

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

**DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA DE METAIS PESADOS E
OUTROS ELEMENTOS QUÍMICOS EM ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS DA BACIA DO RIO DOS SINOS, RS.**

CÁSSIO ARANOVICH DE ABREU

ORIENTADOR – Prof. Dr. Ari Roisenberg

Porto Alegre – 2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

**DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA DE METAIS PESADOS E
OUTROS ELEMENTOS QUÍMICOS EM ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS DA BACIA DO RIO DOS SINOS, RS.**

CÁSSIO ARANOVICH DE ABREU

ORIENTADOR – Prof. Dr. Ari Roisenberg

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Arthur Schmidt Nanni - UFSC

Prof. Dr. Pedro Antônio Roehe Reginatto - UFRGS

Dr. José Luiz Flores Machado - CPRM

Dissertação de Mestrado apresentada
como requisito parcial para obtenção
do Título de Mestre em Geociências.

Porto Alegre – 2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Rui Vicente Oppermann

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Abreu, Cássio Aranovich de

Distribuição geoquímica de metais pesados e outros elementos químicos em águas subterrâneas da Bacia do Rio dos Sinos, RS . / Cássio Aranovich de Abreu. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2015. [90 f.] il.

Dissertação (Mestrado).- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2015.

Orientador(es):Ari Roisenberg

1. Hidrogequímica 2. Aquíferos 3. Metais pesados 4. Bacia do Rio dos Sinos I. Título.

CDU 550.4

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Renata Cristina Grun

CRB 10/1113

Resumo

A Bacia do Rio dos Sinos tem sido alvo de diversos levantamentos no âmbito de caracterização dos recursos hídricos superficiais e controle de poluentes, com planos de coletas em pontos pré-determinados e qualificação da água. No entanto, quando o assunto remete à água subterrânea, poucas informações atualizadas têm sido publicadas, embora a presença de inúmeros poços de captação comprove a demanda por este recurso. O objetivo desta pesquisa é a caracterização hidroquímica da água subterrânea da região da Bacia do Rio dos Sinos com identificação das principais anomalias composicionais, tendo como ênfase os metais pesados, a partir da análise por ICP-MS de 70 elementos químicos e posterior modelamento estatístico com Análise Fatorial de Elementos Principais. Realizou-se a coleta de água em 39 poços distribuídos desde a nascente do Rio dos Sinos até a porção de jusante, a maior parte destes poços com dados litológicos disponibilizados nos boletins de perfuração. De 70 elementos químicos analisados, 35 situaram-se abaixo do limite de detecção, ressaltando-se entre eles o cádmio, potencial contaminante em áreas industriais, metalúrgicas e curtumes. O mercúrio está acima do limite de detecção em apenas 01 amostra. No Município de São Leopoldo estão as principais anomalias, com concentração máxima de arsênio de 43,8 ppb e de 34,0 ppb, para o chumbo. Vanádio assume concentração de até 328,0 ppb neste município, porém concentrações elevadas também são verificadas em Caraá, município situado em região de nascente sem influência de aglomerados urbanos e industriais. Cromo e níquel mantêm-se em concentrações próximas ao limite de detecção, enquanto que cobre segue o mesmo padrão, exceto na amostra com elevado teor de chumbo, onde a concentração é 365,0 ppb. A geração de *clusters* a partir da Análise Fatorial de Componentes Principais segmentou a bacia em 06 grupos, evidenciando forte influência dos folhelhos permianos da Bacia do Paraná sobre a composição da água, com predomínio de boro. Para os perfis basálticos e areníticos a segmentação se deu de forma menos eficaz, o que pode ocorrer pela mistura de águas através de sistemas de falhas.

Abstract

The Rio dos Sinos Basin has been the subject of several surveys within characterization of surface water resources and control of pollutants, with sampling plan at predetermined points and qualification of water. However, when it refers to the groundwater, little information has been published up to date, though the presence of a number of wells proves the demand for this feature. The objective of this research is to characterize the groundwater in the area of the Rio dos Sinos Basin to identify the main compositional anomalies with emphasis on heavy metals, based on analysis by ICP-MS at 70 chemical elements and subsequent statistical modeling with Factor Analysis of Key Elements. Held the collection of water samples in 39 wells distributed from the source of the Rio dos Sinos to the downstream portion, most of these with lithological data available in drilling reports. Among 70 chemical elements analyzed, 35 were below the detection limit, highlighting cadmium, potential contaminant in industrial areas, metallurgical and tanneries. Mercury is above the detection limit of only 01 sample. At the São Leopoldo municipality the main anomalies for mercury are found with a maximum concentration of 43.8 ppb, and 34.0 ppb for lead. Vanadium assumes concentration up to 328.0 ppb in this city, but high concentrations are also checked in Caraá, municipality located in east region and considered as a blank area, without influence of urban and industrial influence. Chromium and nickel remain in concentrations close to the detection limit, while covering follows the same pattern, except in well with high lead content, where concentration is 365.0 ppb. The generation of clusters from the Principal Component Factor Analysis segmented the basin in 06 groups, with strong influence of the Permian shales of the Paraná Basin on the composition of water, with a predominance of boron. For basalt and sandstone profiles segmentation occurred less effectively, which may occur by mixing water by fault systems or similar compositions not identified by the statistical method.

SUMÁRIO

Resumo.....	1
Abstract.....	2
Sobre a estrutura da dissertação.....	4
1. Introdução.....	5
1.1 Localização e vias de acesso.....	7
1.2 Objetivos.....	10
1.2.1 Objetivos específicos.....	10
1.3 Projeto.....	10
1.4 Conhecimento sobre o tema.....	11
1.4.1 Bacia do Rio dos Sinos: recursos hídricos e contaminação.....	11
1.4.2 Caracterização Geológica.....	16
1.4.3 Caracterização Hidrogeológica.....	21
1.5 Sequência metodológica.....	27
1.5.1 Levantamento bibliográfico.....	27
1.5.2 Cadastro de poços de captação.....	27
1.5.3 Seleção dos pontos de coleta.....	27
1.5.4 Amostragem de água.....	28
1.5.5 Análises químicas.....	29
1.5.6 Análise estatística.....	30
1.6 Resultados.....	31
1.7 Síntese integradora.....	51
1.8 Referências bibliográficas.....	58
2. Artigo científico.....	63

Sobre a estrutura da dissertação

Esta dissertação de mestrado segue a Norma 103/2012 do PPGGEO – UFRGS e está estruturada em torno de artigo submetido em periódico. Conseqüentemente, sua organização compreende as seguintes partes principais:

- a) Introdução sobre o tema e descrição do objetivo da pesquisa de mestrado, onde estão sumarizados os objetivos e a filosofia de pesquisa desenvolvidos, o estado da arte sobre o tema de pesquisa.
- b) Artigo submetido em periódico com corpo editorial permanente e revisores independentes, ou publicações equivalentes (capítulo de livro de publicação nacional ou internacional com corpo de revisores independentes), escritos pelo autor durante o desenvolvimento de seu Mestrado.
- c) Anexos, compreendendo: artigo(s) nos quais o pós-graduando é co-autor, resumo(s) e artigo(s) publicado(s) em evento, relacionado(s) ao tema central da dissertação, bem como documentação pertinente de natureza numérica (tabelas, cálculos), gráfica (figuras, diagramas, mapas, seções) e fotográfica que, por sua dimensão e/ou natureza não pode ser incluída no(s) artigo(s).

1. Introdução

Diversos trabalhos têm sido publicados no âmbito de caracterização e controle de poluentes para os recursos superficiais da Bacia do Rio dos Sinos, visto que o histórico de degradação e episódios catastróficos e de grande impacto como a mortandade de mais de 85 toneladas de peixes em 2006 evidenciaram o atual estado ambiental da bacia. Entretanto, poucos retratam a situação dos recursos subterrâneos, o que constitui um espaço pouco utilizado na bibliografia desta bacia.

De acordo com dados disponibilizados no endereço eletrônico da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (Fepam), órgão vinculado à Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SEMA), dentre as nove bacias hidrográficas que compõem a Região Hidrográfica do Guaíba, a Bacia do Rio dos Sinos é a que apresenta maior grau de degradação ambiental. Esta bacia é formada pelo curso do rio principal, denominado Rio dos Sinos, que se desenvolve por aproximadamente 190 km desde sua nascente localizada no Município de Caraá, até sua foz, localizada no Delta do Rio Jacuí, e tem como principais contribuintes os rios Paranhana e Rolante, além de cursos e arroios menores. Dessa forma, a bacia engloba 32 municípios com uma área total de 3.820 km², o que corresponde a 4,5% da Bacia Hidrográfica do Guaíba, e população superior a 1.346.151 habitantes (Plano Sinos, 2011). As águas subterrâneas são exploradas dos aquíferos relacionados à Formação Serra Geral, onde estão concentradas as nascentes da bacia hidrográfica e dos depósitos sedimentares da Bacia do Paraná, ressaltando-se as Formações Botucatu e Piramboia, num total de 276 poços cadastrados no SIAGAS- Sistema de Informações de Águas Subterrâneas constante na CPRM- Serviço Geológico do Brasil.

