 , no período de estudo, com valores sempre próximos a -4. Uma exceção, porém, foi diagnosticada nas amostras de setembro/2011 dos pontos PC12, CIST01 e CIST03, que apresentaram uma visível queda nos índices de saturação do gesso. Provavelmente essa queda ocorreu por influência de um aumento da recarga nessa porção do aquífero.

barita - Comparando os gráficos dos índices de saturação de gesso e barita (Gráficos 9 e 10 da Figura 7.58), percebe-se que os mesmos são bem similares. Isso parece informar que a concentração de sulfato é a dominante no cálculo desses índices.

Por fim, deve-se ressaltar a expressiva semelhança observada entre o comportamento temporal dos índices de saturação de quartzo, $\text{SiO}_2(\text{a})$, gibbisita, goethita, hematita, caulinita, muscovita (K-mica), calcita, gesso e barita das amostras da cisterna CIST03 (instalada na cobertura constituída por solos lateríticos vermelho-amarelos) e do poço TUBE04 (cravado

em rochas calcárias da Formação Sete Lagoas). Tal semelhança comprova que os dois pontos recebem água de uma mesma zona do Sistema Aquífero Local, de circulação profunda e tempo de residência elevado, que coincide com uma zona de descarga apontada no modelo hidrogeológico de Machado (2011).

PERFIL 5 (PC18 – PC21)

A Figura 7.60 apresenta os gráficos que representam o comportamento do índice de saturação de alguns minerais ao longo do Perfil 5.

A Figura 7.61, a seguir, mostra um perfil esquemático da seção existente entre os poços PC18 e o PC21, no qual são representados os traçados inferidos do relevo, do nível freático e das linhas de fluxo subterrâneo.

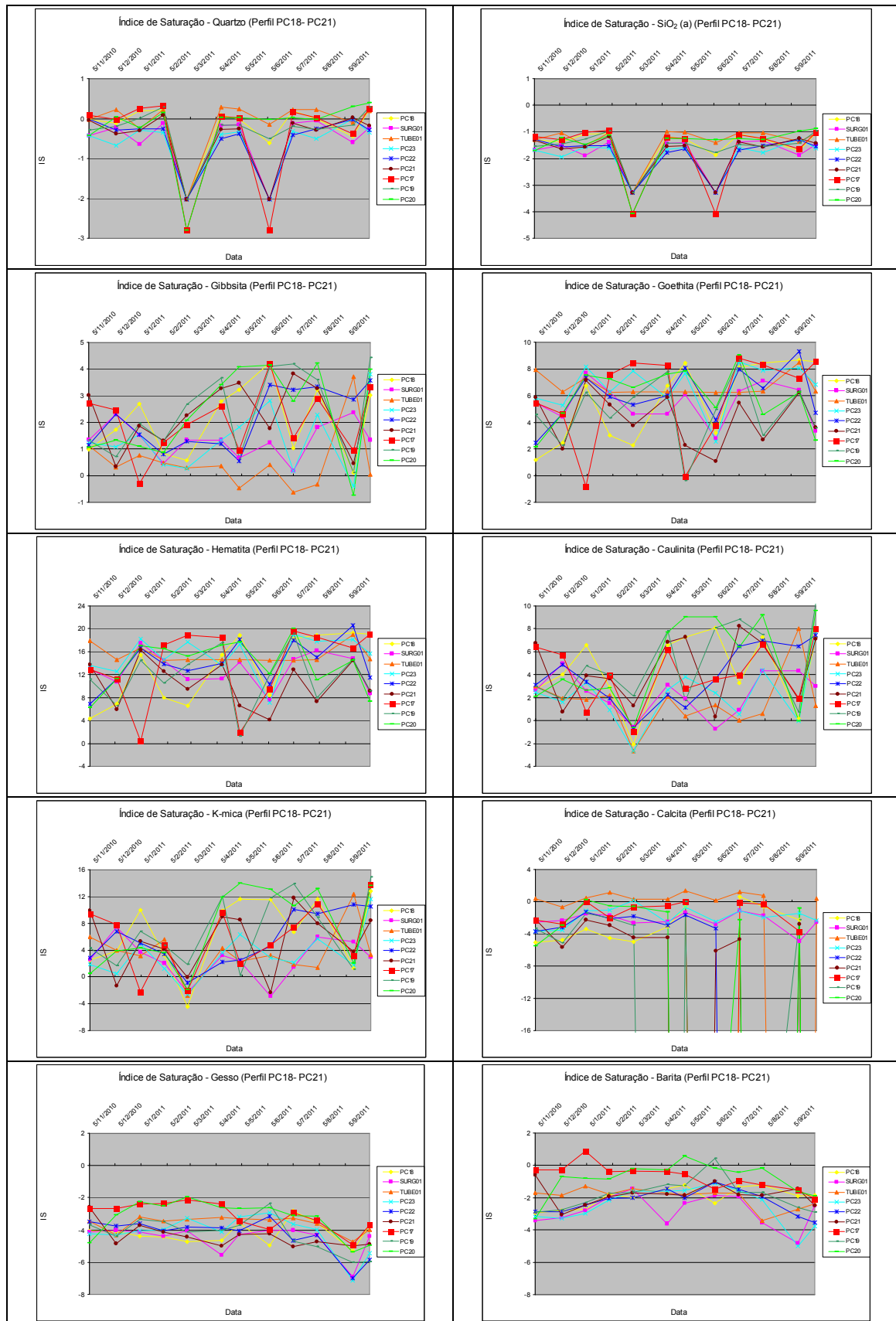


Figura 7-60 - Gráficos mostrando o comportamento do Índice de Saturação de alguns minerais, ao longo do Perfil 5 (PC18-PC21)(Nov./2010 a Out./2011)

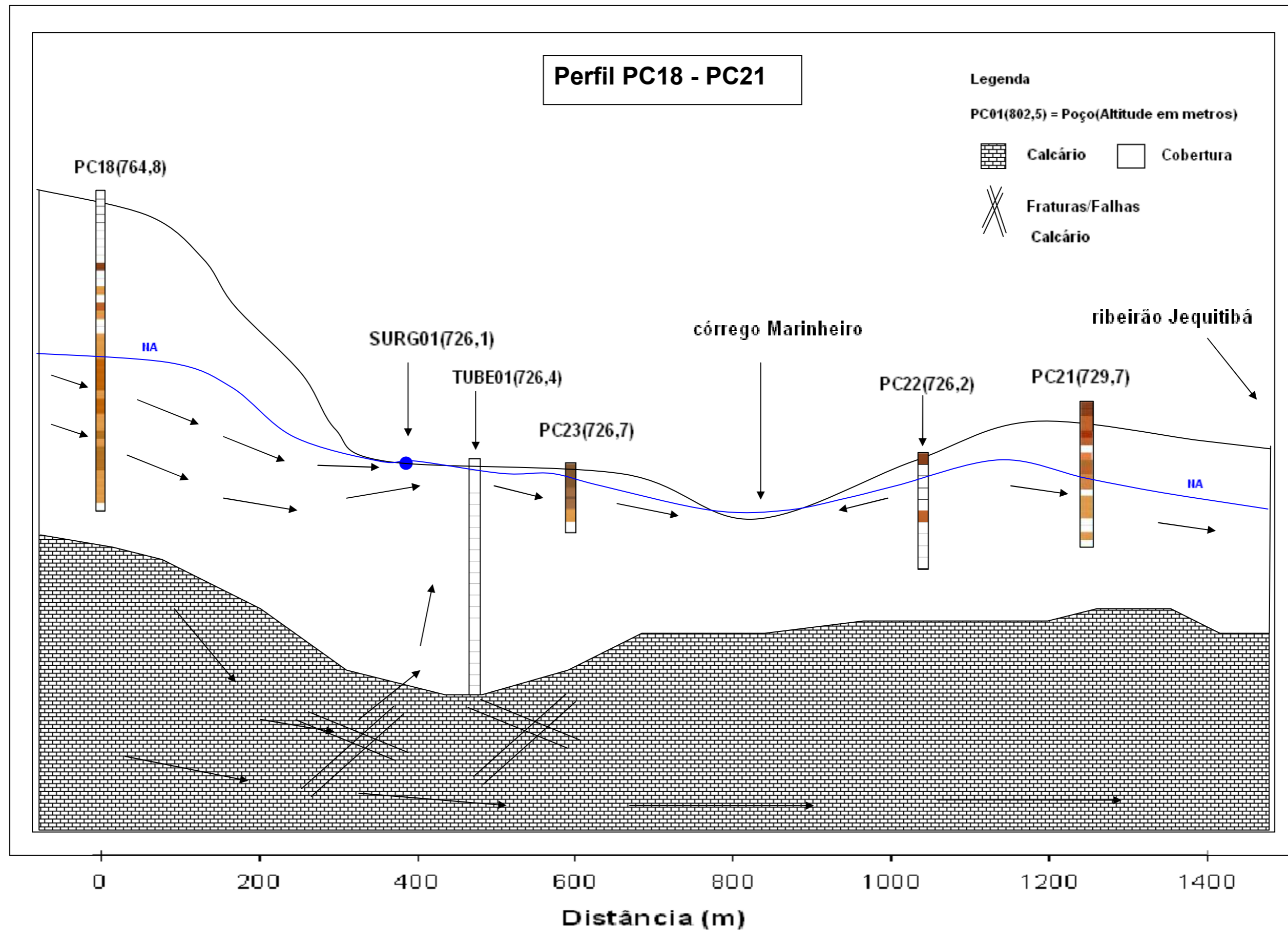


Figura 7-61 - Perfil 5: Perfil hidrogeológico esquemático entre os poços PC18 e o PC21

quartzo – No Gráfico 1 (Figura 7.60), de um modo geral, as curvas de IS (quartzo) transitam numa faixa de índices de saturação entre -0,7 e 0,4, margeando sempre o eixo $IS=0$, onde ocorre o estado de equilíbrio da saturação em quartzo. As curvas relativas aos pontos PC22, PC23 e SURG01, no entanto, estiveram sempre no quadrante com valores de $IS(\text{quartzo})$ negativos, ou seja, subsaturados e com tendência a dissolução de quartzo. É interessante ressaltar que esses pontos fazem parte do mesmo grupo de *cluster*, Grupo 4, que caracteriza águas com tempo de residência intermediário. Os pontos PC17, PC18, PC19, PC21 e TUBE01, por sua vez, apresentaram algumas amostras supersaturadas em quartzo. Porém, o TUBE01, situado em uma zona de descarga e com águas de circulação mais profunda, foi o que apresentou o maior número de amostras com $IS(\text{quartzo}) > 0$, ou seja, com tendência à precipitação (ou impossibilidade de dissolução) de quartzo.

Chamam a atenção, entretanto, os dois picos de valores mínimos que foram registrados nas amostras coletadas nos meses de março e junho de 2011, em todos os pontos desse perfil. Os eventos chuvosos que aconteceram no final de dezembro/2010 e meados de março/2011 são a provável causa da ocorrência desses picos. Desta maneira, a queda de concentração de sílica denunciada pelo pico (mínimo) de $IS(\text{quartzo})$ ocorrido em março deve ter sido desencadeada pelo pico de chuva do dia 28/12/2010 (97,6 mm) e aquela ocorrida no mês junho pela chuva do dia 13/03/2011. Ou seja, em ambos os casos houve um atraso de cerca de 70 dias entre as datas das precipitações pluviométricas e dos picos de mínima observados.

sílica amorfa - No que se refere às curvas de IS (sílica amorfa), todas as amostras apresentaram-se subsaturadas, ou seja, com potencial à dissolução de SiO_2 de outros silicatos, além do quartzo (Gráfico 2 da Figura 7.60).

gibbisita - Com exceção de três amostras do TUBE01 e uma amostra do PC23, as curvas de IS (gibbisita) se apresentaram sempre na região de supersaturação de gibbisita. Chamam também a atenção os comportamentos semelhantes das curvas de $IS(\text{gibbisita})$ entre os pontos SURG01 e TUBE01, bem como entre os poços PC18 e PC23 (Gráfico 3 da Figura 7.60).

No primeiro caso, os dois pontos, situados bem próximos geograficamente (115 metros de distância), mostraram uma gradativa queda nos valores de IS desde nov/2010 até jul/2011, período a partir do qual iniciou-se uma sequência de aumentos nos índices de saturação, possivelmente em decorrência do ápice do período seco, quando não houve recarga do

aquífero. No segundo par de pontos, entretanto, percebe-se que suas curvas mostram uma alternância de picos de máximos e mínimos.

No caso das curvas de IS (gibbissita) apresentadas pelos poços PC17, PC19 e PC21, observou-se que as mesmas também apresentam uma alternância de picos de máximos e mínimos, ao longo de todo o período estudado.

goethita e hematita - Os gráficos que apresentam as curvas de IS (goethita) e IS (hematita) mostram quase sempre valores superiores a zero, ou melhor, situados na região de propensão à precipitação (ou à não dissolução) desses minerais. Da mesma forma que os IS (gibbissita), os índices de saturação de goethita e hematita mostram uma grande oscilação de valores, ao longo do período analisado, com elevações e quedas alternadas. Tais alternâncias podem ter sido causadas por eventos de precipitação e dissolução destes minerais ferruginosos ou influências da evapotranspiração (Gráficos 4 e 5 da Figura 7.60).

caulinita e muscovita - O comportamento dos índices de saturação da caulinita e da muscovita (K-mica) nos pontos pertencentes ao Perfil PC18-PC21 mostra que, na maior parte do período de amostragem, houve uma tendência a não dissolução da caulinita e também, em menor escala, da muscovita. Porém, em alguns momentos esses minerais estiveram sujeitos a processos de dissolução, como ocorreu (nitidamente) no mês de março de 2011. Nesse mês, as amostras de todos os pontos desse perfil (com exceção do PC19 e PC21) apresentaram IS (caulinita) e IS (K-mica) inferiores a zero. No caso da caulinita, a reação de dissolução produz gibbissita, sílica solúvel e o íon K^+ , sendo que, no caso da muscovita, o produto principal de dissolução é a própria caulinita. Ou seja, em termos de balanço de massa, há um equilíbrio na entrada e saída de caulinita do sistema, o que corresponde a certa estabilidade desse mineral nessa porção do sistema aquífero. Os diagramas 7.42 a 7.50 de estabilidade de aluminossilicatos corroboram com essa afirmativa (Gráficos 6 e 7 da Figura 7.60).

calcita - Quanto ao comportamento dos índices de saturação da calcita nesse perfil ao longo do período estudado, as curvas apresentadas no Gráfico 8 (Figura 7.60) mostraram claramente uma tendência à subsaturação desse mineral nas águas amostradas. Uma exceção, entretanto, é percebida na curva referente ao poço TUBE01, que capta água no aquífero fissural-cárstico. Os valores de IS (calcita) obtidos para esse poço estiveram sempre próximos ao equilíbrio, levemente supersaturados, estando compreendidos entre 0,14 e 1,37 em mais de 80% do tempo, como já era esperado.

gesso - Como observado nos demais perfis distribuídos ao longo da área do CNPMS, os índices de saturação para o gesso estão sempre situados na região de subsaturação, ou seja, com propensão a não precipitação ao longo desse perfil (Vide Gráfico 9 – Figura 7.60).

barita - Nas curvas que traduzem o comportamento do IS (barita), quase sempre inferior a zero nesse perfil (Gráfico 10 – Figura 7.60), destacam-se os valores encontrados nas amostras do PC17 entre os meses de nov/2010 e mai/2011, que estiveram bem próximos à situação de equilíbrio. Além disso, salienta-se ainda que ocorreu nesse poço, no mês de janeiro, uma supersaturação em barita ($IS = 0,89$), indicando possibilidade em precipitação desse mineral sulfatado neste mês. Ainda neste mesmo perfil, a amostra coletada em jun/2011 no PC19, também apresentou $IS > 0$. A propósito, ao longo do período e espaço investigado neste trabalho, apenas três amostras apresentaram potencial à precipitação de $BaSO_4$. A outra amostra foi coletada no PC01, também no mês de janeiro. Diante disso, acredita-se que a origem do Bário nas águas dos aquíferos analisados seja oriunda da lixiviação das camadas de solo mais superficiais, haja vista que as maiores concentrações desse elemento foram registradas em janeiro/2011, após o maior pico de chuva ocorrido no período estudado.

PERFIL 6 (PC01 – PC16)

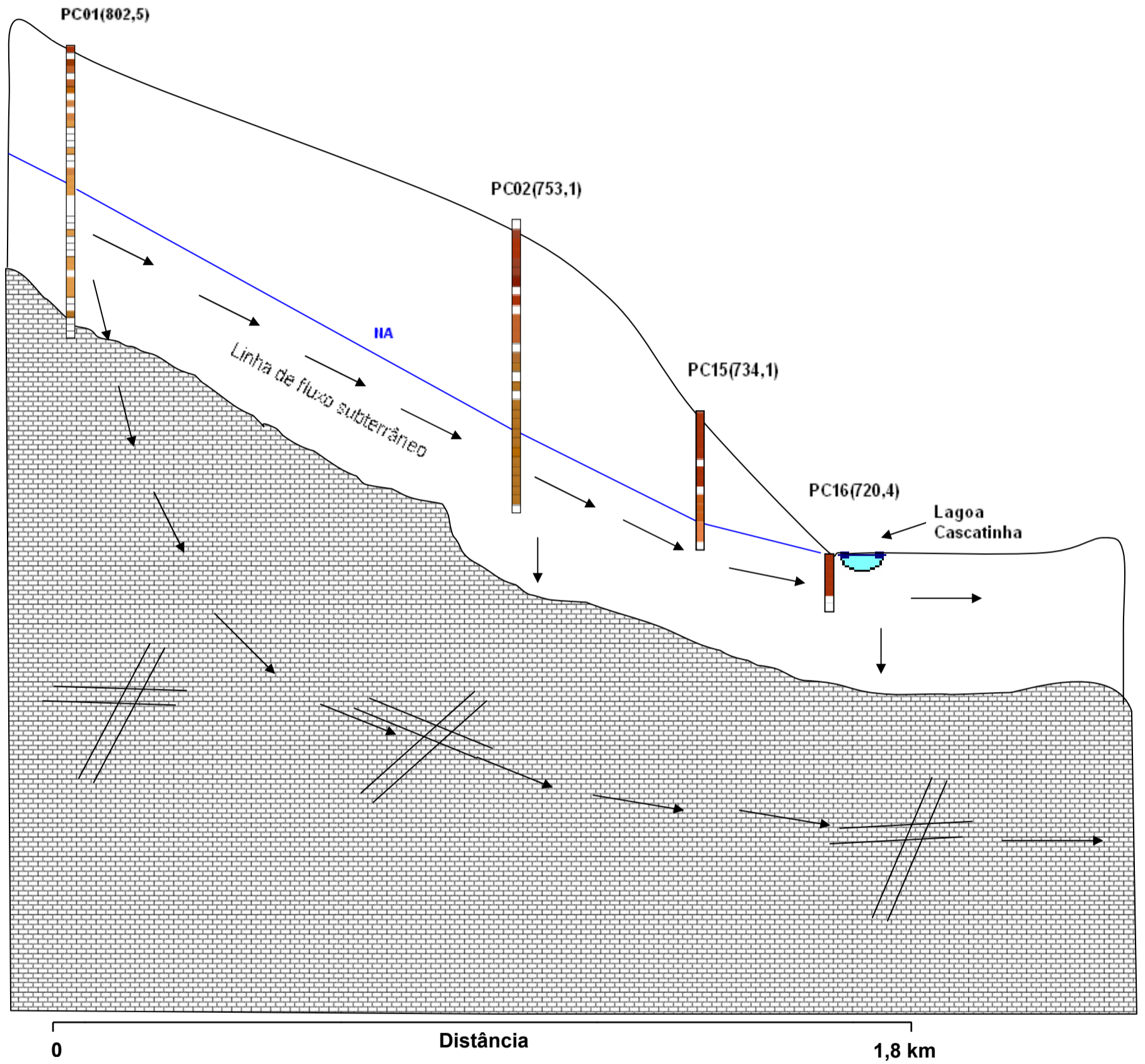
A Figura 7.62 apresenta os gráficos que representam o comportamento do índice de saturação de alguns minerais ao longo do Perfil 6.

A Figura 7.63, a seguir, mostra um perfil esquemático da seção existente entre os poços PC01 e o PC16, no qual são representados os traçados inferidos do relevo, do nível freático e das linhas de fluxo subterrâneo.



Figura 7-62 - Gráficos mostrando o comportamento do Índice de Saturação de alguns minerais, ao longo do Perfil 6 (PC01-PC16)(Nov./2010 a Out./2011)

PERFIL 6 (PC01 – PC16)



Legenda

PC01(802,5) = Poço(Altitude em metros)



Calcário



Cobertura



Fraturas/Falhas
Calcário

Figura 7-63 – Perfil 6: Perfil hidrogeológico esquemático entre os poços PC01 e o PC16

quartzo e sílica amorfa - Analisando-se os Gráficos 1 e 2 (Figura 7.62), verifica-se que as águas dos poços PC15 e PC16 apresentaram-se sempre propensas à dissolução de quartzo e conseqüentemente de sílica amorfa. No que se diz respeito aos poços PC01 e PC02, algumas amostras apresentaram supersaturação em quartzo, ou seja, com impossibilidade à dissolução desse mineral durante alguns meses do ano hidrológico 2010-2011.

gibbisita, goethita e hematita - Ao longo de todo o período analisado, as águas dos poços inseridos no perfil PC01-PC16 mostraram-se sempre supersaturadas em gibbisita, goethita e hematita, como mostram os Gráficos 3, 4 e 5 (Figura 7.62), com uma grande propensão à precipitação desses minerais.

caulinita e muscovita - Os Gráficos 6 e 7 (Figura 7.62) revelam que nos aquíferos dos poços presentes nesse perfil, não há uma tendência à dissolução de caulinita e muscovita. Apenas os poços PC15 e PC16 apresentaram, esporadicamente, propensão à dissolução, tanto de caulinita como de muscovita. De forma complementar, os diagramas das Figuras 7.42 a 7.50 mostram que, para a maioria das amostras (nos poços PC15 e PC16), o aluminossilicato mais estável foi a caulinita, porém em algumas foi a gibbisita.

calcita - De modo geral, verificou-se uma tendência à dissolução (ou não precipitação) de CaCO_3 nas águas dos poços deste perfil. Apenas três amostras apresentaram IS (calcita) maior que zero, sendo uma no PC15 (0,17), outra no PC16 (0,66) e uma terceira no PC01 (0,04) (Gráfico 8 da Figura 7.62).

gesso - O Gráfico 9 (Figura 7.62) mostra que não há propensão em ocorrer precipitação de CaSO_4 nas águas que circulam ao longo do perfil PC01-PC16.

barita - Neste perfil, apenas o poço PC01 apresentou uma amostra com propensão à precipitação de barita. Nas demais amostras coletadas nos poços que representam esse perfil, a barita esteve sempre subsaturada, como mostra o Gráfico 10 (Figura 7.62).

8 MODELO HIDROGEOQUÍMICO

Com base nas informações levantadas sobre a geologia, hidrogeologia, clima, pluviometria, solos, hidroquímica das águas superficiais e subterrâneas, em trabalhos realizados por outros autores, na área e entorno da Fazenda Experimental da EMBRAPA em Sete Lagoas-MG, e de forma complementar, utilizando os resultados de análises químicas e mineralógicas dos solos, análises físico-químicas das águas subterrâneas e cálculos do estado de saturação dos minerais obtidos ao longo do desenvolvimento deste trabalho, foi elaborado um modelo hidrogeoquímico conceitual para o sistema aquífero existente na área do CNPMS.

Na Figura 8.1 está apresentada uma seção esquemática representativa do modelo hidrogeoquímico conceitual, do domínio de interesse hidrogeológico do CNPMS, sobre a qual serão feitas as considerações específicas apresentadas a seguir.

Equações representativas dos processos químicos relevantes

- (1) $H_2O + CO_2 \rightleftharpoons H_2CO_3 / H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^-$
- (2a) $SiO_2 + 2H_2O \rightarrow H_4SiO_4$; (2b) $H_4SiO_4 \rightarrow SiO_2 + 2H_2O$
- (3) $Al^{3+} + 3H_2O \rightarrow Al(OH)_3$ (Gibbisita)
- 4) $Fe^{+3} + 2H_2O \rightarrow FeOOH$ (Goethita) + $3H^+$
- (5) $Al_2Si_2O_5(OH)_4 + 5H_2O \rightarrow 2Al(OH)_3 + 2H_4SiO_4$
Caulinita Gibbisita
- (6) $2KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2 + 3H_2O + 2H^+ \rightarrow Al_2Si_2O_5(OH)_4 + 2K^+$
Muscovita Caulinita
- (7a) $CaCO_3$ (Calcita) + $H^+ \rightarrow HCO_3^- + Ca^{+2}$
- (7b) $CO_3^{-2} + Ca^{+2} \rightarrow CaCO_3$ (Calcita)
- (8) $2FeS_2 + 15/2O_2 + 5H_2O \rightarrow 2FeOOH + 4SO_4^{2-} + 8H^+$
Pirita Goethita

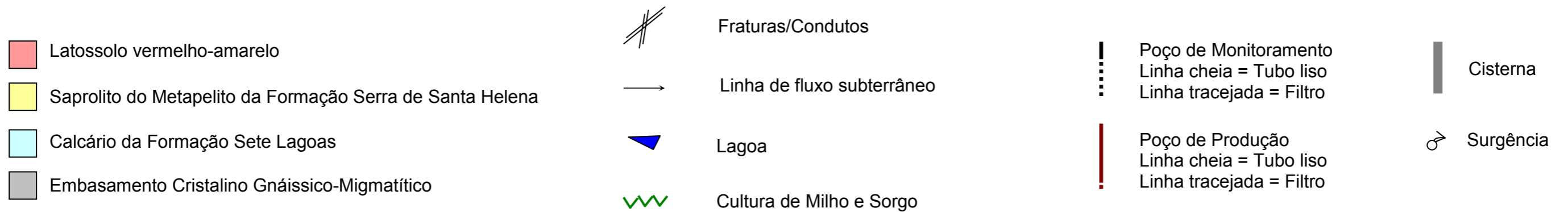
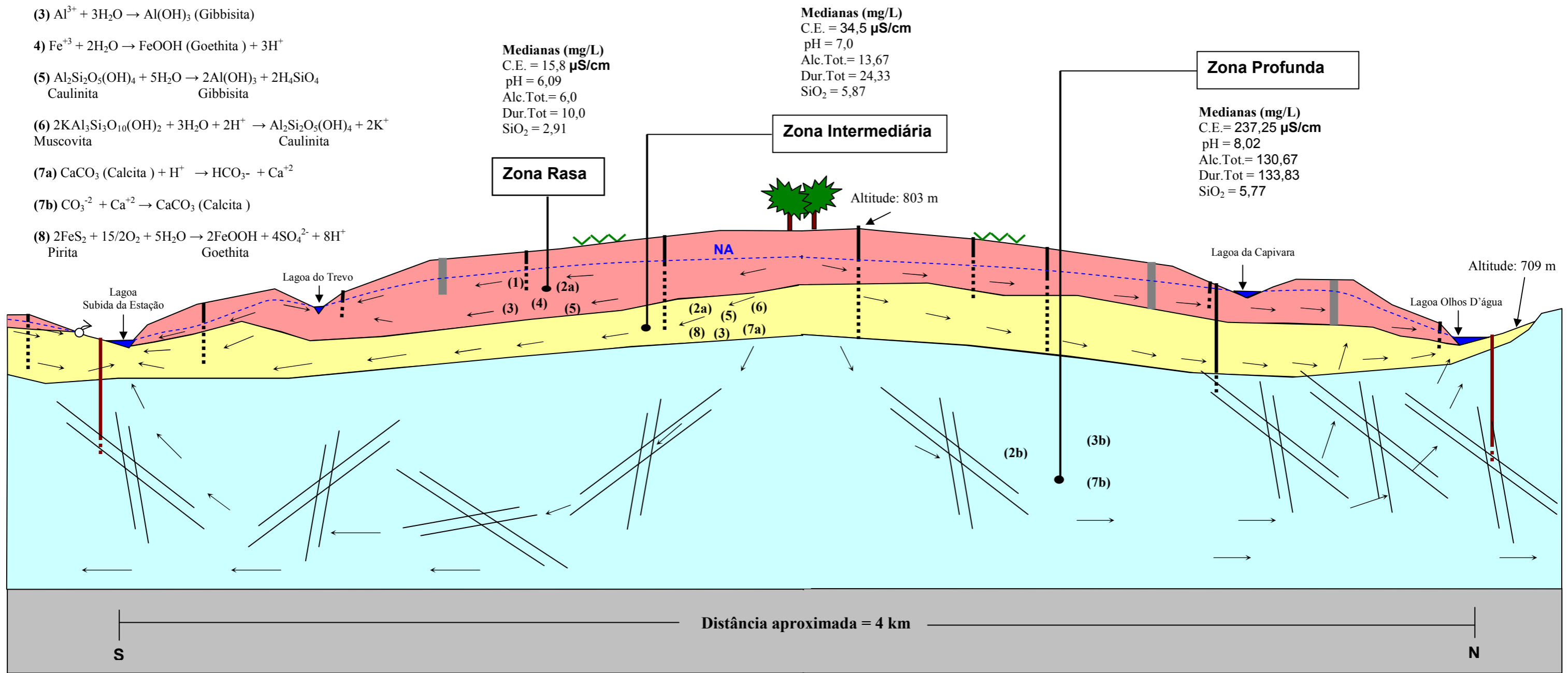


Figura 8-1 - Perfil esquemático (N-S) representando o modelo hidrogeoquímico conceitual do sistema aquífero existente na área do CNPMS – EMBRAPA – Sete Lagoas/MG

Primeiramente, ressalta-se que o sistema aquífero existente na área do CNPMS é constituído por um aquífero fissural-cárstico, em sua base, e por um aquífero poroso em sua porção superior. Trata-se de um sistema livre, mostrando uma conexão hidráulica entre os dois aquíferos que o constitui e uma superfície freática com profundidade variando entre 0 e cerca de 30 metros, a qual, por sua vez, encontra-se sempre situada no aquífero superior. O aquífero fissural-cárstico (basal) encontra-se desenvolvido em rochas calcárias da Formação Sete Lagoas (Membro Lagoa Santa). Já o aquífero superior, poroso, é desenvolvido em saprolitos de rochas metapelíticas da Formação Serra de Santa Helena, sobre os quais estão assentados latossolos de coloração vermelho-amarelada. A recarga do aquífero poroso de cobertura (Saprolito e Latossolo) é quase exclusivamente feita por infiltração da água da chuva, que se concentra entre os meses de outubro a março. Cabe salientar, entretanto, que durante alguns períodos de estiagem os cultivos existentes na área do CNPMS são submetidos a processos de irrigação, os quais, acredita-se, não devem contribuir de forma expressiva na recarga do aquífero superior. Por outro lado, o aquífero fissural-cárstico é alimentado, conseqüentemente, pela água proveniente do aquífero poroso da cobertura. De acordo com o modelo hidrogeológico desenvolvido por Machado (2011), o aquífero fissural-cárstico apresenta condutividade hidráulica variando entre 10^{-7} m/s (pouco fraturado) e 10^{-3} m/s (carstificado) e o aquífero de cobertura mostra valores de $K(x,y,z)$ da ordem de 10^{-6} m/s.

As linhas de fluxo que se originam na principal área de recarga do CNMPS, situada à montante do poço PC01, seguem tanto para a porção sul como para a porção central do Centro de Pesquisas. Na porção central do Centro de Pesquisas, as linhas convergem para a zona de descarga local existente na região da lagoa Olhos D'água. Por outro lado, as linhas de fluxo que seguem para a porção sul acabam por convergir na Lagoa da Subida da Estação ou na região da Lagoa do Trevo.

Localmente, os níveis de base desse sistema aquífero são os ribeirões Matadouro e Jequitibá, além do córrego Marinheiro, como ressalta Castro (2011), e regionalmente, a descarga natural desses aquíferos ocorre quando o volume infiltrado atinge zonas de circulação lenta e mais profunda, na forma de uma recarga efetiva, e/ou escoar ao longo dos condutos endocársticos rumo ao Rio das Velhas, que é o nível de base regional, considerando que o embasamento cristalino não funciona como um receptor de água, como destaca Pessoa (1996). Além disso, a descarga também ocorre artificialmente, por meio da exploração da água subterrânea através de poços tubulares que alimentam as dependências do CNPMS.

Neste trabalho, como apresentado anteriormente, três zoneamentos hidroquímicos foram identificados no sistema aquífero do CNPMS, que estão de acordo com as profundidades dos pontos estudados (poços, cisternas e nascentes) e associados às suas condições específicas de circulação e tempo de trânsito da água subterrânea.

A primeira zona hidroquímica é a Zona Rasa, que coincide com a porção superior do Aquífero Poroso de Cobertura, que apresenta águas menos mineralizadas ($C.E._{Mediana} = 15,8 \mu S/cm$), com fácies bicarbonatada-cálcica. A zona intermediária (de transição), que está associada à porção inferior do aquífero de cobertura (em contato com a rocha calcária existente no substrato rochoso), mostra águas razoavelmente mineralizadas ($C.E._{Mediana} = 34,5 \mu S/cm$), um pouco mais enriquecidas em íons cálcio e bicarbonato. A zona profunda, que está intimamente relacionada ao aquífero desenvolvido em fendas/conduitos da rocha calcária, apresenta águas bem mais mineralizadas ($C.E._{Mediana} = 237,2 \mu S/cm$) e com fácies fortemente bicarbonatadas-cálcicas.

A partir da análise dos dados da Tabela 7.20, que apresenta os valores das médias das medianas dos grupos de *cluster* que compõem esses três zoneamentos hidroquímicos, verifica-se que, da zona rasa à zona profunda, os resultados mostraram um aumento nos valores de pH, cálcio e magnésio, bem como nas concentrações de íons bicarbonato e nos valores de Condutividade Elétrica (C.E.), indicando um aumento na salinidade. Entretanto, comparando as três categorias de água subterrânea (e respectivas zonas hidroquímicas) do sistema aquífero, constata-se que na zona rasa as concentrações medianas médias de ferro, manganês e alumínio são maiores. Por sua vez, as águas amostradas na zona intermediária mostraram maiores concentrações em sílica e íons cloreto, sulfato e nitrato. A propósito, as concentrações medianas médias de nitrato estão próximas nas três zonas hidrogeológicas, mostrando valores medianos (da ordem de 1,6 mg/L) inferiores a 5% (do limite máximo permitido do padrão de potabilidade, 44,3 mg/L de NO_3 , estabelecido pela Portaria 2914/2011 (BRASIL, 2011)). Com relação às águas de circulação profunda, as mesmas apresentam maiores concentrações medianas médias de Condutividade Elétrica (237,2 $\mu S/cm$), pH (8,02), Dureza Total (130,7 mg/L) e Alcalinidade Total (133,9 mg/L).

A interação entre água-solo/rocha é melhor observada por meio dos parâmetros pH, HCO_3^- , Ca^{+2} , K^+ e SiO_2 . O aumento dos valores de pH e de Alcalinidade Total do topo para a base do

sistema aquífero ocorre em função da maior intensidade do contato da água com a rocha calcária e conseqüente maior dissolução da calcita, de acordo com a seguinte equação:



Na zona rasa do sistema aquífero (porção superior do aquífero poroso de cobertura) esse contato inexistente. Na zona intermediária (porção inferior do aquífero poroso de cobertura) há um contato interfacial da água da base deste aquífero de cobertura com o topo da rocha carbonática. Já na zona profunda, a água tem um contato intenso com essa rocha, visto que circula por entre as fendas e condutos existentes nesse substrato rochoso fissurado e carstificado. Em conseqüência disso, constata-se que há também um aumento, do topo para a base, nos valores de índice de saturação da calcita (Tabela 7.20) , que se apresenta saturada nas águas com longo tempo de trânsito, nas zonas de descarga.

Na explicação da composição química da água subterrânea da região, foram considerados os seguintes processos: recarga, por meio de precipitação pluviométrica; evapotranspiração (evapoconcentração); uma possível troca iônica e as reações com silicatos, óxidos/hidróxidos e carbonatos.

A água da chuva é considerada, para a área estudada, a fonte exclusiva de recarga do sistema aquífero. Sendo assim, a recarga proveniente das irrigações não é considerada como representativa neste trabalho. Apesar de não se ter dados referentes à composição química da água da chuva local, assume-se que a mesma seja pouco mineralizada, bicarbonatada e com pH da ordem 5,6, conforme destaca Appelo e Postma (2005).

Na zona vadosa e na porção mais rasa do aquífero de cobertura, acredita-se que o processo de evapotranspiração age, sazonalmente, concentrando a água subterrânea, visto que a profundidade do lençol freático na área do CNPMS é relativamente rasa, variando entre 0 e 30 m, principalmente nos locais onde esse se encontra um solo com fração mais fina (com maior capacidade de campo).

Os processos e reações que justificam a evolução química das águas devem ser consistentes com os minerais presentes nas litologias das várias camadas que compõem o sistema aquífero do CNPMS, que são:

- Rocha calcária (da Formação Sete Lagoas), situada na base: quase exclusivamente constituída por calcita, podendo estar acompanhada, eventualmente, de quartzo e pirita (Piló, 1998);
- Solo saprolítico disposto sobre a rocha calcária (formado por minerais oriundos ou alterados da rocha metapelítica da Formação Serra de Santa Helena e transportados dos latossolos sobrepostos), composto principalmente por muscovita, quartzo, caulinita e goethita; e
- Latossolo vermelho-amarelo desenvolvido sobre o saprolito de rocha metapelítica, composto por muscovita, illita, quartzo, caulinita, goethita, hematita, Vermiculita, gibbissita, rutilo e Anatásio.

Foi analisado, no sistema aquífero, o comportamento da água subterrânea em contato com essas fases minerais, que foram selecionadas com base nos resultados da difratometria de Raios-X, realizada em amostras coletadas durante as perfurações executadas na área de estudo. Para essas fases foram calculados, por meio do código PHREEQC (PARKHURST e APPELO, 1999), os estados (índices) de saturação em todas as amostras de água, independente do erro no equilíbrio iônico. Considerou-se que a solução (água subterrânea) está em equilíbrio com as várias fases minerais quando os índices de saturação estão entre -0,5 e 0,5, em função das incertezas existentes nas análises laboratoriais e nos valores numéricos das constantes termodinâmicas, em consonância com Almagro e Custodio (2004).

A partir dos resultados de 347 análises químicas, foram obtidos os índices de saturação (IS) relativos às seguintes espécies minerais: quartzo, sílica amorfa, gibbissita, goethita, hematita, caulinita, K-mica (muscovita), calcita, gesso e barita. Os IS foram calculados com base no pH determinado no laboratório. A Tabela 7.20 (Item 7.2.6) apresenta os valores medianos e as Figuras de 7.51 a 7.62 (Item 7.2.7) apresentam os gráficos temporais desses índices de saturação, obtidos para todas as amostras coletadas.

Com base nos índices de saturação medianos apresentados na Tabela 7.20 (Item 7.2.6), pode-se dizer que, de um modo geral, as águas do sistema aquífero existente na área do CNPMS são:

- **Supersaturadas** (com tendência à precipitação e não à dissolução) em **goethita, hematita, caulinita e muscovita (K-mica)** em todos os pontos amostrados e em **gibbisita** em quase todos os pontos, com exceção de alguns situados em zonas de descarga;

- **Subsaturadas** (com tendência à dissolução e não à precipitação) em **sílica amorfa, barita, gesso**. Além disso, foram **Subsaturadas** em **calcita** em quase todos os pontos amostrados, com exceção de alguns situados em zonas de descarga. A alta subsaturação da água verificada em algumas amostras foi considerada como uma ausência de calcita, especificamente naquele ambiente hidrogeológico; e

- **Subsaturadas**, com tendência à dissolução, em 65%; **Supersaturadas**, com predisposição à precipitação, em 21% e, **Saturadas**, com propensão ao equilíbrio, em 14% das medianas de IS(quartzo);

Com base nos diagramas de estabilidade de aluminossilicatos, apresentados nas Figuras 7.42 a 7.50, em que são adicionadas as linhas de solubilidade do quartzo e sílica amorfa, a 20°C, nota-se que a maior parte dos valores medianos das amostras situa-se abaixo tanto da linha de estabilidade da sílica amorfa como do quartzo, enquanto que uma menor parte encontra-se um pouco acima (Supersaturação) da linha de estabilidade de quartzo, mas sempre abaixo (Subsaturação) da linha da sílica amorfa.

Baseando-se nesses diagramas, interpreta-se que o meio tem um alto grau de alteração e lixiviação do solo, o que faz com que a água esteja em equilíbrio com a fase mineral caulinita (recarga elevada), chegando a algumas (poucas) vezes a estabelecer o equilíbrio com a fase mineral gibbisita (recarga muito elevada), que é produto de alteração da caulinita.

De acordo com as litologias e mineralogias das formações geológicas por onde a água infiltra, os processos de interação água-rocha no sistema aquífero da área do CNPMS podem ser descritos pela sequência espaço-temporal apresentada a seguir.

Ao penetrar na zona vadosa (ou zona não saturada em água), a água de chuva (de recarga) que não é retornada à atmosfera por evapotranspiração se move até atingir o lençol freático. Assumindo que o movimento da água subterrânea nas condições locais seja lento, entende-se que, durante esse percurso, ocorrem reações de dissolução da goethita, hematita, caulinita, gibbisita e quartzo, principais minerais existentes nesta zona. Assim, a atuação combinada do

processo de evapotranspiração e dissolução dos minerais de ferro e alumínio proporcionam uma “evapoconcentração” desses elementos na água, tornando-a saturada em goethita, hematita e gibbissita. Tal afirmação se baseia nos resultados dos cálculos de índices de saturação desses minerais, que foram sempre positivos nas águas da porção superior do aquífero de cobertura, ao longo de todo o período avaliado (nov/2010 a out/2011). A única exceção foi registrada em uma amostra coletada no poço PC15, que apresentou índices de saturação em goethita e hematita inferiores a zero. Quanto ao quartzo, verifica-se que a água que percola a zona vadosa dissolve esse mineral, porém não se torna saturada no mesmo, uma vez que os seus índices de saturação foram sempre negativos nas amostras de água coletadas na zona menos profunda do aquífero de cobertura, durante todo o ano hidrológico 2010-2011.