Citando trecho extraído do Comitesinos, o qual resume a situação da Bacia dos Sinos: “O modelo de ocupação da bacia hidrográfica do Rio dos Sinos/RS, ancorado em formas desorganizadas e tecnologias agressivas de ocupação e uso do solo, tem levado à contaminação crescente dos corpos hídricos e à degradação da flora e fauna original”. O crescimento da região se deu com a colonização no entorno dos recursos hídricos, onde dominava a agricultura e, a partir do século XIX surgiu o crescente núcleo de curtimento de couro, sendo que por volta de 1850 o vale dos Sinos já contava com aproximadamente 60 oficinas deste tipo, as quais alavancaram

a economia e passaram a formar o polo fabril coureiro-calçadista (Lagemann,1986), além de centros metalúrgicos e galvanoplásticos.

Com base em dados gerados pela Fepam, dentre eles o Diagnóstico da Poluição Hídrica Industrial da região Hidrográfica do Guaíba (2001), a indústria de couro representa o maior potencial poluidor na Bacia dos Sinos, o que pode ser verificado pela carga bruta de cromo gerada por tais empresas, com valores de aproximadamente 250 t/ano. Embora esse valor se reduza pelos sistemas de tratamento controlados pela SISAUTO- Sistema de Automonitoramento de Efluentes Líquidos, os elevados teores de metais pesados podem contribuir para a degradação ambiental da bacia, visto que nem todas indústrias participam do cadastro e/ou tratam seus efluentes.

Nesse âmbito foram criadas redes em consórcios de órgãos públicos, empresas privadas e universidades, os quais, dentre outras ações, realizam o monitoramento constante da qualidade ambiental das águas superficiais, a exemplo da Fepam, que segue monitorando dez pontos de amostragem desde 1990 e interpretando os parâmetros comparativamente à Resolução Conama nº 357/05 e através do IQA- Índice de Qualidade Ambiental. Entretanto, quando o assunto remete à caracterização das águas subterrâneas, não há o mesmo fluxo de informação, tampouco a criação de redes de monitoramento. Nesse quesito, alguns trabalhos utilizaram dados secundários obtidos nas bases DRH/ CORSAN/ CPRM apenas com intuito de caracterização química e classificação das águas, porém com ausência de novas coletas e correlações entre as possíveis fontes.

A presente pesquisa propõe o plano de coleta em poços selecionados para a caracterização composicional das águas explotadas nesta região e identificação dos possíveis contaminantes, a partir da análise química de elementos traços e metais pesados, associado ao modelamento estatístico.

1.1 Localização e vias de acesso

A área estudada abrange 32 municípios localizados na porção leste do Estado do Rio Grande do Sul (**Figura 1**) inseridos na Bacia do Rio dos Sinos, a qual tem as extremidades geográficas nas seguintes coordenadas:

Limite oeste: 51°17'31" W

Limite leste: 50°13'28" W

Limite sul: 29°56'00" S

Limite norte: 29°19'23" S

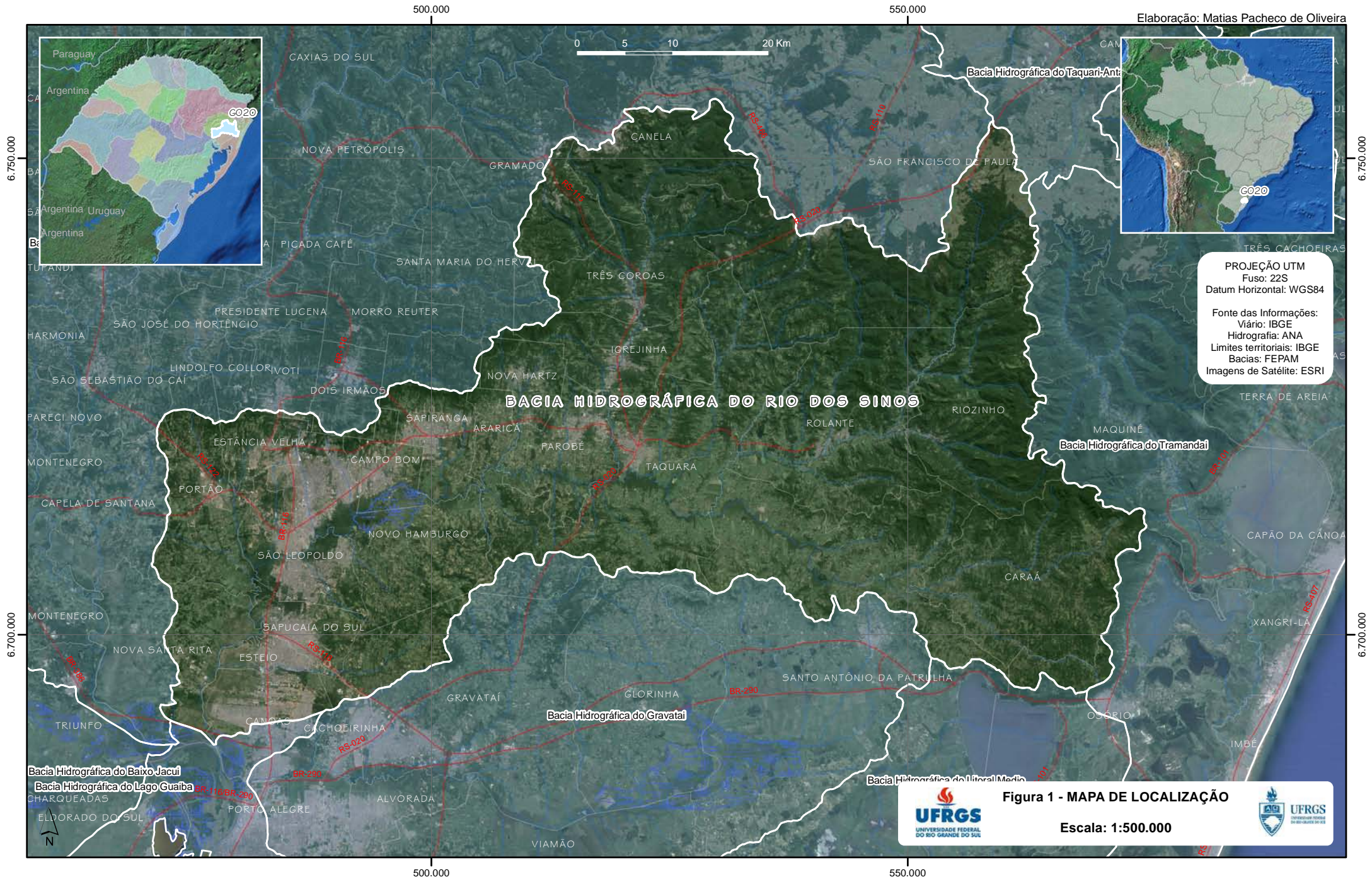
A segmentação dos municípios por macrozonas é apresentada no endereço eletrônico do Pró-Sinos- Consórcio Público de Saneamento Básico da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, conforme **Quadro 1**.

Quadro 1: Municípios inseridos na Bacia dos Sinos discriminados por macrozonas.

Macrozonas	Municípios
Parte superior do rio Terras Altas	Canela
	Caraá
	Dois Irmãos
	Gramado
	Santa Maria do Herval
	Santo Antônio da Patrulha
	São Francisco de Paula
Parte médio do rio Terras Onduladas	Araricá
	Campo Bom
	Capela de Santana
	Estância Velha
	Gravataí
	Igrejinha
	Ivoti
	Nova Hartz
	Osório
	Parobé
	Portão
	Riozinho
	Rolante
	São Sebastião do Cai
	Sapiranga
Taquara	
Três Coroas	
Parte Inferior do rio Terras Baixas	Cachoeirinha
	Canoas
	Esteio
	Glorinha
	Nova Santa Rita
	Novo Hamburgo
	Sapucaia do Sul
	São Leopoldo

Fonte: Pró-Sinos

Partindo-se de Porto Alegre, as principais rodovias que interligam os municípios são a BR-116 e RS-020. Para os municípios situados no extremo oeste, pode-se utilizar a BR-386 e RS-240. Para a porção central da bacia utiliza-se a RS-239, enquanto para norte encontram-se as rodovias RS-115 e a própria RS-020. No extremo leste, a RS-484, situada na Serra do Umbú, percorre o limite entre Bacia dos Sinos e Bacia do Rio Tramandaí.



PROJEÇÃO UTM
Fuso: 22S
Datum Horizontal: WGS84

Fonte das Informações:
Viário: IBGE
Hidrografia: ANA
Limites territoriais: IBGE
Bacias: FEPAM
Imagens de Satélite: ESRI



Figura 1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO

Escala: 1:500.000



1.2 Objetivos

Caracterização hidrogeoquímica das águas subterrâneas na região da Bacia do Rio dos Sinos com base em coletas em poços de captação selecionados e correlação entre as possíveis fontes geogênicas e/ou antropogênicas, utilizando-se de parâmetros analíticos obtidos por ICP-MS (Espectrometria de Massa com Plasma Acoplado Indutivamente), o que inclui metais pesados e elementos traços que corroboram nas interpretações.

1.2.1 Objetivos específicos

- a) Selecionar poços de captação de água subterrânea em atividade, inseridos na Bacia do Rio dos Sinos, os quais contenham o máximo de informações possíveis, como perfil litológico perfurado, profundidade, composição dos elementos químicos primários, vazão, nível dinâmico, nível estático, etc;
- b) Amostragem de água nos poços selecionados com medição dos parâmetros físico-químicos essenciais, como pH, condutividade elétrica e temperatura;
- c) Análise química por ICP-MS de conjunto compreendido por 70 elementos químicos;
- d) Modelagem estatística dos resultados analíticos obtidos, através de Análise Fatorial de Componentes Principais e formação de *clusters*.
- e) Correlação dos dados obtidos com a espacialização dos perfis litológicos dos poços captados e possíveis fontes de contaminação, buscando interpretar a origem e dispersão de tais elementos químicos nos aquíferos abrangidos na área de pesquisa.