Sendo assim, ao atingir a superfície freática do sistema aquífero, a água subterrânea se encontra supersaturada ($IS > 0$) em goethita, hematita e gibbissita, ou seja, com um potencial para a não dissolução, ou uma predisposição à precipitação, desses minerais. Por outro lado, atinge o lençol freático subsaturada em quartzo ($IS < 0$), mostrando-se ainda apta à dissolução desse mineral.

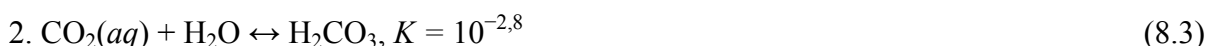
Ao longo de seu percurso pela zona rasa (saturada em água) do sistema aquífero, que coincide com a porção superior do Aquífero Poroso de Cobertura, a água subterrânea atinge um grau de supersaturação em goethita, hematita e gibbissita, fato que é verificado tanto no período seco como no período chuvoso. O índice de saturação em quartzo, no entanto, permanece negativo, denunciando que o tempo de trânsito por essa porção do sistema aquífero não foi suficiente para saturar a solução (água subterrânea) com relação a esse mineral. Cabe ressaltar que mesmo nos períodos de estiagem, com ausência de recarga e maior atuação do processo de evapotranspiração, os IS (quartzo) foram inferiores a zero. No que se refere ao mineral muscovita (K-mica) e seu produto de alteração, o argilo-mineral caulinita, percebe-se que os mesmos se tornam susceptíveis à dissolução quando o aquífero é atingido por pulsos expressivos de recarga de água de chuva, como aquele propiciado pelo evento chuvoso ocorrido no dia 28/12/2010, que atingiu um acumulado diário de 96,4 mm. Quanto à dissolução de calcita, os índices de saturação calculados para esse mineral foram sempre negativos nessa porção do aquífero superior, indicando que as suas águas mostraram uma constante predisposição à sua solubilização. Entende-se que esse resultado ocorreu em função do topo do aquífero de cobertura não estar em contato direto com o substrato rochoso da Formação Sete Lagoas (constituído essencialmente por Calcário) e, assim, apresentar sempre

baixas concentrações de cálcio. Aliás, mesmo possuindo águas bicarbonatadas, provenientes do contato direto da superfície freática com o CO₂ atmosférico, como mostram as equações 8.2, 8.3 e 8.4 a seguir, verificou-se que algumas amostras apresentaram índices de saturação em calcita “muito negativos (IScalcita << 0)”, denunciando que essas águas não tiveram contato com esse mineral e, por esse motivo, refletem basicamente a composição e o caráter ácido das águas das chuvas.

(Dissolução do gás carbônico na água)



(Interação do gás dissolvido com a água produzindo ácido carbônico)

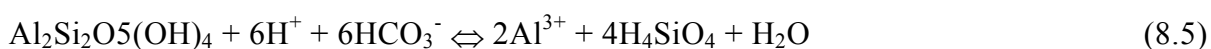


(Ácido carbônico originando bicarbonatos)



OBS: H₂CO₃* é uma espécie hipotética representando conjuntamente H₂CO₃ e CO₂, devido à dificuldade de distinguir analiticamente as duas espécies químicas.

Os resultados medianos obtidos para o grupo de *cluster* 1 (Vide Tabela 7.6), que caracterizam águas de curto tempo de trânsito e profundidade de circulação rasa, mostram que a razão entre as concentrações (mol/l) de Alcalinidade Total e sílica nas amostras é próxima a 2. Esse valor está um pouco acima da razão (6/4) obtida para esses parâmetros na equação 8.5 (a seguir), que corresponde ao consumo da acidez na meteorização da caulinita, na qual o ácido carbônico é a principal fonte de prótons.



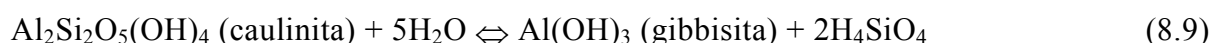
Isso ratifica que a porção do aquífero dos pontos desse grupo não tem (ou tem pouca) influência da dissolução da calcita, que é o principal mineral constituinte da rocha calcária que forma a base do sistema aquífero.

Outro processo que pode ocorrer nessa porção superior do aquífero de cobertura é o processo de troca iônica entre íons metálicos adsorvidos em argilas. As baixas concentrações de Na⁺ e K⁺, sempre inferiores às de Ca⁺², nas águas subterrâneas amostradas nas três zonas hidrogeológicas, em contradição com os teores de sódio e Potássio mais elevados que os de cálcio encontrados nas amostras de solo analisadas, sugerem a ocorrência de uma reação de

troca catiônica na porção mais rasa do sistema aquífero, apesar do predomínio de óxidos de ferro (hematita) e de alumínio (gibbisita) implicar em elevada carga positiva e, conseqüentemente, baixa capacidade de troca catiônica – CTC da argila. Diante desse fato, imagina-se que os íons Ca^{+2} adsorvidos nos argilo-minerais e/ou óxidos existentes nos latossolos sejam substituídos por íons Na^+ e, principalmente, por íons K^+ , como mostram as equações 8.6 e 8.7 a seguir.



Na base do aquífero poroso de cobertura, por sua vez, a circulação da água subterrânea pelos saprolitos dos Metapelitos da Formação Serra de Santa Helena possibilita um contato mais intenso com os minerais muscovita, caulinita e quartzo, bem como da gibbisita, goethita e hematita, provenientes do latossolo. Dessa maneira, verifica-se que, nessa porção do sistema aquífero, existe uma propensão inicial à dissolução de caulinita e muscovita (Ver reações 8.8 e 8.9 - KLEIN e HURLBUT, 1985 e 8.8, APPELO e POSTMA, 2005), que, no entanto, é atenuada em decorrência da maior aproximação do ponto de saturação (equilíbrio) dos mesmos.



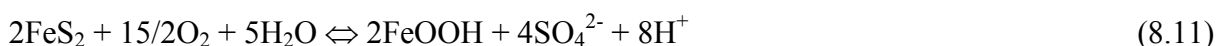
Entretanto, verifica-se que, após episódios significativos de chuva, a água subterrânea passa a se apresentar com potencial de solubilizar esses dois minerais. Como consequência, verifica-se que há uma maior disponibilização de sílica solúvel à solução (água subterrânea), que se torna supersaturada em quartzo ($\text{IS} > 0$), na maior parte do tempo, e com predisposição à sua não dissolução. Por outro lado, como essas águas se encontram subsaturadas em sílica amorfa, acredita-se que o teor de sílica encontrado nas mesmas é decorrente da alteração de minerais silicáticos.

Além disso, observa-se também que o contato dessa porção do aquífero superior com a rocha calcária da Formação Sete Lagoas (Membro Lagoa Santa) potencializa a reação de dissolução da calcita (Ver equação 8.10) no período chuvoso. No entanto, no período de estiagem (abril a

setembro de 2011), verifica-se que as águas da porção inferior do aquífero de cobertura chegam, eventualmente, a estar supersaturadas com relação a esse mineral, em função da ausência de recarga e, até mesmo, do processo de evapoconcentração.



Como destacado no item 7.2.5, em alguns dos 30 pontos de monitoramento de água subterrânea amostrados na área CNPMS foram registrados, em amostras específicas, baixos valores de pH (inferiores a 5) associados a elevações nas concentrações de sulfato na água (atingindo valores máximos da ordem de 45 mg/L). Tais registros foram interpretados como decorrentes da oxidação de pirita (Ver reação 8.11, a seguir), que parece ser um mineral acessório presente na rocha calcária que compõe o substrato rochoso local.



Na equação anterior, que descreve a oxidação da pirita, nota-se uma produção expressiva de íons H^+ . Acredita-se que exposições esporádicas desse mineral ao ambiente oxidante do aquífero livre existente na cobertura proporcionam as bruscas quedas de pH e os aumentos nas concentrações de sulfato nas águas de alguns poços situados na área do CNPMS, como no caso dos poços PC10 (Centro da área) e PC17 (Sul da área), que recebem água do Aquífero Poroso de Cobertura.

Salienta-se, entretanto, que essa acidificação da água subterrânea em função da reação de oxidação da pirita é momentânea, visto que ela somente ocorre quando há exposição da rocha calcária (que contém pirita) à zona vadosa (acima do lençol freático), onde a taxa de oxigenação é maior, e mais efetiva, que na zona saturada. Além disso, ressalta-se que há um processo de neutralização da acidez dessa água, quando a mesma entra em contato com a rocha calcária, provocando, assim, um reestabelecimento (aumento) dos valores de pH, ao se atingir equilíbrio com o meio (Ver equação 8.12, a seguir). Cabe ressaltar que esse efeito tampão age relativamente rápido em valores muito baixos de pH ($< 3,5$), visto que há um aumento da velocidade da reação de dissolução de carbonatos, como destaca Appelo e Postma (2005).



Deve-se ressaltar, ainda, que deve ocorrer, paralelamente ao da calcita, um outro processo de neutralização (menos intenso) da acidificação do meio causada pela oxidação da pirita, em função das reações com os silicatos presentes no saprolito (muscovita e caulinita).

É interessante destacar, também, que a redução esporádica, mas brusca, do pH causada pela oxidação da pirita torna o sistema aquífero local (ambiente subterrâneo) mais propício à solubilização de metais em suas águas, principalmente nos momentos e locais em que o mesmo atinja valores próximos ou inferiores a 4.

Em seguida, após percorrer a zona vadosa e o aquífero poroso de cobertura, a água subterrânea inicia um último estágio de deslocamento dentro do sistema aquífero, que se dá no aquífero fissural-cárstico, constituído essencialmente das porções das rochas carbonáticas que apresentam porosidades secundárias, desenvolvidas em fendas ou condutos (provenientes de fraturas ou falhas). As águas dos pontos pertencentes aos grupos de *cluster* 5, 6 e 7, consideradas como de circulação mais profunda e com maiores tempos de trânsito no sistema aquífero, possuem concentrações molares medianas de bicarbonato bem maiores que as de sílica e atingem estados de supersaturação em calcita (com tendência a precipitação de CaCO_3), em função do contato direto e prolongado (o suficiente) com a rocha calcária (carbonática). Algumas exceções foram registradas em amostras coletadas nos pontos PC09, CIST03 e TUBE04, que se apresentaram subsaturadas em calcita, nos períodos em que houve a atuação de pulsos expressivos de recarga de água de chuva. No que se diz respeito à solubilidade de quartzo, observa-se que, com exceção do poço PC09 e da cisterna CIST01, quase sempre ocorre a saturação em quartzo nesses pontos, ou seja, a água subterrânea chega ao aquífero cárstico já saturada em quartzo. No caso da cisterna CIST01, a água somente atinge a saturação nesse mineral no período de estiagem (seco), provavelmente em decorrência da atuação de processos de evapotranspiração. O PC09, cujo modelo hidrogeológico de Machado (2011) e as características hidroquímicas sinalizam que se encontra em uma zona de descarga, apresenta, de forma anômala, uma baixa concentração de sílica, quando comparados com os demais pontos situados em zonas de descarga. Entende-se que durante o seu deslocamento ao longo do sistema aquífero, a água que atinge o poço PC09 não circule por “terrenos” com teores significativos em sílica, ou seja, entra em contato apenas com os latossolos vermelhos e/ou rochas calcárias, que apresentam pequena ou nenhuma quantidade de minerais silicatos.

Observa-se, também, que as águas de circulação mais profunda estão normalmente saturadas em relação à muscovita/illita e caulinita, exceto quando a mesma recebe uma recarga significativa, em função de eventos de chuva expressivos, tornando-a subsaturada com relação a esses minerais. Além disso, nota-se que ocorre uma queda no índice de saturação da gibbissita nas águas do aquífero cárstico, em função da diminuição das concentrações em alumínio. Logo, supõe-se que ocorra uma precipitação de gibbissita ou óxido/hidróxido de alumínio no contato com o substrato rochoso, ou dentro das fendas/conduitos do aquífero cárstico. Essa hipótese é corroborada com o fato do alumínio se precipitar mais facilmente em águas com pH mais elevado, compatível aos daquelas que circulam em ambientes cársticos.

Em suma, ressalta-se que os estudos hidrogeoquímicos mostraram que existe uma evolução química das águas subterrâneas desde a zona de recarga, passando por uma zona intermediária (de transição) até a zona de descarga, aumentando gradativamente sua Condutividade Elétrica (salinidade), pH, Alcalinidade e as concentrações de cálcio e magnésio. Além disso, denotaram que há um enriquecimento significativo nas concentrações de sílica e pouco expressivo nas de sulfato, cloreto e nitrato entre as zonas rasa (recarga) e a zona de transição, as quais se estabilizam ao atingir a zona profunda do sistema aquífero. Por fim, destaca-se que ocorre uma diminuição nas concentrações de ferro e alumínio, quando são comparadas as águas subterrâneas mais rasas e mais profundas.

9 CONCLUSÕES

O presente trabalho consistiu na caracterização hidroquímica das águas subterrâneas e na elaboração de um modelo hidrogeoquímico conceitual para o sistema aquífero da área do Centro Nacional de Pesquisa (CNPMS) da EMBRAPA – Sete Lagoas/MG.

Para tal, foram utilizados resultados de análises químicas e de difratometria de Raios-X de amostras de solo, dados de análises físico-químicas de água subterrânea e de cálculos de índices de saturação dos principais minerais determinados na área, por meio do código computacional PHREEQC (PARKHURST e APPELO, 1999).

O modelo hidrogeoquímico conceitual, aqui desenvolvido, apresentou as reações e os processos responsáveis pela composição química das águas subterrâneas em três zonas de circulação da água no sistema aquífero existente no CNPMS.

Com base nas análises e interpretações feitas sobre os resultados produzidos no respectivo modelo hidrogeoquímico, com o qual se obteve uma caracterização geoquímica e hidroquímica do sistema aquífero, são apresentadas a seguir as principais conclusões obtidas ao longo deste trabalho.

- A área do CNPMS apresenta 38 tipos de geomateriais, com base em suas distintas cores de Munsell, cujas matizes (tonalidades) estão compreendidas entre os valores “2,5YR”, “5YR”, “7,5YR”, “10YR” e “2,5Y”.
- Considerando a área do CNPMS, não há uma relação direta entre a cor de Munsell de uma amostra de um geomaterial (solo, saprolito e rocha) e a sua composição química.
- Observou-se que os minerais quartzo, goethita, muscovita/illita (K-mica) e caulinita ocorrem tanto nos estratos de solo mais rasos como nos mais profundos. Por outro lado, os minerais

hematita, rutilo e gibbissita estão mais restritos aos solos menos profundos e mais avermelhados.

- As amostras de água subterrânea coletadas exclusivamente do Aquífero Fissural-Cárstico apresentaram significativos erros percentuais de balanço iônico, em função, provavelmente, das análises de Alcalinidade Total não terem sido realizadas em campo.

- Por outro lado, as amostras de água subterrânea provenientes do Aquífero de Cobertura (principalmente da sua porção superior, que não entra em contato com a rocha calcária) não apresentaram grandes erros de balanço iônico inerentes ao parâmetro Alcalinidade.

- Os pontos de monitoramento de água subterrânea amostrados na área do CNPMS, de uma maneira geral, apresentam uma tendência à fácies Bicarbonatada Cálcica, tanto para as águas oriundas do Aquífero Poroso de Cobertura como, principalmente, para as águas provenientes do Aquífero Fissural-Cárstico.

- Com exceção do pH, todos os parâmetros utilizados na análise de *cluster* (Alcalinidade Total, Dureza Total, Condutividade Elétrica e sílica) seguem uma distribuição LogNormal.

- As medianas dos parâmetros Condutividade Elétrica (CE), pH, bicarbonato (HCO_3^-) e cálcio (Ca^{+2}), em todas as amostras coletadas nos poços PC10 (Montante do ponto de lançamento do esgoto químico do laboratório do CNPMS) e PC11 (Jusante do ponto de lançamento), entre nov/2010 e out/2011, não se diferem para os dois poços, dentro de um nível de significância de 5% (ou confiança de 95%).

- Os efluentes do esgoto químico lançados no período de nov/2010 e out/2011, na área situada entre os poços PC10 e PC11, não causaram alterações significativas nos valores medianos dos parâmetros CE, pH, HCO_3^- e cálcio.

- As águas do sistema aquífero do CNPMS (aquíferos de cobertura e fissural-cárstico) apresentam três zoneamentos hidroquímicos distintos, diretamente associados à circulação e tempo de trânsito da água subterrânea neste sistema aquífero: Zoneamento Raso; Zoneamento Intermediário e Zoneamento Profundo.

- Os estudos hidrogeoquímicos mostraram que existe uma evolução química da água subterrânea desde a zona de recarga, passando por uma zona intermediária (de transição) até a zona de descarga, aumentando gradativamente sua Condutividade Elétrica (salinidade), pH, Alcalinidade e as concentrações de cálcio e magnésio. Além disso, denotaram que há um enriquecimento significativo nas concentrações de sílica e pouco expressivo nas de sulfato,

cloreto e nitrato, entre as zonas rasa (recarga) e a zona de transição, as quais se estabilizam ao atingir a zona profunda do sistema aquífero. Por fim, que ocorre uma diminuição nas concentrações de ferro e alumínio quando são comparadas as águas subterrâneas mais rasas e mais profundas.

- Os baixos valores de pH (< 5) e as concentrações relativamente elevadas do ânion sulfato são, possivelmente, encontrados nas amostras dos poços PC03, PC10, PC15 e PC17, que recebem águas do Aquífero Poroso de Cobertura, são decorrentes da oxidação de pirita, que deve ocorrer como mineral acessório nas porções da rocha calcária existente nas proximidades desses poços. Quanto às concentrações de ferro, entende-se que o fato das mesmas não apresentarem elevações em função da intemperização da pirita (de forma correlacionada às concentrações de sulfato) é, possivelmente, devido a uma precipitação desse elemento na forma de óxidos e/ou hidróxido (pouco solúveis em água), tendo em vista as condições oxidantes existentes no sistema.

- As concentrações relativamente elevadas do ânion sulfato encontradas nas amostras dos poços PC11, PC19, PC20, PC21, PC22 e PC23, que também recebem água do Aquífero Poroso de Cobertura, são provenientes de “plumas de sulfato” oriundas da oxidação da pirita ocorrida nas proximidades dos poços PC10 e PC17, que estão situados a montante dos primeiros.

- A redução esporádica, mas brusca, do pH causada, possivelmente, pela oxidação da pirita torna o sistema aquífero local (ambiente subterrâneo) mais propício à solubilização de metais em suas águas, principalmente nos momentos e locais em que o mesmo venha a atingir valores próximos ou inferiores a 4. Nesses locais, em determinados momentos, tais metais poderão ser mobilizados com maior facilidade, aumentando, assim, a possibilidade de contaminação do aquífero poroso de cobertura e até mesmo o aquífero fissural-cárstico sotoposto.

- A acidificação da água subterrânea em função da reação de oxidação da pirita é momentânea, visto que ela somente ocorre enquanto há exposição desse mineral, que se encontra na rocha calcária. Além disso, há um processo de neutralização da acidez dessa água, quando a mesma entra em contato com a rocha calcária, provocando, assim, um reestabelecimento (aumento) nos valores de pH, ao se atingir equilíbrio com o meio.

- Os resultados obtidos neste trabalho ratificam a localização das zonas de descarga definidas no modelo hidrogeológico de Machado (2011), haja vista que as amostras de água subterrânea

coletadas nos pontos inseridos nas mesmas apresentaram, de modo geral, pequenas variações nos valores de pH, Condutividade Elétrica, Sílica, Alcalinidade Total e Dureza Total.

- Alguns pontos de monitoramento (poços/cisternas/surgências) apresentaram variações nas concentrações dos principais parâmetros físico-químicos analisados em função dos picos de recarga provenientes dos eventos de chuva mais expressivos ocorridos ao longo do período estudado, que foram 28/12/2010 (96,4 mm) e 13/03/2011 (67,8 mm). Tal constatação denuncia uma vulnerabilidade à contaminação do aquífero cárstico captado pelos poços de produção, cuja água é utilizada para o abastecimento de algumas casas e edificações do CNPMS.

- Suspeita-se que a expressiva (e intrigante) semelhança de comportamento entre as curvas dos parâmetros pH, Condutividade Elétrica, Alcalinidade Total, Dureza Total e SiO_2 das cisternas CIST01 e CIST03 e dos poços TUBE04 e PC12 seja decorrente do fato desses pontos compartilharem uma mesma linha de fluxo subterrâneo.

- Alguns pontos de monitoramento que recebem água do Aquífero Poroso de Cobertura mostraram-se susceptíveis à atuação do processo de evapotranspiração, tendo em vista as flutuações (sobe e desce) das concentrações de alguns parâmetros ao longo do período analisado, bem como uma tendência de aumento dessas concentrações no período de estiagem, em que há ausência de recarga.

- Apesar do aumento esporádico do teor de sulfato verificado nos poços PC10, PC15, PC17, PC19 e PC21 (que recebem água do Aquífero Poroso de Cobertura), produzido a partir da oxidação da pirita, verificou-se que o Índice de Saturação do gesso foi sempre < 0 , ou seja, em nenhum momento houve condições propícias à precipitação de gesso (CaSO_4).

- O aumento nas concentrações de ferro verificado nas amostras de alguns poços que recebem água do Aquífero Poroso de Cobertura está associado, ao que tudo indica, ao processo de evapotranspiração e à ausência de recarga.

- As grandes amplitudes apresentadas por alguns parâmetros analisados nas amostras de água do PC12, ao longo do período de análise, mostrou que o aquífero desse poço é bastante sensível à variação climática sazonal e, conseqüentemente, aos processos de evapotranspiração e ausência de recarga.

- As quedas nas concentrações de sílica (mg/L) diagnosticadas nas amostras coletadas em março e em julho de 2011, nos pontos PC08, CIST03, TUBE02 e TUBE04, situados em uma mesma zona de descarga, foram provavelmente decorrentes de uma diluição da água do

aquífero amostrado, proporcionada pelos eventos chuvosos ocorridos nos dias 28/12/2010 (96,4 mm) e 13/03/2011 (67,8 mm). Nesses casos, percebeu-se que existiu um atraso de 60 a 70 dias entre os eventos chuvosos e as quedas nas concentrações.

- O aumento progressivo na concentração de sílica no período seco, como aquele verificado nas amostras coletadas poço PC01, deve ter ocorrido em função da combinação dos procesos de evapotranspiração e ausência de recarga.

- Supõe-se que o comportamento das curvas de índices de saturação verificado para a nascente NASC01 (Nascente do Sapo, que recebe água do Aquífero Poroso de Cobertura), que a cada três meses alterna a sua predisposição em dissolver ou não o mineral quartzo, ocorra em função de eventos cíclicos (3 em 3 meses) de precipitação desse mineral. Ou seja, ora há uma tendência à solubilização ora à precipitação (ou não solubilização) de quartzo.

- Diante das curvas que traçam o comportamento do parâmetro sílica referentes ao poço PC09, situado em uma zona de descarga, estima-se que os pulsos de chuva ocorridos nos dias 28/12/2010 e 13/03/2011, na área do CNPMS, tenham gasto entre 120 e 150 dias para atingir a zona do aquífero que fornece água para esse poço.

- Entende-se que durante o seu deslocamento ao longo do sistema aquífero, a água que atinge o poço PC09 não circule por “terrenos” com teores significativos em sílica, ou seja, entra em contato apenas com os latossolos vermelhos e/ou rochas calcárias, que apresentam pequena ou nenhuma quantidade de minerais silicatos.

- Caso o valor referente ao pico (máximo) de nitrato registrado no poço PC01 (20 mg/L, que representa aproximadamente 45% do VMP de nitrato em água potável), em março/2011, esteja correto, o mesmo poderá servir, preliminarmente, como um valor natural máximo de referência para a área, quando se quiser avaliar possíveis contaminações de nitrato na água subterrânea do sistema aquífero do CNPMS, visto que o mesmo recebe água de uma área que não possui lavouras a montante. Entretanto, é importante salientar que se trata de um dado isolado, obtido ao longo de apenas um ciclo hidrológico, não suficiente para se tirar conclusões confiáveis, sendo necessário um período maior de monitoramento;

- A única amostra neste estudo que apresentou supersaturação em barita ($IS > 0$) foi aquela coletada no mês de janeiro de 2011, no poço PC17. Neste caso específico, acredita-se que essa predisposição à precipitação apresentada por essa amostra tenha ocorrido devido ao “efeito do íon comum”, inerente ao ânion sulfato originado da oxidação da pirita.

- Atribui-se à combinação de atuação dos processos de evapotranspiração e ausência de recarga, a ocorrência de picos de valores máximos de alumínio no período seco, entre os meses de abril e setembro de 2011, em alguns poços que captam água no Aquífero Poroso de Cobertura.
- Com base nos valores lançados nos diagramas de estabilidade dos aluminossilicatos, conclui-se que a caulinita é o mineral aluminossilicato mais estável no Aquífero Poroso de Cobertura, tendo em vista que a maior parte dos valores medianos das amostras de água subterrânea analisada está em equilíbrio com o campo das caulinitas.
- Na zona vadosa, a atuação combinada do processo de evapotranspiração e dissolução dos minerais de ferro e alumínio proporciona uma “evapoconcentração” desses elementos na água, tornando-a saturada em goethita, hematita e gibbissita. Quanto ao quartzo, verifica-se que a água que percola esta zona dissolve esse mineral, porém não se torna saturada no mesmo.
- Ao atingir a superfície freática do sistema aquífero, a água subterrânea se encontra com um potencial para não dissolução (e uma predisposição à precipitação) dos minerais goethita, hematita e gibbissita. Por outro lado, atinge o lençol freático mostrando-se ainda apta à dissolução de quartzo. O estado de supersaturação em goethita, hematita e gibbissita é verificado tanto no período seco como no período chuvoso. O índice de saturação em quartzo, no entanto, permanece negativo ao longo de todo o ano. No que se refere ao mineral muscovita/illita (K-mica) e seu produto de alteração, o argilo-mineral caulinita, percebe-se que os mesmos se tornam susceptíveis à dissolução quando o aquífero é atingido por pulsos expressivos de recarga de água de chuva. Para a calcita, as águas mostraram uma constante predisposição à sua solubilização na porção superior do Aquífero Poroso de Cobertura.
- A água subterrânea existente na porção basal do Aquífero de Cobertura, que está em contato com o topo da rocha calcária da Formação Sete Lagoas (Membro Lagoa Santa), potencializa a reação de dissolução da calcita no período chuvoso. No entanto, no período de estiagem (abril a setembro de 2011) verifica-se que essa água chega, eventualmente, a estar supersaturada em calcita, em função da ausência de recarga e até mesmo do processo de evapoconcentração.
- A água subterrânea que percola o aquífero fissural-cárstico apresenta tendência à precipitação de CaCO_3 , em função do contato direto e prolongado (o suficiente) com a rocha calcária (carbonática). No que se diz respeito à solubilidade de quartzo, observa-se que, com

exceção do poço PC09 e da cisterna CIST01, quase sempre ocorre a saturação em quartzos nesses pontos, ou seja, a água subterrânea chega ao aquífero cárstico já saturada em quartzo.

- Observa-se, também, que as águas de circulação mais profunda estão normalmente saturadas em muscovita e caulinita, mas após a ocorrência de precipitações pluviométricas expressivas sobre a área do CNPMS, as mesmas passam a se apresentar aptas em solubilizar esses minerais. Além disso, nota-se que ocorre uma queda no índice de saturação da gibbissita nas águas do aquífero cárstico, em função da diminuição das concentrações em alumínio. Logo, supõe-se que ocorra uma precipitação de gibbissita ou óxido/hidróxido de alumínio no contato com o substrato rochoso ou dentro das fendas/conduitos do aquífero cárstico. Essa hipótese é corroborada com o fato do alumínio se precipitar mais facilmente em águas com pH mais elevado, compatível aos daquelas que circulam em ambientes cársticos.

10 RECOMENDAÇÕES

Concordando com Glynn e Plummer (2005), que destacam que, na conclusão de um estudo, os investigadores muitas vezes sabem melhor como o estudo deveria ter sido realizado, são apresentadas, a seguir, algumas recomendações para futuras pesquisas e trabalhos a serem desenvolvidos na mesma área de concentração em que foi realizado este estudo.

- Promover o desenvolvimento e a limpeza dos poços de monitoramento, para que futuras amostras de água subterrânea, que porventura venham a ser coletadas, não apresentem valores elevados de turbidez, os quais dificultam o processo de filtragem, preservação e análise das mesmas em campo.

- Para novas caracterizações hidrogeoquímicas (gerais ou específicas) do sistema aquífero da área do CNPMS, recomenda-se que as análises de pH, Condutividade Elétrica, Temperatura e Alcalinidade sejam realizadas em campo, após a filtragem das amostras.

- Para novas amostras a serem coletadas nos poços de produção do CNPMS, ou naqueles situados em zonas de descarga (p.ex.: poço PC08), é imprescindível que o parâmetro Alcalinidade seja realizado em campo e que os parâmetros sódio e Potássio sejam analisados com métodos que possuam limites de detecção inferiores a 1,46 mg/L e 0,252 mg/L, respectivamente.

- Após o desenvolvimento e limpeza dos poços de monitoramento, realizar duas novas campanhas de amostragem dos 30 pontos de monitoramento, durante um mês seco (entre abril e setembro), preferencialmente nos meses de junho e julho, com o intuito de analisar os principais parâmetros (pH, Condutividade Elétrica, STD, Temperatura, Alcalinidade, Dureza, cálcio, magnésio, Potássio, sódio, ferro, alumínio, Bário, sulfato, cloreto e nitrato). O objetivo seria obter resultados com uma maior precisão, com erros de balanço iônico inferiores a 5%, que possam ser utilizados em outros tipos de modelagens no PHREEQC, como por exemplo: simular uma modelagem inversa no PHREEQC e elaborar um modelo de transferência de massas e dos processos e reações que ocorrem na porção do aquífero superior situada entre os

poços PC01 e PC04; simular a evaporação de amostras de um mesmo poço de monitoramento que apresentaram diferenças bruscas de salinidade (condutividade elétrica) de um mês para o outro e simular processos de troca iônica.

- Coletar e analisar, mensalmente, amostras de água das chuvas que precipitam na área do CNPMS, ao longo de um ano hidrológico. Tais resultados poderão servir como base para diversos estudos a serem realizados dentro da área do CNPMS, como, por exemplo, uma modelagem hidrogeoquímica inversa.

- Instalar *dataloggers* e/ou medidores de nível d'água em alguns poços de monitoramento, buscando monitorar a variação de seus níveis de água em pequenos intervalos de tempo (segundos, minutos, horas) e buscar estabelecer uma relação entre a variação do nível d'água dos 22 poços de monitoramento com os dados de chuva e evaporação da estação meteorológica, bem como os dados de evapotranspiração de lisímetros instalados na área do CNPMS.

- Monitorar semanalmente (ou diariamente) os níveis de água, condutividade elétrica, pH e temperatura de todos os poços de monitoramento, cisternas, nascentes, poços de produção e piezômetro (PC07), durante um ano hidrológico, a fim de avaliar e quantificar a influência (volume e tempo de resposta) da recarga no aquífero fissural-cárstico inserido no sistema aquífero do CNPMS.

- Instalar poços de monitoramentos complementares ao lado dos poços PC03, PC02, PC08, PC09, PC18, PC17 e PC19, para a criação de baterias de poços multiníveis e, assim, melhor estudar a evolução hidrogeoquímica ao longo das linhas de fluxo do aquífero poroso de cobertura e sua influência no aquífero cárstico sotoposto.

- Estudar melhor a porção do aquífero de cobertura existente nas imediações dos poços PC10 e PC17, diante dos resultados anômalos verificados em algumas amostras coletadas nesses poços, que sugeriram a presença de pirita no substrato rochoso; o entorno do poço PC12, que apresentou comportamento bem distinto dos poços situados ao seu redor e mostrou às vezes semelhança de comportamento com as cisternas CIST01 e CIST03, bem como do poço de produção TUBE04; além da interação entre a surgência SURG01 e o poço TUBE01, situados em uma mesma zona de descarga, que apresentam comportamentos semelhantes, mas valores de concentrações bastante destoantes.

- Realizar seções geofísicas com Geo-Radar (GPR) perpendiculares à linha que une os pontos PC12, CIST01, CIST03 e TUBE04, com o intuito de melhor caracterizar a conformação do

substrato rochoso e seu contato com a cobertura, avaliando se existe alguma estrutura geológica controlando o fluxo subterrâneo neste trecho do sistema aquífero local.

- Realizar uma comparação entre resultados de amostras coletadas com *bailers* e com o método de baixa vazão, em um mesmo poço de monitoramento.
- Realizar estudos que avaliem a possível troca iônica, sugerida neste trabalho, entre os meios sólido e líquido da porção superior do aquífero de cobertura.
- Elaborar um modelo de transporte reativo (por meio do software PHAST, que acopla modelos hidrodinâmicos com modelo hidrogeoquímicos) para alguns potenciais contaminantes do sistema aquífero da área do CNPMS, como, por exemplo, para o pesticida Atrazina e seus metabólitos.
- Avaliar, por meio de uma análise de cluster, se existe correlação entre os teores de ferro e as cores de Munsell das amostras de solo coletadas na área do CNPMS.
- Avaliar, por meio de teste de hipótese, se existe diferença significativa entre os teores medianos de nitrato de poços de monitoramento situados dentro e fora das áreas de cultivo, que drenem água de um mesmo zoneamento hidrogeológico.

11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *ABNT NBR 15495-1/07: Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulados. Parte 1: Projeto e construção*. 2007. 25p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 13895/97: Construção de poços de monitoramento e amostragem*. 1997. 21p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 15495-2/2008: Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares. Parte 2: Desenvolvimento*. 2008. 24p.
- ALBERTO, D. A.; PILAR, D. M.; VALERIA, A. M.; FABIANA, P. S.; CECILIA, H. A. E ÀNGELES, B. M. Pattern recognition techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality. A case study: suquia river basin (Córdoba–Argentina). *Water Research*, v.35, n.12, p.2881-2894. 2001.
- ALKMIM, F. F. e NETO, M. A. M. A bacia intracratônica do São Francisco: arcabouço estrutural e cenários evolutivos. In: PINTO, C. P. e NETO, M. A. M. *Bacia do São Francisco: geologia e recursos naturais*. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia – Núcleo Minas Gerais, 2001, p.9-30.
- ALMAGRO L. e CUSTODIO, E.. Caracterización hidrogeoquímica de las aguas subterráneas de la Formación Chuy, en la franja costera del Este del Uruguay, fronteriza con Brasil. *Boletín geológico y minero*. 115: 357-377 p. 2004.
- ALTHER, G. A. A simplified statistical sequence applied to routine water quality analysis: a case history. *Ground Water*, v.17, n.6, p.556-561. 1979.
- ANDRADE, A. I. A. S. S. e STIGTER, T. Y. Hydrogeochemical controls on shallow alluvial groundwater under agricultural land: case study in central Portugal. *Environmental Earth Sciences*, v.63, p.809-825. 2011.
- ANDRIOTTI, J. L. S. *Interpretação de dados de prospecção geoquímica com o auxílio de estatística*. Porto Alegre: CPRM, 2010. 73p.
- APHA, AWWA e WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington, DC: American Public Health Association. 2005.
- APPELO, C. A. J. e POSTMA, D. *Geochemistry, groundwater and pollution*. Leiden: A.A. Balkema. 2005. 558 p.
- AQUACHEM (AQUEOUS GEOCHEMICAL DATA ANALYSIS AND PLOTTING). Versão 3.7.42. Waterloo, Canadá: Waterloo Hydrogeologic, 1997.
- ARAÚJO, W. A.; VIANA, O. ILCHEKO, V. VIANA, S. L. O Cálcio na agricultura. Segunda Reunião Brasileira da Ciência do Solo. Estado de Minas Gerais. Secretaria da Agricultura, Indústria, Comércio e Trabalho. Departamento de Produção Vegetal. Divisão de Química Agrícola. 1950. 35p
- ARCMAP, versão 10.0. Redlands, Califórnia: ESRI (Environmental Systems Resource Institute), 2010.

- AVELLAR, G.; SILVA, A. F. *Novas trilhas no sertão – história da pesquisa agropecuária em Sete Lagoas: das origens à Embrapa*. Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas. 2000. 183p.
- AVELLAR, G., GUIMARÃES, D. P., MELO, J. H. H. e LANDAU, E. C. *Plano de gestão ambiental da fazenda experimental da EMBRAPA Milho e Sorgo*. 2009. 12 p. (Relatório técnico).
- BAIN, D. C., MELLOR, A., ROBERTSON-RINTOUL, M. S. E. e BUCKLAND, S. T. Variations in weathering processes and rates with time in a chronosequence of soils from Glen Feshie, Scotland. *Geoderma*, v.57, n.3, p.275-293. 1993.
- BAIRD, C.. *Química ambiental*. 2ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.648 p.
- BARISON, M. R. *Estudo Hidrogeoquímico da Porção Meridional do Sistema Aquífero Bauru no Estado de São Paulo*. Jul. 2003. 153 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Pós-Graduação em Geociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP. 2003.
- BATISTA, R. C. B. *Caracterização hidrogeológica do entorno do Centro Nacional de Pesquisa Milho e Sorgo(CNPMS) em Sete Lagoas – MG*. Fev. 2009. 127 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) - Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2009.
- BELKHIRI, L., BOUDOUKHA, A., MOUNI, L. e BAOUZ, T. Statistical categorization geochemical modeling of groundwater in Ain Azel plain (Algeria). *Journal of African Earth Sciences*, v.59, n.1, p.140-148. 2011.
- BENTO, E. S. *Hidrogeoquímica e Modelo Hidrogeológico das Águas Subterrâneas no Baixo Curso do Rio Macaé, Município de Macaé-RJ*. 2006. 180 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2006.
- BERG, A. e BANWART, S. A. Carbon dioxide mediated dissolution of Ca-feldspar: implications for silicate weathering. *Chemical Geology*, v.163, p.25-42. 2000.
- BERTOLO, R. Aula 12/04/2012 - Aluminossilicatos: Intemperismo de Silicatos. São Paulo: USP, 2012. Disponível em: <www.igc.usp.br>. Acesso em: 02 Ago. 2012.
- BERTOLO, R., HIRATA, R. e FERNANDES, A. Hidrogeoquímica das águas minerais envasadas do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, v.37, n.3, p.515-529. 2007.
- BHARDWAJ, V., SINGH, D. S. e SINGH, A. K. Hydrogeochemistry of groundwater and anthropogenic control over dolomitization reactions in alluvial sediments of the Deoria district: Ganga plain, India. *Environmental Earth Sciences*, v.59, p.1099-1109. 2010.
- BITTENCOURT, A. V. L., FILHO, E. F. D. R., HINDI, E. C. e FILHO, A. C. B. A influência dos basaltos e de misturas com águas de aquíferos sotopostos nas águas subterrâneas do sistema aquífero serra- geral na bacia do rio piquiri, Paraná - BR. *Águas subterrâneas*, n.17, p.75. 2003.
- BOWER, H. *Groundwater hydrology*. New York: McGraw Hill Book Company. 1978. 480 p *apud* SANTOS, A.C. Noções de Hidroquímica. In: FEITOSA, F. A. C. e FILHO, J. M. *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*. Rio de Janeiro: Serviço Geológico do Brasil, 2008, p.325-357.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União; Poder executivo, Brasília, DF, 14 dez. 2011, Seção 1, p.39-46, 2011.

CASTRO, E. *Estudo hidrogeoquímico ambiental em região cárstica no município Sete Lagoas – Minas Gerais: Investigação da contaminação de águas superficiais e subterrâneas por nitrato e atrazina, na área do Centro Nacional de Pesquisa Milho e Sorgo da EMBRAPA*. Abr. 2011. 890 p. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2011.

CETESB. *Norma 6410/88: Amostragem e monitoramento das águas subterrâneas. Atualizada em 11/1999*. 1988. 32p.

CLOUTIER, V., LEFEBVRE, R., SAVARD, M. M., BOURQUE, E. e THERRIEN, R. Hydrogeochemistry and groundwater origin of the Basses-Laurentides sedimentary rock aquifer system, St. Lawrence Lowlands, Québec, Canada. *Hydrogeology Journal*, v.14, p.573-590. 2012.

COPASA/MG. Companhia de Saneamento de Minas Gerais. *Normas técnicas internas para coletas de amostras e análises físico-químicas*. Belo Horizonte: COPASA. 1997. (Relatório técnico).

COPASA/MG. Companhia de Saneamento de Minas Gerais. *Relatório anual de controle de qualidade: Informações sobre a qualidade da água para consumo humano fornecida por sistema de abastecimento público*. Belo Horizonte: COPASA. 2012. (Relatório técnico).

COSTA, W.D.. Hidrogeologia dos Meios Fraturados. In: FEITOSA, F. A. C. e FILHO, J. M. *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*. 3 ed. Rio de Janeiro: Serviço Geológico do Brasil, 2008, p.121-151.

CPRM. Informações básicas para a gestão territorial: região de Sete Lagoas – Lagoa Santa. Belo Horizonte:CPRM, 1994. v. 5 (Uso da terra e caracterização da cobertura vegetal do município de Sete Lagoas).

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. *Mapa de Domínios e Subdomínios hidrogeológicos do Brasil: Escala 1:2.500.000*. Rio de Janeiro: CPRM. 2007. (CD-Rom).

CRUZ, A., C., S. J. G. e ALMEIDA, G. M. Modelagem Hidrogeoquímica do aquífero freático da restinga de Piratininga, Niterói-RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 14. 2006. Curitiba. *Anais*. Curitiba: ABAS, 2006. (CD-Rom).

CUSTODIO, E. e LLAMAS, M. R. *Hidrología Subterránea*. Barcelona: Omega. 1983. 2350 p.

DARDENNE, M. A. Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30. 1978. Recife. *Anais*. Recife: SBG, 1978. p.597-610.