1.3 Projeto

Esta dissertação é uma das partes que compõe o projeto Bacia do Rio dos Sinos- Recursos Hídricos Subterrâneos, o qual está sendo realizado pelo Laboratório de Hidrogeoquímica do Instituto de Geociências - UFRGS. O escopo de tais levantamentos é a caracterização composicional e estrutural dos aquíferos inseridos na área em questão, agregando dados atualizados que possibilitem a melhor gestão dos recursos hídricos disponíveis, principalmente no que tange a fontes contaminantes e dinâmica de fluxo das águas subterrâneas. Para tanto, as seguintes temáticas são propostas:

- 1- Caracterização hidrogeoquímica dos aquíferos associados e possíveis contaminações (dissertação em pauta).
- 2- Levantamentos isotópicos em águas explotadas e correlação com as fontes contaminantes.
- 3- Avaliação estrutural e dinâmica de fluxo com modelagem estocástica das águas subterrâneas.

1.4 Conhecimento sobre o tema

1.4.1 Bacia do Rio dos Sinos: recursos hídricos e contaminação

A Bacia dos Sinos tem sido alvo de diversos estudos no âmbito de caracterização de recursos naturais, visto a importância econômica e a elevada demanda exploratória a que tem se submetido. No entanto, grande parte dos levantamentos são realizados nas águas superficiais dos rios principais e seus afluentes, que demonstram maior sensibilidade frente à carga poluidora imposta, seja pelos setores industrial, rural ou urbano. São poucos os trabalhos que tratam sobre o compartimento das águas subterrâneas nesta região, em particular, sobre a caracterização hidroquímica.

Fazem parte desta compilação as principais citações a respeito da Bacia dos Sinos, considerando os recursos hídricos de forma global, ou seja, água subterrânea e superficial. Em 1994 o Estado do Rio Grande do Sul e a empresa Magna Engenharia Ltda. firmaram contrato para a confecção do projeto intitulado “Simulação de Proposta de Gerenciamento dos Recursos Hídricos na Bacia do Rio dos Sinos”, apresentado em 1996. A proposta corresponde ao diagnóstico da situação e das condições quantitativas e qualitativas da bacia, baseado principalmente em dados secundários corroborados por levantamentos de campo. Os principais usos verificados na bacia correspondem ao abastecimento público (água superficial e subterrânea), irrigação, abastecimento industrial, dessedentação de animais, diluição e afastamento de efluentes, geração de energia elétrica e navegação. A disponibilidade de água subterrânea está condicionada principalmente ao sistema de falhas presente na área. Segundo o projeto desenvolvido pela empresa Magna (1996), os dados preliminares indicaram que a vazão dos poços tende a ser controlada pelo comprimento dessas estruturas tectônicas: em cruzamento de falhas, com comprimentos superiores a 15 km as vazões ultrapassam 60.000 l/h; entre 1 e 3 km correspondem a vazões de 10.000 l/h.

A carga de poluentes imposta ao rio principal e seus afluentes é crescente da montante para a jusante da bacia, mesmo com o controle exercido pela Fepam no caso do despejo de esgotos domésticos submetidos ao tratamento, e de efluentes industriais o que ocorre de forma significativa, especialmente em empresas de pequeno e médio porte.

No endereço eletrônico da Fepam verificam-se alguns dados gerados pela Rede Integrada de Monitoramento do Rio dos Sinos- Comitesinos, a qual teve início em 1990 em conjunto com CORSAN- Companhia Riograndense de Saneamento e DMAE- Departamento Municipal de Águas e Esgotos de Porto Alegre. A rede foi finalizada em 1996, porém a Fepam segue com o monitoramento em 10 pontos amostrais ao longo do rio com periodicidade bimestral. A metodologia aplicada segue a Resolução Conama 357/2005 e o IQA- Índice de Qualidade da Água (adaptado da *National Sanitation Foundation*), através do qual se assumem notas que variam de zero a cem (muito ruim a excelente, respectivamente). Em geral, o Rio dos Sinos obteve conceitos nas faixas “regular” e “boa”, com decréscimo para “ruim” nos municípios de Novo Hamburgo e São Leopoldo e “muito ruim” em Estância Velha e Portão, onde estão situados cerca de 40 curtumes. Dentre outras conclusões obtidas, relacionadas à Resolução Conama 357/2005, as concentrações dos metais pesados chumbo, cobre, cromo total e níquel nos arroios que drenam os municípios supracitados são elevadas e acarreta classificação que ultrapassa a Classe 3, portanto, podem ser utilizadas somente para navegação e harmonia paisagística. A Fepam destaca além da presença de curtumes, as metalúrgicas com galvanoplastia nesta região.

O Diagnóstico da Poluição Hídrica Industrial na Região Hidrográfica do Guaíba (Fepam, 2001) atualiza os dados obtidos no monitoramento realizado até 1996, com dados adquiridos em 2000, para os parâmetros de DBO, DQO, cromo, ferro e níquel. De acordo com o documento, 106 indústrias com potencial poluidor inseridas na Bacia dos Sinos foram monitoradas pela SISAUTO- Sistema de Automonitoramento de Efluentes Líquidos, o qual se baseia na relação entre cargas brutas produzidas pelas indústrias e cargas lançadas para o ambiente, considerando que há redução pelos sistemas de tratamento de efluentes. Entretanto, diversas empresas não constam no cadastro e tampouco possuem sistema de tratamento, perfazendo somente 343 indústrias monitoradas para toda Bacia Hidrográfica do Guaíba. Quanto ao valor total de indústrias mapeadas, constam 3.990, sendo que a Bacia

dos Sinos figura entre as três bacias com maior concentração industrial do Estado do Rio Grande do Sul. A exemplo, 198 metalúrgicas e 80 curtumes estão na bacia, além dos demais setores indústrias que somam o total de 650 indústrias. A carga bruta de cromo para a Bacia dos Sinos foi calculada em 250 t/ano, que representa 42% do total gerado para a Região Hidrográfica do Guaíba. Para o ferro, a carga bruta corresponde a 294,77 t/ano (57% do total) e para o níquel, 8,41 t/ano (15% do total). Dentre as 100 indústrias com maior potencial poluidor, 29 estão na Bacia dos Sinos e dentre as 100 indústrias por setor, 39 são relacionados ao couro, que representa o maior potencial para o lançamento de cromo.

Rodrigues *et al.* (2009) selecionaram os rios Cadeia e Feitoria, inseridos na Bacia do Rio Caí (situada na fronteira norte da Bacia dos Sinos e em condição geológica-hidrológica semelhante), para avaliar o aporte de fluxo de cromo relacionado aos curtumes inseridos nesta bacia. As análises químicas obtidas para este elemento, bem como o cálculo de risco à saúde humana, indicaram concentrações baixas e ausência de possíveis efeitos toxicológicos, porém identificaram incrementos em certos períodos do ano e em alguns segmentos fluviais, os quais coincidem com a presença de curtumes. Nesse âmbito e para a mesma localidade, Rodrigues *et al.* (2010) analisaram perfis em sedimentos de fundo para avaliar o teor de arsênio, elemento comumente associado ao tratamento de couro em antigos curtumes. Como resultado, obtiveram concentrações baixas para esse elemento, com concentrações médias de 4,1 mg/kg em sedimentos superficiais e 3,8 mg/kg nos perfis verticais, valores semelhantes ao *background* da região e que não representam efeitos tóxicos ou degradação ambiental.

Muradás (2011) confeccionou mapa de vulnerabilidade de aquífero para a região de Portão e Estância Velha, municípios inseridos na Bacia dos Sinos e que perfazem porção do Sistema Aquífero Guarani- SAG, baseada no método DRASTIC (*Depth water table, Recharge, Aquifer media, Soil type, Topography, Impact of vadose zone, Hydraulic Conductivity*). Embasada na análise de 41 amostras de água disponibilizadas pela CORSAN, não foi evidenciada nenhuma degradação do aquífero, porém os valores obtidos para o mapa de vulnerabilidade indicam que 25% das amostras correspondem a alto grau de contaminação, 72,4% de grau intermediário e 2,6% de baixo grau. Ressalta ainda, que a contaminação pode estar presente, porém a baixa resolução das análises químicas e análises incompletas quanto às espécies metálicas e demais componentes tóxicos, pode acarretar a não

detecção. A autora enfatiza a importância em priorizar o controle quantitativo e qualitativo das águas subterrâneas nesta região, na qual há sobreposição de alta vulnerabilidade com manchas urbanas e atividades industriais.

A principal base de levantamentos realizados para a área em tela constitui o Plano Sinos - Plano de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos (2011), onde estão caracterizadas as demandas de cada recurso hídrico e o panorama atual da situação das águas superficiais e das subterrâneas, dentre outros elementos essenciais para o gerenciamento da bacia. Quanto às águas subterrâneas, o mapeamento hidrológico contou com dados secundários das bases SIAGAS-CPRM, CORSAN, HidroGeo Perfurações (cadastro de empresa privada) e SOPS-PAP, e agrupou as unidades de acordo com os Sistemas Aquíferos apresentados no **Quadro 2**, onde também constam as principais características extraídas desta referência.

Quadro 2: Características dos Sistemas Aquíferos de acordo com o Plano-Sinos.