DAVIS, G. H. *Geologic Control of Mineral Composition of Stream Waters of the Eastern Slope of the Southern Coast Ranges, California - Geochemistry of Water*. California: U.S: U.S. Government Printing Office. 1961. 30 p *apud* HEM, J. D. *Study and Interpretation of Chemical Characteristics of Natural Water*. Alexandria: U.S. Geological Survey Water Suplly Paper. 1985. 263 p.

DEINES, P., LANGMUIR, D. e HARMON, R. S. Stable carbon isotope ratios and the existence of a gas phase in the evolution of carbonate waters. *Geochimica et Cosmochimica*, v.38, p.1147-1164. 1974 *apud* HEM, J. D. *Study and Interpretation of Chemical Characteristics of Natural Water*. Alexandria: U.S. Geological Survey Water Suplly Paper. 1985. 263 p.

DEMLIE, M., WOHNLICH, S., WISOTZKY, F. e GIZAW, B. Groundwater recharge, flow

- and hydrochemical evolution in a complex volcanic aquifer system, central Ethiopia. *Hydrogeology Journal*, v.15, p.1169-1181. 2007.
- DNPM/CPRM. Departamento Nacional de Produção Mineral/ Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais. Províncias Hidrogeológicas do Brasil. 1983.
- DOMENICO, P. A. e SHWARTZ, F. W. *Physical and chemical hydrogeology*. New York: John Wiley & Sons Inc. 1990. 824 p.
- DONI, M. V. *Análise de Cluster: Métodos Hierárquicos e de Particionamento*. 2004. 93 p. Monografia (Bacharel em Sistemas de Informação) - Graduação em Sistemas de Informação, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo. 2004.
- DREISS, S. J. Regional scale transport in a Karst Aquifer: 1. Component separation of spring flow hydrographs. *Water Resources Research*, v.25, n.1, p.117-125. 1989 *apud* PESSOA, P. F. P. *Hidrogeologia dos aquíferos cársticos da região de Lagoa Santa, MG*. 375 p. Tese (Doutorado em Meio Ambiente) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2005.
- DUQUE, J. M. P. *Hidrogeologia do sistema aquífero dos gabros de Beja*. 2005. 389 p. Tese (Doutorado em Hidrogeologia) - Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa. 2005.
- EDMUNDS, W. M. e KINNIBURGH, D. G. The susceptibility of UK groundwaters to acidic deposition. *Journal of the Geological Society*, v.143, n.4, July 1, 1986, p.707-720. 1986 *apud* APPELO, C. A. J. e POSTMA, D. *Geochemistry, groundwater and pollution*. Leiden: A.A. Balkema. 2005. 558 p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Plano Diretor da EMBRAPA Milho e Sorgo, 2004 - 2007*. Sete Lagoas. 2005. (Relatório técnico).
- FARNHAM, I., STETZENBACH, K., SINGH, A. e JOHANNESON, K. Deciphering Groundwater Flow Systems in Oasis Valley, Nevada, Using Trace Element Chemistry, Multivariate Statistics, and Geographical Information System. *Mathematical Geology*, v.32, n.8, p.943-968. 2000.
- FENZL, N. *Introdução à Hidrogeoquímica*. Paraná: UFPA, v.1. 1988. 179 p.
- FIANKO, J. R., ADOMAKO, D., OSAE, S., GANYAGLO, S., KORTATSI, B. K., TAY, C. K. e GLOVER, E. T. The hydrochemistry of groundwater in the Densu River Basin, Ghana. *Environmental Monitoring & Assessment*, v.167, n.1-4, p.663. 2010.
- FREEZE, R. A. e CHERRY, J. A. *Groundwater*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall. 1979.
- GALVÃO, T. C. D. B. e SCHULZE, D. G. Mineralogical Properties of a Collapsible Lateritic Soil from Minas Gerais, Brazil. *Soil Science Society of America journal*. 60: 1969-1978 p. 1996.
- GHIGLIERI, G., OGGIANO, G., FIDELIBUS, M., ALEMAYEHU, T., BARBIERI, G. e VERNIER, A. Hydrogeology of the Nurra Region, Sardinia (Italy): basement-cover influences on groundwater occurrence and hydrogeochemistry. *Hydrogeology Journal*, v.17, n.2, p.447-466. 2009.
- GLYNN, P. D. e PLUMMER, L. N., 2005, Geochemistry and the understanding of groundwater systems: *Hydrogeology Journal*, v. 13, n.1, p. 263-287.
- GOLDICH, S. S. A Study in Rock-Weathering. *The Journal of Geology*, v.46, p.17-58. 1938 *apud* APPELO, C. A. J. e POSTMA, D. *Geochemistry, groundwater and pollution*. Leiden: A.A. Balkema. 2005. 558 p.

- VISUAL MODFLOW. Versão 3.1. Canadá: Waterloo Hydrogeologic, 1996.
- GÜLER, C. Hydrogeochemical evaluation of the groundwater resources of Indian Wells–Owens Valley area, southeastern California. *Revista Águas Subterrâneas*, n.17, p.262. 2002.
- GUTIERREZ, A. *Modelo hidrogeoquímico do Aquífero Adamantina em Urânia - SP*. 2003. 130 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2003.
- HAN, D., LIANG, X., JIN, M., CURRELL, M., HAN, Y. e SONG, X. Hydrogeochemical Indicators of Groundwater Flow Systems in the Yangwu River Alluvial Fan, Xinzhou Basin, Shanxi, China. *Environmental Management*, v.44, n.2, p.243-255. 2009.
- HANSHAW, B. B. Cation-exchange constants for clay from electrochemical measurements. In: NATIONAL CONFERENCE ON CLAYS AND CLAY MINERALS, 12. 1964. Atlanta. Anais. Atlanta: 1964. p.397-421 *apud* HEM, J. D. *Study and Interpretation of Chemical Characteristics of Natural Water*. Alexandria: U.S. Geological Survey Water Supply Paper. 1985. 263 p.
- HELGESON, H. C., GARRELS, R. M. e MACKENZIE, F. T. Evaluation of irreversible reactions in geochemical processes involving minerals and aqueous solutions—II. Applications. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v.33, n.4, p.455-481. 1969 *apud* APPELO, C. A. J. e POSTMA, D. *Geochemistry, groundwater and pollution*. Leiden: A.A. Balkema. 2005. 558 p.
- HEM, J. D. *Study and Interpretation of Chemical Characteristics of Natural Water*. Alexandria: U.S. Geological Survey Water Supply Paper. 1985. 263 p.
- JALALI, M. Geochemistry characterization of groundwater in an agricultural area of Razan, Hamadan, Iran. *Environmental Geology*, v.56, n.7, p.1479-1488. 2009.
- JEFFERY, P. G. e HUTCHISON, D. *Chemical Methods of Rock Analysis*. London: Pergamon. 1981. 379 p.
- KAÇMAZ, H. e NAKOMAN, M. E. Hydrochemical characteristics of shallow groundwater in aquifer containing uranyl phosphate minerals, in the Köprübaşı (Manisa) area, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, v.59, n.2, p.449-457. 2009.
- KASHOUTY, M. The hydrogeochemical evolution and modeling of the Quaternary aquifer west of the River Nile, El Minia district. *Arabian Journal of Geosciences*, v.5, n.4, p.617-635. 2012.
- KLEIN, C. e HURLBUT, C. S. *Manual of mineralogy*. 20ed. New York: John Wiley & Sons, 1985.
- LANZA, J. Historia de Sete Lagoas: subsídios. Ed. Sion. Belo Horizonte.1967.228p.
- LECOMTE, K. L., PASQUINI, A. I. e DEPETRIS, P. J. Mineral Weathering in a Semiarid Mountain River: Its assessment through PHREEQC inverse modeling. *Aquat Geochem*, v.11, n.2, p.173-194. 2005.
- MA, R., WANG, Y., SUN, Z., ZHENG, C., MA, T. e PROMMER, H. Geochemical evolution of groundwater in carbonate aquifers in Taiyuan, northern China. *Applied Geochemistry*, v.26, n.5, p.884-897. 2011.
- MACHADO, C. J. F., SANTIAGO, M. M. F., MENDONÇA, L. A. R., FRISHKORN, H. e FILHO, J. M. Hidrogeoquímica como indicador de interconexão entre aquíferos na chapada do Araripe utilizando o aplicativo phreeqc. *Rev. Águas Subterrâneas*. 18: 79-87 p. 2004.

- MACHADO, D. A. *Caracterização hidrogeológica e vulnerabilidade natural das águas subterrâneas no entorno do Centro Nacional de Pesquisa Milho e Sorgo - Sete Lagoas/MG*. Abr. 2011. 230 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2011.
- MARCOLAN, L. N. O. *Investigação hidrogeoquímica do cromo no aquífero Adamantina no município de Urânia - SP*. Dez. 2009. 62 p. Dissertação (Mestrado em Hidrogeologia e Geociências) - Instituto de Geociências, USP, São Paulo. 2009.
- MARQUES, E. D., SELLA, S. M., BIDONE, E. D. e SILVA-FILHO, E. V. Geochemical behavior and dissolved species control in acid sand pit lakes, Sepetiba sedimentary basin, Rio de Janeiro, SE – Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v.30, n.3-4, p.176-188. 2010.
- MAY, H. M., KLNNIBURGH, D. G., HELMKE, P. A. e JACKSON, M. L. Aqueous dissolution, solubilities and thermodynamic stabilities of common aluminosilicate clay minerals: Kaolinite and smectites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v.50, n.8, p.1667-1677. 1986 *apud* APPELO, C. A. J. e POSTMA, D. *Geochemistry, groundwater and pollution*. Leiden: A.A. Balkema. 2005. 558 p.
- MENEZES, J. M., PRADO, R. B., SILVA JUNIOR, G. C. D., FERNANDES, N. F., LIMA, L. A. D., MANSUR, K. L., MARTINS, A. M., PIMENTA, T. S. e FREITAS, P. L. Avaliação da qualidade da água superficial e subterrânea para irrigação na bacia hidrográfica do rio São Domingos - RJ. In: CONGRESSO DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, XIV. 2005. Teresina. Anais. Teresina: 2005.
- MENG, S. X. e MAYNARD, J. B. Use of statistical analysis to formulate conceptual models of geochemical behavior: water chemical data from the Botucatu aquifer in São Paulo State, Brazil. *Journal of Hydrology*, n.250, p.78-97. 2001.
- MERKEL, B. J. e FRIEDRICH, B. P. *Groundwater Geochemistry: A Practical Guide to Modeling of Natural and Contaminated Aquatic Systems*. Nordstrom: Darrell K. Nordstrom, v.XII. 2008. (CD-Rom).
- MESTRINHO, S. S. P. Geoquímica das Águas Subterrâneas. In: FEITOSA, F. A. C., FILHO, J. M., FEITOSA, E. C. e DEMETRIO, J. G. *Hidrogeologia Conceitos e Aplicações / organização e coordenação científica*. 3 ed. Rio de Janeiro: CPRM e LABHID, 2008, p.359-379.
- MESTRINHO, S. S. P. Qualidade das Águas. In: GONÇALVES, V. G. e GIAMPÁ, C. E. Q. *Águas Subterrâneas e poços tubulares*. São Paulo: Signus, 2006, p.99-136.
- MINGOTI, S. A. *Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: Uma abordagem aplicada*. Belo Horizonte: UFMG. 2005.
- MOURAO, M. A. A. Caracterização hidrogeológica do aquífero cauê, quadrilátero ferrífero, MG: Subsídios para a gestão dos recursos hídricos no quadrilátero ferrífero. Dez. 2007. 297 p. Tese (Doutorado) - Pós-graduação em Saneamento Meio Ambiente e Recursos Hídricos, UFMG, Belo Horizonte. 2007.
- MOURÃO, M. A. A.; CRUZ, W. B. e GONÇALVES, R. L. F. Caracterização hidrogeológica da porção mineira da bacia hidrográfica do São Francisco. In: PINTO, C. P. e NETO, M. A. M. *Bacia do São Francisco: geologia e recursos naturais*. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia – Núcleo Minas Gerais, 2001, p.327-349.
- MUNSELL. Munsell Soil Color Charts: Revised washable edition. 2000. Disponível em:

<www.color-swatches.com/munsell>. Acesso em: 01 Abr. 2012.

NAGARAJAN, R., RAJMOHAN, N., MAHENDRAN, U. e SENTHAMILKUMAR, S. Evaluation of groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use in Thanjavur city, Tamil Nadu, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, v.171, n.1-4, p.289-308. 2010.

NOGUEIRA, M. *Sete Lagoas: a dinâmica funcional de um lugar na rede urbana de Minas Gerais*. 2003. 291 p. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2003.

PANOSO, L. A., RAMOS, D. P. e BRANDÃO, M. *Boletim de pesquisa e desenvolvimento 5 - Solos do campo experimental da Embrapa Milho e Sorgo: Suas características e classificação no novo sistema brasileiro*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2002. (Relatório técnico).

PARKHURST, D. L. e APPELO, C. A. J. *User's guide to PHREEQC (Version 2): A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations*: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report. 1999. 310 p.

PAUWELS, H., PETTENATI, M. e GREFFIÉ, C. The combined effect of abandoned mines and agriculture on groundwater chemistry. *Journal of Contaminant Hydrology*, v.115, n.1-4, p.64-78. 2010.

PESSOA, P. F. P. Aspectos Hidrogeológicos na Região Cárstica de Sete Lagoas - Lagoa Santa, com Ênfase a Qualidade das Águas Subterrâneas. In: SIMPÓSIO SITUAÇÃO AMBIENTAL E QUALIDADE DE VIDA NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE E MINAS GERAIS, II. 1992. Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte: 1992. p.87-89.

PESSOA, P. F. P. *Caracterização hidrogeológica da região cárstica de Sete Lagoas – MG: potencialidades e risco*. 1996. 101 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1996.

PESSOA, P. F. P. *Hidrogeologia dos aquíferos cársticos da região de Lagoa Santa, MG*. 375 p. Tese (Doutorado em Meio Ambiente) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2005.

PILÓ, L. B. *Morfologia cárstica e materiais constituintes: dinâmica e evolução da depressão poligonal Macacos-Baú - Carste de Lagoa Santa, MG*. Out. 1998. 268 p. Tese (Doutorado) - Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1998.

PINTO, C. P. e NETO, M. A. M. *Bacia do São Francisco: geologia e recursos naturais*. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia - núcleo Minas Gerais. 2001. 349 p.

RAMAGE, L. *Caracterização hidrogeoquímica do Sistema Aquífero Granular Cenozóico de Porto Alegre, RS*. 2005. 111 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2005.

RIBEIRO, J. H., TULLER, M. P., D., F. A., PADILHA, A. V. e CORDÓBA, C. V. Relatório técnico. *Projeto VIDA - Mapeamento geológico, região de Sete Lagoas, Pedro Leopoldo, Matozinhos, Lagoa Santa, Vespasiano, Capim Branco, Prudente Moraes, Confins e Funilândia, Minas Gerais: Relatório final, escala final 1:50 000*. Belo Horizonte: CPRM. 2003. 54 p.

RIMSTIDT, J. D. Quartz solubility at low temperatures. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v.61, n.13, p.2553-2558. 1997.

- ROUABHIA, A., BAALI, F. e FEHDI, C. Impact of agricultural activity and lithology on groundwater quality in the Merdja area, Tebessa, Algeria. *Arabian Journal of Geosciences*, v.3, n.3, p.307-318. 2010.
- SAAE. SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO - SETE LAGOAS/MG. 2012. Disponível em: <www.saaesetelagoas.com.br>. Acesso em: 25 Jun. 2012.
- SANS, L. M. A. *Classificação e mineralogia de solos da região de Sete Lagoas - MG*. 1973. 180 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba. 1973.
- SANS, L. M. A. *Estimativa do regime hídrico, pelo método de Newhall, de um latossolo vermelho escuro álico da região de Sete Lagoas*. 1986. 190 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1986.
- SANTOS, A.C. . Noções de Hidroquímica. In: FEITOSA, F. A. C. e FILHO, J. M. *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*. 3 ed. Rio de Janeiro: Serviço Geológico do Brasil, 2008, p.325-357.
- SEGAR, D., BASBERG, L. e SAETHER, O. M. *An introduction to hydrogeological and geochemical models and modeling*. Trondheim, Norway: Geological Survey of Norway. 1997. 97-117 p.
- SHUSTER, E. T. e WHITE, W. B. Seasonal fluctuations in the chemistry of limestone springs: A possible means for characterizing carbonate aquifers. *Journal of Hydrology*, v.14, p.93-128. 1971 *apud* PESSOA, P. F. P. *Hidrogeologia dos aquíferos cársticos da região de Lagoa Santa, MG*. 375 p. Tese (Doutorado em Meio Ambiente) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2005.
- SNEATH, P. H. A. The Application of Computers to Taxonomy. *Journal of General Microbiology*, v.17, n.1, August 1, 1957, p.201-226. 1957 *apud* MINGOTI, S. A. *Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: Uma abordagem aplicada*. Belo Horizonte: UFMG. 2005.
- STATISTICA. Versão 6.1. Oklahoma: StatSoft, 2003.
- STEFÁNSSON, A. e ARNÓRSSON, S. Feldspar saturation state in natural waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v.64, n.15, p.2567-2584. 2000.
- STUMM, W. e WOLLAST, R. Coordination chemistry of weathering: Kinetics of the surface-controlled dissolution of oxide minerals. *Reviews of Geophysics*. 28: 53-69 p. 1990.
- SVERDRUP, H. e WARFVINGE, P. Estimating field weathering rates using laboratory kinetics. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. 31: 485-541 p. 1995.
- SVERDRUP, H. U. *The kinetics of base cation release due to chemical weathering*. Lund: Lund Univ. Press. 1990. 464 p.
- TARDY, Y. Characterization of the principal weathering types by the geochemistry of waters from some European and African crystalline massifs. *Chemical Geology*, v.7, n.4, p.253-271. 1971 *apud* APPELO, C. A. J. e POSTMA, D. *Geochemistry, groundwater and pollution*. Leiden: A.A. Balkema. 2005. 558 p.
- TERNAN, J. L. Comments on the use of a calcium hardness variability index in the study of carbonate aquifers: With reference to the central pennines, England. *Journal of Hydrology*, v.16, n.4, p.317-321. 1972 *apud* PESSOA, P. F. P. *Hidrogeologia dos aquíferos cársticos da região de Lagoa Santa, MG*. 375 p. Tese (Doutorado em Meio Ambiente) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2005.

- TESORIERO, A. J., SPRUILL, T. B. e EIMERS, J. L. Geochemistry of shallow ground water in coastal plain environments in the southeastern United States: implications for aquifer susceptibility. *Applied Geochemistry*, v.19, n.9, p.1471-1482. 2004.
- TIMM, N. H. *Applied Multivariate Analysis*. New York: Springer, 2002.
- TUBBS, D. *Caracterização Hidroquímica e Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas da Região Litorânea do Município de Niterói – RJ*. 1994. 111 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) - Universidade Federal Fluminense, Niterói. 1994.
- TULLER, M. P. e RIBEIRO, J. H. *Geologia da região de Lagoa Santa e Sete Lagoas*. Belo Horizonte: CPRM/CETEC. 1992.
- VIANA, J. H. M. *Distribuição espacial de atributos físico-químicos, mineralógicos e micromorfológicos de latossolos, visando o mapeamento de áreas produtivas*. Mar. 2005. 209 p. Tese (Doutorado) - Programa de PósGraduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2005.
- VIDAL, A. C. e KIANG, C. H. Caracterização hidroquímica dos aquíferos da bacia de Taubaté. *Revista Brasileira de Geociências*. 32: 267-276 p. 2002.
- VON SPERLING, M. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG, 2005. 452 p.
- WARD, J. H. Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. *Journal of the American Statistical Association*, v.58, n.301, p.236--244. 1963.
- WHITE, A. F. e BRANTLEY, S. L. Chemical weathering rates of silicate minerals; an overview. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. 31: 1-22 p. 1995.
- WHITE, W. B. Karst hydrology: recent developments and open questions. *Engineering Geology*, v.65, n.2-3, p.85-105. 2002.
- WILLIAMS, L. A., PARKS, G. A. e CRERAR, D. A. Silica diagenesis; I, Solubility controls. *Journal of Sedimentary Research*, v.55, n.3, p.301-311. 1985 *apud* APPELO, C. A. J. e POSTMA, D. *Geochemistry, groundwater and pollution*. Leiden: A.A. Balkema. 2005. 558 p.
- WORTHINGTON, S. R. H., DAVIES, G. J. e QUINLAN, J. F. Geochemistry of springs in temperate carbonate aquifers: recharge type explains most of the variation. In: CONFERENCE ON LIMESTONE HYDROLOGY AND FISSURED MEDIA, 5. 1992. Neuchatel, Switzerland. Anais. Neuchatel, Switzerland: 1992. p.341-347 *apud* PESSOA, P. F. P. *Hidrogeologia dos aquíferos cársticos da região de Lagoa Santa, MG*. 375 p. Tese (Doutorado em Meio Ambiente) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2005.
- WREGE, L. L. M. e MOBUS, G. Análise de agrupamento em aquífero fraturado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 7. 1992. Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte: 1992.
- ZHU, C. e ANDERSON, G. *Environmental Applications of Geochemical Modeling*. Cambridge: University Press. 2002.

APÊNDICE

Resultados de análises físico-químicas das amostras de água subterrânea coletadas nos 30 pontos de monitoramento, entre novembro/2010 e outubro/2011.

(CD ROM)

PC01	Al (mg/L)	Ba (mg/L)	Ca (mg/L)	Ca* (mg/L)	Zn (mg/L)	NO ₃ (mg/L N)	NO ₃ ** (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Mg (mg/L)	Mg* (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	N Amoniacal (mg/L N)	NH ₄ (mg/L)	STD (mg/L)	Cl (mg/L)	pH	CE (μS/cm)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	SO ₄ (mg/L)
Data da Coleta																					
5/11/2010	0,0742	0,1019	17,12	16,00	0,0344	0,252	1,12	7,14	1,37	0,48	0,6122	3,71	0,471	0,61	140	1,5	6,21	62,10	0,1000	2,2600	12,59
7/12/2010	0,0742	0,023	3,01	8,00	0,013	0,973	4,31	7,93	0,2	3,60	0,252	1,46	0,675	0,87	76	2,0	5,87	40,30	0,0500	0,2100	6,41
4/1/2011	0,633	0,11	7,00	17,60	0,121	0,066	0,29	3,22	0,953	0,48	0,252	1,46	0,258	0,33	58	3,0	5,69	67,30	0,0400	0,3000	23,90
1/2/2011	0,0742	0,014	1,50	9,60	0,013	1,80	7,97	10,36	0,06	3,84	0,252	1,46	0,681	0,88	56	5,0	6,57	42,80	0,2400	0,0200	4,49
1/3/2011	0,0742	0,016	0,45	12,00	0,013	4,48	19,84	7,18	0,008	1,44	0,252	1,46	0,629	0,81	72	12,0	6,99	39,70	0,0390	0,0310	4,84
11/4/2011	1,46	0,146	5,18	12,00	0,027	0,10	0,44	8,62	0,51	1,44	0,41	1,46	0,259	0,33	12	5,5	5,53	26,26	1,9500	0,9200	6,89
2/5/2011	1,86	0,065	1,61	10,00	0,037	0,146	0,65	6,72	0,24	0,72	0,33	1,46	0,39	0,50	28	2,0	6,67	28,28	1,5500	0,5500	3,57
7/6/2011	1,83	0,14	5,80	10,40	0,02	0,19	0,84	6,76	0,51	0,48	0,57	1,46	0,157	0,20	42	5,0	5,89	29,46	0,6300	0,8800	6,70
5/7/2011	19,00	0,059	26,16	36,00	0,013	0,32	1,42	3,72	1,4	0,00	0,47	1,46	0,306	0,39	56	1,0	6,53	106,80	0,9800	0,1600	2,02
2/8/2011	0,0742	0,023	33,37	48,00	0,013	0,308	1,36	8,87	2,1	2,88	0,66	1,46	0,16	0,21	208	5,0	7,60	220,00	0,1000	0,0300	1,91
14/9/2011	0,0742	0,079	1,88	2,40	0,039	0,137	0,61	13,06	0,31	1,44	0,42	1,46	0,47	0,60	16	5,5	7,04	22,30	0,0390	0,1500	2,83
4/10/2011	0,0742	0,041	1,92	3,20	0,013	1,25	5,54	14,77	2,99	0,96	7,32	1,46	0,879	1,13	40	1,5	5,47	18,73	0,3600	0,1190	2,98
Mediana	0,0742	0,0620		11,20	0,02	0,28	1,24	7,56		1,20	0,42	1,46	0,43	0,55	56,00	4,00	6,37	40,00	0,1700	0,1850	4,67
1° Quartil	0,0742	0,023		9,20	0,01	0,14	0,64	6,75		0,48	0,25	1,46	0,26	0,33	37,00	1,88	5,83	27,78	0,0475	0,0970	2,94
3° Quartil	1,5525	0,1039		16,40	0,04	1,04	4,62	9,24		1,80	0,58	1,46	0,64	0,82	73,00	5,13	6,75	63,40	0,7175	0,6325	6,75
D. Padrão (DP)	5,3685	0,0475		13,40	0,03	1,27	5,63	3,35		1,28	2,00	0,00	0,23	0,30	55,71	3,04	0,67	56,51	0,6535	0,6458	6,20
Mediana + 1,5DP	8,1269	0,1332		31,30	0,06	2,19	9,69	12,58		3,12	3,42	1,46	0,78	1,00	139,57	8,57	7,38	124,76	1,1503	1,1538	13,96
Mediana - 1,5DP	-7,9785	-0,0092		-8,90	-0,03	-1,63	-7,21	2,53		-0,72	-2,59	1,46	0,08	0,11	-27,57	-0,57	5,36	-44,76	-0,8103	-0,7838	-4,63
Mediana sem outlier	0,0742	0,0500		10,20	0,02	0,25	1,12	7,16		0,84	0,41	1,46	0,39	0,50	49,00	3,00	6,21	39,70	0,1000	0,1600	4,49
Período Chuvoso (PC)																					
Período Estiagem (PE)																					
Mediana sem outlier (PC)	0,0742	0,0320		10,80	0,01	0,97	4,31	7,18		0,72	0,25	1,46	0,63	0,81	58,00	2,00	6,04	41,55	0,0750	0,1190	4,84
Mediana sem outlier (PE)	1,46	0,062		10,20	0,02	0,17	0,74	6,76		1,08	0,45	1,46	0,28	0,36	28,00	5,00	6,53	28,28	0,3650	0,3550	3,20
Outlier	(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)											(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)									
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.																				
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".																				
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ " ou "NH ₄ ⁺ ".																				
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH ⁻ ".																				
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.																				

PC01	Alc.Bic. (mg/L CaCO ₃)	HCO ₃ (mg/L)	Alc.Carb. (mg/L CaCO ₃)	CO ₃ (mg/L)	Alc.Hidr. (mg/L CaCO ₃)	OH (mg/L)	Alc.Total (mg/LCaCO ₃)	Dureza Ca (mg/LCaCO ₃)	Dureza Total (mg/LCaCO ₃)	PC01	Σ Cátions	Σ Ânions	Erro Balanço Iônico (%)	CE/100	%ErroMáx.Aceitável
										Data da Coleta					
5/11/2010	13,0	15,86	ND	ND	ND	ND	13	40,0	42,0	5/11/2010	1,01	-0,63	23,11	0,6210	24,01
7/12/2010	13,0	15,86	ND	ND	ND	ND	13	20,0	35,0	7/12/2010	0,77	-0,45	25,48	0,4030	26,94
4/1/2011	21,0	25,62	ND	ND	ND	ND	21	44,0	46,0	4/1/2011	0,99	-1,13	-6,75	0,6730	23,47
1/2/2011	18,0	21,96	ND	ND	ND	ND	18	24,0	40,0	1/2/2011	0,86	-0,91	-2,78	0,4280	26,53
1/3/2011	20,0	24,40	ND	ND	ND	ND	20	30,0	36,0	1/3/2011	0,79	-0,85	-3,62	0,3970	27,04
11/4/2011	7,0	8,54	ND	ND	ND	ND	7	30,0	36,0	11/4/2011	0,79	-0,45	27,60	0,2626	29,84
2/5/2011	18	21,96	ND	ND	ND	ND	18	25	28	2/5/2011	0,63	-0,50	11,11	0,2828	29,33
7/6/2011	7	8,54	ND	ND	ND	ND	7	26	28	7/6/2011	0,64	-0,44	17,89	0,2946	29,06
5/7/2011	62	75,64	ND	ND	ND	ND	62	90	90	5/7/2011	1,87	-1,33	16,86	1,0680	20,34
2/8/2011	120	146,40	ND	ND	ND	ND	120	120	132	2/8/2011	2,71	-2,59	2,31	2,2000	15,45
14/9/2011	9	10,98	ND	ND	ND	ND	9	6	12	14/9/2011	0,31	-0,48	-21,47	0,2230	30,94
4/10/2011	6	7,32	ND	ND	ND	ND	6	8	12	4/10/2011	0,49	-0,24	33,40	0,1873	32,12
Mediana	15,50	18,91					15,50	28,00	36,00	Mediana	0,73	-0,54	15,09	0,4000	26,99
1° Quartil	8,50	10,37					8,50	23,00	28,00	Mediana sem outlier	0,65	-0,46	17,69	0,3970	27,04
3° Quartil	20,25	24,71					20,25	41,00	43,00	Período Chuvoso (PC)					
D. Padrão (DP)	33,12	40,41					33,12	33,51	33,91	Período Estiagem (PE)					
Mediana + 1,5DP	65,19	79,53					65,19	78,26	86,86	Mediana sem outlier (PC)	0,67	-0,48	16,48	0,4155	26,73
Mediana - 1,5DP	-34,19	-41,71					-34,19	-22,26	-14,86	Mediana sem outlier (PE)	0,67	-0,40	25,47	0,2828	29,33
Mediana sem outlier	13,00	15,86					13,00	25,50	35,50						
Período Chuvoso (PC)															
Período Estiagem (PE)															
Mediana sem outlier (PC)	15,50	18,91					15,50	27,00	38,00						
Mediana sem outlier (PE)	9,00	10,98					9,00	25,50	28,00						
Outlier			(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)												
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.														
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".														
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ ⁻ " ou "NH ₄ ⁺ ".														
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH ⁻ ".														
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.														

PC02	Al (mg/L)	Ba (mg/L)	Ca (mg/L)	Ca* (mg/L)	Zn (mg/L)	NO ₃ (mg/L N)	NO ₃ ** (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Mg (mg/L)	Mg* (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	N Amoniacal (mg/L N)	NH ₄ (mg/L)	STD (mg/L)	Cl (mg/L)	pH	CE (μS/cm)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	SO ₄ (mg/L)
Data da Coleta																					
5/11/2010	0,0742	0,0070	0,2006	0,80	0,0130	0,121	0,54	4,824	0,0080	0,00	0,252	1,46	0,386	0,50	112,0	2,0	5,15	5,25	0,039	0,09	0,63
7/12/2010	0,0845	0,0100	0,9300	0,80	0,0320	0,331	1,47	4,54	0,0300	0,00	0,252	1,46	0,358	0,46	36,0	2,0	5,21	7,08	0,04	0,03	1,42
4/1/2011	0,0030	0,0054	0,6800	1,60	0,0340	0,66	2,92	4,45	0,1970	0,48	0,252	1,46	0,102	0,13	36,0	2,5	5,6	6,29	0,039	0,02	1,61
1/2/2011	0,1300	0,0150	0,8300	6,40	0,0130	1,84	8,15	7,82	0,0640	1,44	0,252	1,46	0,454	0,58	112,0	5,0	6,98	38,1	0,16	0,02	3,65
1/3/2011	0,0742	0,0190	4,5600	4,80	0,0400	2,34	10,36	7,97	0,0080	0,48	0,252	1,46	0,245	0,31	52,0	1,5	5,65	15,5	0,039	0,034	1,64
11/4/2011	0,5000	0,0290	5,2700	4,00	0,0130	0,406	1,80	4,1	0,3200	5,76	0,33	1,46	0,078	0,10	42,0	5,5	6,18	52,1	0,05	0,04	2,04
2/5/2011	2,2800	0,0400	1,8400	1,20	0,0130	1,41	6,24	4,63	0,0080	0,48	0,252	1,46	0,119	0,15	44,0	1,5	6,93	13,03	2,18	0,43	2,22
7/6/2011	1,2200	0,0270	1,0000	4,00	0,0130	0,155	0,69	3,95	0,0410	0,00	0,252	1,46	0,14	0,18	8,0	3,0	6,2	10,35	0,09	0,05	3,37
5/7/2011	1,7100	0,0856	14,4600	3,20	0,0130	0,15	0,66	1,6	0,7800	0,00	0,33	1,46	0,204	0,26	20,0	1,5	5,38	8,88	0,37	0,06	0,8
2/8/2011	2,9400	0,0300	0,2130	0,40	0,0130	0,139	0,62	3,99	0,0976	0,00	0,44	1,46	0,116	0,15	24,0	5,0	5,5	8	0,18	0,02	2,45
14/9/2011	0,9690	0,0370	0,1906	0,80	0,0130	0,183	0,81	7,46	0,0080	0,48	0,252	1,46	0,273	0,35	4,0	5,0	6,17	8	0,039	0,038	2,12
4/10/2011	0,1573	0,0140	0,1906	0,80	0,0130	0,768	3,40	4,02	0,4400	0,48	1,66	1,46	0,09	0,12	28,0	0,5	5,51	8,43	0,063	0,05	0,035
Mediana	0,3287	0,0230		1,40	0,0130	0,37	1,63	4,50		0,48	0,25	1,46	0,17	0,22	36,00	2,25	5,63	8,66	0,0565	0,0390	1,84
1º Quartil	0,081925	0,013		0,80	0,0130	0,15	0,68	4,01		0,00	0,25	1,46	0,11	0,14	23,00	1,50	5,47	7,77	0,0390	0,0275	1,27
3º Quartil	1,3425	0,0318		4,00	0,0178	0,93	4,11	5,48		0,48	0,33	1,46	0,29	0,38	46,00	5,00	6,19	13,65	0,1650	0,0525	2,28
D. Padrão (DP)	0,9969	0,0218		2,00	0,0103	0,75	3,33	1,88		1,62	0,40	0,00	0,13	0,17	35,11	1,74	0,62	14,61	0,6081	0,1140	1,06
Mediana + 1,5DP	1,8240	0,0558		4,39	0,0284	1,50	6,63	7,32		2,90	0,85	1,46	0,37	0,47	88,67	4,86	6,56	30,57	0,9687	0,2101	3,43
Mediana - 1,5DP	-1,1667	-0,0098		-1,59	-0,0024	-0,76	-3,37	1,67		-1,94	-0,35	1,46	-0,02	-0,03	-16,67	-0,36	4,69	-13,26	-0,8557	-0,1321	0,25
Mediana sem outlier	0,1437	0,0190		1,00	0,0130	0,26	1,14	4,10		0,48	0,25	1,46	0,13	0,17	32,00	1,75	5,56	8,22	0,0500	0,0380	1,64
Período Chuvoso (PC)																					
Período Estiagem (PE)																					
Mediana sem outlier (PC)	0,0794	0,0120		0,80	0,013	0,50	2,19	4,50		0,48	0,25	1,46	0,17	0,22	36,00	2,00	5,51	7,08	0,0395	0,0320	1,42
Mediana sem outlier (PE)	1,0945	0,0300		2,20	0,013	0,17	0,75	3,99		0,00	0,29	1,46	0,13	0,17	22,00	1,50	6,17	8,88	0,0900	0,0400	2,17
Outlier	(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)																				
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.																				
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".																				
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ ⁻ " ou "NH ₄ ⁺ ".																				
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH ⁻ ".																				
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.																				

PC02	Alc.Bic. (mg/L CaCO ₃)	HCO ₃ (mg/L)	Alc.Carb. (mg/L CaCO ₃)	CO ₃ (mg/L)	Alc.Hidr. (mg/L CaCO ₃)	OH (mg/L)	Alc.Total (mg/L CaCO ₃)	Dureza Ca (mg/L CaCO ₃)	Dureza Total (mg/LCaCO ₃)	PC02	Σ Cátions	Σ Ânions	Erro Balanço Iônico (%)	CE/100	%ErroMáx.Aceitável
										Data da Coleta					
	5/11/2010	3,00	3,66	ND	ND	ND	3,00	2,00	2,00	5/11/2010	0,11	-0,15	-16,46	0,0525	40,73
	7/12/2010	3,00	3,66	ND	ND	ND	3,00	2,00	2,00	7/12/2010	0,11	-0,19	-27,47	0,0708	38,70
	4/1/2011	5,00	6,10	ND	ND	ND	5,00	4,00	6,00	4/1/2011	0,19	-0,34	-27,85	0,0629	39,50
	1/2/2011	20,00	24,40	ND	ND	ND	20,00	16,00	22,00	1/2/2011	0,51	-0,78	-21,39	0,3810	27,32
	1/3/2011	10,00	12,20	ND	ND	ND	10,00	12,00	14,00	1/3/2011	0,35	-0,31	6,66	0,1550	33,40
	11/4/2011	15,00	18,30	ND	ND	ND	15,00	10,00	34,00	11/4/2011	0,75	-0,60	10,95	0,5210	25,20
	2/5/2011	11,00	13,42	ND	ND	ND	11,00	3,00	5,00	2/5/2011	0,17	-0,32	-30,73	0,1303	34,58
	7/6/2011	4,00	4,88	ND	ND	ND	4,00	10,00	10,00	7/6/2011	0,27	-0,25	4,67	0,1035	36,13
	5/7/2011	4,00	4,88	ND	ND	ND	4,00	8,00	8,00	5/7/2011	0,23	-0,15	21,75	0,0888	37,17
	2/8/2011	3,00	3,66	ND	ND	ND	3,00	1,00	1,00	2/8/2011	0,09	-0,27	-47,35	0,0800	37,88
	14/9/2011	4,00	4,88	ND	ND	ND	4,00	2,00	4,00	14/9/2011	0,15	-0,32	-36,36	0,0800	37,88
	4/10/2011	5,00	6,10	ND	ND	ND	5,00	2,00	4,00	4/10/2011	0,19	-0,14	13,55	0,0843	37,52
Mediana	4,50	5,49					4,50	3,50	5,50	Mediana	0,18	-0,22	-9,76	0,0866	37,34
1º Quartil	3,75	4,58					3,75	2,00	3,50	Mediana sem outlier	0,16	-0,18	-6,59	0,0822	38,07
3º Quartil	10,25	12,51					10,25	10,00	11,00	Período Chuvoso (PC)					
D. Padrão (DP)	5,56	6,79					5,56	4,99	9,80	Período Estiagem (PE)					
Mediana + 1,5DP	12,84	15,67					12,84	10,99	20,20	Mediana sem outlier (PC)	0,15	-0,22	-19,42	0,0708	38,70
Mediana - 1,5DP	-3,84	-4,69					-3,84	-3,99	-9,20	Mediana sem outlier (PE)	0,18	-0,18	0,33	0,0888	37,17
Mediana sem outlier	4,00	4,88					4,00	2,50	4,50						
Período Chuvoso (PC)															
Período Estiagem (PE)															
Mediana sem outlier (PC)	5,00	6,10					5,00	2,00	4,00						
Mediana sem outlier (PE)	4,00	4,88					4,00	5,50	5,00						
Outlier		(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)													
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.														
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".														
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ ⁻ " ou "NH ₄ ⁺ ".														
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH ⁻ ".														
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.														