Sistema Aquífero	Ocorrência	Descrição sucinta	Características físico-químicas
Permiano	Canoas e Esteio	Constituído principalmente pelas Formações Irati e Rio Bonito, com predominância de sedimentos pelíticos. A baixa permeabilidade das litologias é compensada por fraturamento e intrusão de diques de diabásio, com valores entre 0,5 e 18 m ³ /h.	Predominam águas bicarbonatadas cálcicas magnesianas e bicarbonatadas sódicas. Valor médio de pH de 7,65 e sais dissolvidos entre 110 e 2.745 mg/l. Concentração de flúor com média de 0,76 mg/l.
Rio do Rasto	Nova Santa Rita, Sapucaia do Sul, Esteio, Cachoeirinha e Gravataí	Composto pelos siltitos, arenitos finos e argilitos da Formação Rio do Rasto, que devido à granulação fina das litologias, são extraídas vazões em torno de 3,8 m ³ /h, em poços com mais de 200 m de profundidade.	Classificadas como bicarbonatadas cálcicas magnesianas e bicarbonatadas sódicas. Valor de pH entre 6 e 9, sais dissolvidos com média de 296,2 mg/l, flúor com média de 0,86

			mg/l.
Pirambóia	São Leopoldo, Novo Hamburgo, Portão e Estância Velha	Compreendem os arenitos endurecidos médios a finos da Formação Pirambóia, livre a semiconfinado, com vazão máxima de 11,24 m ³ /h e média de 4,6 m ³ /h, em poços de aproximadamente 111,5 m de profundidade.	Predominam águas bicarbonatadas sódicas, podendo ser cálcicas ou magnesianas. Valor de pH com média de 7 e sais dissolvidos de 476,4 mg/l. o flúor varia de 0,02 a 1,7 mg/l.
Botucatu	Campo Bom, Sapiranga, Nova Hartz, Araricá, Parobé, Taquara, Rolante, Igrejinha, Portão, Estância Velha e Santo Antônio da Patrulha	Constituído pelos arenitos médios a finos da Formação Botucatu, livre nas áreas aflorantes e confinado sob o Serra Geral. As vazões obtidas variam de 1 a 56 m ³ /h, em poços de aproximadamente 220 m de profundidade.	Predominam águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas. O pH varia de 5,71 a 10,88, enquanto que sais dissolvidos variam de 23 a 870 mg/l. a concentração média de flúor é de 0,5 mg/l.
Serra Geral- 1	Gramado, Canela, São Francisco de Paula, Caraá, Riozinho e Três Coroas	Formado pelas rochas vulcânicas básicas e intermediárias, com dinâmica de fluxo associada às descontinuidades originadas por tectônica e resfriamento, em cotas entre 100 e 550 m. Predominam poços com 100 m de profundidade e vazões de até 15 m ³ /h.	Predomínio de águas bicarbonatadas cálcica-magnesianas, com pH médio de 7 e sais dissolvidos variando entre 16,9 e 645 mg/l. Concentração de flúor com média de 0,3 mg/l.
Serra Geral- 2	Áreas mais elevadas de Gramado, Canela e São Francisco de Paula	Correlacionado aos termos ácidos da Formação Serra Geral, que ocorre entre as cotas 750 e 1.000 m. Dinâmica de fluxo associada às descontinuidades, porém limitada pela posição topográfica elevada, com captação por poços de 60 m de profundidade e vazão em torno	

		de 3 m ³ /h.	
Serra Geral- 3	Morros isolados distribuídos ao longo da bacia	A ausência de solos nessa unidade dificulta a infiltração da água, portanto desfavorável ao armazenamento.	
Aluvionar	Ao logo da calha e da várzea da bacia	São depósitos recentes relacionados aos sedimentos oriundos da decomposição dos arenitos das Formações Botucatu e Pirambóia, principalmente. Constituem depósitos gradacionais arenosilto-argilosos, de pequenas espessuras, porém explotáveis. Assume característica de aquífero vulnerável devido à porosidade e distribuição ao longo do rio.	Predominam águas bicarbonatadas sódicas e bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas. O pH varia de 6 a 10, sais dissolvidos entre 36 e 1.034 mg/l e teor de flúor entre 0,05 e 2,77 mg/l.

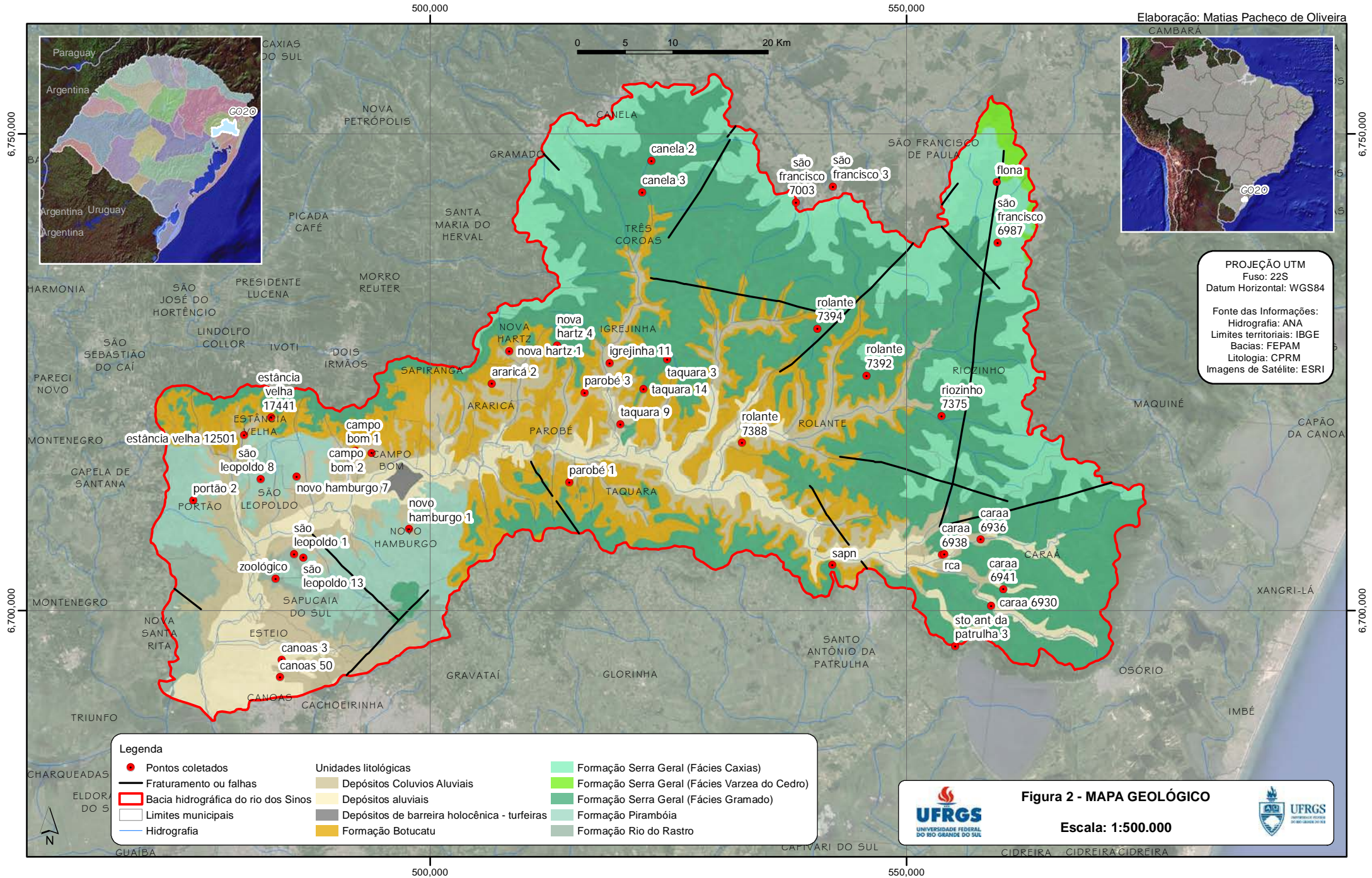
1.4.2 Caracterização Geológica

A conformação geológica da área em estudo é dominada pela sequência vulcano-sedimentar da Bacia do Paraná, a qual compreende uma extensa área deposicional que se estende para além das fronteiras do Brasil, incluindo o Paraguai, Uruguai e Argentina, em área aproximada de 1,5 milhão de quilômetros quadrados. Diversas proposições têm sido aventadas para a formação desta bacia intracratônica, com registro estratigráfico de até 7.000 m de espessura e idades desde o Ordoviciano ao Neocretáceo. Porém, apesar das divergências conceituais, considera-se a influência da margem continental ativa do Gondwana como o principal fator na geração de uma flexura litosférica por sobrecarga tectônica (Milani *et al*, 2007). Os autores consideram a segmentação da Bacia do Paraná em seis Supersequências, cada qual representando pacotes rochosos limitados por superfícies de discordância de caráter inter-regional, sendo as Supersequências Rio Ivaí, Paraná e Gondwana I correspondentes às sucessões sedimentares transgressivas-regressivas oriundas das oscilações do nível relativo do mar Paleozóico, enquanto que as Supersequências Gondwana II, Gondwana III e Bauru representam deposições em ambiente continental com rochas ígneas associadas. Por outro lado, de acordo com

Zalán *et al.* (1990) *apud* Quintas *et al.* (1999), as deposições sedimentares e a cobertura vulcânica podem ser representativas de três bacias distintas e superpostas com limites que variam de uma para outra. A primeira bacia teria se formado em ambiente de golfo aberto, durante o Siluriano e Devoniano, enquanto que a segunda desenvolveu-se em mar interior e, ao final, a terceira seria correspondente aos episódios eruptivos.

A descrição geológica assumida para a presente dissertação está organizada das unidades mais recentes para as mais remotas, o que corresponde, excetuando-se os depósitos inconsolidados, à distribuição geográfica na Bacia dos Sinos, iniciando das porções de montante em direção à jusante, fator que facilita a contextualização da bacia e acarreta melhor percepção de sua dinâmica. A **Figura 2** a seguir corresponde ao Mapa Geológico.

Elaboração: Matias Pacheco de Oliveira



Os depósitos inconsolidados a semi-consolidados compreendem 02 unidades dentre as descritas para a área, estando nas porções mais elevadas das bordas do Rio dos Sinos os **Depósitos aluviais e coluviais**, os quais se distribuem por praticamente todos os cursos d'água presentes na bacia. São sedimentos quartzo-arenosos de granulometria heterogênea e laminação plano-paralela incipiente, com capas lateríticas ferruginosas associadas (CPRM, 2006). Correspondem às unidades onde estão assentados os maiores municípios inseridos neste contexto, como Novo Hamburgo, São Leopoldo, Sapucaia do Sul, Esteio e porção de Canoas. Nos leitos dos rios desta bacia, estão distribuídos os **Depósitos aluvionares**, que constituem os sedimentos de cobertura superficial referentes aos próprios cursos d'água. Inseridas nesta unidade estão as planícies de inundação e barras de canal. Desta forma, compreendem sedimentos heterogêneos com forte presença de areias finas a grossas, além de seixos, material silto-argiloso e matéria orgânica.

Segundo o Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul (CPRM, 2006), superficialmente a Bacia dos Sinos é dominada pelo pacote vulcânico da **Formação Serra Geral**, representada pelas fácies Caxias, Gramado e, de forma muito pouco expressiva, pela fácies Várzea do Cedro. Essas unidades estão distribuídas desde as Terras Altas, onde se situam as nascentes da bacia, até as Terras Onduladas, onde afloram também os arenitos da Formação Botucatu. De acordo com a compilação de dados realizada por Frank (2008), a extensão desta formação se aproxima de 916.000 km², admitindo-se a média de espessura de 650 m, inferior ao encontrado nas escarpas do Estado do Rio Grande do Sul, as quais podem alcançar valores próximos a 1.000 m. A distribuição da unidade se dá principalmente na forma de extensos derrames que recobrem os sedimentitos da Bacia do Paraná e, associado a esses eventos extrusivos, há grande número de *sills* com dimensões que podem chegar a 300 m de espessura, além de diques que acompanham os sistemas de fraturas NE e NW. De forma geral, as litologias compreendem basaltos, basaltos andesitos, riolitos e riodacitos, sendo que na fácies Caxias estão relacionados os correspondentes ácidos a intermediários, com forte disjunção tabular no topo, enquanto que na fácies Gramado está a série mais básica, com horizontes vesiculares e feições de fluxo (CPRM, 2006).

No Estado do Rio Grande do Sul, os arenitos da **Formação Botucatu** afloram ao longo das Escarpas da Serra Geral, feição geomorfológica associada ao intenso intemperismo sobre as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, onde estão

expostos os mais espessos perfis rochosos do Estado, com geração de cânions, como Itaimbezinho e Fortaleza, que servem de transição entre os planaltos elevados do norte do Estado e a Depressão Central Gaúcha (CPRM, 2010). Na Bacia dos Sinos distribuí-se nas porções transicionais entre as Terras Altas e Terras Onduladas. Correspondem a arenitos finos a grossos, quartzosos com grãos arredondados e alta esfericidade, típicos de ambientes continentais desérticos (CPRM, 2006). Quanto à estruturação deste *paleoerg*, de acordo com os levantamentos de Scherer *et al.* (2007), a base está limitada por discordância regional mapeável ao longo de toda Bacia do Paraná, enquanto no topo encontram-se feições que demonstram que o vulcanismo Serra Geral recobriu esses depósitos eólicos enquanto os mesmos ainda estavam ativos, portanto, foram encerrados pela pilha vulcânica sobreposta. Ao longo da estória evolutiva desta unidade, foram acumulados perfis areníticos de até 400 m de espessura, nos quais estão presentes estratos cruzados de grande porte e que tendem a ser menos espessos para sul da bacia sedimentar.

A **Formação Pirambóia** está presente nas Terras Baixas da Bacia dos Sinos. A unidade está limitada no topo e na base por discordâncias abruptas com as Formações Botucatu e Rio do Rasto e corresponde aos depósitos areníticos de textura fina predominantemente de origem eólica, com associação de fácies fluviais (Dias, 2006). Conforme Giannini (2001) *apud* Gesicki (2007) são depósitos eólicos relacionados a ambiente úmido, possivelmente conformado pela proximidade do freático, com sequência de fácies iniciando com lençóis de areia, superposto por campos de dunas costeiro inferior, após fácies de campos de dunas costeiro superior, findando com fácies de planície aluvial relacionado a rios entrelaçados. Da mesma forma Caetano-Chang *et al.* (2003) retratam que a unidade foi depositada em situação de meta-saturação em areias, com abundância de depósitos de interdunas úmidas e campos de dunas esparsos. Os autores citam que a redução da porosidade desses arenitos está associada à deposição concomitante de argilas durante episódios de inundação e, posteriormente, durante a diagênese, houve infiltração de argilas e sais, além de compactação e cimentação carbonática na mesodiagênese.

A unidade mais antiga depositada na área abrangida pela Bacia dos Sinos corresponde à **Formação Rio do Rasto**, a qual está presente somente nos limites das Terras Baixas próximo à foz do rio. Warren *et al.* (2008), em detalhado estudo

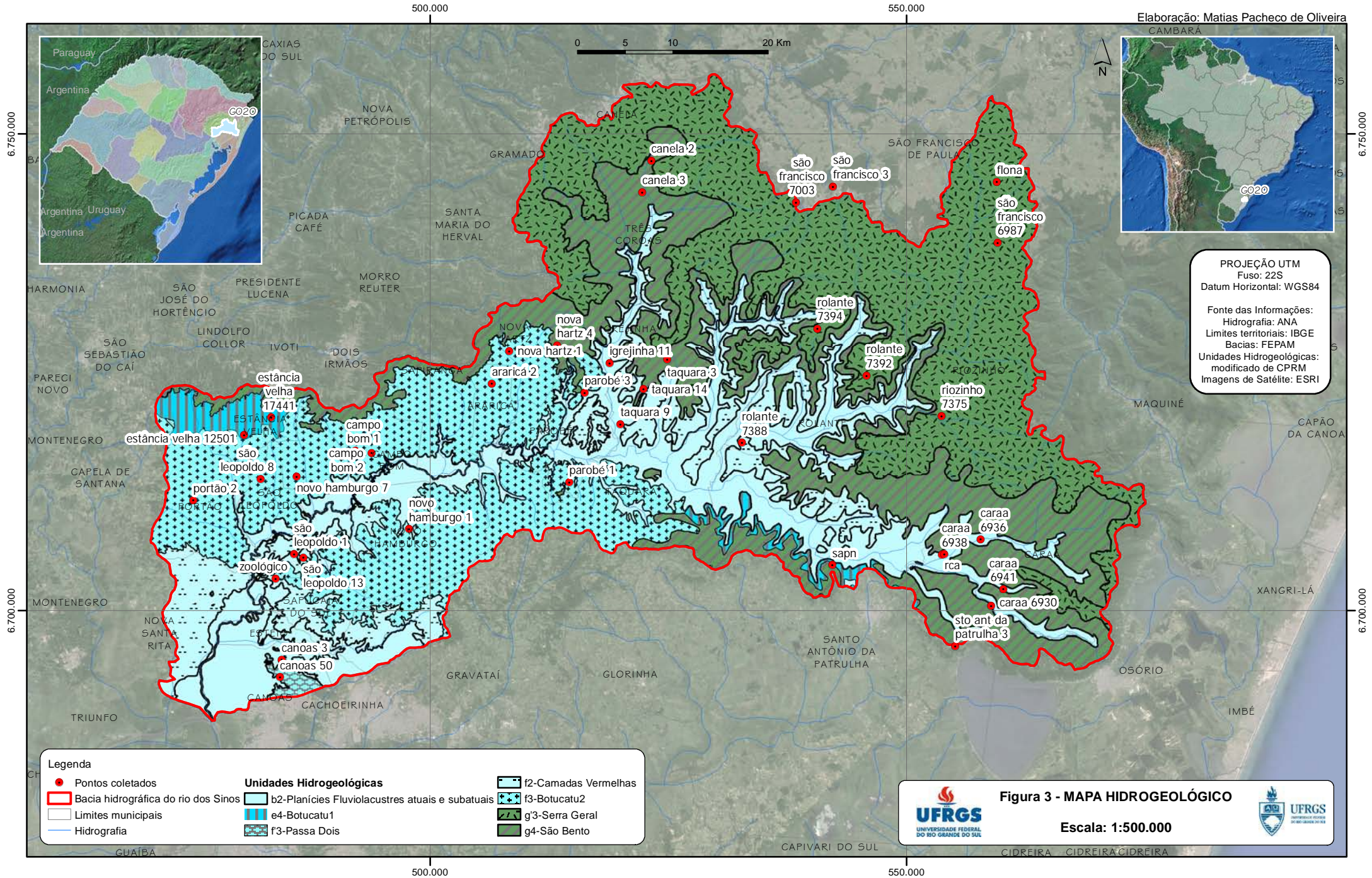
da evolução e análise faciológica desta unidade, insere os depósitos sedimentares no contexto da porção superior do ciclo regressivo da Bacia do Paraná, os quais estão associados à subsidência da bacia e soerguimento das margens, o que acarretou na formação de um grande corpo de água praticamente confinado, com algumas pequenas conexões para o oceano. Para o topo da sequência há o incremento de elementos arquiteturais transicionais e continentais, que culminam com o aparecimento dos sedimentos continentais eólicos da Formação Pirambóia. Dominam litologias relacionadas a arenitos, os quais representam ambientes transicionais *offshore-shoreface* com presença de laminação *hummocky*, plano-paralela e cruzada, além de arenitos de canais e eólicos. Também estão presentes siltitos e argilitos laminados ou maciços relacionados a ambientes de águas calmas, ocasionalmente bioturbados.