PC03	Al (mg/L)	Ba (mg/L)	Ca (mg/L)	Ca* (mg/L)	Zn (mg/L)	NO ₃ (mg/L N)	NO ₃ ** (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Mg (mg/L)	Mg* (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	N Amoniacal (mg/L N)	NH ₄ (mg/L)	STD (mg/L)	Cl (mg/L)	pH	CE (μS/cm)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	
Data da Coleta																						
5/11/2010	0,0742	0,0070	0,4542	0,8000	0,013	0,08	0,33	2,91	0,032	0,00	0,252	1,46	0,618	0,79	88,0	1,0	4,87	7,08	0,04	0,02	2,33	
7/12/2010	0,0742	0,0070	3,2400	0,8000	0,022	0,27	1,18	1,98	0,139	0,00	0,252	1,46	0,142	0,18	36,0	2,0	5,2	6,06	0,04	0,03	1,84	
4/1/2011	0,6390	0,1100	6,2000	13,6000	0,125	0,07	0,29	2,65	0,933	0,48	0,252	1,46	0,187	0,24	104,0	2,0	4,6	88,2	0,05	0,26	29,96	
1/2/2011	0,0742	0,0150	0,1906	4,8000	0,013	1,80	7,97	4,11	0,008	0,48	0,252	1,46	0,134	0,17	32,0	5,5	7,08	21,7	0,06	0,02	1,5	
1/3/2011	0,0810	0,0160	11,4700	4,0000	0,062	0,50	2,20	3,74	0,510	7,20	0,252	1,46	0,322	0,41	44,0	0,5	6,11	40,6	0,039	0,028	1,78	
11/4/2011	0,1700	0,0170	11,8000	22,4000	0,013	0,10	0,46	2,22	0,18	4,80	0,252	1,46	0,011	0,01	32,0	4,0	7,03	98	0,28	0,02	3,76	
2/5/2011	1,6600	0,0280	9,8700	9,6000	0,013	0,22	0,97	2,17	0,01	0,48	0,310	1,46	0,558	0,72	28,0	1,5	7,55	46,5	2,5	0,14	2,69	
7/6/2011	1,2200	0,0230	4,7200	3,2000	0,013	0,14	0,64	3,30	0,01	1,44	0,252	1,46	0,343	0,44	16,0	5,0	6,85	21,56	0,42	0,05	3,48	
5/7/2011	18,2000	0,0360	1,6400	4,8000	0,013	0,22	0,97	0,94	0,04	0,48	0,252	1,46	0,349	0,45	8,0	2,0	5,6	15,76	1,78	0,04	1,82	
2/8/2011	0,0742	0,0150	12,4200	18,4000	0,013	0,14	0,60	4,70	0,65	3,36	0,291	2,30	0,166	0,21	20,0	3,5	6,8	61	0,08	0,02	1,42	
14/9/2011	11,6500	0,0360	0,9000	0,8000	0,018	0,13	0,59	3,70	0,05	0,48	0,252	1,46	0,442	0,57	68,0	4,0	6,59	8,31	0,11	0,03	2,12	
4/10/2011	0,0742	0,0210	0,1906	2,4000	0,013	0,32	1,40	6,01	0,45	1,44	1,36	1,46	0,127	0,16	40,0	0,5	6,03	14,39	0,21	0,032	0,35	
Mediana	0,1255	0,0190		4,4000	0,013	0,18	0,81	3,11		0,48	0,25	1,46	0,25	0,33	34,00	2,00	6,35	21,63	0,10	0,03	1,98	
1º Quartil	0,0742	0,0150		2,0000	0,013	0,13	0,56	2,21		0,48	0,25	1,46	0,14	0,18	26,00	1,38	5,50	12,87	0,05	0,02	1,71	
3º Quartil	1,3300	0,0300		10,6000	0,019	0,28	1,24	3,83		1,92	0,26	1,46	0,37	0,48	50,00	4,00	6,90	50,13	0,32	0,04	2,89	
D. Padrão (DP)	5,8418	0,0276		7,3040	0,034	0,48	2,12	1,37		2,26	0,32	0,00	0,19	0,24	29,20	1,72	0,95	31,79	0,80	0,07	8,09	
Mediana + 1,5DP	8,8882	0,0605		15,3559	0,064	0,90	3,98	5,15		3,86	0,73	1,46	0,54	0,69	77,80	4,58	7,78	69,31	1,30	0,14	14,12	
Mediana - 1,5DP	-8,6372	-0,0225		-6,5559	-0,038	-0,54	-2,37	1,06		-2,90	-0,22	1,46	-0,03	-0,03	-9,80	-0,58	4,92	-26,05	-1,11	-0,08	-10,16	
Mediana sem outlier	0,0776	0,0170		3,6000	0,013	0,14	0,64	2,91		0,48	0,25	1,46	0,18	0,23	32,00	2,00	6,35	18,66	0,07	0,03	1,84	
Período Chuvoso (PC)																						
Período Estiagem (PE)																						
Mediana sem outlier (PC)	0,0742	0,0150		3,2000	0,013	0,27	1,18	2,91		0,48	0,25	1,46	0,14	0,18	38,00	1,00	5,62	14,39	0,05	0,03	1,78	
Mediana sem outlier (PE)	1,4400	0,0255		4,0000	0,013	0,14	0,62	2,76		0,48	0,25	1,46	0,34	0,44	24,00	3,75	6,83	21,56	0,20	0,04	2,41	
Outlier		(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)																				
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.																					
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".																					
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ - " ou "NH ₄ +".																					
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ -", "CO ₃ -2" ou "OH-".																					
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.																					

PC03	Alc.Bic. (mg/L CaCO ₃)	HCO ₃ (mg/L)	Alc.Carb. (mg/L CaCO ₃)	CO ₃ (mg/L)	Alc.Hidr. (mg/L CaCO ₃)	OH (mg/L)	Alc.Total (mg/L CaCO ₃)	Dureza Ca (mg/L CaCO ₃)	Dureza Total (mg/L CaCO ₃)	PC03	Σ Cátions	Σ Ânions	Erro Balanço Iônico (%)	CE/100	% Erro Máximo Aceitável														
										Data da Coleta																			
5/11/2010	4,00	4,88	ND	ND	ND	ND	4,00	2,00	2,00	5/11/2010	0,11	-0,18	-23,07	0,0708	38,70														
7/12/2010	2,00	2,44	ND	ND	ND	ND	2,00	2,00	2,00	7/12/2010	0,11	-0,14	-11,86	0,0606	39,76														
4/1/2011	1,00	1,22	ND	ND	ND	ND	1,00	34,00	36,00	4/1/2011	0,79	-0,83	-2,52	0,8820	21,64														
1/2/2011	12,00	14,64	ND	ND	ND	ND	12,00	12,00	14,00	1/2/2011	0,35	-0,46	-13,92	0,2170	31,13														
1/3/2011	25,00	30,50	ND	ND	ND	ND	25,00	10,00	40,00	1/3/2011	0,86	-0,56	21,37	0,4060	26,89														
11/4/2011	53,00	64,66	ND	ND	ND	ND	53,00	56,00	76,00	11/4/2011	1,58	-1,27	11,10	0,9800	20,93														
2/5/2011	36,00	43,92	ND	ND	ND	ND	36,00	24,00	26,00	2/5/2011	0,59	-0,83	-16,81	0,4650	25,97														
7/6/2011	10,00	12,20	ND	ND	ND	ND	10,00	8,00	14,00	7/6/2011	0,35	-0,43	-10,43	0,2156	31,17														
5/7/2011	8,00	9,76	ND	ND	ND	ND	8,00	12,00	14,00	5/7/2011	0,35	-0,26	13,88	0,1576	33,29														
2/8/2011	34,00	41,48	ND	ND	ND	ND	34,00	46,00	60,00	2/8/2011	1,30	-0,82	22,85	0,6100	24,13														
14/9/2011	6,00	7,32	ND	ND	ND	ND	6,00	2,00	4,00	14/9/2011	0,15	-0,30	-33,45	0,0831	37,62														
4/10/2011	7,00	8,54	ND	ND	ND	ND	7,00	6,00	12,00	4/10/2011	0,34	-0,17	31,74	0,1439	33,90														
Mediana	9,00	10,98					9,00	11,00	14,00	Mediana	0,33	-0,29	6,20	0,2163	31,15														
1º Quartil	5,50	6,71					5,50	5,00	10,00	Mediana sem outlier	0,29	-0,24	8,26	0,1866	32,15														
3º Quartil	27,25	33,25					27,25	26,50	37,00	Período Chuvoso (PC)																			
D. Padrão (DP)	16,61	20,26					16,61	18,26	23,75	Período Estiagem (PE)																			
Mediana + 1,SDP	33,91	41,37					33,91	38,39	49,62	Mediana sem outlier (PC)	0,27	-0,19	16,14	0,1439	33,90														
Mediana - 1,SDP	-15,91	-19,41					-15,91	-16,39	-21,62	Mediana sem outlier (PE)	0,31	-0,33	-2,63	0,2156	31,17														
Mediana sem outlier	7,00	8,54					7,50	9,00	14,00																				
Período Chuvoso (PC)																													
Período Estiagem (PE)																													
Mediana sem outlier (PC)	5,50	6,71					5,50	8,00	13,00																				
Mediana sem outlier (PE)	8,00	9,76					9,00	10,00	14,00																				
Outlier		(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)																											
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.																												
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".																												
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ - " ou "NH ₄ +".																												
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ -", "CO ₃ -2" ou "OH-".																												
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.																												

PC04	Al (mg/L)	Ba (mg/L)	Ca (mg/L)	Ca* (mg/L)	Zn (mg/L)	NO ₃ (mg/L N)	NO ₃ ** (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Mg (mg/L)	Mg* (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	N Amoniacal (mg/L N)	NH ₄ (mg/L)	STD (mg/L)	Cl (mg/L)	pH	CE (μS/cm)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	SO ₄ (mg/L)
Data da Coleta																					
5/11/2010	0,0742	0,0070	7,9200	3,2000	0,0233	0,381	1,69	7,67	0,3214	0,4800	0,4691	1,46	0,498	0,64	72,0	5,5	5,85	19,87	0,090	0,07	2,44
7/12/2010	0,0742	0,0380	6,1700	10,0000	0,0150	0,66	2,92	7,23	0,4500	0,0000	0,44	1,46	0,27	0,35	60,0	2,0	6,03	25,15	0,039	0,02	1,81
4/1/2011	0,9400	0,1400	7,1000	14,4000	0,1200	0,51	2,26	9,35	1,0050	0,4800	0,252	1,00	0,282	0,36	96,0	3,0	6,19	38,2	0,060	0,28	2,31
1/2/2011	0,0742	0,0200	0,9500	4,8000	0,0190	1,82	8,06	11,56	0,0600	0,4800	0,252	1,46	0,326	0,42	40,0	5,5	7,30	22,2	0,039	0,02	2,01
1/3/2011	0,0742	0,0210	1,1200	6,4000	0,0660	0,268	1,19	5,12	0,0080	0,9600	0,252	1,46	0,38	0,49	48,0	6,0	6,03	20,47	0,039	0,037	1,34
11/4/2011	0,0742	0,0210	2,5100	8,0000	0,0130	0,42	1,86	7,6	0,1800	1,9200	0,31	1,46	0,267	0,34	20,0	7,0	6,04	35,6	0,110	0,05	0,88
2/5/2011	0,0742	0,0340	1,6500	6,0000	0,0130	0,22	0,97	6,93	0,0080	0,0000	0,252	1,46	0,523	0,67	32,0	4,0	7,01	19	2,44	1,33	1,76
7/6/2011	0,0742	0,0420	2,1700	5,6000	0,0130	0,175	0,77	8,9	0,0080	0,0000	0,28	1,46	0,189	0,24	16,0	5,0	6,51	15,79	0,039	0,06	4
5/7/2011	2,0300	0,0440	0,7300	16,0000	0,0130	0,25	1,11	5,17	0,0290	7,2000	0,26	1,46	0,578	0,74	44,0	3,0	6,40	73	3,23	0,05	6,13
2/8/2011	0,2910	0,0300	27,4600	24,0000	0,0130	0,341	1,51	6,95	4,8700	1,9200	0,741	1,46	0,088	0,11	60,0	7,0	7,00	110	0,090	0,02	5,59
14/9/2011	0,1452	0,1100	0,1906	4,0000	0,0170	0,235	1,04	9	0,2300	1,4400	0,252	1,46	0,264	0,34	28,0	3,0	6,92	33,5	0,039	0,059	1,99
4/10/2011	0,2169	0,0510	0,4100	2,4000	0,0130	0,364	1,61	8,3	1,1000	0,4800	2,85	1,46	0,123	0,16	32,0	1,0	5,65	12,18	0,040	0,036	0,35
Mediana	0,0742	0,0360		6,20	0,0140	0,35	1,56	7,64		0,48	0,27	1,46	0,28	0,35	42,00	4,50	6,30	23,68	0,0500	0,0500	2,00
1º Quartil	0,0742	0,021		4,60	0,0130	0,25	1,09	6,95		0,36	0,25	1,46	0,25	0,32	31,00	3,00	6,03	19,65	0,0390	0,0320	1,66
3º Quartil	0,235425	0,0458		11,10	0,0201	0,44	1,96	8,93		1,56	0,45	1,46	0,41	0,53	60,00	5,63	6,94	36,25	0,0950	0,0625	2,83
D. Padrão (DP)	0,5851	0,0392		6,41	0,0325	0,45	1,98	1,79		1,99	0,74	0,14	0,15	0,20	23,16	1,96	0,53	28,49	1,0941	0,3722	1,79
Mediana + 1,5DP	0,9519	0,0948		15,81	0,0628	1,02	4,53	10,33		3,46	1,38	1,67	0,51	0,65	76,75	7,44	7,10	66,41	1,6911	0,6083	4,68
Mediana - 1,5DP	-0,8035	-0,0228		-3,41	-0,0348	-0,32	-1,40	4,94		-2,50	-0,84	1,25	0,04	0,06	7,25	1,56	5,49	-19,06	-1,5911	-0,5083	-0,68
Mediana sem outlier	0,0742	0,0320		5,80	0,0130	0,34	1,51	7,60		0,48	0,26	1,46	0,27	0,35	40,00	5,00	6,19	21,34	0,0395	0,0500	1,90
Período Chuvoso (PC)																					
Período Estiagem (PE)																					
Mediana sem outlier (PC)	0,0742	0,0210		5,60	0,02	0,38	1,69	7,67		0,48	0,25	1,46	0,30	0,39	48,00	5,50	6,03	21,34	0,0395	0,0365	1,91
Mediana sem outlier (PE)	0,0742	0,0340		5,80	0,01	0,24	1,07	7,28		1,44	0,27	1,46	0,23	0,29	30,00	4,50	6,72	26,25	0,0645	0,0500	1,88
Outlier		(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)																			
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.																				
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".																				
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ ⁻ " ou "NH ₄ ⁺ ".																				
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH ⁻ ".																				
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.																				

PC04	Alc.Bic.	HCO ₃	Alc.Carb.	CO ₃	Alc.Hidr.	OH	Alc.Total	Dureza Ca	Dureza Total	PC04	Σ Cátions	Σ Ânions	Erro Balanço	CE/100	% Erro
-------------	----------	------------------	-----------	-----------------	-----------	----	-----------	-----------	--------------	-------------	-----------	----------	--------------	--------	--------

Data da Coleta	(mg/L CaCO ₃)	(mg/L)	(mg/L CaCO ₃)	(mg/L)	(mg/L CaCO ₃)	(mg/L)	(mg/L CaCO ₃)	(mg/L CaCO ₃)	(mg/L CaCO ₃)	(mg/L CaCO ₃)	Data da Coleta			Iônico (%)		Máximo Aceitável
5/11/2010	11,00	13,42	ND	ND	ND	ND	11,00	8,00	10,00	10,00	5/11/2010	0,27	-0,47	-26,53	0,1987	31,72
7/12/2010	10,00	12,20	ND	ND	ND	ND	10,00	25,00	25,00	25,00	7/12/2010	0,57	-0,33	26,91	0,2515	30,13
4/1/2011	17,00	20,74	ND	ND	ND	ND	17,00	36,00	38,00	38,00	4/1/2011	0,81	-0,60	14,56	0,3820	27,30
1/2/2011	10,00	12,20	ND	ND	ND	ND	10,00	12,00	14,00	14,00	1/2/2011	0,35	-0,42	-8,77	0,2220	30,97
1/3/2011	10,00	12,20	ND	ND	ND	ND	10,00	16,00	20,00	20,00	1/3/2011	0,47	-0,43	4,60	0,2047	31,52
11/4/2011	20,00	24,40	ND	ND	ND	ND	20,00	20,00	28,00	28,00	11/4/2011	0,63	-0,63	-0,22	0,3560	27,78
2/5/2011	12,00	14,64	ND	ND	ND	ND	12,00	15,00	15,00	15,00	2/5/2011	0,37	-0,40	-4,22	0,1900	32,02
7/6/2011	6,00	7,32	ND	ND	ND	ND	6,00	14,00	14,00	14,00	7/6/2011	0,35	-0,36	-1,69	0,1579	33,28
5/7/2011	40,00	48,80	ND	ND	ND	ND	40,00	40,00	70,00	70,00	5/7/2011	1,46	-1,04	17,00	0,7300	22,92
2/8/2011	54,00	65,88	ND	ND	ND	ND	54,00	60,00	68,00	68,00	2/8/2011	1,44	-1,41	0,97	1,1000	20,14
14/9/2011	8,00	9,76	ND	ND	ND	ND	8,00	10,00	16,00	16,00	14/9/2011	0,39	-0,31	10,86	0,3350	28,19
4/10/2011	7,00	8,54	ND	ND	ND	ND	7,00	6,00	8,00	8,00	4/10/2011	0,30	-0,20	19,15	0,1218	35,03
Mediana	10,50	12,81					10,50	15,50	18,00	18,00	Mediana	0,42	-0,40	1,89	0,2368	30,54
1º Quartil	9,50	11,59					9,50	11,50	14,00	14,00	Mediana sem outlier (PE)	0,40	-0,40	-0,72	0,2134	31,24
3º Quartil	17,75	21,66					17,75	27,75	30,50	30,50	Período Chuvoso (PC)					
D. Padrão (DP)	14,82	18,08					14,82	16,02	21,23	21,23	Período Estiagem (PE)					
Mediana + 1,5DP	32,73	39,94					32,73	39,52	49,84	49,84	Mediana sem outlier (PC)	0,39	-0,41	-2,91	0,2134	31,24
Mediana - 1,5DP	-11,73	-14,32					-11,73	-8,52	-13,84	-13,84	Mediana sem outlier (PE)	0,48	-0,37	13,31	0,2625	29,84
Mediana sem outlier	10,00	12,20					10,00	14,50	15,50	15,50						
Período Chuvoso (PC)																
Período Estiagem (PE)																
Mediana sem outlier (PC)	10,00	12,20					10,00	14,00	17,00	17,00						
Mediana sem outlier (PE)	10,00	12,20					10,00	14,50	15,50	15,50						
Outlier		(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)														
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.															
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".															
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ ⁻ " ou "NH ₄ ⁺ ".															
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH ⁻ ".															
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.															

PC05	Al (mg/L)	Ba (mg/L)	Ca (mg/L)	Ca* (mg/L)	Zn (mg/L)	NO ₃ (mg/L N)	NO ₃ ** (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Mg (mg/L)	Mg* (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	N Amoniacal (mg/L N)	NH ₄ (mg/L)	STD (mg/L)	Cl (mg/L)	pH	CE (μS/cm)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	SO ₄ (mg/L)
Data da Coleta																					
5/11/2010	0,0856	0,0070	2,6900	1,6000	0,0133	0,21	0,93	3,21	0,1894	0,4800	0,252	1,46	0,315	0,40	68,0	1,0	5,77	26,39	0,08	0,04	1,41
7/12/2010	0,0742	0,0070	0,9000	14,4000	0,0250	0,51	2,27	4,95	0,0690	0,9600	0,252	1,46	0,514	0,66	36,0	1,0	6,80	50	0,04	0,03	1,02
4/1/2011	0,2100	0,0120	0,8600	2,4000	0,0410	0,07	0,29	3,40	0,2280	0,4800	0,252	1,46	0,071	0,09	38,0	2,0	6,08	8,08	0,05	0,02	1,11
1/2/2011	0,0742	0,0150	3,7300	11,2000	0,0130	1,81	8,02	6,58	0,0990	3,8400	0,252	1,46	0,274	0,35	68,0	4,0	7,94	82	0,14	0,02	1,29
1/3/2011	0,0742	0,0160	1,9400	8,0000	0,0130	0,40	1,78	2,47	0,0080	7,2000	0,252	1,46	0,12	0,15	52,0	1,0	7,14	81,3	0,04	0,04	1,15
11/4/2011	0,1400	0,0230	18,7100	22,4000	0,0130	0,14	0,62	0,93	0,4300	1,9200	0,252	1,46	0,091	0,12	12,0	3,0	7,21	85,3	0,07	0,02	1,79
2/5/2011	13,6000	0,0280	10,0500	7,2000	0,0130	0,19	0,84	1,00	0,4400	5,2800	0,252	1,46	0,295	0,38	32,0	1,0	7,76	55,5	2,21	0,38	2,07
7/6/2011	16,7000	0,0260	9,4900	4,8000	0,0130	0,16	0,71	3,96	0,3700	3,3600	0,252	1,46	0,247	0,32	20,0	5,0	7,36	40,9	0,14	0,06	1,52
5/7/2011	13,1000	0,0280	22,8300	38,4000	0,0130	0,31	1,37	3,50	1,2100	0,9600	0,355	1,46	0,239	0,31	68,0	2,5	7,06	103,4	4,96	0,06	1,42
2/8/2011	2,2800	0,0280	4,1000	4,0000	0,0130	0,36	1,59	3,05	0,4540	5,2800	0,648	1,46	0,459	0,59	28,0	4,0	6,40	35	0,13	0,02	2,86
14/9/2011	0,1219	0,0300	3,8400	4,8000	0,0130	0,25	1,11	3,46	0,1700	1,4400	0,252	1,46	0,385	0,49	28,0	5,0	7,27	21	0,08	0,04	2,28
4/10/2011	0,3333	0,0380	2,1100	3,2000	0,0130	0,35	1,54	2,64	0,6400	0,4800	1,29	1,46	0,604	0,78	20,0	1,0	5,96	13,65	0,06	0,03	0,35
Mediana	0,1750	0,0245		6,00	0,0130	0,28	1,24	3,31		1,68	0,25	1,46	0,28	0,37	34,00	2,25	7,10	45,45	0,08	0,04	1,42
1º Quartil	0,08275	0,01425		3,80	0,0130	0,18	0,80	2,60		0,84	0,25	1,46	0,21	0,27	26,00	1,00	6,32	25,04	0,06	0,02	1,14
3º Quartil	4,985	0,0280		12,00	0,0131	0,37	1,64	3,62		4,20	0,28	1,46	0,40	0,52	56,00	4,00	7,29	81,48	0,14	0,05	1,86
D. Padrão (DP)	6,4555	0,0099		10,69	0,0085	0,46	2,05	1,54		2,30	0,31	0,00	0,17	0,21	20,10	1,62	0,70	31,50	1,48	0,10	0,66
Mediana + 1,5DP	9,8582	0,0393		22,04	0,0257	0,97	4,31	5,62		5,13	0,71	1,46	0,53	0,69	64,15	4,67	8,16	92,70	2,31	0,19	2,40
Mediana - 1,5DP	-9,5082	0,0097		-10,04	0,0003	-0,41	-1,83	1,00		-1,77	-0,21	1,46	0,03	0,04	3,85	-0,17	6,04	-1,80	-2,15	-0,11	0,43
Mediana sem outlier	0,1310	0,0230		4,80	0,0130	0,23	1,02	3,21		1,44	0,25	1,46	0,27	0,35	30,00	1,00	6,93	37,95	0,08	0,03	1,42
Período Chuvoso (PC)																					
Período Estiagem (PE)																					
Mediana sem outlier (PC)	0,0799	0,0135		2,80	0,013	0,35	1,54	3,21		0,48	0,25	1,46	0,27	0,35	37,00	1,00	6,80	26,39	0,0540	0,0320	1,15
Mediana sem outlier (PE)	0,1400	0,0280		4,80	0,013	0,22	0,97	3,46		1,68	0,25	1,46	0,27	0,35	28,00	3,00	7,21	40,90	0,1300	0,0400	1,79
Outlier	(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)																				
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.																				
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".																				
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ ⁻ " ou "NH ₄ ⁺ ".																				
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH ⁻ ".																				
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.																				

PC06	Al (mg/L)	Ba (mg/L)	Ca (mg/L)	Ca* (mg/L)	Zn (mg/L)	NO ₃ (mg/L N)	NO ₃ ** (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Mg (mg/L)	Mg* (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	N Amoniacal (mg/L N)	NH ₄ (mg/L)	STD (mg/L)	Cl (mg/L)	pH	CE (μS/cm)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	SO ₄ (mg/L)
Data da Coleta																					
5/11/2010	0,6107	0,0070	3,4220	10,4000	0,0130	0,52	2,30	6,58	0,6730	0,9600	0,364	4,59	0,060	0,08	144,0	8,5	6,16	35,48	0,260	0,18	3,31
7/12/2010	0,0900	0,3200	64,9900	6,4000	0,0130	0,07	0,29	4,42	0,0080	2,8800	0,543	8,5	0,089	0,11	56,0	4,0	6,40	45,60	0,039	0,02	4,76
4/1/2011	0,0590	0,0350	1,4800	8,0000	0,0190	0,31	1,37	2,09	0,4490	2,4000	0,252	1,50	0,191	0,25	32,0	2,5	6,17	35,00	0,040	0,02	7,59
1/2/2011	0,0742	0,0160	0,9500	9,6000	0,0130	1,83	8,10	6,02	0,2300	6,2400	0,252	1,46	0,095	0,12	52,0	4,0	7,45	57,90	0,039	0,02	12,71
1/3/2011	0,0742	0,0230	3,0700	6,4000	0,0130	0,99	4,38	3,25	0,3500	3,3600	0,310	1,87	0,197	0,25	44,0	6,0	6,55	46,40	0,039	0,02	0,35
11/4/2011	0,3900	0,0310	8,6100	8,0000	0,0130	0,57	2,54	5,67	1,1700	4,8000	0,290	5,38	0,196	0,25	44,0	5,0	7,73	76,20	0,520	0,02	5,40
2/5/2011	0,5600	0,0400	5,8500	10,4000	0,0130	0,72	3,19	4,13	0,8600	0,4800	0,270	2,89	0,215	0,28	220,0	2,0	7,55	56,00	0,090	0,03	3,28
7/6/2011	0,5770	0,0390	5,4000	46,4000	0,0130	0,94	4,16	4,61	0,8700	20,1600	0,300	2,94	0,077	0,10	36,0	2,5	7,49	95,50	0,100	0,06	3,43
5/7/2011	0,5320	0,0440	5,0400	4,8000	0,0130	1,36	6,02	2,56	0,7670	6,2400	0,389	2,48	0,134	0,17	58,0	5,0	6,86	43,10	0,300	0,05	1,65
2/8/2011	31,2000	0,0470	4,4900	8,0000	0,0130	1,41	6,24	5,72	1,1600	5,7600	1,01	2,28	0,335	0,43	52,0	5,0	6,50	56,00	0,190	0,05	1,28
14/9/2011	36,5700	0,0460	2,8800	4,0000	0,0130	0,55	2,45	6,85	0,7700	1,9200	0,520	2,00	0,137	0,18	36,0	4,0	7,30	28,54	0,050	0,05	2,30
4/10/2011	0,1257	0,0220	2,3900	1,6000	0,0130	0,49	2,18	5,08	1,7300	1,9200	2,47	2,59	0,233	0,30	32,0	1,5	6,63	26,30	0,200	0,09	1,06
Mediana	0,4610	0,0370		8,00	0,0130	0,65	2,86	4,85		3,12	0,34	2,48	0,16	0,21	48,00	4,00	6,75	46,00	0,10	0,04	3,30
1° Quartil	0,08605	0,02275		6,00	0,0130	0,51	2,27	3,91		1,92	0,29	1,94	0,09	0,12	36,00	2,50	6,48	35,36	0,04	0,02	1,56
3° Quartil	0,585425	0,0445		9,80	0,0130	1,08	4,79	5,80		5,88	0,53	2,92	0,20	0,26	56,50	5,00	7,46	56,48	0,22	0,05	4,92
D. Padrão (DP)	13,1212	0,0841		11,66	0,0017	0,51	2,26	1,53		5,24	0,63	2,09	0,08	0,10	56,74	1,95	0,57	20,07	0,15	0,05	3,44
Mediana + 1,5DP	20,1429	0,1632		25,49	0,0156	1,41	6,26	7,15		10,99	1,28	5,62	0,28	0,36	133,12	6,92	7,60	76,10	0,32	0,11	8,46
Mediana - 1,5DP	-19,2209	-0,0892		-9,49	0,0104	-0,12	-0,53	2,54		-4,75	-0,61	-0,66	0,04	0,06	-37,12	1,08	5,89	15,90	-0,13	-0,03	-1,87
Mediana sem outlier	0,2579	0,0350		8,00	0,0130	0,56	2,50	4,61		2,88	0,31	2,54	0,19	0,25	44,00	3,25	6,59	44,35	0,10	0,05	3,28
Período Chuvoso (PC)																					
Período Estiagem (PE)																					
Mediana sem outlier (PC)	0,0821	0,0220		7,20	0,013	0,49	2,18	5,08		2,40	0,31	1,69	0,10	0,12	44,00	4,00	6,40	35,48	0,0395	0,0200	3,31
Mediana sem outlier (PE)	0,5460	0,0400		8,00	0,013	0,83	3,68	5,67		4,80	0,34	2,69	0,14	0,18	44,00	5,00	7,30	56,00	0,1000	0,0500	3,28
Outlier	(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)																				
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.																				
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".																				
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ ⁻ " ou "NH ₄ ⁺ ".																				
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH ⁻ ".																				
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.																				

PC06	Alc.Bic. (mg/LCaCO ₃)	HCO ₃ (mg/L)	Alc.Carb. (mg/LCaCO ₃)	CO ₃ (mg/L)	Alc.Hidr. (mg/LCaCO ₃)	OH (mg/L)	Alc.Total (mg/LCaCO ₃)	Dureza Ca (mg/LCaCO ₃)	Dureza Total (mg/LCaCO ₃)	PC06	Σ Cátions	Σ Ânions	Erro Balanço Iônico (%)	CE/100	% Erro Máximo Aceitável
										Data da Coleta					
Data da Coleta															
5/11/2010	7,00	8,54	ND	ND	ND	ND	13,00	26,00	30,00	5/11/2010	0,81	-0,45	28,05	0,3548	27,80
7/12/2010	18,00	21,96	ND	ND	ND	ND	18,00	16,00	28,00	7/12/2010	0,94	-0,59	22,55	0,4560	26,10
4/1/2011	12,00	14,64	ND	ND	ND	ND	12,00	20,00	30,00	4/1/2011	0,67	-0,60	5,46	0,3500	27,89
1/2/2011	18,00	21,96	ND	ND	ND	ND	18,00	24,00	50,00	1/2/2011	1,06	-0,81	13,60	0,5790	24,49
1/3/2011	21,00	25,62	ND	ND	ND	ND	21,00	16,00	30,00	1/3/2011	0,69	-0,64	3,61	0,4640	25,98
11/4/2011	40,00	48,80	ND	ND	ND	ND	40,00	20,00	40,00	11/4/2011	1,04	-1,10	-3,23	0,7620	22,63
2/5/2011	38,00	46,36	ND	ND	ND	ND	38,00	26,00	28,00	2/5/2011	0,69	-0,95	-15,86	0,5600	24,71
7/6/2011	22,00	26,84	ND	ND	ND	ND	22,00	116,00	200,00	7/6/2011	4,11	-0,68	71,64	0,9550	21,10
5/7/2011	18,00	21,96	ND	ND	ND	ND	18,00	12,00	38,00	5/7/2011	0,87	-0,64	15,58	0,4310	26,48
2/8/2011	20,00	24,40	ND	ND	ND	ND	20,00	20,00	44,00	2/8/2011	1,00	-0,61	24,36	0,5600	24,71
14/9/2011	12,00	14,64	ND	ND	ND	ND	12,00	10,00	18,00	14/9/2011	0,46	-0,44	2,47	0,2854	29,27
4/10/2011	10,00	12,20	ND	ND	ND	ND	10,00	4,00	12,00	4/10/2011	0,41	-0,31	14,24	0,2630	29,82
Mediana	18,00	21,96					18,00	20,00	30,00	Mediana	0,77	-0,59	13,60	0,4600	26,04
1° Quartil	12,00	14,64					12,75	15,00	28,00	Mediana sem outlier	0,75	-0,56	14,78	0,4435	26,29
3° Quartil	21,25	25,93					21,25	24,50	41,00	Período Chuvoso (PC)					
D. Padrão (DP)	10,17	12,40					9,62	29,15	49,72	Período Estiagem (PE)					
Mediana + 1,5DP	33,25	40,56					32,43	63,73	104,58	Mediana sem outlier (PC)	0,64	-0,46	16,55	0,3548	27,80
Mediana - 1,5DP	2,75	3,36					3,57	-23,73	-44,58	Mediana sem outlier (PE)	0,92	-0,65	17,29	0,5600	24,71
Mediana sem outlier	18,00	21,96					18,00	20,00	30,00						
Período Chuvoso (PC)															
Período Estiagem (PE)															
Mediana sem outlier (PC)	12,00	14,64					13,00	18,00	30,00						
Mediana sem outlier (PE)	19,00	23,18					19,00	20,00	38,00						
Outlier			(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)												
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.														
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".														
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ ⁻ " ou "NH ₄ ⁺ ".														
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH ⁻ ".														
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.														

PC07	Al (mg/L)	Ba (mg/L)	Ca (mg/L)	Ca* (mg/L)	Zn (mg/L)	NO ₃ (mg/L N)	NO ₃ ** (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Mg (mg/L)	Mg* (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	N Amoniacal (mg/L N)	NH ₄ (mg/L)	STD (mg/L)	Cl (mg/L)	pH	CE (μS/cm)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	SO ₄ (mg/L)
Data da Coleta																					
5/11/2010	0,2103	0,3678	63,4200	12,0000	0,0130	0,52	2,29	4,75	0,0210	1,4400	58,0800	9,7	0,419	0,54	448,0	5,0	11,11	307,00	0,090	0,02	4,00
7/12/2010	0,0900	0,0094	3,7600	32,0000	0,0130	0,32	1,42	4,54	0,7100	2,4000	0,2800	4,85	0,274	0,35	428,0	5,5	11,25	113,60	0,350	0,22	4,35
4/1/2011	0,4200	0,6700	38,8000	9,6000	0,0150	0,67	2,97	2,35	0,1750	0,4800	27,7000	4,60	0,171	0,22	338,0	7,5	11,31	1025,00	0,039	0,02	9,33
1/2/2011	0,1800	0,1200	20,8000	8,0000	0,0130	1,86	8,24	7,44	0,0080	4,8000	9,4200	1,68	0,403	0,52	288,0	5,0	9,51	575,60	0,090	0,02	4,00
1/3/2011	0,2900	0,0200	33,9800	24,0000	0,0130	0,36	1,59	5,91	0,0080	2,4000	18,3600	3,42	0,644	0,83	210,0	7,0	11,26	800,00	0,039	0,02	0,35
11/4/2011	0,3100	0,1830	12,1200	8,8000	0,0130	0,07	0,29	6,15	0,0080	4,3200	23,7400	4,47	0,648	0,83	196,0	5,0	9,35	428,00	0,039	0,02	4,43
2/5/2011	0,3200	0,0160	16,9900	4,8000	0,0130	0,40	1,77	6,30	0,0080	3,3600	25,1200	4,53	0,48	0,62	248,0	2,0	11,47	742,00	0,039	0,02	3,57
7/6/2011	0,4190	0,1350	17,3500	5,6000	0,0130	0,33	1,46	7,20	0,0080	3,8400	25,1000	4,70	0,238	0,31	256,0	3,5	8,30	751,00	0,039	0,02	4,67
5/7/2011	0,4650	0,1800	20,5400	27,2000	0,0130	0,51	2,26	2,87	0,0080	24,4800	24,0000	4,95	0,439	0,56	208,0	5,5	11,20	666,00	0,050	0,02	5,05
2/8/2011	0,9000	0,2000	55,1800	20,8000	0,0130	0,36	1,61	5,18	0,0080	0,4800	19,5900	3,35	0,656	0,84	224,0	7,5	11,70	840,00	0,090	0,02	1,78
14/9/2011	26,5000	0,2440	7,2000	15,2000	0,0130	0,42	1,88	4,42	0,0080	0,4800	14,9700	3,37	0,410	0,53	176,0	5,0	8,30	772,00	0,039	0,02	2,34
4/10/2011	0,0742	0,2300	40,2800	64,0000	0,0130	4,57	20,24	6,06	0,0080	3,8400	15,0800	3,21	0,643	0,83	114,0	2,0	11,44	531,00	0,039	0,02	2,34
Mediana	0,3150	0,1815		13,60	0,0130	0,41	1,82	5,55		2,88	21,67	4,47	0,429	0,55	236,00	5,00	11,23	704,00	0,04	0,02	4,00
1º Quartil	0,202725	0,095		8,60	0,0130	0,35	1,56	4,51		1,20	15,05	3,36	0,371	0,48	205,00	4,63	9,47	505,25	0,04	0,02	2,34
3º Quartil	0,43125	0,2335		24,80	0,0130	0,56	2,46	6,19		3,96	25,11	4,65	0,643	0,83	300,50	5,88	11,34	779,00	0,09	0,02	4,49
D. Padrão (DP)	7,5565	0,1823		16,64	0,0006	1,25	5,53	1,57		6,52	13,84	1,00	0,169	0,22	99,79	1,84	1,28	252,66	0,09	0,06	2,21
Mediana + 1,5DP	11,6497	0,4550		38,56	0,0139	2,28	10,12	7,90		12,66	42,42	5,98	0,683	0,88	385,69	7,76	13,14	1082,99	0,17	0,11	7,32
Mediana - 1,5DP	-11,0197	-0,0920		-11,36	0,0121	-1,46	-6,47	3,19		-6,90	0,91	2,96	0,175	0,22	86,31	2,24	9,31	325,01	-0,09	-0,07	0,68
Mediana sem outlier	0,3000	0,1830		13,60	0,0130	0,41	1,82	5,18		2,40	23,74	4,50	0,460	0,59	217,00	5,25	11,23	746,50	0,04	0,02	4,00
Período Chuvoso (PC)																					
Período Estiagem (PE)																					
Mediana sem outlier (PC)	0,1952	0,1200		12,00	0,013	0,52	2,29	5,91		2,40	15,08	4,01	0,42	0,54	249,00	5,50	11,26	575,60	0,0390	0,0200	4,00
Mediana sem outlier (PE)	0,4190	0,1815		12,00	0,013	0,38	1,69	6,15		3,36	23,87	4,50	0,46	0,59	216,00	5,00	11,34	742,00	0,0390	0,0200	4,00
Outlier	(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)																				
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.																				
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".																				
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ ⁻ " ou "NH ₄ ⁺ ".																				
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH ⁻ ".																				
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.																				

PC07	Alc.Bic. (mg/LCaCO ₃)	HCO ₃ (mg/L)	Alc.Carb. (mg/LCaCO ₃)	CO ₃ (mg/L)	Alc.Hidr. (mg/LCaCO ₃)	OH (mg/L)	Alc.Total (mg/LCaCO ₃)	Dureza Ca (mg/LCaCO ₃)	Dureza Total (mg/LCaCO ₃)	PC07	Σ Cátions	Σ Ânions	Erro Balanço Iônico (%)	CE/100	% Erro Máximo Aceitável	
										Data da Coleta						
	5/11/2010	0,00	0,00	31	18,6	120	40,8	151,00	30,00	36,00	5/11/2010	2,62	-0,25	82,79	3,07	13,20
	7/12/2010	0,00	0,00	22	13,2	155	52,7	177,00	80,00	90,00	7/12/2010	2,01	-0,29	74,54	1,14	19,93
	4/1/2011	0,00	0,00	41	24,6	208	70,72	249,00	24,00	26,00	4/1/2011	1,43	-0,54	45,19	10,25	5,04
	1/2/2011	70,00	85,40	22	13,2	0	0	92,00	20,00	40,00	1/2/2011	1,11	-1,65	-19,64	5,76	8,95
	1/3/2011	0,00	0,00	40	24	77	26,18	117,00	60,00	70,00	1/3/2011	2,01	-0,21	81,15	8,00	6,72
	11/4/2011	47,00	57,34	36	21,6	0	0	83,00	22,00	40,00	11/4/2011	1,60	-1,20	14,10	4,28	10,95
	2/5/2011	0,00	0,00	24	14,4	223	75,82	247,00	12,00	26,00	2/5/2011	1,36	-0,15	79,56	7,42	7,23
	7/6/2011	78,00	95,16	0	0	0	0	78,00	14,00	30,00	7/6/2011	1,44	-1,79	-10,83	7,51	7,15
	5/7/2011	0,00	0,00	48	28,8	85	28,9	133,00	68,00	170,00	5/7/2011	4,20	-0,29	87,24	6,66	7,96
	2/8/2011	0,00	0,00	18	10,8	190	64,6	208,00	52,00	54,00	2/8/2011	1,72	-0,28	72,15	8,40	6,39
	14/9/2011	63,00	76,86	0	0	0	0	63,00	38,00	40,00	14/9/2011	1,33	-1,78	-14,45	7,72	6,96
	4/10/2011	0,00	0,00	312	187,2	138	46,92	450,00	160,00	176,00	4/10/2011	4,03	-0,13	93,55	5,31	9,49
	Mediana	0,00	0,00	27,50	16,50	102,50	34,85	142,00	34,00	40,00	Mediana	1,66	-2,85	-26,33	7,04	7,59
	1° Quartil	0,00	0,00	21,00	12,60	0,00	0,00	89,75	21,50	34,50	Mediana sem outlier	1,68	-3,39	-33,76	7,47	7,19
	3° Quartil	51,00	62,22	40,25	24,15	163,75	55,68	217,75	62,00	75,00	Período Chuvoso (PC)					
	D. Padrão (DP)	32,49	39,64	84,02	50,41	85,55	29,09	108,78	41,60	53,15	Período Estiagem (PE)					
	Mediana + 1,5DP	48,74	59,47	153,53	92,12	230,83	78,48	305,17	96,40	119,72	Mediana sem outlier (PC)	1,36	-3,48	-43,86	5,76	8,95
	Mediana - 1,5DP	-48,74	-59,47	-98,53	-59,12	-25,83	-8,78	-21,17	-28,40	-39,72	Mediana sem outlier (PE)	1,68	-1,52	4,99	7,42	7,23
	Mediana sem outlier	0,00	0,00	27,50	16,50	129,00	43,86	164,00	34,00	47,00						
	Período Chuvoso (PC)															
	Período Estiagem (PE)															
	Mediana sem outlier (PC)	0,00	0,00	31,00	18,60	129,00	43,86	151,00	30,00	40,00						
	Mediana sem outlier (PE)	0,00	0,00	21,00	12,60	42,50	14,45	108,00	30,00	40,00						
	Outlier	(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)														
	Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.														
	*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".														
	**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ ⁻ " ou "NH ₄ ⁺ ".														
	***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH ⁻ ".														
	OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.														