1.4.3 Caracterização Hidrogeológica

O mapeamento hidrogeológico está controlado principalmente pelo contexto geológico presente em determinada área, além de outros fatores como geomorfologia e clima. A litoestratigrafia dominante na Bacia dos Sinos é compreendida pelos depósitos vulcano-sedimentares da Bacia do Paraná, o que gera grande diversidade no condicionamento hidrogeológico, em parte pela distribuição litológica, como também pela presença de falhamentos estruturais que ocasionaram movimentações de blocos. Esta complexidade é determinante no sistema de fluxo subterrâneo e na variabilidade composicional das águas explotadas, as quais também respondem à alteração dos perfis litológicos pelo intemperismo e geração de manto de alteração e solo, além de processos antrópicos como urbanização.

Neste âmbito o Mapa dos Sistemas Aquíferos do Projeto Plano Diretor de Mineração da Região Metropolitana de Porto Alegre- PDM (CPRM, 2006) disponibiliza informações associadas entre geologia e hidrogeologia, bem como a caracterização prévia de vulnerabilidade natural dos aquíferos, considerando a escala 1: 250.000. A Bacia dos Sinos está praticamente toda inserida neste mapa, ausentando-se municípios situados no norte, como São Francisco de Paula, Gramado e Canela, os quais correspondem às porções mais elevadas da bacia dominadas pelas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral. As unidades referenciadas a seguir seguem o mapa supracitado e estão representadas na **Figura 3**.

Elaboração: Matias Pacheco de Oliveira



A **Unidade Hidrogeológica Serra Geral (g'3)** ocorre em altitudes superiores a 300m, caracterizada como típico aquífero fraturado com recarga meteórica, onde o fluxo de água dominante se desenvolve ao longo do sistema tectônico, o que acarreta heterogeneidade no comportamento dinâmico da unidade. De acordo com os levantamentos realizados por Nanni (2008), a heterogeneidade e anisotropia deste aquífero torna difícil o modelamento físico-químico, bem como o modelamento de fluxo, em razão da forte dependência do nível estático em relação às entradas d'água, dificultando delinear uma superfície piezométrica. Na tentativa de correlacionar o sistema de fraturas à produção dos poços locados na Formação Serra Geral, Reginato & Strieder (2006) selecionaram área inserida na Bacia Hidrográfica Taquari-Antas, a noroeste da Bacia do Rio dos Sinos, e obtiveram resultados que indicam forte correlação, entre as principais estruturas nordeste, com produção de 10 a 20 m³/h e noroeste, com vazões acima de 20 m³/h. Os mesmos autores demonstraram a presença de distintas características hidroquímicas, com 80,1% relacionados às águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, 18,4% bicarbonatadas sódicas e 1,4% sulfatadas cálcicas ou magnesianas. Citam também, a ocorrência de ferro e manganês em valores que extrapolam os padrões permitidos, o que está associado aos processos de alteração das rochas vulcânicas básicas. Da mesma forma Fraga (1992) *apud* Nanni (2008) discrimina 03 (três) grupos hidrogeoquímicos para esta formação no Estado do Paraná:

- Grupo I: relacionado às águas bicarbonatadas cálcicas e que melhor representa este aquífero.
- Grupo II: relacionado às composições bicarbonatadas sódicas, que podem indicar a conexão hidráulica entre este aquífero com os aquíferos sotopostos, como o Sistema Aquífero Guarani (SAG).
- Grupo III: compreendem as águas bicarbonatadas cálcicas e magnesianas, que indicam maior grau de confinamento e distância de áreas de recarga.

Elementos como flúor e enxofre, sob forma de sulfato, podem estar associados às composições das águas explotadas da Formação Serra Geral, indicando forte correlação entre este aquífero com as formações sedimentares da Bacia do Paraná. Na identificação das fontes potenciais de flúor na região de Venâncio Aires, Estado do Rio Grande do Sul, onde este elemento alcança nas águas subterrâneas até 11 mg/L, Marimon (2006) e Marimon *et al.* (2007) utilizaram isótopos estáveis de

oxigênio, nitrogênio e enxofre para definir a origem geogênica do flúor, excluindo portanto possíveis fontes contaminantes, como fertilizantes fosfatados tipo NPK. No mesmo sentido, Bittencourt *et al.* (2003) identificaram a presença de sulfato em águas explotadas na região da Bacia do Rio Piquiri, Estado do Paraná, e correlacionaram aos aquíferos subjacentes, visto que as efusivas da Bacia do Paraná são pobres neste elemento.

A **Unidade Hidrogeológica São Bento (g4)** compreende a porção da Formação Botucatu recoberta por um pacote pouco espesso da Formação Serra Geral, o que possibilita a exploração de água da camada inferior, portanto, relacionada ao SAG na sua porção confinada. De forma geral, o nível piezométrico está inserido nos arenitos, próximo ao contato com as efusivas, em altitude estipulada em aproximadamente 300 m com relação ao nível do mar. O controle estrutural se faz bastante presente, visto que há forte relação com as efusivas e, dessa forma, as áreas de recarga estão de acordo com os principais lineamentos, os quais também seguem como indicação para a locação dos poços. Da mesma forma, Machado (2005) cita o Município de Santo Antônio da Patrulha, onde se verifica que os altos teores de argila e endurecimento dos arenitos acarretam circulação da água através de fraturas não preenchidas e secundariamente pelos poros, com vazões que oscilam desde nulas (aquítardos) até cerca de 60 m³/h. A composição das águas desta unidade é de excelente qualidade, geralmente com valores de sólidos totais dissolvidos na ordem de 300 mg/L. A profundidade dos poços de captação nesta unidade varia de 150 a 300 m. A proteção deste manancial é dependente da espessura do pacote vulcânico que o recobre, seguindo o caráter de um aquífero fraturado, comumente com vulnerabilidade natural entre baixa e negligenciável.

A **Unidade Hidrogeológica Botucatu** está segmentada em 02 (duas) Subunidades, **e4** e **f3**, as quais compreendem litologias areníticas outrora mapeadas apenas como Formação Botucatu, porém, de acordo com o mapa geológico utilizado na presente dissertação, englobam também a Formação Piramboia. A **Subunidade e4** constitui a franja no entorno da escarpa basáltica presente principalmente nos municípios de Estância Velha e Santo Antônio da Patrulha, bastante restrita em área. A heterogeneidade descrita para o comportamento hidrogeológico dessa subunidade é explicada pela presença de falhamentos gravitacionais com movimentação de blocos associados, que acarreta o contato de camadas de diferentes características, algumas com permeabilidade inferior às outras. Entretanto, os próprios falhamentos

servem como condutos, indicando controle tectônico da água subterrânea, o que deve ser relevado em modelos de fluxo e em locação de poços. A mesma variabilidade segue para as profundidades ideais de perfuração, na ordem de 200 m para os de maior produtividade. A **Subunidade f3** representa o afastamento do aquífero das zonas escarpadas, com certo controle estrutural ainda presente, porém de forma mais sutil, o que o torna homogêneo. O rendimento é bastante inferior a Subunidade e4, o que pode ser explicado por sua principal constituição relacionada à Formação Piramboia, portanto arenitos mais finos e menos porosos quando comparados aos da Formação Botucatu.

A **Unidade Hidrogeológica Camadas Vermelhas (f2)** corresponde às Formações Rio do Rasto e Sanga do Cabral, as quais representam porções mais basais da Bacia do Paraná na Bacia do Rio dos Sinos. Grande parte desta unidade poderia ser classificada como aquífero, visto as baixas vazões produzidas, porém, a forte incidência de poços de captação e a ausência de outras fontes alternativas agregam importância a este aquífero na região. As entradas d'água costumam ser profundas, sendo necessários poços com aproximadamente 200 m para exploração de volumes maiores.

As duas Unidades hidrogeológicas apresentadas acima, Botucatu e Camadas Vermelhas, estão assim denominadas no Mapa dos Sistemas Aquíferos para a Região Metropolitana de Porto Alegre (CPRM, 2006), entretanto, fazem parte do Sistema Aquífero Guarani- SAG, como apresentado por Machado (2005). Na área de abrangência da Bacia do Rio dos Sinos, o SAG está inserido no Bloco Leste, o qual está na área de influência do Sistema de Falhas Dorsal de Canguçu (SFDC), portanto com predominância de falhamentos nordeste, especificamente na direção N 60° - 70° E e, secundariamente, N 40° - 50° E. Em Heine (2008), 03 (três) sistemas foram identificados na Bacia do Rio dos Sinos, com comprimentos que oscilam de 5 a 190 km, tendo a seguintes distribuição:

- N 10° - 60° E (61%)

- N 40° - 70° W (34%)

- E - W (5%)

Utilizando os perfis litológicos de 10 (dez) poços tubulares da CORSAN, o autor elaborou seção geológica regional E-W, com limites nos municípios de Ivoti (oeste)

e Caraá (leste), contemplando a maior extensão da bacia. Através deste, verificou a influência dos lineamentos na composição de blocos e respectivas movimentações. Os rejeitos verticais alcançam até 140 m, estando a porção mais rebaixada do SAG à leste e o alto estrutural, à oeste. A variação de altitude do topo do SAG, independente da situação tectônica varia 168 m ao longo da bacia. Soares (2008), embasada na estratigrafia de sequências, discrimina a heterogeneidade do SAG em faciologias, com três unidades principais: duna (DU), interdunas (ID) e canais (CH); além das unidades secundárias *crevasse* (CR), lacustre e planície de inundação (FF). Esta segmentação acarreta variação da condutividade hidráulica, como exemplificado pela unidade DU da Formação Botucatu, a qual apresenta dez vezes o potencial de fluxo, quando comparada à unidade ID da Formação Piramboia. Estes fatores agregam heterogeneidade no fluxo de água, nas vazões explotadas e no comportamento hidrogeológico.

A Unidade Hidrogeológica Planícies Fluviolacustres Atuais e Subatuais (b2) desenvolve-se ao longo dos principais cursos d'água, dentre eles o Sinos, Caí, Jacuí e Gravataí, relacionada aos próprios sedimentos neles depositados. De forma geral, conformam depósitos pouco espessos com gradação granulométrica descendente da base para o topo, em sequência areno-silto-argilosa. As porções mais finas, por vezes, estão entrecortadas por frações de material mais grosseiro, correspondentes a paleocanais fluviais, bem como as porções mais grosseiras que podem conter lentes de material fino, relacionados aos ambientes parálicos. Por conter altos teores de argila, a permeabilidade é baixa e as composições extraídas são de má qualidade, com altas concentrações de ferro, manganês e sulfatos. Nas áreas associadas à Formação Botucatu, como no trecho médio e alto da Bacia dos Sinos, pode-se encontrar água com qualidade satisfatória, restrita, no entanto, pela pequena espessura das camadas. A composição físico-química das águas e a alta vulnerabilidade desta unidade torna mais adequada a exploração de unidades subjacentes

1.5 Sequência metodológica

Os métodos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa foram organizados de modo a obter o máximo de informações secundárias, para então executar os levantamentos de campo e posterior tratamento em laboratório.

As etapas de trabalho seguiram a sequência abaixo.

1.5.1 Levantamento bibliográfico

Nesta etapa foi realizado o levantamento sobre a Bacia do Rio dos Sinos, que incluiu dados hidrogeoquímicos das águas subterrâneas e superficiais contexto geológico e informações sobre as fontes de contaminação, com ênfase em metais pesados. As principais bases consultadas foram CPRM- Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais, Fepam- Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler, SEMA- Secretaria do Meio Ambiente, banco de dados disponível no SABI-UFRGS, Repositório Digital Lume- UFRGS, Sistema de Biblioteca Unisinos, Periódicos Capes, dentre outras.

1.5.2 Cadastro de poços de captação

Dadas as dificuldades de se obter informações detalhadas dos poços cadastrados na SEMA- Secretaria do Meio Ambiente, se utilizou o cadastro da empresa de perfuração de poços HidroGeo Perfurações, a qual conta com registro desde a década de 80. A plataforma utilizada permite pesquisar poços por municípios, gerando automaticamente arquivos PDF (*Portable Document Format*), onde constam dados construtivos, ensaio de bombeamento, localização, perfil geológico e análise química.

1.5.3 Seleção dos pontos de coleta

A seleção dos poços a serem amostrados foi feita, inicialmente, a partir do banco de dados da HidroGeo, onde, dos 228 poços cadastrados selecionaram-se 91 poços. O restante não contemplou a área abrangida na pesquisa (municípios inseridos parcialmente na Bacia dos Sinos), ou estavam com dados incompletos e/ou foram excluídos pelo cálculo do balanço iônico. Neste último caso, foi realizado o balanço iônico pelo *software* Rockworks e excluídos poços com erro analítico superior a 10%.

A partir das informações contidas no cadastro destes 91 poços, foram feitos contatos com os proprietários dos poços que, em muitos casos, negaram-se a permitir a coleta. Além disso, muitos dos poços encontravam-se danificados e/ou tamponados, reduzindo o total de 91 poços para 26 poços amostrados. Com o intuito de obter melhor distribuição dos pontos de coleta ao longo da bacia, 12 poços foram selecionados a partir da base SIAGAS-CPRM, aos quais se somam 02 pontos de amostragem de água superficial somando um total de 40 pontos de coleta.

1.5.4 Amostragem de água

As amostragens foram realizadas basicamente em 02 campanhas de campo, em novembro de 2011 e março de 2012, organizadas deste modo devido à grande extensão da área de pesquisa e ao prazo de resposta das empresas frente à requisição de coleta.

Seguiu-se o exposto na Norma CETESB nº 6410 (1988), referente à amostragem e monitoramento das águas subterrâneas, realizando as amostragens em dias secos e após cerca de 10 minutos de purga. Os parâmetros físico-químicos relativos ao pH, condutividade elétrica e temperatura foram aferidos *in situ*. Alíquotas de 1.000 ml foram acondicionadas em frascos de polietileno previamente lavados em laboratório com ácido nítrico e água destilada/deionizada, e ambientadas em campo com a própria água do poço. Ácido nítrico ultrapuro foi adicionado às amostras com a finalidade de tornar o pH menor que 2, impossibilitando a formação de complexos e precipitação de metais (**Figura 4**). No Laboratório de Hidrogeoquímica do Instituto de Geociências- UFRGS, fração homogeneizada de 50 ml de cada amostra foi filtrada com auxílio de bomba a vácuo e membrana 0,45 µm para extração de sólidos em suspensão, e encaminhada para análise química de metais dissolvidos.



Figura 4: Coleta de água e medição de parâmetros físico-químicos *in situ* nos Municípios de Canoas e Rolante.

1.5.5 Análises químicas

As alíquotas de 50 ml de amostras filtradas e preservadas com ácido nítrico foram acondicionadas e enviadas ao Laboratório AcmeLabs, sediado em Vancouver-Canadá. O laboratório possui certificação de qualidade no modelo ISO 9000, dentre outros, e garante a qualidade analítica através da inserção de brancos amostrais durante o processamento. A utilização de ICP-MS possibilita que pequenas quantias amostrais sirvam para análise química de diversos elementos com limites de detecção muito baixos, como apresentado no **Quadro 3**. O método consiste na conversão de pequenas alíquotas amostrais em partículas (aerosol), que são transformadas em jato, que é forçado a passar pela tocha de argônio, vaporizando e decompondo a amostra em elementos neutros. Em seguida, os elementos são forçados a passar por um orifício de aproximadamente 1 mm, entrando num sistema à vácuo, necessário para que os íons permaneçam livres e não colidam com outras moléculas. O sistema a vácuo é mantido durante a passagem dos íons pelo espectômetro, no qual quatro barras de metal (quadropolo) carregadas por uma determinada voltagem agem como filtro. A voltagem aplicada às barras varia de acordo com o elemento ou grupo de elementos em análise, separando-os pela relação massa/carga e permitindo que só o elemento químico desejado seja lido pelo detector (Trivelin, 2001).

Quadro 3: Limites de detecção estipulados pelo laboratório AcmeLabs.

Ag ppb 0,05	Al ppb 1	As ppb 0,5	Au ppb 0,05	B ppb 5	Ba ppb 0,05	Be ppb 0,05	Bi ppb 0,05	Br ppb 5	Ca ppm 0,05
Cd ppb 0,05	Ce ppb 0,01	Cl ppm 1	Co ppb 0,02	Cr ppb 0,5	Cs ppb 0,01	Cu ppb 0,1	Dy ppb 0,01	Er ppb 0,01	Eu ppb 0,01
Fe ppb 10	Ga ppb 0,05	Gd ppb 0,01	Ge ppb 0,05	Hf ppb 0,02	Hg ppb 0,1	Ho ppb 0,01	In ppb 0,01	K ppm 0,05	La ppb 0,01
Li ppb 0,1	Lu ppb 0,01	Mg ppm 0,05	Mn ppb 0,05	Mo ppb 0,1	Na ppb 50	Nb ppb 0,01	Nd ppb 0,01	Ni ppb 0,2	P ppb 10
Pb ppb 0,1	Pd ppb 0,2	Pr ppb 0,01	Pt ppb 0,01	Rb ppb 0,01	Re ppb 0,01	Rh ppb 0,01	Ru ppb 0,05	S ppm 1	Sb ppb 0,05
Sc ppb 1	Se ppb 0,5	Si ppb 40	Sm ppb 0,02	Sn ppb 0,05	Sr ppb 0,01	Ta ppb 0,02	Tb ppb 0,01	Te ppb 0,05	Th ppb 0,05
Ti ppb 10	Tl ppb 0,01	Tm ppb 0,01	U ppb 0,02	V ppb 0,2	W ppb 0,02	Y ppb 0,01	Yb ppb 0,01	Zn ppb 0,5	Zr ppb 0,02

Na obtenção dos resultados observou-se que uma das amostras sofreu avaria durante o transporte, ou houve erro de diluição, passando para 39 o número de amostras em discussão no presente trabalho.