PC08	Al (mg/L)	Ba (mg/L)	Ca (mg/L)	Ca* (mg/L)	Zn (mg/L)	NO ₃ (mg/L N)	NO ₃ ** (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Mg (mg/L)	Mg* (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	N Amoniacal (mg/L N)	NH ₄ (mg/L)	STD (mg/L)	Cl (mg/L)	pH	CE (µS/cm)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	SO ₄ (mg/L)
Data da Coleta																					
5/11/2010	0,0742	0,0070	56,8900	40,0000	0,0255	0,384	1,70	7,89	3,7800	4,8000	0,4780	1,46	0,248	0,32	240,0	1,0	7,95	273,10	0,050	0,02	3,18
7/12/2010	0,0860	0,0070	64,6100	28,0000	0,0130	0,430	1,90	8,00	4,2100	2,4000	0,5400	1,46	0,024	0,03	220,0	2,5	7,91	280,90	0,050	0,02	2,32
4/1/2011	0,4400	0,0220	16,9000	36,8000	0,0180	0,600	2,66	5,57	1,2300	8,6400	0,2700	1,46	0,325	0,42	204,0	5,0	7,66	276,70	0,039	0,02	1,13
1/2/2011	0,0742	0,0170	23,3400	49,6000	0,0130	1,87	8,28	10,36	1,8100	1,9200	0,0252	1,46	0,285	0,37	216,0	3,5	8,24	276,40	0,039	0,02	1,81
1/3/2011	0,0742	0,0180	48,9000	50,4000	0,0130	0,360	1,59	6,36	3,6800	0,9600	0,4800	1,46	0,546	0,70	164,0	5,0	8,87	277,50	0,039	0,02	0,35
11/4/2011	0,0742	0,0220	47,2600	28,0000	0,0130	0,066	0,29	8,35	3,7100	12,0000	0,4400	1,46	0,602	0,77	178,0	3,5	8,41	274,10	0,039	0,02	1,75
2/5/2011	0,0742	0,0220	50,1900	36,0000	0,0130	0,300	1,33	8,38	3,8900	14,4000	0,5200	1,46	0,411	0,53	168,0	2,0	8,38	267,60	0,039	0,02	1,43
7/6/2011	0,0742	0,0216	50,3700	24,0000	0,0130	0,340	1,51	11,05	3,8000	24,9600	0,4000	1,46	0,22	0,28	176,0	6,5	8,29	269,80	0,039	0,02	0,76
5/7/2011	0,0742	0,0200	50,2700	37,6000	0,0130	0,590	2,61	47,00	3,8700	7,6800	0,4480	1,46	0,305	0,39	280,0	4,5	7,93	268,00	0,039	0,02	1,81
2/8/2011	0,0742	0,1330	46,0700	88,0000	0,0130	0,437	1,94	9,11	3,6600	0,0000	0,5900	1,90	0,281	0,36	176,0	5,0	7,90	270,00	0,080	0,02	1,17
14/9/2011	0,0742	0,0230	52,8100	76,8000	0,0130	0,629	2,79	9,93	4,0400	1,9200	0,3810	1,46	0,248	0,32	152,0	3,5	8,30	279,30	0,039	0,02	2,54
4/10/2011	0,0958	0,0290	44,5100	54,4000	0,0130	0,823	3,64	11,16	0,0008	6,2400	15,0800	3,21	0,393	0,51	134,0	1,5	8,36	278,00	0,039	0,02	0,35
Mediana	0,0742	0,0218		38,80	0,0130	0,43	1,92	8,75		5,52	0,46	1,46	0,30	0,38	177,00	3,50	8,27	275,25	0,039	0,02	1,59
1º Quartil	0,0742	0,01775		34,00	0,0130	0,36	1,57	7,97		1,92	0,40	1,46	0,25	0,32	167,00	2,38	7,93	269,95	0,039	0,02	1,04
3º Quartil	0,07715	0,0223		51,40	0,0130	0,61	2,69	10,53		9,48	0,53	1,46	0,40	0,51	217,00	5,00	8,37	277,63	0,042	0,02	1,94
D. Padrão (DP)	0,1049	0,0335		19,63	0,0038	0,45	2,00	11,18		7,19	4,24	0,53	0,15	0,20	41,10	1,65	0,33	4,55	0,012	0,00	0,87
Mediana + 1,5DP	0,2316	0,0721		68,24	0,0186	1,11	4,93	25,51		16,31	6,82	2,26	0,52	0,67	238,65	5,98	8,75	282,07	0,057	0,02	2,89
Mediana - 1,5DP	-0,0832	-0,0285		9,36	0,0074	-0,25	-1,09	-8,02		-5,27	-5,89	0,66	0,07	0,09	115,35	1,02	7,78	268,43	0,021	0,02	0,29
Mediana sem outlier	0,0742	0,0216		37,20	0,0130	0,43	1,90	8,38		4,80	0,45	1,46	0,30	0,36	176,00	3,50	8,12	276,55	0,039	0,02	1,59
Período Chuvoso (PC)																					
Período Estiagem (PE)																					
Mediana sem outlier (PC)	0,0742	0,0175		44,80	0,013	0,43	1,90	7,95		3,60	0,48	1,46	0,31	0,37	204,00	3,50	8,10	277,10	0,0390	0,0200	1,47
Mediana sem outlier (PE)	0,0742	0,0220		32,00	0,013	0,39	1,72	9,11		7,68	0,44	1,46	0,29	0,36	176,00	3,50	8,30	272,05	0,0390	0,0200	1,59
Outlier	(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)																				
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.																				
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".																				
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ ⁻ " ou "NH ₄ ⁺ ".																				
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH ⁻ ".																				
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.																				

PC08	Alc.Bic. (mg/LCaCO ₃)	HCO ₃ (mg/L)	Alc.Carb. (mg/LCaCO ₃)	CO ₃ (mg/L)	Alc.Hidr. (mg/LCaCO ₃)	OH (mg/L)	Alc.Total (mg/LCaCO ₃)	Dureza Ca (mg/LCaCO ₃)	Dureza Total (mg/LCaCO ₃)	PC08	Σ Cátions	Σ Ânions	Erro Balanço Iônico (%)	CE/100	% Erro Máximo Aceitável
										Data da Coleta					
Data da Coleta										Data da Coleta					
5/11/2010	150,00	183,00	0,00	0,00	ND	ND	150,00	100,00	120,00	5/11/2010	2,47	-3,12	-11,76	2,7310	13,99
7/12/2010	156,00	190,32	0,00	0,00	ND	ND	156,00	70,00	80,00	7/12/2010	1,67	-3,28	-32,48	2,8090	13,80
4/1/2011	172,00	209,84	0,00	0,00	ND	ND	172,00	92,00	128,00	4/1/2011	2,62	-3,74	-17,62	2,7670	13,90
1/2/2011	150,00	183,00	0,00	0,00	ND	ND	150,00	124,00	132,00	1/2/2011	2,70	-3,16	-7,92	2,7640	13,91
1/3/2011	161,00	196,42	0,00	0,00	ND	ND	161,00	126,00	130,00	1/3/2011	2,67	-3,37	-11,62	2,7750	13,88
11/4/2011	152,00	185,44	3,00	1,80	ND	ND	155,00	70,00	120,00	11/4/2011	2,46	-3,20	-13,02	2,7410	13,97
2/5/2011	240,00	292,80	10,00	6,00	ND	ND	240,00	90,00	150,00	2/5/2011	3,06	-4,91	-23,23	2,6760	14,13
7/6/2011	140,00	170,80	0,00	0,00	ND	ND	140,00	60,00	164,00	7/6/2011	3,32	-3,04	4,47	2,6980	14,07
5/7/2011	160,00	195,20	0,00	0,00	ND	ND	160,00	94,00	126,00	5/7/2011	2,58	-3,39	-13,58	2,6800	14,12
2/8/2011	154,00	187,88	0,00	0,00	ND	ND	154,00	220,00	220,00	2/8/2011	4,49	-3,29	15,42	2,7000	14,07
14/9/2011	139,00	169,58	0,00	0,00	ND	ND	139,00	192,00	200,00	14/9/2011	4,06	-2,99	15,23	2,7930	13,84
4/10/2011	153,00	186,66	6,00	3,60	ND	ND	159,00	136,00	162,00	4/10/2011	3,75	-3,14	8,90	2,7800	13,87
Mediana	153,50	187,27	0,00	0,00			155,50	97,00	131,00	Mediana	2,47	-3,23	-13,45	2,7525	13,94
1° Quartil	150,00	183,00	0,00	0,00			150,00	85,00	124,50	Mediana sem outlier	2,33	-3,22	-16,14	2,7655	13,91
3° Quartil	160,25	195,51	0,75	0,45			160,25	128,50	162,50	Período Chuvoso (PC)					
D. Padrão (DP)	26,54	32,38	3,23	1,94			26,36	49,07	37,95	Período Estiagem (PE)					
Mediana + 1,5DP	193,31	235,83	4,85	2,91			195,04	170,61	187,92	Mediana sem outlier (PC)	2,61	-3,25	-10,96	2,7710	13,89
Mediana - 1,5DP	113,69	138,71	-4,85	-2,91			115,96	23,39	74,08	Mediana sem outlier (PE)	2,30	-3,20	-16,27	2,7205	14,02
Mediana sem outlier	153,00	186,66	0,00	0,00			155,00	93,00	129,00						
Período Chuvoso (PC)															
Período Estiagem (PE)															
Mediana sem outlier (PC)	154,50	188,49	0,00	0,00			157,50	112,00	129,00						
Mediana sem outlier (PE)	185,44	185,44	0,00	0,00			154,00	80,00	138,00						
Outlier		(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)													
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.														
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".														
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ ⁻ " ou "NH ₄ ⁺ ".														
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH ⁻ ".														
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.														

PC09	Al (mg/L)	Ba (mg/L)	Ca (mg/L)	Ca* (mg/L)	Zn (mg/L)	NO ₃ (mg/L N)	NO ₃ ** (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Mg (mg/L)	Mg* (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	N Amoniacal (mg/L N)	NH ₄ (mg/L)	STD (mg/L)	Cl (mg/L)	pH	CE (μS/cm)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	SO ₄ (mg/L)
Data da Coleta																					
5/11/2010	1,7500	0,0070	38,8700	36,0000	0,0196	0,264	1,17	0,01	3,2800	2,4000	0,4050	1,71	0,528	0,68	132,0	2,0	6,34	191,60	0,640	0,24	18,38
7/12/2010	0,2600	0,0070	20,5100	44,8000	0,0150	0,470	2,08	1,08	1,4000	1,9200	0,2520	1,46	0,225	0,29	144,0	2,5	7,99	185,70	0,120	0,03	1,64
4/1/2011	0,0220	0,0074	2,3800	49,6000	0,0200	3,420	15,15	2,05	0,3310	0,0000	0,2520	1,46	0,192	0,25	216,0	7,5	6,74	184,60	0,110	0,02	1,72
1/2/2011	0,0742	0,0210	22,9700	36,0000	0,0320	0,151	0,67	2,17	1,9000	7,2000	0,2520	1,46	0,216	0,28	112,0	3,0	6,82	169,20	0,050	0,02	1,05
1/3/2011	0,0742	0,0350	0,7400	0,8000	0,0130	0,196	0,87	4,04	0,0080	2,6400	0,2520	1,46	0,250	0,32	36,0	5,0	6,12	197,20	0,500	0,28	1,14
11/4/2011	0,0742	0,0370	30,5900	49,6000	0,0130	0,066	0,29	1,00	2,4400	1,4400	0,2520	1,46	0,011	0,01	106,0	5,0	8,28	176,80	0,600	0,02	1,52
2/5/2011	0,0742	0,0240	30,8400	36,0000	0,0130	4,410	19,53	1,10	2,4700	2,4000	0,2520	1,46	0,185	0,24	104,0	6,0	7,90	161,30	7,650	0,06	1,75
7/6/2011	0,0742	0,0160	36,3600	44,0000	0,0130	0,145	0,64	0,95	2,7800	0,0000	0,4400	1,46	0,465	0,60	128,0	1,5	7,36	188,00	1,720	0,02	0,76
5/7/2011	0,0742	0,0170	33,9800	38,4000	0,0130	3,840	17,01	0,85	2,7400	1,4400	0,2840	1,46	0,434	0,56	112,0	6,0	7,64	188,90	0,080	0,02	1,70
2/8/2011	5,5600	0,0270	35,2800	52,0000	0,0130	0,124	0,55	0,27	2,8000	0,9600	0,2520	1,46	0,562	0,72	148,0	3,0	8,10	190,00	0,900	0,05	1,65
14/9/2011	0,4404	0,0235	27,8800	36,0000	0,0130	0,118	0,52	2,59	2,1300	6,7200	0,2520	1,46	0,339	0,44	156,0	1,0	8,30	199,00	0,200	0,06	0,35
4/10/2011	0,0742	0,0510	66,4400	29,6000	0,0130	0,268	1,19	2,39	7,4900	3,8400	0,2940	1,46	0,239	0,31	186,0	1,0	7,96	187,10	0,100	0,16	0,72
Mediana	0,0742	0,0223		37,20	0,0130	0,23	1,02	1,09		2,16	0,25	1,46	0,24	0,31	130,00	3,00	7,77	187,55	0,350	0,04	1,58
1° Quartil	0,0742	0,01385		36,00	0,0130	0,14	0,62	0,93		1,32	0,25	1,46	0,21	0,27	110,50	1,88	6,80	182,65	0,108	0,02	0,98
3° Quartil	0,3051	0,0290		46,00	0,0162	1,21	5,35	2,23		2,94	0,29	1,46	0,44	0,57	150,00	5,25	8,02	190,40	0,705	0,09	1,71
D. Padrão (DP)	1,6006	0,0134		13,54	0,0057	1,69	7,46	1,14		2,32	0,07	0,07	0,16	0,21	45,17	2,20	0,77	10,96	2,132	0,09	4,96
Mediana + 1,5DP	2,4751	0,0424		57,51	0,0216	2,76	12,21	2,80		5,64	0,35	1,57	0,49	0,63	197,75	6,29	8,93	203,99	3,549	0,18	9,02
Mediana - 1,5DP	-2,3267	0,0021		16,89	0,0044	-2,30	-10,18	-0,62		-1,32	0,15	1,35	0,00	0,00	62,25	-0,29	6,61	171,11	-2,849	-0,10	-5,86
Mediana sem outlier	0,0742	0,0235		38,40	0,0130	0,17	0,77	1,08		1,68	0,25	1,46	0,23	0,29	130,00	3,00	7,93	188,45	0,200	0,03	1,52
Período Chuvoso (PC)																					
Período Estiagem (PE)																					
Mediana sem outlier (PC)	0,0742	0,0210		36,00	0,017	0,26	1,17	2,05		2,40	0,25	1,46	0,23	0,29	138,00	2,50	7,39	187,10	0,1150	0,0250	1,14
Mediana sem outlier (PE)	0,0742	0,0238		41,20	0,013	0,12	0,55	0,98		1,44	0,25	1,46	0,34	0,44	120,00	4,00	8,00	188,90	0,6000	0,0350	1,52
Outlier		(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)																			
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.																				
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".																				
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ ⁻ " ou "NH ₄ ⁺ ".																				
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH ⁻ ".																				
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.																				

PC09	Alc.Bic. (mg/LCaCO ₃)	HCO ₃ (mg/L)	Alc.Carb. (mg/LCaCO ₃)	CO ₃ (mg/L)	Alc.Hidr. (mg/LCaCO ₃)	OH (mg/L)	Alc.Total (mg/LCaCO ₃)	Dureza Ca (mg/LCaCO ₃)	Dureza Total (mg/LCaCO ₃)	PC09		Erro Balanço Iônico (%)	CE/100	% Erro Máximo Aceitável	
										Σ Cátions	Σ Ânions				
Data da Coleta											Data da Coleta				
5/11/2010	82,00	100,04	0,00	0,00	ND	ND	82,00	90,00	100,00	5/11/2010	2,08	-2,11	-0,80	1,9160	16,39
7/12/2010	90,00	109,80	0,00	0,00	ND	ND	90,00	112,00	120,00	7/12/2010	2,46	-2,15	6,83	1,8570	16,60
4/1/2011	80,00	97,60	0,00	0,00	ND	ND	80,00	124,00	124,00	4/1/2011	2,55	-1,86	15,61	1,8460	16,64
1/2/2011	100,00	122,00	0,00	0,00	ND	ND	100,00	90,00	120,00	1/2/2011	2,46	-2,12	7,40	1,6920	17,23
1/3/2011	90,00	109,80	0,00	0,00	ND	ND	90,00	2,00	13,00	1/3/2011	0,33	-1,97	-71,51	1,9720	16,19
11/4/2011	110,00	134,20	0,00	0,00	ND	ND	110,00	124,00	130,00	11/4/2011	2,66	-2,69	-0,44	1,7680	16,93
2/5/2011	141,00	172,02	0,00	0,00	ND	ND	141,00	90,00	100,00	2/5/2011	2,06	-3,04	-19,05	1,6130	17,55
7/6/2011	115,00	140,30	0,00	0,00	ND	ND	115,00	110,00	110,00	7/6/2011	2,27	-2,63	-7,37	1,8800	16,52
5/7/2011	115,00	140,30	0,00	0,00	ND	ND	115,00	96,00	102,00	5/7/2011	2,11	-2,51	-8,82	1,8890	16,49
2/8/2011	130,00	158,60	0,00	0,00	ND	ND	130,00	130,00	134,00	2/8/2011	2,74	-2,73	0,31	1,9000	16,45
14/9/2011	108,00	131,76	0,00	0,00	ND	ND	108,00	90,00	118,00	14/9/2011	2,42	-2,21	4,43	1,9900	16,13
4/10/2011	95,00	115,90	0,00	0,00	ND	ND	95,00	74,00	90,00	4/10/2011	1,86	-1,96	-2,49	1,8710	16,55
Mediana	104,00	122,00	0,00	0,00			100,00	93,00	114,00	Mediana	2,10	-2,13	-0,69	1,8755	16,53
1° Quartil	90,00	6,71	0,00	0,00			4,50	90,00	100,00	Mediana sem outlier	2,12	-2,08	1,10	1,8845	16,50
3° Quartil	115,00	12,20	0,00	0,00			10,00	115,00	121,00	Período Chuvoso (PC)					
D. Padrão (DP)	18,79	23,68	0,00	0,00			18,79	33,85	31,94	Período Estiagem (PE)					
Mediana + 1,5DP	132,18	157,51	0,00	0,00			128,18	143,78	161,90	Mediana sem outlier (PC)	2,06	-1,91	3,80	1,8710	16,55
Mediana - 1,5DP	75,82	86,49	0,00	0,00			71,82	42,22	66,10	Mediana sem outlier (PE)	2,24	-2,40	-3,41	1,8890	16,49
Mediana sem outlier	100,00	118,95	0,00	0,00			97,50	96,00	118,00						
Período Chuvoso (PC)															
Período Estiagem (PE)															
Mediana sem outlier (PC)	90,00	109,80	0,00	0,00			90,00	90,00	120,00						
Mediana sem outlier (PE)	115,00	137,25	0,00	0,00			112,50	103,00	114,00						
Outlier		(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)													
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.														
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".														
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ ⁻ " ou "NH ₄ ⁺ ".														
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH ⁻ ".														
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.														

PC10	Al (mg/L)	Ba (mg/L)	Ca (mg/L)	Ca* (mg/L)	Zn (mg/L)	NO ₃ (mg/L N)	NO ₃ ** (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Mg (mg/L)	Mg* (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	N Amoniacal (mg/L N)	NH ₄ (mg/L)	STD (mg/L)	Cl (mg/L)	pH	CE (µS/cm)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	
Data da Coleta																						
5/11/2010	0,0742	0,0070	3,1200	3,2000	0,0182	0,099	0,44	3,28	0,2042	0,4800	0,2520	1,46	0,586	0,75	24,0	3,5	5,25	35,78	0,330	0,22	4,69	
7/12/2010	0,0742	0,0280	0,4600	4,0000	0,0160	0,320	1,42	2,45	0,0470	0,0000	0,2520	1,46	0,294	0,38	24,0	3,0	6,82	11,64	0,980	0,29	1,53	
4/1/2011	0,3400	0,0350	30,0000	2,4000	0,4880	0,066	0,29	4,26	3,6700	1,4400	0,1000	1,40	0,272	0,35	24,0	5,0	5,68	15,80	0,230	0,10	1,01	
1/2/2011	0,0742	0,0160	0,6700	8,0000	0,0210	0,07	0,31	4,23	0,0290	0,0000	0,2520	1,46	0,186	0,24	40,0	5,0	6,69	21,87	0,039	0,08	1,05	
1/3/2011	0,0742	0,0230	33,6300	46,4000	0,0130	0,500	2,21	1,68	2,6000	0,9600	0,3000	1,46	0,290	0,37	112,0	3,0	7,36	157,70	0,240	0,03	1,16	
11/4/2011	0,0742	0,0200	0,1906	8,0000	0,2550	0,230	1,02	3,00	0,0080	2,4000	0,2520	1,46	0,153	0,20	18,0	2,0	7,15	32,00	0,050	0,04	1,28	
2/5/2011	0,0742	0,0230	1,5300	4,0000	0,0180	0,140	0,62	3,13	0,0080	3,3600	0,2520	1,46	0,208	0,27	32,0	2,5	7,54	38,57	3,220	0,07	1,50	
7/6/2011	0,0742	0,0220	14,9400	1,6000	0,0130	0,110	0,49	3,20	0,1360	0,4800	0,2520	1,77	0,149	0,19	28,0	2,5	5,48	13,89	0,220	0,08	1,35	
5/7/2011	0,0742	0,0220	1,0200	0,8000	0,0130	0,066	0,29	3,38	0,1240	0,0000	0,2520	1,46	0,259	0,33	32,0	2,0	3,65	122,00	0,390	0,11	14,44	
2/8/2011	32,4400	0,0220	0,5500	0,8000	0,0130	0,066	0,29	2,50	0,0560	0,2400	0,3300	1,460	0,297	0,38	14,0	3,0	5,40	130,00	0,050	0,05	1,68	
14/9/2011	0,0742	0,1700	0,1906	1,6000	0,0130	0,066	0,29	2,79	0,0080	0,4800	0,2520	1,460	0,264	0,34	20,0	3,0	6,49	11,00	0,039	0,21	0,35	
4/10/2011	5,0500	0,0220	48,5800	2,4000	0,0130	0,134	0,59	2,05	4,5900	0,9600	0,6390	2,36	0,145	0,19	16,0	2,0	5,32	11,96	0,690	0,18	4,32	
Mediana	0,0742	0,0220		2,80	0,0145	0,10	0,46	3,07		0,48	0,25	1,46	0,26	0,34	24,00	3,00	6,09	26,94	0,235	0,09	1,43	
1° Quartil	0,0742	0,0215		1,60	0,0130	0,07	0,29	2,49		0,18	0,25	1,46	0,18	0,23	19,50	2,38	5,38	13,41	0,050	0,07	1,13	
3° Quartil	0,14065	0,0243		5,00	0,0189	0,16	0,72	3,31		1,08	0,26	1,46	0,29	0,37	32,00	3,13	6,90	59,43	0,465	0,19	2,34	
D. Padrão (DP)	9,3153	0,0433		12,66	0,1474	0,13	0,59	0,78		1,04	0,12	0,28	0,12	0,15	26,27	1,03	1,13	53,55	0,891	0,08	3,88	
Mediana + 1,5DP	14,0471	0,0869		21,80	0,2356	0,30	1,35	4,23		2,05	0,44	1,88	0,44	0,57	63,41	4,55	7,79	107,26	1,572	0,21	7,24	
Mediana - 1,5DP	13,8987	-0,0429		-16,20	-0,2066	-0,10	-0,42	1,90		-1,09	0,07	1,04	0,08	0,11	-15,41	1,45	4,38	-53,39	-1,102	-0,03	-4,39	
Mediana sem outlier	0,0742	0,0220		2,40	0,0130	0,09	0,38	3,07		0,48	0,25	1,46	0,26	0,33	24,00	2,75	6,09	15,80	0,230	0,08	1,35	
Período Chuvoso (PC)																						
Período Estiagem (PE)																						
Mediana sem outlier (PC)	0,0742	0,0225		3,20	0,016	0,09	0,38	2,87		0,72	0,25	1,46	0,27	0,35	24,00	3,00	6,19	15,80	0,2850	0,0875	1,35	
Mediana sem outlier (PE)	0,0742	0,0220		1,60	0,013	0,09	0,39	3,07		0,36	0,25	1,46	0,23	0,30	24,00	2,50	5,99	22,95	0,0500	0,0700	1,35	
Outlier		(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)																				
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.																					
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".																					
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ ⁻ " ou "NH ₄ ⁺ ".																					
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH ⁻ ".																					
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.																					

PC10	Alc.Bic. (mg/LCaCO ₃)	HCO ₃ (mg/L)	Alc.Carb. (mg/LCaCO ₃)	CO ₃ (mg/L)	Alc.Hidr. (mg/LCaCO ₃)	OH (mg/L)	Alc.Total (mg/LCaCO ₃)	Dureza Ca (mg/LCaCO ₃)	Dureza Total (mg/LCaCO ₃)	PC10	Σ Cátions	Σ Ânions	Erro Balanço Iônico (%)	CE/100	% Erro Máximo Aceitável
										Data da Coleta					
	4,00	4,88	0,00	0,00	ND	ND	4,00	8,00	10,00	5/11/2010	0,27	-0,30	-5,29	0,3578	27,74
	5,00	6,10	0,00	0,00	ND	ND	5,00	10,00	10,00	7/12/2010	0,27	-0,22	9,86	0,1164	35,34
	9,00	10,98	0,00	0,00	ND	ND	9,00	6,00	12,00	4/1/2011	0,30	-0,35	-7,00	0,1580	33,27
	9,00	10,98	0,00	0,00	ND	ND	9,00	20,00	20,00	1/2/2011	0,47	-0,38	10,69	0,2187	31,07
	101,00	123,22	0,00	0,00	ND	ND	101,00	116,00	120,00	1/3/2011	2,47	-2,14	6,96	1,5770	17,71
	10,00	12,20	0,00	0,00	ND	ND	10,00	20,00	30,00	11/4/2011	0,67	-0,29	38,93	0,3200	28,50
	34,00	41,48	0,00	0,00	ND	ND	34,00	10,00	24,00	2/5/2011	0,55	-0,79	-18,23	0,3857	27,23
	3,00	3,66	0,00	0,00	ND	ND	3,00	4,00	6,00	7/6/2011	0,20	-0,16	10,77	0,1389	34,14
	FCNA	FCNA	0,00	0,00	FCNA	ND	1,00	2,00	2,00	5/7/2011	0,11		#VALOR!	1,2200	19,44
	10,00	12,20	0,00	0,00	ND	ND	10,00	2,00	3,00	2/8/2011	0,13	-0,32	-42,26	1,3000	19,01
	7,00	8,54	0,00	0,00	ND	ND	7,00	4,00	6,00	14/9/2011	0,19	-0,24	-12,11	0,1100	35,72
	4,00	4,88	0,00	0,00	ND	ND	4,00	6,00	10,00	4/10/2011	0,32	-0,23	15,22	0,1196	35,16
Mediana	9,00	10,98	0,00	0,00			9,00	7,00	10,00	Mediana	0,25	-0,30	-9,54	0,2694	29,66
1° Quartil	4,50	6,71	0,00	0,00			4,50	4,00	6,00	Mediana sem outlier	0,23	-0,27	-8,48	0,1580	33,27
3° Quartil	10,00	12,20	0,00	0,00			10,00	12,50	21,00	Período Chuvoso (PC)					
D. Padrão (DP)	28,88	35,24	0,00	0,00			27,96	31,66	32,29	Período Estiagem (PE)					
Mediana + 1,5DP	52,32	63,83	0,00	0,00			50,94	54,49	58,44	Mediana sem outlier (PC)	0,29	-0,22	13,83	0,1580	33,27
Mediana - 1,5DP	-34,32	-41,87	0,00	0,00			-32,94	-40,49	-38,44	Mediana sem outlier (PE)	0,18	-0,30	-25,90	0,2295	30,75
Mediana sem outlier	8,00	9,76	0,00	0,00			8,00	6,00	10,00						
Período Chuvoso (PC)															
Período Estiagem (PE)															
Mediana sem outlier (PC)	5,00	6,10	0,00	0,00			5,00	8,00	10,00						
Mediana sem outlier (PE)	10,00	12,20	0,00	0,00			10,00	4,00	6,00						
Outlier		(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)													
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.														
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".														
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ ⁻ " ou "NH ₄ ⁺ ".														
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH ⁻ ".														
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.														

PC11	Al (mg/L)	Ba (mg/L)	Ca (mg/L)	Ca* (mg/L)	Zn (mg/L)	NO ₃ (mg/L N)	NO ₃ ** (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Mg (mg/L)	Mg* (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	N Amoniacal (mg/L N)	NH ₄ (mg/L)	STD (mg/L)	Cl (mg/L)	pH	CE (μS/cm)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	SO ₄ (mg/L)
Data da Coleta																					
5/11/2010	0,3719	0,0700	0,7584	1,6000	0,0148	0,155	0,69	2,87	0,1770	0,9600	0,2520	1,46	0,401	0,52	16,0	3,5	5,25	11,57	0,170	0,19	3,57
7/12/2010	0,7420	0,0700	1,9900	4,0000	0,0380	0,066	0,29	2,49	2,8100	0,0000	0,2600	1,46	0,248	0,32	4,0	3,0	6,38	11,61	0,430	0,19	1,57
4/1/2011	0,0450	0,0380	2,4900	0,8000	0,0330	0,066	0,29	2,92	0,4200	1,4400	0,4000	1,46	0,261	0,34	34,0	3,5	5,43	13,90	0,100	0,14	1,89
1/2/2011	0,7420	0,0220	1,7100	4,0000	0,0130	0,066	0,29	3,33	0,1300	0,4800	0,3100	1,46	0,184	0,24	92,0	1,5	6,36	13,36	0,087	0,13	1,67
1/3/2011	0,7420	0,1600	57,0700	92,0000	0,0130	0,210	0,93	4,79	1,0100	2,4000	0,2800	1,46	0,527	0,68	168,0	2,5	7,75	325,00	0,110	0,02	1,85
11/4/2011	0,7420	0,0320	0,1906	0,4000	0,0130	0,066	0,29	2,80	0,0080	0,2400	0,2520	1,46	0,155	0,20	18,0	2,5	6,59	11,72	0,120	0,11	1,62
2/5/2011	0,7420	0,0220	0,1906	1,6000	0,0130	0,142	0,63	2,68	0,9900	0,4800	0,2520	1,46	0,264	0,34	12,0	3,0	6,42	10,87	0,900	0,19	1,48
7/6/2011	0,7420	0,0170	0,5660	2,4000	0,0130	0,066	0,29	2,13	0,1620	0,4800	0,2530	1,95	0,16	0,21	32,0	5,0	5,60	9,99	0,150	0,16	1,40
5/7/2011	0,7420	0,0150	0,6000	4,0000	0,0130	0,066	0,29	2,90	0,1460	0,0000	0,2520	1,46	0,363	0,47	32,0	1,5	5,24	11,55	0,110	0,12	2,42
2/8/2011	3,3700	0,0088	0,1906	0,8000	0,0130	1,700	7,53	1,85	0,0450	0,0000	0,2970	1,46	0,156	0,20	28,0	3,0	5,10	120,00	0,039	0,07	1,63
14/9/2011	0,1618	0,0104	0,1906	0,8000	0,0130	0,070	0,31	2,24	0,0080	0,4800	0,2520	1,46	0,302	0,39	8,0	2,5	6,36	12,00	0,110	0,19	0,35
4/10/2011	2,0800	0,0120	0,1906	0,8000	0,0130	0,136	0,60	2,76	0,1760	0,9600	0,8120	1,46	0,63	0,81	12,0	2,0	5,20	12,92	0,220	0,18	0,35
Mediana	0,7420	0,0220		1,60	0,0130	0,07	0,30	2,78		0,48	0,26	1,46	0,26	0,34	23,00	2,75	5,98	11,86	0,115	0,15	1,63
1° Quartil	0,64948	0,01425		0,80	0,0130	0,07	0,29	2,43		0,18	0,25	1,46	0,18	0,23	12,00	2,38	5,25	11,57	0,108	0,12	1,46
3° Quartil	0,742	0,0460		4,00	0,0135	0,15	0,64	2,91		0,96	0,30	1,46	0,37	0,48	32,50	3,13	6,39	13,50	0,183	0,19	1,86
D. Padrão (DP)	0,9149	0,0434		26,04	0,0088	0,46	2,06	0,74		0,70	0,16	0,15	0,15	0,20	47,00	0,96	0,80	92,89	0,238	0,05	0,85
Mediana + 1,5DP	2,1144	0,0871		40,66	0,0262	0,76	3,38	3,89		1,53	0,50	1,68	0,49	0,63	93,50	4,20	7,18	151,19	0,472	0,23	2,89
Mediana - 1,5DP	-0,6304	-0,0431		-37,46	-0,0002	-0,63	-2,78	1,67		-0,57	0,02	1,24	0,03	0,04	-47,50	1,30	4,78	-127,47	-0,242	0,07	0,36
Mediana sem outlier	0,7420	0,0220		1,60	0,0130	0,07	0,29	2,76		0,48	0,25	1,46	0,26	0,34	18,00	2,75	5,60	11,72	0,110	0,16	1,63
Período Chuvoso (PC)																					
Período Estiagem (PE)																					
Mediana sem outlier (PC)	0,7420	0,0220		1,60	0,013	0,10	0,45	2,87		0,96	0,28	1,46	0,26	0,34	16,00	2,75	5,43	12,92	0,1400	0,1800	1,76
Mediana sem outlier (PE)	0,7420	0,0160		1,20	0,013	0,07	0,29	2,46		0,36	0,25	1,46	0,21	0,27	23,00	2,75	5,98	11,64	0,1100	0,1400	1,62
Outlier	(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)																				
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.																				
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".																				
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ ⁻ " ou "NH ₄ ⁺ ".																				
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH ⁻ ".																				
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.																				

PC12	Al (mg/L)	Ba (mg/L)	Ca (mg/L)	Ca* (mg/L)	Zn (mg/L)	NO ₃ (mg/L N)	NO ₃ ** (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Mg (mg/L)	Mg* (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	N Amoniacal (mg/L N)	NH ₄ (mg/L)	STD (mg/L)	Cl (mg/L)	pH	CE (μS/cm)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	SO ₄ (mg/L)
Data da Coleta																					
5/11/2010	0,0742	0,0070	2,9900	2,4000	0,0581	0,125	0,55	3,55	0,1234	3,3600	0,2520	1,46	0,476	0,61	20,0	2,5	5,00	22,01	0,080	0,03	4,79
7/12/2010	0,0742	0,0070	2,0500	5,6000	0,0150	0,440	1,95	7,85	0,0380	0,2400	0,2520	1,46	0,151	0,19	52,0	3,0	6,69	16,90	0,090	0,02	1,63
4/1/2011	0,0170	0,0150	19,9000	2,0000	0,0080	0,066	0,29	7,30	1,4000	1,4400	0,2520	1,46	0,166	0,21	36,0	2,5	5,40	11,90	0,100	0,02	1,89
1/2/2011	0,1100	0,0580	46,7900	28,0000	0,0130	0,560	2,48	5,35	1,4700	7,2000	0,4100	1,46	0,537	0,69	236,0	3,0	7,51	353,00	0,050	0,02	9,41
1/3/2011	0,0742	0,0150	1,1100	3,2000	0,0130	0,159	0,70	3,33	0,0080	0,4800	0,2900	1,46	0,220	0,28	16,0	2,0	5,68	15,66	0,200	0,17	1,38
11/4/2011	0,0742	0,0150	61,7700	69,6000	0,0130	0,066	0,29	4,70	0,8500	1,4400	0,2520	1,46	0,036	0,05	194,0	5,0	8,04	320,00	0,200	0,02	4,00
2/5/2011	0,0742	0,1020	59,5800	12,0000	0,0130	0,150	0,66	7,30	0,8200	1,4400	0,2520	1,46	0,386	0,50	192,0	6,5	8,04	362,00	73,45	1,02	2,81
7/6/2011	0,0742	0,0810	58,2000	39,2000	0,0130	0,097	0,43	6,55	0,7700	0,4800	0,2800	1,46	0,169	0,22	204,0	1,0	8,00	321,00	0,870	0,02	0,88
5/7/2011	0,0742	0,0940	64,1900	38,4000	0,0130	4,21	18,64	8,50	0,8040	10,5600	0,3140	1,46	0,055	0,07	208,0	1,0	8,09	318,00	0,060	0,02	6,68
2/8/2011	7,7700	0,0500	38,8200	66,4000	0,0130	0,100	0,44	5,52	0,5900	2,4000	0,2650	1,46	0,188	0,24	128,0	12,5	8,10	190,00	0,810	0,03	2,22
14/9/2011	0,4500	0,0137	0,0191	1,6000	0,0130	0,137	0,61	8,27	0,0080	0,4800	0,2520	1,46	0,468	0,60	56,0	1,0	6,73	9,00	0,041	0,03	0,35
4/10/2011	0,0742	0,1690	2,1700	1,6000	0,0410	6,030	26,70	7,18	1,2900	0,4800	1,4700	1,46	0,448	0,58	192,0	1,0	6,42	9,70	0,042	0,02	0,48
Mediana	0,0742	0,0325		8,80	0,0130	0,14	0,64	6,87		1,44	0,26	1,46	0,20	0,26	160,00	2,50	7,12	106,01	0,095	0,02	2,06
1º Quartil	0,0742	0,01468		2,30	0,0130	0,10	0,44	5,19		0,48	0,25	1,46	0,16	0,21	48,00	1,00	6,24	14,72	0,058	0,02	1,26
3º Quartil	0,08315	0,0843		38,60	0,0135	0,47	2,08	7,44		2,64	0,30	1,46	0,45	0,58	196,50	3,50	8,04	320,25	0,353	0,03	4,20
D. Padrão (DP)	2,2150	0,0509		25,54	0,0149	1,96	8,70	1,77		3,20	0,35	0,00	0,18	0,23	85,29	3,33	1,15	160,41	21,138	0,29	2,75
Mediana + 1,5DP	3,3968	0,1088		47,11	0,0353	3,09	13,68	9,52		6,24	0,78	1,46	0,47	0,60	287,94	7,49	8,85	346,62	31,803	0,45	6,18
Mediana - 1,5DP	-3,2484	-0,0438		-29,51	-0,0093	-2,80	-12,41	4,21		-3,36	-0,26	1,46	-0,06	-0,08	32,06	-2,49	5,39	-134,61	-31,613	-0,41	-2,07
Mediana sem outlier	0,0742	0,0150		4,40	0,0130	0,13	0,58	7,24		0,96	0,25	1,46	0,18	0,23	192,00	2,50	7,76	19,46	0,090	0,02	1,76
Período Chuvoso (PC)																					
Período Estiagem (PE)																					
Mediana sem outlier (PC)	0,0742	0,0150		2,80	0,013	0,16	0,70	7,24		0,48	0,25	1,46	0,19	0,25	122,00	2,50	6,56	15,66	0,0850	0,0200	1,63
Mediana sem outlier (PE)	0,0742	0,0655		25,20	0,013	0,10	0,44	6,93		1,44	0,26	1,46	0,18	0,23	193,00	1,00	8,04	319,00	0,2000	0,0200	2,22
Outlier	(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)																				
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.																				
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".																				
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ ⁻ " ou "NH ₄ ⁺ ".																				
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH ⁻ ".																				
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.																				

Data da Coleta	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L N)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	Amoniacal (mg/L N)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)		(µS/cm)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
5/11/2010	0,1011	0,0070	9,5500	14,4000	0,0130	0,496	2,20	3,40	0,7219	0,9600	2,8900	1,46	0,242	0,31	16,0	3,00	6,42	66,60	0,040	0,02	7,21
7/12/2010	0,0742	0,0070	11,7300	16,0000	0,0210	1,300	5,76	4,09	0,8600	1,9200	0,4300	1,46	0,161	0,21	52,0	3,00	7,61	84,00	0,440	0,05	1,99
4/1/2011	0,2200	0,0070	8,2000	16,0000	0,0270	1,900	8,41	6,55	0,8300	7,2000	0,2520	1,00	0,273	0,35	108,0	8,00	6,54	77,40	0,050	0,02	1,26
1/2/2011	0,0742	0,0140	20,3800	40,0000	0,0130	0,59	2,61	9,65	0,9100	8,1600	0,2520	1,46	0,368	0,47	172,0	2,00	8,30	264,70	0,039	0,02	1,17
1/3/2011	0,0742	0,0150	5,3300	8,0000	0,0130	0,066	0,29	6,40	0,0080	7,2000	0,2520	1,46	0,555	0,71	56,0	2,50	6,71	56,70	0,039	0,02	1,38
11/4/2011	0,0742	0,0160	0,0160	16,0000	0,0130	1,200	5,31	5,00	0,9000	3,3600	0,5600	1,65	0,304	0,39	56,0	8,50	7,76	73,20	0,070	0,02	0,88
2/5/2011	0,0742	0,0220	13,5000	17,6000	0,0130	0,790	3,50	8,18	0,9300	11,0400	0,5000	1,73	0,181	0,23	36,0	5,00	7,46	95,90	5,980	0,32	1,65
7/6/2011	0,0742	0,0160	14,9400	16,0000	0,0130	0,490	2,17	4,30	2,9800	1,4400	2,7900	3,61	0,145	0,19	48,0	2,50	7,38	78,90	0,190	0,02	0,76
5/7/2011	0,5320	0,0180	16,5800	22,4000	0,0130	0,260	1,15	5,40	1,2000	0,0000	0,5000	1,46	0,107	0,14	56,0	6,50	6,43	86,00	0,800	0,04	2,62
2/8/2011	38,6000	0,0130	12,2600	16,0000	0,0130	0,450	1,99	2,85	0,8710	2,4000	0,4910	1,820	0,02	0,03	44,0	5,00	6,20	56,00	0,110	0,02	1,29
14/9/2011	3,1200	0,0143	9,3000	16,8000	0,0130	0,644	2,85	3,90	0,6645	2,8800	0,3985	1,760	0,218	0,28	20,0	2,50	7,56	92,00	0,200	0,05	0,35
4/10/2011	2,5100	0,0350	0,0191	11,2000	0,0130	1,410	6,24	5,19	0,0970	1,4400	0,3980	1,46	0,113	0,15	44,0	1,50	6,22	60,30	0,099	0,02	8,08
Mediana	0,0877	0,0147		16,00	0,0130	0,62	2,73	5,10		2,64	0,46	1,46	0,20	0,26	50,00	3,00	7,05	78,15	0,105	0,02	1,34
1º Quartil	0,0742	0,0115		15,60	0,0130	0,48	2,13	4,04		1,44	0,36	1,46	0,14	0,18	42,00	2,50	6,43	65,03	0,048	0,02	1,10
3º Quartil	1,0265	0,0165		17,00	0,0130	1,23	5,42	6,44		7,20	0,52	1,75	0,28	0,36	56,00	5,38	7,57	87,50	0,260	0,04	2,15
D. Padrão (DP)	11,0109	0,0077		7,87	0,0045	0,54	2,39	2,00		3,49	0,95	0,67	0,14	0,18	42,34	2,40	0,71	56,29	1,687	0,09	2,53
Mediana + 1,5DP	16,6040	0,0262		27,81	0,0197	1,43	6,32	8,09		7,88	1,89	2,46	0,41	0,53	113,50	6,59	8,10	162,59	2,635	0,15	5,13
Mediana - 1,5DP	-	0,0031		4,19	0,0063	-0,19	-0,85	2,10		-2,60	-0,97	0,46	-0,01	-0,02	-13,50	-0,59	5,99	-6,29	-2,426	-0,11	-2,46
Mediana sem outlier	0,0742	0,0143		16,00	0,0130	0,59	2,61	5,00		2,16	0,41	1,46	0,18	0,23	46,00	2,75	6,71	77,40	0,099	0,02	1,29
Período Chuvoso (PC)																					
Período Estiagem (PE)																					
Mediana sem outlier (PC)	0,0877	0,0070		14,40	0,013	0,59	2,61	5,80		1,92	0,25	1,46	0,24	0,31	52,00	2,50	6,54	66,60	0,0450	0,0200	1,69
Mediana sem outlier (PE)	0,0742	0,0160		16,40	0,013	0,57	2,51	4,30		2,40	0,50	1,73	0,16	0,21	46,00	5,00	7,42	82,45	0,1900	1,0850	0,88
Outlier		(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)																			
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.																				
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".																				
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ ⁻ " ou "NH ₄ ⁺ ".																				
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH ⁻ ".																				
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.																				

PC14	Al (mg/L)	Ba (mg/L)	Ca (mg/L)	Ca* (mg/L)	Zn (mg/L)	NO ₃ (mg/L N)	NO ₃ ** (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Mg (mg/L)	Mg* (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	N Amoniacal (mg/L N)	NH ₄ (mg/L)	STD (mg/L)	Cl (mg/L)	pH	CE (μS/cm)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	SO ₄ (mg/L)
Data da Coleta																					
5/11/2010	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,000	0,00	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0	0,000	0,00	0,0	0,0	0	0,00	0,000	0,00	0,00
7/12/2010	0,0742	0,0070	7,9800	17,6000	0,0220	0,066	0,29	4,96	0,3800	3,8400	0,2900	1,46	0,404	0,52	40,0	5,5	6,96	66,00	0,040	0,05	14,30
4/1/2011	0,0030	0,0020	1,1900	2,4000	0,0150	0,066	0,29	4,90	0,2200	0,7200	0,2520	1,46	0,360	0,46	58,0	2,0	5,68	11,45	0,039	0,02	2,71
1/2/2011	0,0742	0,0140	2,4400	5,6000	0,0140	0,066	0,29	5,57	0,2100	0,0000	0,2520	1,46	0,236	0,30	48,0	2,5	5,81	16,00	0,050	0,02	1,44
1/3/2011	0,3700	0,0260	14,9800	44,0000	0,0130	1,930	8,55	3,81	1,0600	4,8000	1,0100	1,46	0,185	0,24	80,0	2,5	6,87	131,00	0,039	0,02	1,23
11/4/2011	0,5900	0,0230	34,3400	48,0000	0,0130	0,630	2,79	2,82	0,9900	0,0000	0,2900	1,46	0,012	0,02	118,0	6,0	8,27	197,80	0,380	0,02	3,01
2/5/2011	0,0742	0,0280	37,1800	64,0000	0,0130	1,320	5,85	1,90	0,8300	0,0000	0,2520	1,46	0,456	0,59	96,0	6,0	8,02	182,70	29,900	0,38	4,46
7/6/2011	0,4830	0,0140	3,5000	18,4000	0,0130	0,160	0,71	3,41	0,0080	0,9600	0,2520	1,46	0,392	0,50	66,0	6,5	6,80	58,90	0,480	0,02	1,55
5/7/2011	7,7000	0,0250	64,1900	16,0000	0,0130	4,500	19,93	2,80	0,3950	0,0000	0,3340	1,46	0,165	0,21	76,0	3,0	6,89	61,50	6,330	0,05	2,00
2/8/2011	56,4200	0,0240	0,8600	4,0000	0,0130	0,066	0,29	5,05	0,0650	6,2400	0,2520	1,46	0,641	0,82	124,0	6,5	6,80	110,00	0,490	0,02	3,73
14/9/2011	0,2361	0,1090	0,5269	1,6000	0,0130	0,174	0,77	3,12	0,0080	0,4800	0,2520	1,46	0,701	0,90	84,0	1,0	6,82	8,10	0,059	0,03	0,51
4/10/2011	0,0742	0,0400	2,6200	12,0000	0,0130	0,562	2,49	4,78	1,5200	1,9200	1,6600	1,46	0,481	0,62	64,0	1,0	8,04	165,20	0,120	0,07	2,61
Mediana	0,2361	0,0240		16,0000	0,0130	0,1740	0,7706	3,8100		0,7200	0,2520	1,46	0,39	0,50	76,00	3,00	6,87	66,00	0,12	0,02	2,61
1° Quartil	0,0742	0,014		4,8	0,013	0,066	0,2923	2,9700		0,0000	0,2520	1,46	0,21	0,27	61,00	2,25	6,80	37,45	0,05	0,02	1,50
3° Quartil	0,5365	0,027		31,2	0,0135	0,975	4,3179	4,9300		2,8800	0,3120	1,46	0,47	0,60	90,00	6,00	7,49	148,10	0,49	0,05	3,37
D. Padrão (DP)	16,8704	0,0288		21,1641	0,0027	1,3502	5,9793	1,1932		2,2226	0,4556	0,00	0,21	0,27	26,77	2,24	0,84	69,73	8,97	0,11	3,79
Mediana + 1,5DP	25,5417	0,0671		47,7461	0,0171	2,1993	9,7395	5,5998		4,0539	0,9354	1,46	0,70	0,90	116,16	6,36	8,13	170,60	13,57	0,18	8,29
Mediana - 1,5DP	25,0695	-0,0191		15,7461	0,0089	-1,8513	-8,1984	2,0202		-2,6139	0,4314	1,46	0,08	0,11	35,84	-0,36	5,61	-38,60	-13,33	-0,14	-3,07
Mediana sem outlier	0,1552	0,0235		12,0000	0,0130	0,1670	0,7396	3,8100		0,4800	0,2520	1,46	0,38	0,48	66,00	2,50	6,85	61,50	0,09	0,02	2,31
Período Chuvoso (PC)																					
Período Estiagem (PE)																					
Mediana sem outlier (PC)	0,0742	0,0140		12,00	0,014	0,07	0,29	4,90		1,32	0,25	1,46	0,36	0,46	58,00	2,50	6,87	66,00	0,0400	0,0200	2,03
Mediana sem outlier (PE)	0,4830	0,0240		10,00	0,013	0,17	0,77	2,97		0,00	0,25	1,46	0,39	0,50	80,00	4,50	6,82	60,20	0,4800	0,0200	2,51
Outlier	(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)																				
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.																				
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".																				
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ " ou "NH ₄ ⁺ ".																				
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH ⁻ ".																				
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.																				

PC15	Al (mg/L)	Ba (mg/L)	Ca (mg/L)	Ca* (mg/L)	Zn (mg/L)	NO ₃ (mg/L N)	NO ₃ ** (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Mg (mg/L)	Mg* (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	N Amoniacal (mg/L N)	NH ₄ (mg/L)	STD (mg/L)	Cl (mg/L)	pH	CE (µS/cm)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	SO ₄ (mg/L)
Data da Coleta																					
5/11/2010	0,1348	0,0070	1,2100	1,6000	0,0328	0,088	0,39	1,82	0,0932	0,9600	0,2520	1,46	0,285	0,37	28,0	1,5	4,64	18,50	0,410	0,08	6,22
7/12/2010	0,0742	0,0070	1,0100	0,8000	0,0750	0,066	0,29	3,46	0,0080	0,9600	0,9600	1,46	0,104	0,13	20,0	6,5	4,39	23,40	0,039	0,03	4,97
4/1/2011	0,5100	0,0290	12,8000	4,0000	0,0340	0,066	0,29	4,15	0,6840	0,0000	0,2520	1,46	0,469	0,60	56,0	2,0	4,95	26,46	0,510	0,07	7,84
1/2/2011	0,0760	0,0180	6,5000	13,6000	0,0390	0,066	0,29	4,60	0,2300	1,4400	0,2520	1,46	0,561	0,72	76,0	2,5	5,68	89,00	0,039	0,02	30,23
1/3/2011	0,0742	0,0210	51,7100	16,0000	0,0130	0,536	2,37	4,00	2,6700	1,4400	0,2600	1,46	0,197	0,25	180,0	2,0	8,06	264,30	0,039	0,02	1,22
11/4/2011	0,9960	0,0160	10,4200	5,6000	0,0130	1,030	4,56	2,53	0,2300	0,4800	0,2520	1,46	0,016	0,02	52,0	3,5	7,67	58,90	0,610	0,02	8,89
2/5/2011	0,0742	0,0200	5,5500	8,0000	0,0130	0,450	1,99	2,08	0,0080	4,8000	0,2520	1,46	0,291	0,37	32,0	2,5	7,73	48,00	14,07	0,11	2,21
7/6/2011	2,0500	0,0170	5,1800	4,0000	0,0130	0,350	1,55	2,45	0,0080	2,4000	0,3900	1,46	0,487	0,63	32,0	3,5	6,46	24,35	3,890	0,04	2,82
5/7/2011	31,6000	0,0220	7,6600	12,0000	0,0130	4,33	19,18	1,72	0,2070	0,4800	0,2520	1,46	0,357	0,46	44,0	3,0	7,27	32,50	1,720	0,04	1,37
2/8/2011	10,0000	0,0130	1,4800	1,6000	0,0130	0,116	0,51	2,85	0,0470	1,4400	0,2520	1,46	0,714	0,92	40,0	4,0	6,80	93,00	0,700	0,03	2,21
14/9/2011	2,8800	0,0119	0,2436	0,4000	0,0130	0,229	1,01	6,87	0,0080	0,2400	0,2520	1,46	0,451	0,58	72,0	0,5	6,50	7,00	0,179	0,03	0,40
4/10/2011	305,9200	0,0180	2,3200	2,4000	0,0130	0,483	2,14	3,40	1,3600	0,4800	1,6000	1,46	0,629	0,81	130,0	1,0	6,08	8,05	1,450	0,02	0,35
Mediana	0,7530	0,0175		4,00	0,0130	0,29	1,28	3,13		0,96	0,25	1,46	0,40	0,52	48,00	2,50	6,48	29,48	0,560	0,03	2,52
1º Quartil	0,07555	0,012725		1,60	0,0130	0,08	0,37	2,36		0,48	0,25	1,46	0,26	0,34	32,00	1,88	5,50	22,18	0,144	0,02	1,33
3º Quartil	4,66	0,0203		9,00	0,0331	0,50	2,20	4,04		1,44	0,29	1,46	0,51	0,65	73,00	3,50	7,37	66,43	1,518	0,05	6,63
D. Padrão (DP)	87,5076	0,0063		5,36	0,0190	1,19	5,28	1,46		1,30	0,42	0,00	0,21	0,27	47,18	1,59	1,24	71,02	3,964	0,03	8,23
Mediana + 1,5DP	132,0144	0,0270		12,04	0,0415	2,08	9,21	5,31		2,91	0,88	1,46	0,72	0,93	118,76	4,88	8,34	136,00	6,506	0,07	14,86
Mediana - 1,5DP	-130,5084	0,0080		-4,04	-0,0155	-1,50	-6,64	0,94		-0,99	-0,38	1,46	0,09	0,11	-22,76	0,12	4,62	-77,04	-5,386	-0,01	-9,83
Mediana sem outlier	0,5100	0,0170		3,20	0,0130	0,23	1,01	2,85		0,96	0,25	1,46	0,40	0,52	42,00	2,50	6,48	26,46	0,510	0,03	2,21
Período Chuvoso (PC)																					
Período Estiagem (PE)																					
Mediana sem outlier (PC)	0,0760	0,0180		2,00	0,033	0,08	0,34	3,73		0,96	0,25	1,46	0,38	0,48	42,00	2,00	5,32	23,40	0,2245	0,0270	4,97
Mediana sem outlier (PE)	2,4650	0,0165		4,80	0,013	0,35	1,55	2,45		0,48	0,25	1,46	0,40	0,52	42,00	3,25	7,04	40,25	0,7000	0,0300	2,21
Outlier	(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)																				
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.																				
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".																				
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ ⁻ " ou "NH ₄ ⁺ ".																				
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH ⁻ ".																				
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.																				

PC15	Alc.Bic. (mg/LCaCO ₃)	HCO ₃ (mg/L)	Alc.Carb. (mg/LCaCO ₃)	CO ₃ (mg/L)	Alc.Hidr. (mg/LCaCO ₃)	OH (mg/L)	Alc.Total (mg/LCaCO ₃)	Dureza Ca (mg/LCaCO ₃)	Dureza Total (mg/LCaCO ₃)	PC15	Σ Cátions	Σ Ânions	Erro Balanço Iônico (%)	CE/100	% Erro Máximo Aceitável
										Data da Coleta					
Data da Coleta															
5/11/2010	1,00	1,22	0,00	0,00	0	0	0,00	4,00	8,00	5/11/2010	0,23	-0,20	7,58	0,1850	32,20
7/12/2010	1,00	1,22	0,00	0,00	0	0	0,00	2,00	6,00	7/12/2010	0,21	-0,31	-20,17	0,2340	30,62
4/1/2011	3,00	3,66	0,00	0,00	ND	ND	3,00	10,00	10,00	4/1/2011	0,27	-0,28	-2,67	0,2646	29,78
1/2/2011	10,00	12,20	0,00	0,00	ND	ND	10,00	34,00	40,00	1/2/2011	0,87	-0,94	-3,94	0,8900	21,58
1/3/2011	162,00	197,64	0,00	0,00	ND	ND	162,00	40,00	46,00	1/3/2011	0,99	-3,39	-54,94	2,6430	14,21
11/4/2011	2,80	3,42	0,00	0,00	ND	ND	28,00	14,00	16,00	11/4/2011	0,39	-0,37	2,23	0,5890	24,37
2/5/2011	28,00	34,16	0,00	0,00	ND	ND	28,00	20,00	40,00	2/5/2011	0,86	-0,70	10,39	0,4800	25,75
7/6/2011	11,00	13,42	0,00	0,00	ND	ND	11,00	10,00	20,00	7/6/2011	0,47	-0,69	-18,68	0,2435	30,35
5/7/2011	22,00	26,84	0,00	0,00	ND	ND	22,00	30,00	32,00	5/7/2011	0,71	-0,56	11,58	0,3250	28,39
2/8/2011	7,00	8,54	0,00	0,00	ND	ND	7,00	4,00	10,00	2/8/2011	0,27	-0,32	-8,04	0,9300	21,28
14/9/2011	5,00	6,10	0,00	0,00	ND	ND	5,00	1,00	2,00	14/9/2011	0,11	-0,16	-17,72	0,0700	38,78
4/10/2011	6,00	7,32	0,00	0,00	ND	ND	6,00	6,00	8,00	4/10/2011	0,26	-0,18	19,90	0,0805	37,83
Mediana	6,50	7,93	0,00	0,00			8,50	10,00	13,00	Mediana	0,35	-0,27	12,06	0,2948	29,05
1° Quartil	2,95	6,71	0,00	0,00			4,50	4,00	8,00	Mediana sem outlier	0,31	-0,25	9,93	0,2646	29,78
3° Quartil	13,75	12,20	0,00	0,00			10,00	22,50	34,00	Período Chuvoso (PC)					
D. Padrão (DP)	45,01	57,59	0,00	0,00			44,73	13,39	15,50	Período Estiagem (PE)					
Mediana + 1,5DP	74,01	94,31	0,00	0,00			75,60	30,09	36,25	Mediana sem outlier (PC)	0,25	-0,23	4,93	0,2340	30,62
Mediana - 1,5DP	-61,01	-78,45	0,00	0,00			-58,60	-10,09	-10,25	Mediana sem outlier (PE)	0,35	-0,34	0,92	0,4025	26,95
Mediana sem outlier	6,00	7,32	0,00	0,00			7,00	8,00	10,00						
Período Chuvoso (PC)															
Período Estiagem (PE)															
Mediana sem outlier (PC)	3,00	3,66	0,00	0,00			3,00	5,00	8,00						
Mediana sem outlier (PE)	9,00	10,98	0,00	0,00			16,50	12,00	16,00						
Outlier		(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)													
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.														
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".														
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ ⁻ " ou "NH ₄ ⁺ ".														
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH ⁻ ".														
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.														

PC16	Al (mg/L)	Ba (mg/L)	Ca (mg/L)	Ca* (mg/L)	Zn (mg/L)	NO ₃ (mg/L N)	NO ₃ ** (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Mg (mg/L)	Mg* (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	N Amoniacal (mg/L N)	NH ₄ (mg/L)	STD (mg/L)	Cl (mg/L)	pH	CE (µS/cm)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	SO ₄ (mg/L)
Data da Coleta																					
5/11/2010	0,0742	0,0115	1,0000	2,4000	0,0192	0,090	0,40	1,08	0,1358	1,9200	0,2520	1,46	0,241	0,31	12,0	1,0	4,95	14,88	0,520	0,49	2,02
7/12/2010	0,0742	0,0070	0,7400	0,8000	0,0400	0,066	0,29	1,60	0,0080	0,9600	0,7400	1,46	0,288	0,37	28,0	2,5	6,34	9,50	0,060	0,09	1,49
4/1/2011	0,1600	0,0020	1,7900	0,8000	0,0720	0,066	0,29	2,54	0,4000	1,9200	0,2520	1,46	0,186	0,24	26,0	1,5	5,69	11,50	0,610	0,02	1,12
1/2/2011	0,0742	0,0200	4,6200	4,8000	0,1500	0,110	0,49	2,99	0,1200	0,0000	0,4800	1,46	0,018	0,02	32,0	1,5	5,26	14,55	0,290	0,02	2,84
1/3/2011	0,0742	0,0190	52,5400	53,6000	0,0250	0,472	2,09	3,48	2,6300	0,4800	0,2800	1,46	0,654	0,84	176,0	3,0	8,10	265,60	0,039	0,02	1,99
11/4/2011	0,0742	0,0240	2,3700	0,8000	0,0130	0,066	0,29	1,85	0,0080	4,3200	0,2520	1,46	0,018	0,02	16,0	2,0	7,93	30,87	0,210	0,05	0,77
2/5/2011	0,0742	0,0220	4,0900	20,0000	0,0130	0,120	0,53	2,28	0,0080	2,4000	0,2520	1,46	0,119	0,15	24,0	3,0	7,02	65,00	1,06	0,06	2,28
7/6/2011	0,0742	0,0180	0,8000	1,6000	0,0130	0,100	0,44	1,67	0,0700	0,9600	0,2520	1,46	0,679	0,87	28,0	2,5	6,11	8,39	0,530	0,05	0,76
5/7/2011	0,0742	0,0160	0,6750	0,4000	0,0130	4,32	19,13	2,00	3,2600	0,0000	1,2700	1,46	0,205	0,26	16,0	0,5	6,27	8,00	0,300	0,06	0,78
2/8/2011	0,1590	0,1590	0,5500	0,8000	0,0150	0,130	0,58	1,48	0,0590	0,4800	0,2520	1,46	0,312	0,40	12,0	3,0	6,40	86,00	0,480	0,08	0,79
14/9/2011	0,1587	0,0180	0,3768	0,4000	0,0130	0,262	1,16	0,25	4,0700	0,7200	0,2520	1,46	0,248	0,32	52,0	1,0	6,65	7,40	0,250	0,07	0,35
4/10/2011	0,0777	0,0180	1,7300	1,6000	0,0130	0,333	1,47	2,61	0,8100	0,9600	1,8300	1,46	0,106	0,14	70,0	1,0	6,77	11,12	0,400	0,09	0,35
Mediana	0,0742	0,0180		1,20	0,0140	0,12	0,51	1,93		0,96	0,25	1,46	0,22	0,29	27,00	1,75	6,37	13,03	0,350	0,06	0,96
1º Quartil	0,0742	0,01488		0,80	0,0130	0,08	0,37	1,57		0,48	0,25	1,46	0,12	0,15	16,00	1,00	6,01	9,22	0,240	0,04	0,77
3º Quartil	0,09795	0,0205		3,00	0,0288	0,28	1,24	2,56		1,92	0,55	1,46	0,29	0,38	37,00	2,63	6,83	39,40	0,523	0,08	2,00
D. Padrão (DP)	0,0383	0,0418		15,56	0,0407	1,21	5,34	0,87		1,22	0,51	0,00	0,21	0,28	45,78	0,91	0,94	74,12	0,277	0,13	0,81
Mediana + 1,5DP	0,1316	0,0807		24,55	0,0751	1,92	8,52	3,23		2,80	1,02	1,46	0,54	0,70	95,67	3,11	7,78	124,20	0,765	0,25	2,18
Mediana - 1,5DP	0,0168	-0,0447		-22,15	-0,0471	-1,69	-7,50	0,62		-0,88	-0,52	1,46	-0,10	-0,13	-41,67	0,39	4,96	-98,15	-0,065	-0,13	-0,27
Mediana sem outlier	0,0742	0,0180		0,80	0,0130	0,11	0,49	1,85		0,96	0,25	1,46	0,20	0,25	26,00	1,75	6,34	11,50	0,300	0,06	0,79
Período Chuvoso (PC)																					
Período Estiagem (PE)																					
Mediana sem outlier (PC)	0,0742	0,0180		1,20	0,025	0,10	0,44	2,58		0,96	0,27	1,46	0,21	0,27	27,00	1,50	6,02	11,50	0,3450	0,0540	1,49
Mediana sem outlier (PE)	0,0742	0,0200		0,80	0,013	0,12	0,53	1,85		0,72	0,25	1,46	0,23	0,29	20,00	2,25	6,53	19,63	0,3000	0,0600	0,78
Outlier	(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)																				
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.																				
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".																				
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ " ou "NH ₄ ⁺ ".																				
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH ⁻ ".																				
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.																				

PC16	Alc.Bic. (mg/LCaCO ₃)	HCO ₃ (mg/L)	Alc.Carb. (mg/LCaCO ₃)	CO ₃ (mg/L)	Alc.Hidr. (mg/LCaCO ₃)	OH (mg/L)	Alc.Total (mg/LCaCO ₃)	Dureza Ca (mg/LCaCO ₃)	Dureza Total (mg/LCaCO ₃)	PC16	Σ Cátions	Σ Ânions	Erro Balanço Iônico (%)	CE/100	% Erro Máximo Aceitável
										Data da Coleta					
Data da Coleta															
5/11/2010	4,00	4,88	0,00	0,00	ND	ND	4,00	6,00	14,00	5/11/2010	0,35	-0,15	38,34	0,1488	33,68
7/12/2010	3,00	3,66	0,00	0,00	ND	ND	3,00	2,00	6,00	7/12/2010	0,20	-0,17	9,55	0,0950	36,71
4/1/2011	3,00	3,66	0,00	0,00	ND	ND	3,00	2,00	10,00	4/1/2011	0,27	-0,13	33,48	0,1150	35,42
1/2/2011	7,00	8,54	0,00	0,00	ND	ND	7,00	12,00	12,00	1/2/2011	0,32	-0,28	6,81	0,1455	33,83
1/3/2011	149,00	181,78	0,00	0,00	ND	ND	149,00	134,00	136,00	1/3/2011	2,78	-3,11	-5,51	2,6560	14,18
11/4/2011	30,00	36,60	0,00	0,00	ND	ND	30,00	2,00	20,00	11/4/2011	0,47	-0,68	-18,81	0,3087	28,74
2/5/2011	43,00	52,46	0,00	0,00	ND	ND	43,00	50,00	60,00	2/5/2011	1,27	-1,00	11,77	0,6500	23,70
7/6/2011	4,00	4,88	0,00	0,00	ND	ND	4,00	4,00	8,00	7/6/2011	0,23	-0,47	-34,98	0,0839	37,55
5/7/2011	6,00	7,32	0,00	0,00	ND	ND	6,00	1,00	1,00	5/7/2011	0,12	-0,16	-15,84	0,0800	37,88
2/8/2011	5,00	6,10	0,00	0,00	ND	ND	5,00	2,00	4,00	2/8/2011	0,15	-0,22	-19,07	0,8600	21,81
14/9/2011	6,00	7,32	0,00	0,00	ND	ND	6,00	1,00	4,00	14/9/2011	0,15	-0,18	-9,16	0,0740	38,40
4/10/2011	3,00	3,66	0,00	0,00	ND	ND	3,00	4,00	8,00	4/10/2011	0,27	-0,10	44,37	0,1112	35,65
Mediana	5,50	6,71	0,00	0,00			5,50	3,00	9,00	Mediana	0,21	-0,19	5,40	0,1303	34,58
1° Quartil	3,75	6,71	0,00	0,00			4,50	2,00	5,50	Mediana sem outlier	0,19	-0,17	4,23	0,1150	35,42
3° Quartil	12,75	12,20	0,00	0,00			10,00	7,50	15,50	Período Chuvoso (PC)					
D. Padrão (DP)	41,99	53,34	0,00	0,00			41,99	38,91	38,68	Período Estiagem (PE)					
Mediana + 1,5DP	68,48	86,72	0,00	0,00			68,48	61,36	67,02	Mediana sem outlier (PC)	0,21	-0,14	19,65	0,1150	35,42
Mediana - 1,5DP	-57,48	-73,30	0,00	0,00			-57,48	-55,36	-49,02	Mediana sem outlier (PE)	0,17	-0,21	-10,35	0,1963	31,80
Mediana sem outlier	5,00	6,10	0,00	0,00			5,00	2,00	8,00						
Período Chuvoso (PC)															
Período Estiagem (PE)															
Mediana sem outlier (PC)	3,00	3,66	0,00	0,00			3,00	3,00	9,00						
Mediana sem outlier (PE)	6,00	7,32	0,00	0,00			6,00	2,00	4,00						
Outlier		(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)													
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.														
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".														
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ ⁻ " ou "NH ₄ ⁺ ".														
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH ⁻ ".														
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.														

PC17	Al (mg/L)	Ba (mg/L)	Ca (mg/L)	Ca* (mg/L)	Zn (mg/L)	NO ₃ (mg/L N)	NO ₃ ** (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Mg (mg/L)	Mg* (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	N Amoniacal (mg/L N)	NH ₄ (mg/L)	STD (mg/L)	Cl (mg/L)	pH	CE (µS/cm)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	SO ₄ (mg/L)																						
Data da Coleta																																											
5/11/2010	0,1854	0,0668	14,7800	18,4000	0,3438	0,330	1,46	7,78	1,0740	0,4800	0,3123	1,46	0,188	0,24	64,0	3,0	6,43	84,20	0,110	1,08	18,25																						
7/12/2010	0,1600	0,0680	10,3800	20,0000	0,3600	0,570	2,52	5,88	0,9800	1,4400	0,3200	1,46	0,458	0,59	168,0	4,5	5,90	78,00	0,610	0,61	18,01																						
4/1/2011	0,2900	0,5100	4,4700	17,6000	0,0960	0,128	0,57	11,26	0,9220	2,4000	0,2520	1,46	0,769	0,99	104,0	2,0	4,41	96,10	0,070	0,15	38,61																						
1/2/2011	0,0742	0,0300	4,2400	21,6000	0,0390	0,134	0,59	13,10	0,2000	0,0000	0,2520	1,46	0,321	0,41	144,0	5,5	6,58	108,50	5,28	0,52	33,74																						
1/3/2011	0,0900	0,0390	35,3800	44,0000	0,0260	0,626	2,77	0,01	1,5100	0,0000	0,2520	1,46	0,177	0,23	112,0	5,0	7,12	203,20	1,77	0,11	33,74																						
11/4/2011	0,4600	0,0580	32,7600	44,0000	0,0130	0,460	2,04	7,20	0,6900	8,1600	0,2800	1,46	0,52	0,67	200,0	5,0	7,12	217,70	1,13	0,33	20,44																						
2/5/2011	5,6400	0,0880	4,1300	8,0000	0,0240	0,066	0,29	6,58	0,0080	6,7200	0,4800	1,46	0,312	0,40	144,0	5,0	4,35	48,80	0,550	0,18	9,00																						
7/6/2011	11,8100	0,0540	4,6600	7,2000	0,0260	1,900	8,41	0,01	0,3200	0,9600	0,5800	1,46	0,698	0,90	80,0	3,0	5,75	30,30	0,466	0,03	2,60																						
5/7/2011	0,2500	0,0270	21,1400	20,0000	0,0220	0,60	2,66	9,30	0,9800	1,4400	0,3300	1,46	0,412	0,53	76,0	1,0	8,10	110,00	1,21	0,12	9,49																						
2/8/2011	2,4800	0,0860	27,9800	40,0000	0,0420	0,343	1,52	6,56	1,6900	0,9600	0,3200	1,46	0,157	0,20	160,0	4,0	7,60	160,00	0,390	0,02	1,80																						
14/9/2011	0,0742	0,0141	2,5100	0,4000	0,0130	1,580	7,00	2,62	0,1680	2,6400	0,2520	1,47	0,125	0,16	28,0	2,0	7,02	26,00	0,170	0,02	3,96																						
4/10/2011	16,4500	0,0263	23,8300	26,4000	0,0130	0,146	0,65	11,24	3,6800	3,3600	1,0700	1,46	0,248	0,32	118,0	1,0	8,00	160,00	0,650	0,02	0,39																						
Mediana	0,2700	0,0560		20,00	0,0260	0,40	1,78	6,89		1,44	0,32	1,46	0,32	0,41	115,00	3,50	6,80	102,30	0,580	0,14	13,75																						
1° Quartil	0,1425	0,0293		15,20	0,0198	0,14	0,63	5,07		0,84	0,25	1,46	0,19	0,24	79,00	2,00	5,86	70,70	0,335	0,03	3,62																						
3° Quartil	3,27	0,0725		29,80	0,0555	0,61	2,69	9,79		2,82	0,37	1,46	0,47	0,61	148,00	5,00	7,24	160,00	1,15	0,38	23,77																						
D. Padrão (DP)	5,4637	0,1348		14,25	0,1268	0,58	2,58	4,24		2,59	0,24	0,00	0,21	0,27	49,33	1,64	1,24	63,48	1,43	0,32	13,59																						
Mediana + 1,5DP	8,4655	0,2581		41,37	0,2162	1,28	5,65	13,24		5,33	0,67	1,46	0,63	0,82	189,00	5,95	8,66	197,52	2,72	0,62	34,13																						
Mediana - 1,5DP	-7,9255	-0,1461		-1,37	-0,1642	-0,47	-2,09	0,54		-2,45	-0,04	1,46	0,00	0,00	41,00	1,05	4,94	7,08	-1,56	-0,35	-6,63																						
Mediana sem outlier	0,2177	0,0540		20,00	0,0250	0,34	1,49	7,20		1,20	0,31	1,46	0,28	0,36	112,00	4,25	7,07	90,15	0,550	0,12	9,49																						
Período Chuvoso (PC)																																											
Período Estiagem (PE)																																											
Mediana sem outlier (PC)	0,1600	0,0390		19,20	0,039	0,24	1,05	9,51		0,96	0,25	1,46	0,28	0,37	124,00	3,00	6,51	96,10	0,6300	0,3350	18,25																						
Mediana sem outlier (PE)	1,4700	0,0560		14,00	0,023	0,46	2,04	6,58		1,44	0,33	1,46	0,36	0,47	112,00	3,50	7,07	79,40	0,4660	0,0270	6,48																						
Outlier		(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)																																									
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.																																										
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".																																										
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ ⁻ " ou "NH ₄ ⁺ ".																																										
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH ⁻ ".																																										
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.																																										

PCI7	Alc.Bic. (mg/LCaCO ₃)	HCO ₃ (mg/L)	Alc.Carb. (mg/LCaCO ₃)	CO ₃ (mg/L)	Alc.Hidr. (mg/LCaCO ₃)	OH (mg/L)	Alc.Total (mg/LCaCO ₃)	Dureza Ca (mg/LCaCO ₃)	Dureza Total (mg/LCaCO ₃)	PCI7	Σ Cátions	Σ Ânions	Erro Balanço Iônico (%)	CE/100	% Erro Máximo Aceitável
										Data da Coleta					
Data da Coleta										Data da Coleta					
5/11/2010	20,00	24,40	0,00	0,00	ND	ND	20,00	46,00	48,00	5/11/2010	1,03	-0,91	6,41	0,8420	21,95
7/12/2010	20,00	24,40	0,00	0,00	ND	ND	20,00	50,00	56,00	7/12/2010	1,19	-0,91	13,21	0,7800	22,47
4/1/2011	0,00	0,00	0,00	0,00	ND	ND	0,00	44,00	54,00	4/1/2011	1,15	-0,87	13,68	0,9610	21,06
1/2/2011	24,00	29,28	0,00	0,00	ND	ND	24,00	54,00	54,00	1/2/2011	1,15	-1,38	-9,26	1,0850	20,24
1/3/2011	72,00	87,84	0,00	0,00	ND	ND	72,00	110,00	110,00	1/3/2011	2,27	-2,32	-1,10	2,0320	15,99
11/4/2011	110,00	134,20	0,00	0,00	ND	ND	110,00	110,00	144,00	11/4/2011	2,94	-2,77	2,93	2,1770	15,53
2/5/2011	0,00	0,00	0,00	0,00	ND	ND	0,00	20,00	48,00	2/5/2011	1,03	-0,46	37,78	0,4880	25,64
7/6/2011	10,00	12,20	0,00	0,00	ND	ND	10,00	18,00	22,00	7/6/2011	0,52	-0,38	15,04	0,3030	28,87
5/7/2011	57,00	69,54	0,00	0,00	ND	ND	57,00	50,00	56,00	5/7/2011	1,19	-1,39	-7,82	1,1000	20,14
2/8/2011	80,00	97,60	0,00	0,00	ND	ND	80,00	100,00	104,00	2/8/2011	2,15	-1,86	7,08	1,6000	17,61
14/9/2011	8,00	9,76	0,00	0,00	ND	ND	8,00	1,00	12,00	14/9/2011	0,31	-0,31	-0,28	0,2600	29,90
4/10/2011	84,00	102,48	0,00	0,00	ND	ND	84,00	66,00	80,00	4/10/2011	1,68	-1,74	-1,74	1,6000	17,61
Mediana	22,00	26,84	0,00	0,00			22,00	50,00	55,00	Mediana	1,19	-0,85	16,39	1,0230	20,63
1º Quartil	9,50	6,71	0,00	0,00			4,50	38,00	48,00	Mediana sem outlier	1,17	-0,74	22,35	0,9015	21,49
3º Quartil	74,00	12,20	0,00	0,00			10,00	74,50	86,00	Período Chuvoso (PC)					
D. Padrão (DP)	38,05	48,23	0,00	0,00			38,05	35,61	37,72	Período Estiagem (PE)					
Mediana + 1,5DP	79,08	99,18	0,00	0,00			79,08	103,42	111,57	Mediana sem outlier (PC)	1,11	-0,88	11,34	0,9610	21,06
Mediana - 1,5DP	-35,08	-45,50	0,00	0,00			-35,08	-3,42	-1,57	Mediana sem outlier (PE)	0,89	-0,94	-2,60	0,7940	22,35
Mediana sem outlier	20,00	24,40	0,00	0,00			20,00	48,00	54,00						
Período Chuvoso (PC)															
Período Estiagem (PE)															
Mediana sem outlier (PC)	20,00	24,40	0,00	0,00			20,00	48,00	55,00						
Mediana sem outlier (PE)	33,50	40,87	0,00	0,00			33,50	35,00	56,00						
Outlier		(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)													
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.														
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".														
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ ⁻ " ou "NH ₄ ⁺ ".														
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH ⁻ ".														
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.														

PC18	Al (mg/L)	Ba (mg/L)	Ca (mg/L)	Ca* (mg/L)	Zn (mg/L)	NO ₃ (mg/L N)	NO ₃ ** (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Mg (mg/L)	Mg* (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	N Amoniacal (mg/L N)	NH ₄ (mg/L)	STD (mg/L)	Cl (mg/L)	pH	CE (µS/cm)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	SO ₄ (mg/L)
Data da Coleta																					
5/11/2010	0,1044	0,0070	8,3300	4,0000	0,0316	0,318	1,41	5,87	0,3028	0,4800	0,3028	1,46	0,121	0,16	16,0	3,0	5,01	13,66	0,090	0,17	2,83
7/12/2010	0,0742	0,0070	0,9500	2,4000	0,0510	0,066	0,29	4,80	0,0520	3,3600	0,2520	1,46	0,660	0,85	48,0	4,0	5,52	27,33	0,050	0,09	4,40
4/1/2011	0,2800	0,0020	0,8800	3,2000	0,0180	0,164	0,73	9,80	0,1350	0,4800	0,2520	1,46	0,306	0,39	28,0	2,0	6,80	14,10	0,160	0,06	1,59
1/2/2011	0,0742	0,0150	0,9400	2,4000	0,0180	0,105	0,46	10,21	0,0340	1,4400	0,2520	1,46	0,678	0,87	20,0	5,0	5,59	15,49	0,110	0,02	1,98
1/3/2011	0,0742	0,0120	11,8200	1,6000	0,0130	0,442	1,96	0,06	0,5700	0,9600	0,2520	1,46	0,092	0,12	12,0	5,0	5,41	140,50	0,069	0,02	1,42
11/4/2011	0,2900	0,0440	5,0400	2,0000	0,0130	0,130	0,58	7,80	0,0080	4,8000	0,3300	1,46	0,454	0,58	36,0	3,5	6,68	30,00	0,360	0,16	1,54
2/5/2011	7,2530	0,0510	15,1400	16,0000	0,0230	1,400	6,20	5,71	0,0080	4,8000	0,2520	1,46	0,397	0,51	60,0	5,0	6,63	62,20	0,860	0,23	6,81
7/6/2011	17,7700	0,0640	4,5800	8,0000	0,0590	1,230	5,45	1,55	0,3700	0,4800	0,7700	1,46	0,627	0,81	72,0	2,0	5,65	23,80	0,570	0,04	0,84
5/7/2011	0,2100	0,0150	32,4600	36,0000	0,0130	0,52	2,30	10,13	1,8400	2,4000	0,3810	1,46	0,186	0,24	116,0	0,5	8,40	180,00	0,250	0,02	8,35
2/8/2011	3,5000	0,0870	22,0600	28,0000	0,0350	0,330	1,46	6,18	1,1200	2,4000	0,2900	1,46	0,249	0,32	84,0	6,5	7,40	130,00	0,720	0,02	1,71
14/9/2011	0,0742	0,0141	12,5500	0,4000	0,0130	1,220	5,40	2,32	0,8200	9,3600	0,2520	1,46	0,683	0,88	98,0	1,5	7,87	73,90	0,810	0,02	1,91
4/10/2011	11,9200	0,0267	25,1700	30,4000	0,0130	0,146	0,65	10,74	3,7400	2,8800	0,8120	1,46	0,23	0,30	116,0	1,5	8,17	164,00	0,660	0,03	1,20
Mediana	0,2450	0,0150		3,60	0,0180	0,32	1,43	6,03		2,40	0,27	1,46	0,35	0,45	54,00	3,25	6,66	46,10	0,305	0,03	1,81
1º Quartil	0,0742	0,01075		2,30	0,0130	0,14	0,63	4,18		0,84	0,25	1,46	0,22	0,28	26,00	1,88	5,57	21,72	0,105	0,02	1,51
3º Quartil	4,43825	0,0458		19,00	0,0325	0,70	3,08	9,88		3,72	0,34	1,46	0,64	0,82	87,50	5,00	7,52	132,63	0,68	0,11	3,22
D. Padrão (DP)	5,8665	0,0268		13,02	0,0159	0,49	2,17	3,62		2,58	0,20	0,00	0,23	0,29	38,14	1,84	1,17	63,46	0,31	0,07	2,40
Mediana + 1,5DP	9,0447	0,0552		23,12	0,0419	1,06	4,69	11,46		6,27	0,57	1,46	0,69	0,89	111,21	6,01	8,41	141,30	0,77	0,14	5,41
Mediana - 1,5DP	-8,5547	-0,0252		-15,92	#####	-0,41	-1,82	0,59		-1,47	-0,03	1,46	0,01	0,02	-3,21	0,49	4,90	-49,10	-0,16	-0,08	-1,79
Mediana sem outlier	0,1572	0,0150		2,40	0,0155	0,16	0,73	6,18		2,40	0,25	1,46	0,35	0,45	48,00	3,00	6,66	28,67	0,205	0,02	1,65
Período Chuvoso (PC)																					
Período Estiagem (PE)																					
Mediana sem outlier (PC)	0,0742	0,0120		3,60	0,018	0,16	0,69	7,84		1,20	0,25	1,46	0,27	0,34	24,00	3,00	5,56	15,49	0,1000	0,0450	1,59
Mediana sem outlier (PE)	1,8950	0,0475		12,00	0,018	1,22	5,40	6,18		2,40	0,31	1,46	0,43	0,55	78,00	2,75	7,04	68,05	0,5700	0,0200	1,81
Outlier		(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)																			
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.																				
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".																				
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ " ou "NH ₄ ".																				
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ", "CO ₃ -2" ou "OH".																				
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.																				

PC19	Al (mg/L)	Ba (mg/L)	Ca (mg/L)	Ca* (mg/L)	Zn (mg/L)	NO ₃ (mg/L N)	NO ₃ ** (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Mg (mg/L)	Mg* (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	N Amoniacal (mg/L N)	NH ₄ (mg/L)	STD (mg/L)	Cl (mg/L)	pH	CE (µS/cm)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	
	Data da Coleta																					
5/11/2010	0,0742	0,0070	4,3200	8,0000	0,0156	0,660	2,92	3,32	0,2445	0,0000	0,6891	1,46	0,265	0,34	124,0	2,5	6,24	25,43	0,050	0,05	3,34	
7/12/2010	0,0742	0,0070	1,8700	1,2000	0,1750	0,066	0,29	4,09	0,1100	1,2000	0,3500	1,46	0,463	0,60	56,0	3,5	5,50	16,92	0,040	0,03	4,19	
4/1/2011	0,2000	0,0020	1,1100	12,8000	0,0080	3,69	16,34	6,43	0,1570	0,4800	0,2520	1,46	0,895	1,15	36,0	1,0	7,45	61,60	0,039	0,02	5,08	
1/2/2011	0,0742	0,0130	0,4000	17,6000	0,0130	2,15	9,52	12,12	0,0080	0,0000	0,2520	1,46	0,353	0,45	68,0	5,0	6,52	67,70	0,04	0,02	2,91	
1/3/2011	0,1700	0,0190	22,0600	4,8000	0,0130	2,87	12,71	0,06	1,0200	0,4800	0,2520	1,46	0,025	0,03	148,0	4,0	6,41	41,20	0,29	0,02	2,09	
11/4/2011	3,2400	0,0440	14,7600	4,8000	0,0130	1,87	8,28	4,23	0,4500	0,4800	0,3400	1,46	0,503	0,65	128,0	4,0	6,90	34,10	0,52	0,04	2,06	
2/5/2011	13,4000	0,0830	7,8600	19,2000	0,0330	2,59	11,47	4,20	0,3800	0,4800	0,4700	1,46	0,396	0,51	168,0	6,0	4,11	54,20	1,380	0,04	2,83	
7/6/2011	5,4700	0,1460	13,3900	20,0000	0,0430	0,160	0,71	2,00	0,3700	0,0000	0,7700	1,46	0,568	0,73	80,0	2,0	6,04	81,50	0,506	0,29	34,28	
5/7/2011	9,3400	0,0260	2,4600	1,6000	0,0130	1,20	5,31	3,93	0,4500	6,2400	1,1100	1,46	0,663	0,85	56,0	3,0	6,80	35,00	3,15	0,02	4,84	
2/8/2011	8,2300	0,0540	0,8900	1,6000	0,0180	5,90	26,13	3,36	0,0720	0,9600	0,2520	1,46	0,388	0,50	32,0	3,5	5,40	160,00	0,410	0,02	0,83	
14/9/2011	0,0742	0,0141	7,8400	0,4000	0,0130	0,113	0,50	4,33	0,9330	6,0000	0,2520	1,46	0,205	0,26	26,0	0,5	7,88	49,30	0,039	0,02	0,35	
4/10/2011	19,2700	0,0420	1,0300	2,4000	0,0194	0,191	0,85	12,37	0,3400	1,4400	0,8800	1,46	0,205	0,26	30,0	1,0	5,77	13,00	0,920	0,03	1,35	
Mediana	1,7200	0,0225		4,80	0,0143	1,54	6,80	4,15		0,48	0,35	1,46	0,39	0,50	62,00	3,25	6,33	45,25	0,350	0,03	2,87	
1° Quartil	0,0742	0,0115		1,60	0,0130	0,18	0,81	3,35		0,36	0,25	1,46	0,25	0,32	35,00	1,75	5,70	31,93	0,040	0,02	1,88	
3° Quartil	8,5075	0,0465		14,00	0,0228	2,66	11,78	4,86		1,26	0,71	1,46	0,52	0,67	125,00	4,00	6,83	63,13	0,62	0,04	4,35	
D. Padrão (DP)	6,3974	0,0415		7,52	0,0463	1,79	7,91	3,69		2,22	0,30	0,00	0,23	0,30	50,05	1,68	1,00	39,37	0,90	0,08	9,23	
Mediana + 1,5DP	11,3161	0,0847		16,08	0,0837	4,21	18,66	9,68		3,80	0,79	1,46	0,74	0,95	137,07	5,77	7,83	104,30	1,70	0,14	16,72	
Mediana - 1,5DP	-7,8761	-0,0397		-6,48	-0,0551	-1,14	-5,06	-1,39		-2,84	-0,10	1,46	0,04	0,06	-13,07	0,73	4,82	-13,80	-1,00	-0,09	-10,98	
Mediana sem outlier	0,1850	0,0190		2,40	0,0130	1,20	5,31	4,01		0,48	0,30	1,46	0,39	0,50	56,00	3,50	6,33	41,20	0,290	0,02	2,83	
Período Chuvoso (PC)																						
Período Estiagem (PE)																						
Mediana sem outlier (PC)	0,0742	0,0130		5,20	0,013	1,41	6,22	5,26		0,48	0,25	1,46	0,31	0,40	62,00	2,50	6,33	25,43	0,0450	0,0250	3,34	
Mediana sem outlier (PE)	6,8500	0,0490		3,20	0,016	1,87	8,28	3,93		0,96	0,41	1,46	0,45	0,58	68,00	3,25	6,42	51,75	0,5060	0,0200	2,45	
Outlier		(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)																				
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.																					
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".																					
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ " ou "NH ₄ ".																					
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH".																					
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.																					

PC19	Alc.Bic. (mg/LCaCO ₃)	HCO ₃ (mg/L)	Alc.Carb. (mg/LCaCO ₃)	CO ₃ (mg/L)	Alc.Hidr. (mg/LCaCO ₃)	OH (mg/L)	Alc.Total (mg/LCaCO ₃)	Dureza Ca (mg/LCaCO ₃)	Dureza Total (mg/LCaCO ₃)	PC19	Σ Cátions	Σ Ânions	Erro Balanço Iônico (%)	CE/100	% Erro Máximo Aceitável
										Data da Coleta					
	6,00	7,32	0,00	0,00	ND	ND	6,00	20,00	20,00	5/11/2010	0,48	-0,26	28,94	0,2543	30,05
	3,00	3,66	0,00	0,00	ND	ND	3,00	3,00	8,00	7/12/2010	0,23	-0,51	-37,60	0,1692	32,81
	20,00	24,40	0,00	0,00	ND	ND	20,00	32,00	34,00	4/1/2011	0,75	-0,69	4,23	0,6160	24,07
	26,00	31,72	0,00	0,00	ND	ND	26,00	44,00	44,00	1/2/2011	0,95	-0,93	1,16	0,6770	23,43
	17,00	20,74	0,00	0,00	ND	ND	17,00	12,00	14,00	1/3/2011	0,35	-0,63	-28,69	0,4120	26,79
	10,00	12,20	0,00	0,00	ND	ND	10,00	12,00	14,00	11/4/2011	0,35	-0,54	-21,24	0,3410	28,07
	0,00	0,00	0,00	0,00	ND	ND	0,00	48,00	50,00	2/5/2011	1,07	-0,24	63,49	0,5420	24,93
	21,00	25,62	0,00	0,00	ND	ND	21,00	50,00	50,00	7/6/2011	1,08	-1,28	-8,25	0,8150	22,17
	10,00	12,20	0,00	0,00	ND	ND	10,00	4,00	30,00	5/7/2011	0,69	-0,81	-8,15	0,3500	27,89
	5,00	6,10	0,00	0,00	ND	ND	5,00	4,00	8,00	2/8/2011	0,23	-0,22	1,04	1,6000	17,61
	29,00	35,38	0,00	0,00	ND	ND	29,00	1,00	26,00	14/9/2011	0,58	-0,61	-2,61	0,4930	25,57
	5,00	6,10	0,00	0,00	ND	ND	5,00	6,00	12,00	4/10/2011	0,32	-0,27	9,88	0,1300	34,59
Mediana	10,00	12,20	0,00	0,00			10,00	12,00	23,00	Mediana	0,35	-0,46	-13,50	0,4525	26,15
1° Quartil	5,00	6,71	0,00	0,00			4,50	4,00	13,50	Mediana sem outlier	0,23	-0,40	-27,30	0,4120	26,79
3° Quartil	20,25	12,20	0,00	0,00			10,00	35,00	36,50	Período Chuvoso (PC)					
D. Padrão (DP)	9,61	12,25	0,00	0,00			9,61	18,80	15,74	Período Estiagem (PE)					
Mediana + 1,5DP	24,42	30,58	0,00	0,00			24,42	40,20	46,60	Mediana sem outlier (PC)	0,37	-0,36	1,17	0,2543	30,05
Mediana - 1,5DP	-4,42	-6,18	0,00	0,00			-4,42	-16,20	-0,60	Mediana sem outlier (PE)	0,31	-0,48	-20,74	0,5175	25,25
Mediana sem outlier	8,00	9,76	0,00	0,00			8,00	6,00	20,00						
Período Chuvoso (PC)															
Período Estiagem (PE)															
Mediana sem outlier (PC)	6,00	7,32	0,00	0,00			6,00	13,00	16,00						
Mediana sem outlier (PE)	10,00	12,20	0,00	0,00			10,00	8,00	26,00						
Outlier		(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)													
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.														
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".														
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ ⁻ " ou "NH ₄ ⁺ ".														
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH ⁻ ".														
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.														

PC20	Al (mg/L)	Ba (mg/L)	Ca (mg/L)	Ca* (mg/L)	Zn (mg/L)	NO ₃ (mg/L N)	NO ₃ ** (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Mg (mg/L)	Mg* (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	N Amoniacal (mg/L N)	NH ₄ (mg/L)	STD (mg/L)	Cl (mg/L)	pH	CE (µS/cm)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	SO ₄ (mg/L)																						
Data da Coleta																																											
5/11/2010	0,0761	0,0070	1,1730	1,6000	0,0241	0,645	2,86	2,35	0,0572	0,4800	0,2520	1,46	0,721	0,93	16,0	3,5	5,10	7,95	0,430	0,05	1,14																						
7/12/2010	0,0742	0,0250	6,6500	7,2000	0,0230	0,066	0,29	6,97	0,2600	1,9200	0,2520	1,46	0,424	0,55	100,0	2,0	6,30	69,70	0,040	0,03	16,14																						
4/1/2011	0,1600	0,0140	10,9000	36,0000	0,0240	1,040	4,61	3,89	0,6120	0,4800	0,2520	1,46	0,600	0,77	236,0	2,0	8,19	190,60	0,060	0,09	30,23																						
1/2/2011	0,0742	0,0320	8,7900	48,0000	0,0130	0,330	1,46	8,94	0,3100	0,0000	0,2520	1,46	0,240	0,31	164,0	5,5	7,07	194,00	0,14	0,08	13,22																						
1/3/2011	0,0850	0,0450	35,8400	56,0000	0,0130	0,900	3,99	0,01	1,6000	0,0000	0,2520	1,46	0,260	0,33	232,0	4,5	6,92	247,00	0,08	0,06	45,91																						
11/4/2011	2,1200	0,0670	25,0100	22,4000	0,0130	0,250	1,11	6,70	0,5800	0,0000	0,3600	1,46	0,640	0,82	144,0	8,0	6,98	144,40	0,48	0,15	18,09																						
2/5/2011	8,5400	0,2450	16,7400	8,0000	0,0450	0,190	0,84	6,61	0,4200	0,0000	0,4500	1,46	0,722	0,93	132,0	2,0	6,91	35,50	1,120	0,36	7,68																						
7/6/2011	5,7600	0,0810	10,5600	20,0000	0,0230	0,190	0,84	5,80	0,3900	0,0000	0,4200	1,46	0,610	0,78	96,0	2,0	6,07	85,20	0,543	0,20	18,84																						
5/7/2011	0,9600	0,0550	7,8900	8,0000	0,0240	0,56	2,48	6,56	0,4900	2,4000	0,6750	1,46	0,477	0,61	68,0	3,0	7,30	46,00	3,32	0,12	13,81																						
2/8/2011	8,8300	0,2280	18,0100	8,8000	0,0600	0,150	0,66	5,80	0,4000	0,4800	0,4700	1,46	0,153	0,20	80,0	3,5	5,90	390,00	0,620	0,11	6,81																						
14/9/2011	0,0742	0,0279	0,1906	0,4000	0,0130	0,077	0,34	13,89	8,0000	45,8400	0,3880	1,76	0,344	0,44	112,0	1,0	8,71	355,00	0,039	0,02	2,84																						
4/10/2011	14,9800	0,0731	3,4700	4,0000	0,0130	0,219	0,97	15,76	0,5940	2,4000	0,8070	1,46	0,243	0,31	32,0	1,0	5,51	27,00	0,760	0,16	7,71																						
Mediana	0,5600	0,0500		8,40	0,0230	0,23	1,04	6,59		0,48	0,37	1,46	0,45	0,58	106,00	2,50	6,92	114,80	0,455	0,10	13,52																						
1° Quartil	0,07563	0,027		6,40	0,0130	0,18	0,80	5,32		0,00	0,25	1,46	0,26	0,33	77,00	2,00	6,03	43,38	0,074	0,06	7,46																						
3° Quartil	6,455	0,0751		25,80	0,0240	0,58	2,57	7,46		2,04	0,46	1,46	0,62	0,79	149,00	3,75	7,13	207,25	0,66	0,15	18,28																						
D. Padrão (DP)	4,9434	0,0790		18,75	0,0146	0,33	1,44	4,38		13,05	0,18	0,09	0,20	0,26	69,08	2,04	1,05	128,81	0,91	0,09	12,54																						
Mediana + 1,5DP	7,9751	0,1685		36,52	0,0449	0,72	3,20	13,16		20,06	0,65	1,59	0,76	0,97	209,62	5,56	8,49	308,02	1,82	0,24	32,33																						
Mediana - 1,5DP	-6,8551	#####		-19,72	0,0011	-0,25	-1,13	0,01		-19,10	0,10	1,33	0,15	0,19	2,38	-0,56	5,34	-78,42	-0,91	-0,04	-5,30																						
Mediana sem outlier	0,0850	0,0385		8,40	0,0180	0,20	0,91	6,56		0,48	0,31	1,46	0,45	0,58	98,00	2,00	6,91	77,45	0,430	0,09	13,22																						
Período Chuvoso (PC)																																											
Período Estiagem (PE)																																											
Mediana sem outlier (PC)	0,0761	0,0320		5,60	0,013	0,49	2,16	5,43		0,48	0,25	1,46	0,34	0,44	132,00	3,50	6,61	69,70	0,1095	0,0720	16,14																						
Mediana sem outlier (PE)	3,9400	0,0740		8,40	0,024	0,19	0,84	6,56		0,48	0,44	1,46	0,54	0,70	104,00	2,50	6,95	114,80	0,5430	0,1200	10,75																						
Outlier		(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)																																									
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.																																										
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".																																										
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ " ou "NH ₄ ⁺ ".																																										
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH ⁻ ".																																										
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.																																										

PC20	Alc.Bic. (mg/LCaCO ₃)	HCO ₃ (mg/L)	Alc.Carb. (mg/LCaCO ₃)	CO ₃ (mg/L)	Alc.Hidr. (mg/LCaCO ₃)	OH (mg/L)	Alc.Total (mg/LCaCO ₃)	Dureza Ca (mg/LCaCO ₃)	Dureza Total (mg/LCaCO ₃)	PC20	Σ Cátions	Σ Ânions	Erro Balanço Iônico (%)	CE/100	% Erro Máximo Aceitável
5/11/2010	2,00	2,44	0,00	0,00	ND	ND	2,00	4,00	6,00	5/11/2010	0,19	-0,17	6,20	0,0795	37,92
7/12/2010	15,00	18,30	0,00	0,00	ND	ND	15,00	18,00	26,00	7/12/2010	0,59	-0,77	-13,26	0,6970	23,23
4/1/2011	68,00	82,96	0,00	0,00	ND	ND	68,00	90,00	92,00	4/1/2011	1,91	-2,07	-4,10	1,9060	16,42
1/2/2011	100,00	122,00	0,00	0,00	ND	ND	100,00	120,00	120,00	1/2/2011	2,47	-2,49	-0,58	1,9400	16,31
1/3/2011	118,00	143,96	0,00	0,00	ND	ND	118,00	140,00	140,00	1/3/2011	2,86	-3,46	-9,42	2,4700	14,67
11/4/2011	65,00	79,30	0,00	0,00	ND	ND	65,00	56,00	56,00	11/4/2011	1,19	-1,92	-23,34	1,4440	18,30
2/5/2011	30,00	36,60	0,00	0,00	ND	ND	30,00	20,00	20,00	2/5/2011	0,47	-0,83	-27,26	0,3550	27,80
7/6/2011	26,00	31,72	0,00	0,00	ND	ND	26,00	50,00	50,00	7/6/2011	1,07	-1,01	3,06	0,8520	21,87
5/7/2011	15,00	18,30	0,00	0,00	ND	ND	15,00	20,00	30,00	5/7/2011	0,68	-0,68	-0,39	0,4600	26,04
2/8/2011	8,00	9,76	0,00	0,00	ND	ND	8,00	22,00	24,00	2/8/2011	0,55	-0,41	15,43	3,9000	11,58
14/9/2011	176,00	214,72	0,00	0,00	ND	ND	248,00	1,00	192,00	14/9/2011	3,88	-3,62	3,41	3,5500	12,22
4/10/2011	4,00	4,88	0,00	0,00	ND	ND	4,00	10,00	20,00	4/10/2011	0,48	-0,29	25,53	0,2700	29,65
Mediana	28,00	34,16	0,00	0,00			28,00	21,00	40,00	Mediana	0,53	-0,93	-27,17	1,1480	19,85
1º Quartil	13,25	6,71	0,00	0,00			4,50	16,00	23,00	Mediana sem outlier	0,53	-0,87	-24,08	0,7745	22,52
3º Quartil	76,00	12,20	0,00	0,00			10,00	64,50	99,00	Período Chuvoso (PC)					
D. Padrão (DP)	54,85	68,56	0,00	0,00			71,14	46,87	58,60	Período Estiagem (PE)					
Mediana + 1,5DP	110,28	137,01	0,00	0,00			134,71	91,30	127,90	Mediana sem outlier (PC)	0,39	-0,77	-32,86	0,6970	23,23
Mediana - 1,5DP	-54,28	-68,69	0,00	0,00			-78,71	-49,30	-47,90	Mediana sem outlier (PE)	0,53	-0,87	-23,87	1,1480	19,85
Mediana sem outlier	20,50	31,72	0,00	0,00			26,00	20,00	28,00						
Período Chuvoso (PC)															
Período Estiagem (PE)															
Mediana sem outlier (PC)	15,00	18,30	0,00	0,00			15,00	14,00	23,00						
Mediana sem outlier (PE)	28,00	34,16	0,00	0,00			28,00	21,00	50,00						
Outlier		(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)													
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.														
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".														
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ ⁻ " ou "NH ₄ ⁺ ".														
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH ⁻ ".														
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.														

PC21	Al (mg/L)	Ba (mg/L)	Ca (mg/L)	Ca* (mg/L)	Zn (mg/L)	NO ₃ (mg/L N)	NO ₃ ** (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Mg (mg/L)	Mg* (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	N Amoniacal (mg/L N)	NH ₄ (mg/L)	STD (mg/L)	Cl (mg/L)	pH	CE (μS/cm)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	SO ₄ (mg/L)
Data da Coleta																					
17/11/2010	0,3992	0,0274	10,6100	19,2000	0,0728	0,363	1,61	5,68	0,4417	1,9200	0,2629	1,46	0,196	0,25	108,0	2,5	6,52	85,80	0,160	0,47	22,17
20/12/2010	0,0742	0,0070	6,7100	0,8000	0,1100	0,066	0,29	2,65	0,2600	1,4400	0,2520	1,46	0,714	0,92	36,0	2,5	5,26	8,28	0,100	0,02	2,22
19/1/2011	0,0850	0,0020	1,6500	8,0000	0,0080	0,865	3,83	3,06	0,1380	0,4800	0,2520	1,46	0,888	1,14	44,0	2,0	7,15	24,20	0,070	0,02	3,19
15/2/2011	0,0742	0,0130	0,4400	5,6000	0,0200	0,184	0,81	7,67	0,0080	1,9200	0,2520	1,46	0,201	0,26	24,0	4,5	6,45	23,35	0,06	0,02	1,73
5/4/2011	0,1200	0,0190	27,7300	2,4000	0,0130	0,744	3,29	0,06	1,3000	3,8400	0,2520	1,46	0,154	0,20	24,0	3,0	5,78	25,66	0,16	0,02	1,97
26/4/2011	0,6600	0,0360	0,1906	1,6000	0,0130	0,390	1,73	3,40	0,0080	0,9600	0,2520	1,46	0,226	0,29	32,0	3,0	6,44	11,69	0,23	0,04	0,78
31/5/2011	7,4400	0,0270	1,2800	4,0000	0,0130	0,370	1,64	3,52	0,0080	0,0000	0,2520	1,46	0,518	0,67	72,0	4,0	5,36	11,86	0,500	0,02	2,19
20/6/2011	1,2700	0,0198	0,3400	0,8000	0,0130	0,230	1,02	0,06	0,0080	0,0000	0,2520	1,46	0,665	0,85	24,0	2,0	4,89	10,00	0,168	0,02	9,49
19/7/2011	3,0100	0,0178	0,2740	0,8000	0,0130	0,500	2,21	4,80	0,1340	6,2400	0,3450	1,46	0,131	0,17	24,0	2,0	6,00	120,00	1,80	0,02	1,67
16/8/2011	1,9600	0,0140	0,1906	0,8000	0,0130	0,197	0,87	3,20	0,0490	0,0000	0,2520	1,46	0,196	0,25	16,0	5,0	5,60	120,00	0,080	0,02	0,78
28/9/2011	0,0742	0,0195	4,5200	0,4000	0,0235	0,164	0,73	6,81	0,2700	6,0000	0,4520	1,46	0,142	0,18	14,0	0,5	7,51	34,00	0,039	0,02	3,57
24/10/2011	2,9000	0,0116	0,5300	2,4000	0,0130	2,480	10,98	4,19	0,1340	0,2400	0,2520	1,46	0,28	0,36	22,0	1,5	5,51	8,00	0,770	0,02	0,53
Mediana	0,5296	0,0184		2,00	0,0130	0,37	1,62	3,46		1,20	0,25	1,46	0,21	0,27	24,00	2,50	5,89	23,78	0,162	0,02	2,08
1° Quartil	0,0823	0,01265		0,80	0,0130	0,19	0,86	2,96		0,18	0,25	1,46	0,19	0,24	23,50	2,00	5,47	11,27	0,078	0,02	1,45
3° Quartil	2,195	0,0216		4,40	0,0209	0,56	2,48	5,02		2,40	0,25	1,46	0,55	0,71	38,00	3,25	6,47	46,95	0,30	0,02	3,29
D. Padrão (DP)	2,1682	0,0093		5,35	0,0313	0,65	2,90	2,32		2,26	0,06	0,00	0,26	0,34	27,32	1,29	0,79	42,84	0,51	0,13	6,14
Mediana + 1,5DP	3,7819	0,0324		10,02	0,0600	1,35	5,97	6,94		4,59	0,34	1,46	0,61	0,78	64,98	4,43	7,08	88,04	0,92	0,21	11,29
Mediana - 1,5DP	-2,7227	0,0044		-6,02	-0,0340	-0,61	-2,72	-0,02		-2,19	0,16	1,46	-0,18	-0,24	-16,98	0,57	4,70	-40,49	-0,60	-0,17	-7,13
Mediana sem outlier	0,3992	0,0178		1,60	0,0130	0,36	1,61	3,46		0,72	0,25	1,46	0,20	0,25	24,00	2,50	5,69	17,61	0,160	0,02	1,97
Período Chuvoso (PC)																					
Período Estiagem (PE)																					
Mediana sem outlier (PC)	0,0850	0,0130		5,20	0,013	0,55	2,45	3,63		1,68	0,25	1,46	0,24	0,31	40,00	2,50	6,12	23,35	0,1300	0,0200	2,22
Mediana sem outlier (PE)	1,6150	0,0197		0,80	0,013	0,23	1,02	3,40		0,96	0,25	1,46	0,21	0,27	24,00	2,50	5,80	22,93	0,1680	0,0200	1,93
Outlier	(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)																				
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.																				
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".																				
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ ⁻ " ou "NH ₄ ⁺ ".																				
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH ⁻ ".																				
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.																				

PC22	Al (mg/L)	Ba (mg/L)	Ca (mg/L)	Ca* (mg/L)	Zn (mg/L)	NO ₃ (mg/L N)	NO ₃ ** (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Mg (mg/L)	Mg* (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	N Amoniacal (mg/L N)	NH ₄ (mg/L)	STD (mg/L)	Cl (mg/L)	pH	CE (μS/cm)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	SO ₄ (mg/L)
Data da Coleta																					
5/11/2010	0,0742	0,0070	2,3900	11,2000	0,0130	1,840	8,15	6,24	0,1467	0,0000	0,2520	1,46	0,361	0,46	64,0	2,0	5,90	28,25	0,039	0,02	3,81
7/12/2010	0,0800	0,0070	3,0900	6,4000	0,0240	1,410	6,24	3,19	0,2000	1,9200	0,3900	1,46	0,096	0,12	30,0	5,0	6,08	48,20	0,180	0,02	3,73
4/1/2011	0,1400	0,0020	3,6300	9,6000	0,0101	2,200	9,74	3,48	0,3050	1,4400	0,2520	1,50	0,06	0,08	124,0	2,1	7,71	51,10	0,040	0,02	3,59
1/2/2011	0,0742	0,0140	2,8200	9,6000	0,0220	1,570	6,95	3,48	0,1700	0,4800	0,3300	1,46	1,36	1,75	42,0	5,0	7,15	34,40	0,039	0,02	1,27
1/3/2011	0,0742	0,0180	21,0000	20,0000	0,0130	6,470	28,65	0,06	1,1600	4,8000	0,5200	1,46	0,607	0,78	100,0	5,0	6,50	116,00	0,050	0,02	1,31
11/4/2011	0,0742	0,0190	4,6900	4,8000	0,0130	1,520	6,73	2,00	0,0080	9,1200	0,2520	1,46	1,23	1,58	32,0	3,0	6,67	51,00	0,070	0,02	4,19
2/5/2011	0,0742	0,0130	3,7500	8,0000	0,0130	1,880	8,33	2,61	0,2300	5,7600	0,3400	1,46	0,074	0,10	36,0	5,0	7,43	44,90	0,290	0,02	1,62
7/6/2011	1,4100	0,0170	3,6800	8,8000	0,0130	1,690	7,48	0,06	0,2600	4,3200	0,2900	1,46	0,54	0,69	12,0	2,0	5,89	40,20	0,212	0,03	12,14
5/7/2011	1,4100	0,0160	3,5700	0,8000	0,0130	1,71	7,57	2,44	0,3240	0,0000	0,3100	1,46	0,21	0,27	16,0	3,5	7,00	28,00	0,410	0,02	3,29
2/8/2011	1,0500	0,0140	0,1906	4,0000	0,0130	1,690	7,48	3,45	0,0080	2,4000	0,2520	1,55	0,079	0,10	0,2	2,5	6,70	27,00	0,190	0,02	1,53
14/9/2011	3,2400	0,0356	8,7600	0,4000	0,0130	0,721	3,19	5,90	0,6090	6,9600	0,3080	1,46	0,408	0,52	64,0	1,0	7,76	60,00	3,62	0,72	0,35
4/10/2011	1,4700	0,0127	2,5000	4,0000	0,0130	1,050	4,65	3,33	0,1750	0,4800	0,2750	1,46	0,079	0,10	30,0	1,5	6,07	23,50	0,210	0,02	0,35
Mediana	0,1100	0,0140		7,20	0,0130	1,69	7,48	3,26		2,16	0,30	1,46	0,29	0,37	34,00	2,75	6,69	42,55	0,185	0,02	2,46
1° Quartil	0,0742	0,01128		4,00	0,0130	1,49	6,61	2,33		0,48	0,25	1,46	0,08	0,10	26,50	2,00	6,08	28,19	0,048	0,02	1,30
3° Quartil	1,41	0,0173		9,60	0,0130	1,85	8,19	3,48		5,04	0,33	1,46	0,56	0,72	64,00	5,00	7,22	51,03	0,23	0,02	3,75
D. Padrão (DP)	0,9900	0,0083		5,30	0,0041	1,47	6,49	1,87		3,02	0,08	0,03	0,45	0,58	36,46	1,52	0,68	24,91	1,01	0,20	3,17
Mediana + 1,5DP	1,5950	0,0265		15,14	0,0192	3,89	17,22	6,07		6,69	0,42	1,50	0,96	1,23	88,70	5,03	7,70	79,92	1,69	0,32	7,21
Mediana - 1,5DP	-1,3750	0,0015		-0,74	0,0068	-0,51	-2,25	0,45		-2,37	0,18	1,42	-0,39	-0,50	-20,70	0,47	5,67	5,18	-1,32	-0,28	-2,30
Mediana sem outlier	0,0771	0,0140		7,20	0,0130	1,70	7,53	3,33		1,68	0,31	1,46	0,29	0,37	36,00	2,75	6,59	37,30	0,190	0,02	1,62
Período Chuvoso (PC)																					
Período Estiagem (PE)																					
Mediana sem outlier (PC)	0,0742	0,0127		8,00	0,013	1,71	7,55	3,41		0,96	0,29	1,46	0,23	0,29	53,00	2,10	6,29	34,40	0,0450	0,0200	3,59
Mediana sem outlier (PE)	1,2300	0,0165		4,40	0,013	1,69	7,48	2,44		4,32	0,30	1,46	0,31	0,40	24,00	2,75	6,85	42,55	0,2120	0,0200	2,46
Outlier	(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)																				
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.																				
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".																				
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ " ou "NH ₄ ⁺ ".																				
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH ⁻ ".																				
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.																				

PC23	Al (mg/L)	Ba (mg/L)	Ca (mg/L)	Ca* (mg/L)	Zn (mg/L)	NO ₃ (mg/L N)	NO ₃ ** (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Mg (mg/L)	Mg* (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	N Amoniacal (mg/L N)	NH ₄ (mg/L)	STD (mg/L)	Cl (mg/L)	pH	CE (μS/cm)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	SO ₄ (mg/L)
Data da Coleta																					
5/11/2010	0,0742	0,0070	3,2100	4,0000	0,0175	1,30	5,76	2,39	0,3028	2,4000	0,2520	1,46	0,303	0,39	2,0	4,0	6,00	20,56	4,570	0,04	1,92
7/12/2010	0,0742	0,0070	2,8400	4,8000	0,0131	0,38	1,68	1,34	0,2400	4,3200	0,2520	1,46	0,436	0,56	40,0	2,0	5,81	39,30	4,960	0,02	1,46
4/1/2011	0,1400	0,0020	6,3000	12,0000	0,0080	3,11	13,77	3,25	0,6730	1,9200	0,2520	1,46	0,067	0,09	64,0	2,0	7,72	63,00	0,260	0,02	1,06
1/2/2011	0,0742	0,0140	4,9400	16,0000	0,0130	3,54	15,68	2,84	0,3700	0,0000	0,2520	1,46	0,67	0,86	62,0	5,0	7,57	78,70	0,039	0,02	1,01
1/3/2011	0,0742	0,0330	36,2300	49,6000	0,0130	0,81	3,60	0,06	3,3600	1,4400	0,6900	1,46	0,222	0,29	144,0	2,5	7,68	215,60	0,140	0,02	2,17
11/4/2011	0,0742	0,0200	18,4700	4,0000	0,0130	3,68	16,30	2,51	1,1000	5,7600	0,3000	1,46	0,459	0,59	96,0	3,0	6,27	113,00	0,750	0,02	2,72
2/5/2011	0,0980	0,0170	20,4200	28,0000	0,0130	3,41	15,10	2,95	1,3800	8,1600	0,3900	1,46	0,239	0,31	88,0	2,5	7,26	104,30	0,160	0,02	4,51
7/6/2011	0,3100	0,0170	15,1900	19,2000	0,0130	2,35	10,41	0,06	0,9700	2,8800	0,3200	1,46	0,641	0,82	30,0	1,5	5,95	86,60	0,039	0,02	10,24
5/7/2011	0,0742	0,0140	10,9600	8,0000	0,0130	2,42	10,72	3,05	1,2900	1,4400	0,4400	1,46	0,593	0,76	44,0	4,0	7,80	58,00	0,660	0,04	4,03
2/8/2011	0,1300	0,0100	0,1906	10,4000	0,0130	2,48	10,98	2,00	0,0080	0,9600	0,2520	1,46	0,138	0,18	2,0	4,0	6,90	52,00	1,34	0,03	1,48
14/9/2011	0,0742	0,0070	21,4200	0,4000	0,0130	2,64	11,69	6,35	1,8500	20,8800	0,3660	1,46	0,234	0,30	104,0	0,1	8,38	175,00	0,230	0,04	0,35
4/10/2011	2,4800	0,0103	9,0100	14,4000	0,0130	0,58	2,58	2,83	0,7110	0,9600	0,4650	1,46	0,76	0,98	50,0	1,5	6,54	71,00	1,16	0,02	0,35
Mediana	0,0742	0,0122		11,20	0,0130	2,45	10,85	2,67		2,16	0,31	1,46	0,37	0,48	56,00	2,50	7,08	74,85	0,460	0,02	1,70
1° Quartil	0,0742	0,007		4,60	0,0130	1,18	5,22	1,84		1,32	0,25	1,46	0,23	0,30	37,50	1,88	6,20	56,50	0,155	0,02	1,05
3° Quartil	0,1325	0,0170		16,80	0,0130	3,19	14,10	2,98		4,68	0,40	1,46	0,61	0,78	90,00	4,00	7,69	106,48	1,21	0,03	3,05
D. Padrão (DP)	0,6878	0,0081		13,54	0,0020	1,18	5,22	1,64		5,72	0,13	0,00	0,23	0,29	42,07	1,39	0,86	56,26	1,73	0,01	2,74
Mediana + 1,5DP	1,1059	0,0244		31,51	0,0160	4,22	18,68	5,13		10,75	0,51	1,46	0,71	0,92	119,11	4,58	8,37	159,25	3,05	0,03	5,80
Mediana - 1,5DP	-0,9575	0,0001		-9,11	0,0100	0,68	3,02	0,21		-6,43	0,11	1,46	0,03	0,03	-7,11	0,42	5,79	-9,55	-2,13	0,01	-2,40
Mediana sem outlier	0,0742	0,0103		10,40	0,0130	2,56	11,34	2,83		1,92	0,30	1,46	0,30	0,39	50,00	2,50	6,90	67,00	0,245	0,02	1,48
Período Chuvoso (PC)																					
Período Estiagem (PE)																					
Mediana sem outlier (PC)	0,0742	0,0103		8,40	0,013	1,06	4,68	2,61		1,68	0,25	1,46	0,37	0,48	51,00	2,50	7,06	63,00	0,7100	0,0200	1,46
Mediana sem outlier (PE)	0,0861	0,0155		9,20	0,013	2,64	11,69	2,51		2,88	0,34	1,46	0,35	0,45	66,00	2,75	7,08	95,45	0,6600	0,0300	3,38
Outlier		(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)																			
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.																				
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".																				
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ " ou "NH ₄ ⁺ ".																				
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH ⁻ ".																				
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.																				

CIST01	Al (mg/L)	Ba (mg/L)	Ca (mg/L)	Ca* (mg/L)	Zn (mg/L)	NO ₃ (mg/L N)	NO ₃ ** (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Mg (mg/L)	Mg* (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	N Amoniacal (mg/L N)	NH ₄ (mg/L)	STD (mg/L)	Cl (mg/L)	pH	CE (µS/cm)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	
Data da Coleta																						
5/11/2010	0,0742	0,0070	14,9400	17,6000	0,0215	0,176	0,78	7,14	0,3248	6,2400	0,2520	1,46	0,081	0,10	116,0	1,0	7,24	94,50	0,940	0,02	0,64	
7/12/2010	0,1600	0,0070	30,9300	25,6000	0,0530	0,066	0,29	4,66	0,7500	3,8400	0,2700	1,46	0,02	0,03	72,0	2,0	7,16	118,90	0,380	0,10	1,73	
4/1/2011	0,0950	0,0250	16,8000	41,6000	0,0250	0,066	0,29	4,97	0,5170	1,4400	0,2520	46,80	0,286	0,37	64,0	3,0	7,82	230,00	0,080	0,02	1,10	
1/2/2011	0,0742	0,0150	20,4200	56,0000	0,1100	1,86	8,24	9,65	1,1600	0,0000	0,2520	1,46	0,259	0,33	192,0	6,0	8,48	262,00	0,039	0,02	1,22	
1/3/2011	0,1400	0,0190	27,9000	18,4000	0,0130	0,340	1,51	4,15	0,1900	10,5600	0,2900	1,46	0,437	0,56	94,0	5,0	7,21	148,00	0,039	0,02	0,35	
11/4/2011	0,0810	0,0200	32,2500	40,0000	0,0130	0,066	0,29	6,92	0,2500	2,4000	0,3600	1,46	0,182	0,23	106,0	2,0	8,30	171,90	0,070	0,02	1,94	
2/5/2011	0,0742	0,0280	41,2200	41,6000	0,0130	0,290	1,28	8,66	2,8800	6,2400	0,6800	1,46	0,698	0,90	148,0	1,0	8,40	222,50	0,060	0,02	4,46	
7/6/2011	0,1110	0,0280	42,2400	48,0000	0,0130	0,240	1,06	8,86	3,3200	4,8000	0,5600	1,46	0,39	0,50	152,0	1,5	8,49	227,30	0,039	0,02	1,94	
5/7/2011	0,0742	0,0180	49,0100	60,0000	0,0130	0,600	2,66	3,80	2,9200	3,3600	2,3000	1,46	0,686	0,88	160,0	1,0	7,98	256,00	0,039	0,02	1,37	
2/8/2011	0,0742	0,0160	45,1100	54,4000	0,0130	0,171	0,76	7,52	3,9700	0,9600	0,3190	1,46	0,519	0,67	172,0	5,0	8,10	240,00	0,060	0,02	1,54	
14/9/2011	0,0742	0,0190	35,3500	40,0000	0,0240	0,376	1,67	6,03	0,2820	4,8000	35,3900	1,46	0,095	0,12	96,0	1,5	8,30	174,80	0,039	0,02	1,58	
4/10/2011	0,1408	0,0190	32,7300	40,8000	0,0350	0,626	2,77	7,86	0,2270	0,9600	0,4600	1,46	0,083	0,11	128,0	1,0	8,28	184,00	0,065	0,02	1,17	
Mediana	0,0776	0,0190		41,20	0,0173	0,27	1,17	7,03		3,60	0,34	1,46	0,273	0,35	122,00	1,75	8,19	203,25	0,06	0,02	1,46	
1° Quartil	0,0742	0,01575		36,40	0,0130	0,14	0,64	4,89		1,32	0,27	1,46	0,092	0,12	95,50	1,00	7,68	165,93	0,04	0,02	1,15	
3° Quartil	0,11825	0,0213		49,60	0,0275	0,43	1,91	8,06		5,16	0,59	1,46	0,458	0,59	154,00	3,50	8,33	232,50	0,07	0,02	1,78	
D. Padrão (DP)	0,0321	0,0068		13,84	0,0283	0,50	2,19	1,95		2,98	10,08	13,67	0,236	0,30	40,41	1,82	0,51	54,28	0,27	0,02	1,02	
Mediana + 1,5DP	0,1257	0,0292		61,96	0,0597	1,01	4,47	9,96		8,07	15,45	21,97	0,626	0,81	182,62	4,48	8,95	284,68	0,46	0,05	2,99	
Mediana - 1,5DP	0,0295	0,0088		20,44	-0,0252	-0,48	-2,12	4,10		-0,87	-14,77	-19,05	-0,081	-0,10	61,38	-0,98	7,43	121,82	-0,34	-0,01	-0,08	
Mediana sem outlier	0,0880	0,0190		41,20	0,0130	0,21	0,92	7,14		3,84	0,32	1,46	0,338	0,43	117,00	1,25	8,04	203,25	0,06	0,02	1,54	
Período Chuvoso (PC)																						
Período Estiagem (PE)																						
Mediana sem outlier (PC)	0,0742	0,0190		41,20	0,025	0,18	0,78	6,06		0,42	0,26	1,46	0,17	0,22	94,00	1,50	8,28	207,00	0,0650	0,0200	1,14	
Mediana sem outlier (PE)	0,0742	0,0195		44,80	0,013	0,27	1,17	7,52		4,08	0,56	1,46	0,29	0,37	150,00	1,50	8,30	224,90	0,0495	0,0200	1,76	
Outlier		(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)																				
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.																					
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".																					
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ " ou "NH ₄ ".																					
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH".																					
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.																					

CIST03	Al (mg/L)	Ba (mg/L)	Ca (mg/L)	Ca* (mg/L)	Zn (mg/L)	NO ₃ (mg/L N)	NO ₃ ** (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Mg (mg/L)	Mg* (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	N Amoniacal (mg/L N)	NH ₄ (mg/L)	STD (mg/L)	Cl (mg/L)	pH	CE (μS/cm)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	SO ₄ (mg/L)
Data da Coleta																					
5/11/2010	0,0742	0,0070	55,4700	36,0000	0,4277	0,729	3,23	8,34	2,8700	2,8800	0,2775	1,46	0,155	0,20	156,0	3,0	7,95	264,00	0,039	0,02	1,28
7/12/2010	0,0742	0,0070	56,5600	48,0000	0,5150	0,081	0,36	7,09	2,8100	2,4000	0,2600	1,46	0,193	0,25	176,0	3,0	8,40	270,00	0,039	0,02	1,53
4/1/2011	0,0030	0,0190	32,7000	60,0000	0,0250	0,670	2,97	10,03	3,5500	0,0000	0,2520	1,46	0,118	0,15	216,0	2,0	8,01	267,30	0,040	0,02	1,35
1/2/2011	0,0742	0,0140	20,4400	32,0000	0,1300	0,95	4,21	9,32	1,1300	4,8000	0,2520	1,46	0,257	0,33	192,0	1,5	8,42	263,40	0,039	0,02	1,06
1/3/2011	0,0742	0,0200	2,2100	1,6000	0,0130	0,066	0,29	1,53	0,0080	11,0400	0,2520	1,46	0,102	0,13	12,0	2,0	5,84	63,08	0,340	0,04	1,33
11/4/2011	0,0742	0,0440	0,0440	52,0000	0,1070	0,240	1,06	8,60	2,5100	9,1200	0,2520	1,46	0,098	0,13	28,0	4,5	8,53	263,40	0,170	0,04	0,880
2/5/2011	0,0742	0,0220	51,2600	44,0000	0,2220	0,300	1,33	10,20	2,6700	9,6000	0,2520	1,46	0,227	0,29	156,0	3,0	8,48	264,60	0,040	0,02	0,820
7/6/2011	0,0742	0,0170	59,3000	60,0000	0,0390	0,290	1,28	8,45	2,6000	7,2000	0,3300	2,52	0,689	0,89	164,0	1,0	8,29	257,80	0,039	0,02	1,27
5/7/2011	0,0742	0,0170	49,7300	26,4000	0,3900	0,180	0,80	8,28	2,8900	13,4400	0,2810	1,46	0,134	0,17	176,0	1,0	7,90	255,40	0,039	0,02	0,760
2/8/2011	0,0742	0,0180	49,3000	64,0000	0,2510	0,240	1,06	9,02	2,8300	9,6000	0,2660	1,46	0,107	0,14	84,0	5,0	7,80	250,00	0,039	0,02	1,41
14/9/2011	0,0742	0,1892	44,7600	57,6000	0,0130	0,159	0,70	8,55	2,5000	0,9600	0,2536	1,46	0,388	0,50	88,0	1,5	8,45	151,00	0,039	0,02	0,035
4/10/2011	0,0742	0,0190	44,6800	53,6000	0,0130	0,404	1,79	6,32	2,4600	4,8000	0,2710	1,46	0,18	0,23	152,0	0,5	8,11	270,40	0,039	0,03	0,035
Mediana	0,0742	0,0185		50,00	0,1185	0,27	1,17	8,50		6,00	0,26	1,46	0,168	0,22	156,00	2,00	8,20	263,40	0,04	0,02	1,17
1° Quartil	0,0742	0,01625		35,00	0,0220	0,17	0,77	7,98		2,76	0,25	1,46	0,115	0,15	87,00	1,38	7,94	254,05	0,04	0,02	0,81
3° Quartil	0,0742	0,0205		58,20	0,2858	0,47	2,08	9,10		9,60	0,27	1,46	0,235	0,30	176,00	3,00	8,43	265,28	0,04	0,02	1,34
D. Padrão (DP)	0,0206	0,0501		18,04	0,1809	0,28	1,24	2,30		4,30	0,02	0,32	0,169	0,22	65,04	1,40	0,73	63,67	0,09	0,01	0,50
Mediana + 1,5DP	0,1050	0,0937		77,06	0,3898	0,68	3,03	11,95		12,45	0,29	1,94	0,422	0,54	253,57	4,11	9,29	358,90	0,18	0,03	1,92
Mediana - 1,5DP	0,0434	-0,0567		22,94	0,1528	-0,15	-0,68	5,05		-0,45	0,22	0,98	-0,087	-0,11	58,43	-0,11	7,11	167,90	-0,10	0,01	0,41
Mediana sem outlier	0,0742	0,0190		52,80	0,1300	0,27	1,17	8,45		4,80	0,26	1,46	0,157	0,20	154,00	2,00	8,06	260,90	0,04	0,02	1,27
Período Chuvoso (PC)																					
Período Estiagem (PE)																					
Mediana sem outlier (PC)	0,0742	0,0190		50,80	0,025	0,40	1,79	7,72		2,64	0,26	1,46	0,17	0,22	156,00	2,50	8,11	265,35	0,0390	0,0200	1,31
Mediana sem outlier (PE)	0,0742	0,0200		54,80	0,165	0,24	1,06	8,60		9,36	0,27	1,46	0,25	0,32	122,00	1,50	8,37	256,60	0,0390	0,0200	0,85
Outlier	(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)																				
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.																				
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".																				
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ " ou "NH ₄ ⁺ ".																				
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ²⁻ " ou "OH ⁻ ".																				
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.																				

CIST03	Alc.Bic. (mg/LCaCO ₃)	HCO ₃ (mg/L)	Alc.Carb. (mg/LCaCO ₃)	CO ₃ (mg/L)	Alc.Hidr. (mg/LCaCO ₃)	OH (mg/L)	Alc.Total (mg/LCaCO ₃)	Dureza Ca (mg/LCaCO ₃)	Dureza Total (mg/LCaCO ₃)	CIST03	Σ Cátions	Σ Ânions	Erro Balanço Iônico (%)	CE/100	% Erro Máximo Aceitável	
										Data da Coleta						
	5/11/2010	150,00	183,00	0	0	ND	ND	150,00	90,00	102,00	5/11/2010	2,10	-3,12	-19,39	2,64	14,22
	7/12/2010	163,00	198,86	0	0	ND	ND	167,00	120,00	130,00	7/12/2010	2,66	-3,42	-12,49	2,70	14,07
	4/1/2011	146,00	178,12	0	0	ND	ND	146,00	150,00	150,00	4/1/2011	3,06	-3,07	-0,12	2,67	14,14
	1/2/2011	150,00	183,00	0	0	ND	ND	150,00	80,00	100,00	1/2/2011	2,06	-3,07	-19,62	2,63	14,24
	1/3/2011	8,00	9,76	0	0	ND	ND	8,00	4,00	50,00	1/3/2011	1,06	-0,26	60,40	0,63	23,91
	11/4/2011	255,00	311,10	0	0	ND	ND	261,00	130,00	168,00	11/4/2011	3,42	-5,27	-21,31	2,63	14,24
	2/5/2011	225,00	274,50	14	8,4	ND	ND	225,00	110,00	150,00	2/5/2011	3,06	-4,62	-20,39	2,65	14,21
	7/6/2011	162,00	197,64	0	0	ND	ND	162,00	150,00	180,00	7/6/2011	3,70	-3,31	5,68	2,58	14,38
	5/7/2011	150,00	183,00	0	0	ND	ND	150,00	66,00	122,00	5/7/2011	2,49	-3,06	-10,20	2,55	14,44
	2/8/2011	150,00	183,00	0	0	ND	ND	150,00	160,00	200,00	2/8/2011	4,05	-3,18	12,07	2,50	14,59
	14/9/2011	142,00	173,24	0	0	ND	ND	150,00	144,00	148,00	14/9/2011	3,02	-2,91	1,89	1,51	18,00
	4/10/2011	151,00	184,22	0	0	ND	ND	151,00	134,00	154,00	4/10/2011	3,14	-3,05	1,41	2,70	14,06
Mediana	150,00	183,00	0,00	0,00				150,00	125,00	149,00	Mediana	3,06	-3,10	-0,65	2,63	14,24
1º Quartil	149,00	181,78	0,00	0,00				150,00	87,50	117,00	Mediana sem outlier	3,10	-3,10	-0,02	2,61	14,30
3º Quartil	162,25	197,95	0,00	0,00				163,25	145,50	157,50	Período Chuvoso (PC)					
D. Padrão (DP)	57,98	70,74	4,04	2,42				58,89	45,10	40,40	Período Estiagem (PE)					
Mediana + 1,5DP	236,97	289,11	6,06	3,64				238,34	192,65	209,60	Mediana sem outlier (PC)	2,82	-3,13	-5,11	2,65	14,19
Mediana - 1,5DP	63,03	76,89	-6,06	-3,64				61,66	57,35	88,40	Mediana sem outlier (PE)	3,57	-3,08	7,50	2,57	14,41
Mediana sem outlier	150,00	183,00	0,00	0,00				150,00	132,00	149,00						
Período Chuvoso (PC)																
Período Estiagem (PE)																
Mediana sem outlier (PC)	150,00	183,00	0,00	0,00				150,00	127,00	140,00						
Mediana sem outlier (PE)	150,00	183,00	0,00	0,00				150,00	137,00	168,00						
Outlier		(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)														
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.															
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".															
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ ⁻ " ou "NH ₄ ⁺ ".															
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH ⁻ ".															
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.															

NASC01	Al (mg/L)	Ba (mg/L)	Ca (mg/L)	Ca* (mg/L)	Zn (mg/L)	NO ₃ (mg/L N)	NO ₃ ** (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Mg (mg/L)	Mg* (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	N Amoniacal (mg/L N)	NH ₄ (mg/L)	STD (mg/L)	Cl (mg/L)	pH	CE (µS/cm)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	SO ₄ (mg/L)
Data da Coleta																					
18/11/2010	0,0876	0,0070	27,8700	6,4000	0,0282	0,109	0,48	6,58	0,9490	1,4400	0,2520	1,46	0,256	0,33	32,0	1,5	6,35	25,15	0,060	0,02	1,76
22/12/2010	0,0742	0,0070	4,4600	5,6000	0,5700	0,066	0,29	4,85	0,2400	2,4000	0,2520	4,40	0,042	0,05	26,0	2,0	5,92	26,66	0,039	0,02	1,12
18/1/2011	0,1100	0,0020	1,9400	3,2000	0,0080	0,123	0,54	3,33	0,2690	0,4800	0,2520	1,46	0,027	0,03	48,0	2,0	6,93	19,00	0,050	0,02	1,04
16/2/2011	0,0742	0,0160	2,5800	4,0000	0,0220	0,066	0,29	6,10	0,1500	2,4000	0,2520	1,46	0,301	0,39	36,0	2,5	7,30	20,56	0,039	0,02	1,52
6/4/2011	0,0742	0,0150	2,6700	4,0000	0,1520	0,454	2,01	0,06	0,2000	0,9600	0,2520	1,46	0,290	0,37	68,0	1,0	6,15	20,03	0,050	0,02	1,07
27/4/2011	0,0742	0,0180	3,5000	4,8000	0,0200	0,130	0,58	5,30	0,1800	2,4000	0,2520	1,46	0,046	0,06	44,0	3,0	6,29	35,10	0,190	0,02	0,80
1/6/2011	0,0742	0,0180	28,3600	34,4000	0,0130	0,140	0,62	7,50	0,0080	3,3600	0,2520	1,46	0,226	0,29	108,0	3,5	8,08	164,40	0,039	0,02	1,46
21/6/2011	0,0742	0,0190	3,8100	4,8000	0,4300	0,084	0,37	1,85	0,2100	0,4800	0,2520	1,46	0,401	0,52	20,0	3,0	5,75	24,21	0,058	0,02	2,49
26/7/2011	0,0742	0,0120	6,3600	9,6000	0,0130	0,150	0,66	4,11	0,7460	3,3600	0,2520	1,46	0,163	0,21	16,0	3,0	7,60	47,00	0,039	0,02	0,81
17/8/2011	0,0742	0,0070	0,1906	39,2000	0,0130	0,066	0,29	7,78	0,0080	0,4800	0,2520	1,46	0,214	0,28	92,0	2,0	8,20	180,00	0,040	0,02	1,39
27/9/2011	4,3800	0,0070	0,2580	0,4000	0,0130	0,601	2,66	1,44	0,0080	0,7200	0,2520	1,46	0,548	0,70	24,0	1,0	6,41	10,00	0,530	0,03	1,33
25/10/2011	0,0742	0,0184	4,2000	7,2000	0,2525	0,419	1,86	6,54	0,2720	2,4000	0,4300	1,46	0,0011	0,00	78,0	1,5	6,26	29,00	0,300	0,02	1,40
Mediana	0,0742	0,0135		5,20	0,0210	0,13	0,56	5,08		1,92	0,25	1,46	0,22	0,28	40,00	2,00	6,38	25,91	0,050	0,02	1,36
1° Quartil	0,0742	0,007		4,00	0,0130	0,08	0,35	2,96		0,66	0,25	1,46	0,05	0,06	25,50	1,50	6,23	20,43	0,039	0,02	1,06
3° Quartil	0,07755	0,0180		7,80	0,1771	0,22	0,96	6,55		2,40	0,25	1,46	0,29	0,38	70,50	3,00	7,38	38,08	0,09	0,02	1,48
D. Padrão (DP)	1,2417	0,0059		12,62	0,1914	0,18	0,81	2,51		1,11	0,05	0,85	0,17	0,21	30,30	0,83	0,84	57,85	0,15	0,00	0,46
Mediana + 1,5DP	1,9368	0,0224		24,13	0,3080	0,40	1,77	8,83		3,58	0,33	2,73	0,47	0,60	85,45	3,25	7,64	112,68	0,28	0,02	2,05
Mediana - 1,5DP	-1,7884	0,0046		-13,73	-0,2660	-0,15	-0,65	1,32		0,26	0,17	0,19	-0,03	-0,04	-5,45	0,75	5,12	-60,87	-0,18	0,02	0,67
Mediana sem outlier	0,0742	0,0135		4,80	0,0165	0,11	0,48	5,30		1,92	0,25	1,46	0,22	0,28	34,00	2,00	6,32	24,68	0,045	0,02	1,33
Período Chuvoso (PC)																					
Período Estiagem (PE)																					
Mediana sem outlier (PC)	0,0742	0,0150		6,00	0,028	0,12	0,51	5,48		1,92	0,25	1,46	0,15	0,19	34,00	1,50	6,31	25,15	0,0500	0,0200	1,12
Mediana sem outlier (PE)	0,0742	0,0150		7,20	0,013	0,13	0,58	5,30		0,72	0,25	1,46	0,22	0,28	34,00	3,00	7,01	41,05	0,0580	0,0200	1,36
Outlier		(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)																			
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.																				
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".																				
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ " ou "NH ₄ ".																				
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH".																				
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.																				

NASC01	Alc.Bic. (mg/LCaCO ₃)	HCO ₃ (mg/L)	Alc.Carb. (mg/LCaCO ₃)	CO ₃ (mg/L)	Alc.Hidr. (mg/LCaCO ₃)	OH (mg/L)	Alc.Total (mg/LCaCO ₃)	Dureza Ca (mg/LCaCO ₃)	Dureza Total (mg/LCaCO ₃)	NASC01	Σ Cátions	Σ Ânions	Erro Balanço Iônico (%)	CE/100	% Erro Máximo Aceitável
										Data da Coleta					
	14,00	17,08	0,00	0,00	ND	ND	14,00	16,00	22,00	18/11/2010	0,51	-0,36	16,55	0,2515	30,13
	15,00	18,30	0,00	0,00	ND	ND	15,00	14,00	24,00	22/12/2010	0,67	-0,39	26,93	0,2666	29,73
	18,00	21,96	0,00	0,00	ND	ND	18,00	8,00	10,00	18/1/2011	0,27	-0,44	-24,38	0,1900	32,02
	12,00	14,64	0,00	0,00	ND	ND	12,00	10,00	20,00	16/2/2011	0,47	-0,37	10,99	0,2056	31,49
	9,60	11,71	0,00	0,00	ND	ND	9,60	10,00	14,00	6/4/2011	0,35	-0,25	16,13	0,2003	31,67
	25,00	30,50	0,00	0,00	ND	ND	25,00	12,00	22,00	27/4/2011	0,51	-0,61	-9,32	0,3510	27,87
	150,00	183,00	0,00	0,00	ND	ND	150,00	86,00	100,00	1/6/2011	2,06	-3,13	-20,61	1,6440	17,43
	13,00	15,86	0,00	0,00	ND	ND	13,00	12,00	14,00	21/6/2011	0,35	-0,41	-7,69	0,2421	30,38
	25,00	30,50	0,00	0,00	ND	ND	25,00	24,00	38,00	26/7/2011	0,83	-0,61	15,33	0,4700	25,90
	93,00	113,46	0,00	0,00	ND	ND	93,00	98,00	100,00	17/8/2011	2,07	-1,99	1,92	1,8000	16,81
	3,00	3,66	0,00	0,00	ND	ND	3,00	1,00	4,00	27/9/2011	0,15	-0,15	1,13	0,1000	36,37
	14,00	17,08	0,00	0,00	ND	ND	14,00	18,00	28,00	25/10/2011	0,63	-0,36	27,31	0,2900	29,16
Mediana	14,50	17,69	0,00	0,00			14,50	13,00	22,00	Mediana	0,49	-0,38	11,91	0,2591	29,93
1° Quartil	12,75	6,71	0,00	0,00			4,50	10,00	14,00	Mediana sem outlier	0,47	-0,37	11,39	0,2468	30,25
3° Quartil	25,00	12,20	0,00	0,00			10,00	19,50	30,50	Período Chuvoso (PC)					
D. Padrão (DP)	43,67	55,79	0,00	0,00			43,67	31,55	32,49	Período Estiagem (PE)					
Mediana + 1,5DP	80,00	101,37	0,00	0,00			80,00	60,32	70,74	Mediana sem outlier (PC)	0,53	-0,35	19,69	0,2515	30,13
Mediana - 1,5DP	-51,00	-65,99	0,00	0,00			-51,00	-34,32	-26,74	Mediana sem outlier (PE)	0,49	-0,62	-12,03	0,4105	26,81
Mediana sem outlier	14,00	17,08	0,00	0,00			14,00	12,00	21,00						
Período Chuvoso (PC)															
Período Estiagem (PE)															
Mediana sem outlier (PC)	14,00	17,08	0,00	0,00			14,00	15,00	23,00						
Mediana sem outlier (PE)	25,00	30,50	0,00	0,00			25,00	18,00	22,00						
Outlier		(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)													
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.														
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".														
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ ⁻ " ou "NH ₄ ⁺ ".														
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH ⁻ ".														
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.														

TUBE01	Al (mg/L)	Ba (mg/L)	Ca (mg/L)	Ca* (mg/L)	Zn (mg/L)	NO ₃ (mg/L N)	NO ₃ ** (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Mg (mg/L)	Mg* (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	N Amoniacal (mg/L N)	NH ₄ (mg/L)	STD (mg/L)	Cl (mg/L)	pH	CE (μS/cm)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	SO ₄ (mg/L)																		
Data da Coleta																																							
18/11/2010	0,1231	0,0209	65,2000	26,4000	0,0330	0,603	2,67	5,94	0,2744	12,9600	0,3470	1,76	0,309	0,40	220,0	2,0	8,06	335,00	0,160	0,03	2,81																		
22/12/2010	0,0742	0,0180	68,0800	4,8000	0,0130	0,066	0,29	10,85	8,2600	15,3600	0,3900	1,73	0,174	0,22	84,0	2,0	7,64	349,00	0,039	0,02	1,99																		
18/1/2011	0,0760	0,0400	35,7000	36,0000	0,0510	1,060	4,69	3,51	0,5510	29,7600	0,2520	1,70	0,214	0,28	236,0	1,0	8,22	349,00	0,040	0,02	4,32																		
16/2/2011	0,0980	0,0270	49,4800	43,2000	0,1200	1,190	5,27	11,11	7,4400	6,2400	0,6600	1,81	0,139	0,18	204,0	2,5	8,61	339,00	0,039	0,02	1,89																		
6/4/2011	0,0742	0,0560	55,2200	52,0000	0,0420	1,080	4,78	0,06	8,2100	4,8000	0,4400	1,86	0,240	0,31	208,0	2,5	7,67	341,00	0,039	0,02	1,89																		
27/4/2011	0,0742	0,0280	55,5500	57,6000	0,0810	0,230	1,02	12,10	8,3000	10,0800	0,5400	1,88	0,299	0,38	172,0	2,0	7,60	334,00	0,039	0,02	2,37																		
1/6/2011	0,0742	0,0260	58,9400	64,0000	0,0130	0,140	0,62	11,50	8,8600	9,6000	0,3400	1,80	0,319	0,41	208,0	2,0	8,43	399,00	0,039	0,02	2,17																		
21/6/2011	0,0742	0,0280	56,9600	43,2000	0,0130	0,108	0,48	4,42	8,5200	7,2000	0,6700	2,05	0,496	0,64	214,0	1,0	7,54	332,00	0,039	0,02	2,06																		
26/7/2011	0,0742	0,0270	47,6700	61,6000	0,0130	0,140	0,62	11,18	7,1000	12,0000	0,3100	1,46	0,259	0,33	216,0	6,5	8,60	340,00	0,039	0,02	2,15																		
17/8/2011	0,0742	0,0070	0,1906	34,4000	0,0130	0,184	0,81	10,72	0,0080	18,7200	0,2520	1,46	0,260	0,33	184,0	3,0	8,30	330,00	0,039	0,02	1,64																		
27/9/2011	3,5300	0,0070	21,4200	0,4000	0,0130	2,150	9,52	5,03	1,8500	3,6000	0,3660	1,46	0,277	0,36	48,0	0,1	6,90	28,00	0,510	0,09	5,33																		
25/10/2011	0,0742	0,0129	55,5700	26,4000	0,0130	3,150	13,95	10,12	8,1900	9,1200	0,3720	1,71	0,161	0,21	204,0	0,5	7,92	348,00	0,039	0,02	0,88																		
Mediana	0,0742	0,0265		39,60	0,0130	0,42	1,84	10,42		9,84	0,37	1,75	0,26	0,33	206,00	2,00	7,99	339,50	0,039	0,02	2,11																		
1º Quartil	0,0742	0,01673		26,40	0,0130	0,14	0,62	4,88		6,96	0,33	1,64	0,20	0,26	181,00	1,00	7,63	333,50	0,039	0,02	1,89																		
3º Quartil	0,0815	0,0280		53,40	0,0443	1,11	4,90	11,13		13,56	0,47	1,82	0,30	0,39	214,50	2,50	8,33	348,25	0,04	0,02	2,48																		
D. Padrão (DP)	0,9958	0,0137		20,60	0,0344	0,97	4,28	4,02		7,18	0,14	0,18	0,09	0,12	57,61	1,64	0,51	93,33	0,14	0,02	1,21																		
Mediana + 1,5DP	1,5678	0,0471		70,49	0,0646	1,86	8,26	16,45		20,61	0,58	2,02	0,40	0,52	292,41	4,46	8,76	479,50	0,24	0,05	3,93																		
Mediana - 1,5DP	-1,4194	0,0059		8,71	0,0386	-1,03	-4,57	4,39		-0,93	0,16	1,47	0,12	0,15	119,59	-0,46	7,22	199,50	-0,17	-0,01	0,28																		
Mediana sem outlier	0,0742	0,0260		43,20	0,0130	0,21	0,92	10,79		9,60	0,36	1,73	0,26	0,33	208,00	2,00	8,06	340,00	0,039	0,02	2,03																		
Período Chuvoso (PC)																																							
Período Estiagem (PE)																																							
Mediana sem outlier (PC)	0,0760	0,0209		26,40	0,042	1,07	4,74	8,03		11,04	0,39	1,75	0,19	0,25	212,00	2,00	7,99	348,00	0,0390	0,0200	1,99																		
Mediana sem outlier (PE)	0,0742	0,0265		50,40	0,013	0,18	0,81	11,18		10,08	0,35	1,63	0,29	0,37	196,00	2,00	7,95	333,00	0,0390	0,0200	2,16																		
Outlier				(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)																																			
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.																																						
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".																																						
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ ⁻ " ou "NH ₄ ⁺ ".																																						
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH ⁻ ".																																						
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.																																						

TUBE01	Alc.Bic. (mg/LCaCO ₃)	HCO ₃ (mg/L)	Alc.Carb. (mg/LCaCO ₃)	CO ₃ (mg/L)	Alc.Hidr. (mg/LCaCO ₃)	OH (mg/L)	Alc.Total (mg/LCaCO ₃)	Dureza Ca (mg/LCaCO ₃)	Dureza Total (mg/LCaCO ₃)	TUBE01	Σ Cátions	Σ Ânions	Erro Balanço Iônico (%)	CE/100	% Erro Máximo Aceitável
										Data da Coleta					
18/11/2010	160,00	195,20	0,00	0,00	ND	ND	160,00	66,00	120,00	18/11/2010	2,47	-3,32	-14,68	3,3500	12,61
22/12/2010	190,00	231,80	0,00	0,00	ND	ND	190,00	12,00	76,00	22/12/2010	1,59	-3,97	-42,87	3,4900	12,33
18/1/2011	109,00	132,98	0,00	0,00	ND	ND	109,00	90,00	214,00	18/1/2011	4,33	-2,38	28,96	3,4900	12,33
16/2/2011	188,00	229,36	0,00	0,00	ND	ND	198,00	108,00	134,00	16/2/2011	2,76	-3,95	-17,60	3,3900	12,53
6/4/2011	193,00	235,46	0,00	0,00	ND	ND	193,00	130,00	150,00	6/4/2011	3,08	-3,99	-12,78	3,4100	12,49
27/4/2011	205,00	250,10	0,00	0,00	ND	ND	205,00	144,00	186,00	27/4/2011	3,80	-4,21	-5,18	3,3400	12,63
1/6/2011	380,00	463,60	0,00	0,00	ND	ND	398,00	160,00	200,00	1/6/2011	4,07	-7,71	-30,88	3,9900	11,43
21/6/2011	220,00	268,40	0,00	0,00	ND	ND	220,00	108,00	138,00	21/6/2011	2,85	-4,48	-22,16	3,3200	12,67
26/7/2011	185,00	225,70	0,00	0,00	ND	ND	185,00	154,00	204,00	26/7/2011	4,13	-3,94	2,38	3,4000	12,51
17/8/2011	202,00	246,44	0,00	0,00	ND	ND	202,00	86,00	164,00	17/8/2011	3,33	-4,31	-12,89	3,3000	12,71
27/9/2011	6,00	7,32	0,00	0,00	ND	ND	6,00	1,00	16,00	27/9/2011	0,39	-0,46	-8,23	0,2800	29,40
25/10/2011	224,00	273,28	0,00	0,00	ND	ND	224,00	66,00	104,00	25/10/2011	2,15	-4,54	-35,70	3,4800	12,35
Mediana	191,50	233,63	0,00	0,00			195,50	99,00	144,00	Mediana	2,87	-3,96	-15,93	3,3950	12,52
1º Quartil	178,75	6,71	0,00	0,00			4,50	66,00	116,00	Mediana sem outlier	3,03	-3,94	-13,08	3,4000	12,51
3º Quartil	208,75	12,20	0,00	0,00			10,00	133,50	189,50	Período Chuvoso (PC)					
D. Padrão (DP)	85,20	109,01	0,00	0,00			88,98	51,49	58,09	Período Estiagem (PE)					
Mediana + 1,5DP	319,30	397,15	0,00	0,00			328,97	176,24	231,13	Mediana sem outlier (PC)	2,31	-3,93	-25,97	3,4800	12,35
Mediana - 1,5DP	63,70	70,11	0,00	0,00			62,03	21,76	56,87	Mediana sem outlier (PE)	3,42	-4,18	-9,98	3,3300	12,65
Mediana sem outlier	191,50	233,63	0,00	0,00			195,50	108,00	150,00						
Período Chuvoso (PC)															
Período Estiagem (PE)															
Mediana sem outlier (PC)	188,00	229,36	0,00	0,00			190,00	66,00	112,00						
Mediana sem outlier (PE)	203,50	248,27	0,00	0,00			203,50	126,00	164,00						
Outlier		(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)													
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.														
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".														
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ ⁻ " ou "NH ₄ ⁺ ".														
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH ⁻ ".														
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.														

TUBE02	Al (mg/L)	Ba (mg/L)	Ca (mg/L)	Ca* (mg/L)	Zn (mg/L)	NO ₃ (mg/L N)	NO ₃ ** (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Mg (mg/L)	Mg* (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	N Amoniacal (mg/L N)	NH ₄ (mg/L)	STD (mg/L)	Cl (mg/L)	pH	CE (μS/cm)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	SO ₄ (mg/L)
Data da Coleta																					
5/11/2010	0,0742	0,0070	50,6300	48,8000	0,0130	0,156	0,69	7,84	4,0500	2,4000	0,3278	1,46	0,144	0,19	184,0	2,5	8,05	245,50	0,060	0,02	1,12
7/12/2010	0,0742	0,0070	58,9200	32,0000	0,2080	0,066	0,29	8,60	4,7000	1,4400	0,3900	1,46	0,031	0,04	156,0	2,5	7,88	251,10	0,660	0,02	2,65
4/1/2011	0,0300	0,0200	32,8000	20,0000	0,0250	0,066	0,29	5,01	3,5200	2,4000	0,2520	1,00	0,232	0,30	186,0	3,0	6,53	100,90	0,039	0,02	1,89
1/2/2011	0,0742	0,0130	20,2000	44,0000	0,0190	1,83	8,10	8,98	1,6500	4,8000	0,2520	1,46	0,255	0,33	168,0	4,0	8,48	236,40	0,039	0,02	1,02
1/3/2011	0,0742	0,0190	39,4400	44,0000	0,0180	0,066	0,29	5,35	3,7300	9,6000	0,4100	1,46	0,264	0,34	100,0	2,5	8,22	223,50	0,039	0,02	0,00
11/4/2011	0,0742	0,0110	34,2800	40,0000	0,0130	0,066	0,29	6,90	3,1700	9,6000	0,2520	1,46	0,521	0,67	136,0	3,0	8,45	202,20	0,070	0,02	2,12
2/5/2011	0,0742	0,0160	43,4200	44,0000	0,0180	0,066	0,29	8,22	4,0400	8,6400	0,3000	1,46	0,151	0,19	144,0	0,5	8,37	240,20	0,039	0,02	1,19
7/6/2011	0,0742	0,0175	43,8900	56,0000	0,0140	0,110	0,49	9,83	3,9900	1,4400	0,3000	1,46	0,201	0,26	152,0	2,0	8,49	235,80	0,039	0,02	1,77
5/7/2011	0,0742	0,0150	43,7700	40,0000	0,0130	0,290	1,28	5,55	4,0100	12,0000	0,3200	1,46	0,220	0,28	144,0	1,5	8,00	236,70	0,039	0,02	1,39
2/8/2011	0,0742	0,0150	46,0700	44,0000	0,0130	0,113	0,50	7,85	4,0500	8,1600	0,2970	1,46	0,249	0,32	140,0	5,0	8,20	220,00	0,070	0,02	0,96
14/9/2011	0,0742	0,0160	45,8900	52,8000	0,0140	0,210	0,93	10,25	4,1300	9,1200	0,2520	1,46	0,221	0,28	136,0	2,0	8,60	241,20	0,039	0,02	1,64
4/10/2011	0,6938	0,0160	39,5500	47,2000	0,0130	0,478	2,12	12,12	3,6900	4,8000	0,2720	1,46	0,360	0,46	156,0	0,5	8,44	256,00	0,039	0,02	0,35
Mediana	0,0742	0,0155		44,00	0,0140	0,11	0,49	8,04		6,48	0,30	1,46	0,227	0,29	148,00	2,50	8,30	236,55	0,04	0,02	1,29
1º Quartil	0,0742	0,0125		40,00	0,0130	0,07	0,29	6,56		2,40	0,25	1,46	0,189	0,24	139,00	1,88	8,04	222,63	0,04	0,02	1,01
3º Quartil	0,0742	0,0164		47,60	0,0183	0,23	1,02	9,19		9,24	0,32	1,46	0,257	0,33	159,00	3,00	8,46	242,28	0,06	0,02	1,80
D. Padrão (DP)	0,1805	0,0042		9,47	0,0556	0,50	2,21	2,13		3,73	0,05	0,14	0,120	0,15	23,19	1,29	0,55	41,43	0,18	0,00	0,74
Mediana + 1,5DP	0,3449	0,0218		58,21	0,0974	0,86	3,81	11,23		12,08	0,38	1,67	0,406	0,52	182,79	4,44	9,13	298,69	0,31	0,02	2,40
Mediana - 1,5DP	-0,1965	0,0092		29,79	-0,0694	-0,64	-2,83	4,84		0,88	0,22	1,25	0,047	0,06	113,21	0,56	7,46	174,41	-0,23	0,02	0,18
Mediana sem outlier	0,0742	0,0160		44,00	0,0130	0,11	0,49	7,85		4,80	0,30	1,46	0,227	0,29	144,00	2,25	8,21	238,45	0,04	0,02	1,39
Período Chuvoso (PC)																					
Período Estiagem (PE)																					
Mediana sem outlier (PC)	0,0742	0,0145		44,00	0,018	0,07	0,29	7,84		3,60	0,26	1,46	0,26	0,33	156,00	2,50	8,22	245,50	0,0390	0,0200	1,07
Mediana sem outlier (PE)	0,0742	0,0155		44,00	0,014	0,11	0,49	8,04		8,88	0,30	1,46	0,22	0,28	142,00	2,00	8,41	236,25	0,0390	1,5150	1,52
Outlier	(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)																				
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.																				
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".																				
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ ⁻ " ou "NH ₄ ⁺ ".																				
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH ⁻ ".																				
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.																				

TUBE04	Al (mg/L)	Ba (mg/L)	Ca (mg/L)	Ca* (mg/L)	Zn (mg/L)	NO ₃ (mg/L N)	NO ₃ ** (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Mg (mg/L)	Mg* (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	N Amoniacal (mg/L N)	NH ₄ (mg/L)	STD (mg/L)	Cl (mg/L)	pH	CE (µS/cm)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	SO ₄ (mg/L)
Data da Coleta																					
5/11/2010	0,0742	0,0070	56,5200	44,0000	0,0130	0,649	2,87	6,13	2,8700	4,8000	0,2825	1,46	0,193	0,25	144,0	2,5	7,74	262,20	0,039	0,02	0,61
7/12/2010	0,0742	0,0070	57,3000	46,4000	0,0137	0,066	0,29	4,06	2,8800	0,9600	0,2600	1,46	0,240	0,31	160,0	3,5	8,25	268,00	0,039	0,02	1,67
4/1/2011	0,0030	0,0240	1,3500	56,0000	0,0290	0,790	3,50	9,47	0,3260	2,4000	0,2520	1,46	0,190	0,24	178,0	4,0	8,05	262,60	0,039	0,34	0,94
1/2/2011	0,0742	0,0140	5,1800	20,0000	0,0130	2,48	10,98	4,11	0,3500	7,2000	0,2520	1,46	0,108	0,14	76,0	2,5	7,40	80,60	0,039	0,05	2,09
1/3/2011	0,0742	0,0160	13,4400	20,0000	0,0130	0,189	0,84	3,55	0,0080	0,9600	0,2520	1,46	0,192	0,25	48,0	2,0	6,63	79,30	0,039	0,02	21,20
11/4/2011	0,0742	0,0190	0,0190	46,4000	0,0130	0,180	0,80	7,60	2,5100	5,7600	0,2520	1,46	0,232	0,30	84,0	3,5	8,50	262,90	0,050	0,02	0,81
2/5/2011	0,0742	0,0290	50,7000	64,0000	0,0130	0,290	1,28	9,83	2,4700	2,4000	0,2520	1,46	0,306	0,39	152,0	2,5	8,53	260,70	0,060	0,02	0,81
7/6/2011	0,0742	0,0170	48,9900	58,4000	0,0130	0,290	1,28	9,30	2,6000	5,7600	0,3300	2,52	0,148	0,19	164,0	1,0	8,39	256,70	0,170	0,02	1,77
5/7/2011	0,0742	0,0170	49,5100	44,8000	0,0130	0,190	0,84	8,40	2,8900	4,3200	0,2850	1,46	0,036	0,05	188,0	1,5	8,00	253,80	0,040	0,02	0,79
2/8/2011	0,0742	0,0160	0,4350	28,0000	0,1470	0,170	0,75	9,46	4,0000	19,2000	0,7100	1,46	0,183	0,24	136,0	4,0	7,90	220,00	0,039	0,02	1,42
14/9/2011	0,1026	0,0189	18,1600	19,2000	0,0130	0,066	0,29	4,13	0,8490	2,8800	0,2520	1,46	0,149	0,19	20,0	1,0	8,06	273,00	0,039	0,02	0,84
4/10/2011	0,0742	0,0190	10,1500	56,0000	0,0130	0,490	2,17	4,56	1,9700	2,8800	4,5200	1,74	0,153	0,20	164,0	0,5	8,01	267,00	0,039	0,02	0,35
Mediana	0,0742	0,0170		45,60	0,0130	0,24	1,06	6,87		3,60	0,26	1,46	0,187	0,24	148,00	2,50	8,03	261,45	0,04	0,02	0,89
1º Quartil	0,0742	0,0155		26,00	0,0130	0,18	0,79	4,13		2,40	0,25	1,46	0,149	0,19	82,00	1,38	7,86	245,35	0,04	0,02	0,81
3º Quartil	0,0742	0,0190		56,00	0,0132	0,53	2,35	9,34		5,76	0,30	1,46	0,203	0,26	164,00	3,50	8,29	263,93	0,04	0,02	1,70
D. Padrão (DP)	0,0228	0,0061		16,18	0,0385	0,67	2,95	2,53		4,89	1,22	0,32	0,068	0,09	55,00	1,21	0,53	70,83	0,04	0,09	5,83
Mediana + 1,5DP	0,1084	0,0262		69,87	0,0708	1,24	5,49	10,67		10,94	2,09	1,94	0,289	0,37	230,50	4,31	8,82	367,69	0,10	0,16	9,63
Mediana - 1,5DP	0,0400	0,0078		21,33	0,0448	-0,76	-3,37	3,06		-3,74	-1,58	0,98	0,084	0,11	65,50	0,69	7,24	155,21	-0,02	-0,12	-7,85
Mediana sem outlier	0,0742	0,0170		46,40	0,0130	0,19	0,84	6,87		2,88	0,25	1,46	0,183	0,24	156,00	2,50	8,05	262,40	0,04	0,02	0,84
Período Chuvoso (PC)																					
Período Estiagem (PE)																					
Mediana sem outlier (PC)	0,0742	0,0175		51,20	0,013	0,49	2,17	4,34		2,64	0,25	1,46	0,19	0,25	160,00	2,50	8,01	264,80	0,0390	0,0200	0,94
Mediana sem outlier (PE)	0,0742	0,0170		46,40	0,013	0,19	0,82	8,85		4,32	0,27	1,46	0,15	0,19	152,00	2,00	8,23	258,70	0,0400	0,0200	0,83
Outlier		(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)																			
Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.																				
*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".																				
**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ " ou "NH ₄ ".																				
***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ", "CO ₃ ²⁻ " ou "OH".																				
OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.																				

TUBE04	Alc.Bic. (mg/LCaCO ₃)	HCO ₃ (mg/L)	Alc.Carb. (mg/LCaCO ₃)	CO ₃ (mg/L)	Alc.Hidr. (mg/LCaCO ₃)	OH (mg/L)	Alc.Total (mg/LCaCO ₃)	Dureza Ca (mg/LCaCO ₃)	Dureza Total (mg/LCaCO ₃)	TUBE04	Σ Cátions	Σ Ânions	Erro Balanço Iônico (%)	CE/100	% Erro Máximo Aceitável	
										Data da Coleta						
	5/11/2010	147,00	179,34	0,0	0,0	ND	ND	147,00	110,00	130,00	5/11/2010	2,66	-3,03	-6,43	2,62	14,27
	7/12/2010	140,00	170,80	0,0	0,0	ND	ND	140,00	116,00	120,00	7/12/2010	2,46	-2,99	-9,62	2,68	14,12
	4/1/2011	152,00	185,44	0,0	0,0	ND	ND	152,00	140,00	150,00	4/1/2011	3,06	-3,35	-4,47	2,63	14,26
	1/2/2011	35,00	42,70	0,0	0,0	ND	ND	35,00	50,00	80,00	1/2/2011	1,66	-0,83	33,49	0,81	22,25
	1/3/2011	22,00	26,84	0,0	0,0	ND	ND	22,00	50,00	54,00	1/3/2011	1,15	-0,95	9,36	0,79	22,36
	11/4/2011	150,00	183,00	5,0	3,0	ND	ND	155,00	116,00	140,00	11/4/2011	2,86	-3,14	-4,61	2,63	14,25
	2/5/2011	210,00	256,20	25,0	15,0	ND	ND	210,00	160,00	170,00	2/5/2011	3,46	-4,31	-10,89	2,61	14,31
	7/6/2011	153,00	186,66	6,0	3,6	ND	ND	159,00	146,00	170,00	7/6/2011	3,51	-3,14	5,55	2,57	14,41
	5/7/2011	154,00	187,88	0,0	0,0	ND	ND	154,00	112,00	130,00	5/7/2011	2,66	-3,15	-8,40	2,54	14,49
	2/8/2011	139,00	169,58	0,0	0,0	ND	ND	139,00	70,00	150,00	2/8/2011	3,06	-2,93	2,21	2,20	15,45
	14/9/2011	51,00	62,22	0,0	0,0	ND	ND	51,00	48,00	60,00	14/9/2011	1,26	-1,10	6,96	2,73	13,99
	4/10/2011	193,00	235,46	0,0	0,0	ND	ND	193,00	140,00	152,00	4/10/2011	3,22	-3,90	-9,48	2,67	14,14
	Mediana	148,50	181,17	0,00	0,00			149,50	114,00	135,00	Mediana	2,64	-3,08	-7,58	2,61	14,29
	1º Quartil	117,00	142,74	0,00	0,00			117,00	65,00	110,00	Mediana sem outlier	2,62	-3,14	-8,99	2,62	14,26
	3º Quartil	153,25	186,97	1,25	0,75			156,00	140,00	150,50	Período Chuvoso (PC)					
	D. Padrão (DP)	60,11	73,33	7,25	4,35			60,52	40,45	40,02	Período Estiagem (PE)					
	Mediana + 1,5DP	238,66	291,17	10,87	6,52			240,29	174,67	195,03	Mediana sem outlier (PC)	2,84	-3,11	-4,57	2,65	14,20
	Mediana - 1,5DP	58,34	71,17	-10,87	-6,52			58,71	53,33	74,97	Mediana sem outlier (PE)	2,74	-3,15	-6,87	2,59	14,36
	Mediana sem outlier	152,00	185,44	0,00	0,00			154,00	116,00	145,00						
	Período Chuvoso (PC)															
	Período Estiagem (PE)															
	Mediana sem outlier (PC)	149,50	182,39	0,00	0,00			149,50	128,00	130,00						
	Mediana sem outlier (PE)	153,00	186,66	0,00	0,00			155,00	116,00	150,00						
	Outlier	(> Mediana + 1,5DP ou < Mediana - 1,5DP)														
	Valor vermelho	O número em vermelho é igual a "< LD" e ND = Não detectado.														
	*	Valor de "Ca" calculado a partir do parâmetro "Dureza Ca" e "Mg" a partir da equação "Dureza total - Dureza Ca".														
	**	Valor convertido de mg/L de N para mg/L de "NO ₃ ⁻ " ou "NH ₄ ⁺ ".														
	***	Valor convertido de mg/L de CaCO ₃ para mg/L de "HCO ₃ ⁻ ", "CO ₃ ⁻² " ou "OH ⁻ ".														
	OBSERVAÇÕES:	Nas doze (12) amostras: As < 0.003; Cd < 0.001; Pb < 0.003; Cu < 0.0066; Cr < 0.0183; Hg < 0.0002; Se < 0.0002; NO ₂ < 0.0310; Fluoreto < 0.09.														