1.5.6 Análise estatística

O modelo estatístico foi realizado em colaboração com o NAE- Núcleo de Assessoria Estatística- UFRGS, com utilização do *software* SPSS para a Análise Fatorial de Componentes Principais. Esta metodologia permite a maximização das diferenças entre um grande número de variáveis e possibilita agregar estas variáveis em respectivos *clusters*, os quais auxiliam na interpretação entre as diversas composições adquiridas nas análises químicas, além de ressaltar *outliers*, importantes na determinação de valores anômalos ao conjunto, portanto, possíveis contaminações do ponto de vista hidrogeoquímico.

Os dados inseridos no programa compreendem aqueles obtidos através de análise química e os parâmetros pH e condutividade elétrica aferidos durante as coletas. Realizou-se prévio processamento para inserção no banco de dados com supressão de elementos com valores abaixo dos limites de detecção e, adicionalmente, alteração de alguns valores pontuais no conjunto amostral que se encontravam

abaixo do LD, como exemplo, valores abaixo de 0,5 ppb de arsênio foram alterados para 0,25 ppb. Esta metodologia foi seguida, a fim de não haver exclusão de elementos importantes à pesquisa, assumindo que a concentração de qualquer elemento nunca se iguala a zero, principalmente quando se observa certa concentração em outras amostras.

Dos 70 elementos analisados, houve supressão de 35, sendo inseridos no modelo os elementos apresentados no **Quadro 4**.

Quadro 4: Elementos inseridos no modelamento estatístico.

Elementos utilizados
Al, As, B, Ba, Br, Ca, Ce, Cl, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Ge, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Rb, S, Sc, Si, Sn, Sr, U, V, W, Y, Zn

1.6 Resultados

A aquisição de informações secundárias para caracterização de aquíferos atualmente é dificultada pelo histórico de geração dos bancos de dados e posterior armazenamento. De fato, inúmeras empresas de perfuração de pequeno porte e a construção de poços sem outorga inviabilizam a identificação da situação real da exploração dos aquíferos. A construção de banco de dados para a presente pesquisa obteve certos obstáculos, justamente na aquisição de dados secundários de qualidade junto aos órgãos gestores. Muitos poços vistoriados encontram-se desativados, seja pela má qualidade da água ou pela ausência de manutenção de bombas, observados principalmente nas Terras Baixas da Bacia dos Sinos, onde inúmeros pontos de captação disponibilizavam águas duras e de elevado pH, como informado pelos proprietários, portanto, impróprias ao consumo (**Figura 5**).



Figura 5: Poço localizado em hospital no município de Esteio, abandonado devido à dureza da água que a torna imprópria à higienização de roupas de cama e outros tecidos.

Dessa forma, a utilização de base de dados de empresa de perfuração associada à dados cadastrados no SIAGAS-CPRM, obteve a melhor distribuição dos pontos de coleta na Bacia dos Sinos, embora alguns desses pontos estejam com dados incompletos, como se pode verificar na **Tabela 1**, onde constam os dados essenciais dos pontos coletados.

Tabela 1: Identificação e características hidrogeológicas básicas dos poços tubulares coletados (DATUM WGS 84; ND Não disponível; NA Não analisado).

Identificação	Sigla	UTM Leste	UTM Norte	Prof. (m)	NE (m)	ND (m)	Vazão (m³/h)
Araricá 2	AR-02	506.477	6.723.790	220,00	18,40	87,00	5,62
Campo Bom 1	CB-01	492.231	6.716.765	186,00	54,00	89,20	4,73
Campo Bom 2	CB-02	493.860	6.716.480	100,00	19,90	70,75	2,50
Canela 2	CL-02	523.226	6.747.168	150,00	35,73	57,22	36,00
Canela 3	CL-03	522.258	6.743.878	120,00	38,93	88,80	1,73
Canoas 3	CAN-03	497.758	6.681.778	130,00	27,45	47,09	5,14
Canoas 50	CAN-50	484.247	6.693.028	121,00	19,00	61,00	4,00
Caraá 6938	CR-6938	553.732	6.705.873	72,00	6,63	43,82	ND
Caraá 6930	CR-6930	558.887	6.700.528	140,00	25,04	64,83	ND
Caraá 6941	CR-6941	560.136	6.702.253	84,00	2,85	28,19	37,86
Caraá 6936	CR-6936	557.772	6.707.472	156,00	0,00	65,00	29,3
Estância Velha 17441	EV-17441	483.336	6.720.235	110,00	1,05	53,00	ND
Estância Velha 12501	EV-12501	480.481	6.718.429	90,00	27,96	63,39	1,8
FLONA	FL	559.465	6.744.961	ND	ND	ND	ND
Fundação Zoobotânica	FZB	483.399	6.703.956	ND	ND	ND	ND
Igrejinha 11	IG-11	518.831	6.725.973	100,00	4,70	18,55	10,00
Nova Hartz 1	NHZ-01	508.300	6.727.200	138,00	8,70	112,10	7,00
Nova Hartz 4	NHZ-04	513.344	6.727.781	250,00	126,00	128,50	2,85
Novo Hamburgo 1	NH-01	497.797	6.708.544	120,00	4,11	78,98	5,30
Novo Hamburgo 7	NH-07	486.000	6.714.064	150,00	24,80	104,95	5,00
Parobé 1	PA-01	514.598	6.713.457	200,00	18,20	76,40	2,27
Parobé 3	PA-03	516.222	6.722.848	150,00	42,00	91,00	8,00
Portão 2	PO-02	475.134	6.711.552	126,00	15,68	29,60	4,30
Rio em Caraá	RCA	553.967	6.705.928	NA	NA	NA	NA
Riozinho 7375	RI-7371	552.258	6.721.084	ND	ND	ND	ND
Rolante 7388	RO-7388	532.711	6.717.613	91,00	4,20	18,60	7,00
Rolante 7392	RO-7392	545.810	6.724.665	150,00	7,20	118,40	2,30
Rolante 7394	RO-7394	540.617	6.729.569	150,00	ND	ND	ND
São Francisco de Paula 3	SF-03	542.276	6.744.474	200,00	46,60	49,40	6,20
São Francisco de Paula 6987	SF-6987	559.546	6.738.570	30,00	6,00	24,00	1,22
São Francisco de Paula 7003	SF-7003	538.371	6.742.803	54,00	ND	ND	ND
São Leopoldo 1	SL-01	485.719	6.705.919	150,00	43,20	132,00	2,22
São Leopoldo 8	SL-08	482.230	6.713.771	200,00	44,60	135,05	2,00
São Leopoldo 13	SL-13	486.724	6.705.577	202,00	19,50	192,00	0,75
Santo Antônio da Patrulha 3	SAP-03	555.117	6.696.269	200,00	104,00	119,30	4,09
Nascente Santo Antônio da Patrulha	SAPN	542.185	6.704.955	NA	NA	NA	NA
Taquara 3	TAQ-03	524.874	6.726.324	300,00	187,30	217,00	5,14
Taquara 9	TAQ-09	519.967	6.719.613	220,00	1,00	30,16	4,80
Taquara 14	TAQ-14	522.373	6.723.230	90,00	31,00	61,00	7,20

Os perfis estratigráficos obtidos nos boletins de perfuração constam no **Quadro 5**. A descrição litológica comumente é obtida durante a perfuração e possui caráter técnico, entretanto, corrobora na interpretação de dados e no desenvolvimento de cada poço. Os pontos selecionados para coleta de água, na sua maioria, possuem dados completos, portanto com descrição do perfil e indicação das entradas d'água (EA) e entradas d'água isoladas (EAI), o que serve como base na compreensão hidrogeoquímica, auxiliando na correlação entre os principais litótipos e sua influência na composição da água.

Quadro 5: Descrição sucinta dos perfis estratigráficos dos poços coletados.

Identificação	de (m)	até (m)	Descrição
Araricá 2	0	3	Sedimento arenoso marrom
	3	7	Sedimento areno siltooso esbranquiçado
	7	11	Sedimento arenoso amarelado
	11	26	Arenito fino rosado --- EAI
	26	58	Arenito fino silicificado rosado --- EA
	58	65	Diabásio cinza escuro
	65	92	Arenito silicificado avermelhado
	92	95	Folhelho avermelhado
	95	114	Arenito médio branco a rosado --- EA
	114	126	Arenito rosado
	126	133	Arenito silicificado avermelhado
	133	146	Siltito marrom escuro
	146	166	Siltito cinza esverdeado
	166	201	Arenito fino rosado
201	214	Arenito marrom escuro	
214	220	Arenito cinza esverdeado --- EA	
Campo Bom 1	0	8	Sedimento arenoso marrom escuro
	8	11	Sedimento argilo arenoso marrom claro
	11	20	Sedimento arenoso rosado
	20	89	Arenito com argila rosado
	89	15	Arenito médio rosado
	156	186	Arenito fino avermelhado
Campo Bom 2	0	3	Sedimento arenoso rosado
	3	11	Sedimento areno argiloso rosado
	11	22	Sedimento arenoso amarelado
	22	28	Sedimento arenoso friável rosado
	28	91	Arenito médio avermelhado --- EA
	91	100	Arenito fino rosado
Canela 2	0	3	Solo argiloso marrom claro com raízes
	3	5	Sedimento argilo arenoso avermelhado c/ frag. de basalto
	5	13	Basalto cinza claro
	13	26	Basalto cinza claro compacto
	26	31	Basalto cinza escuro compacto
	31	63	Basalto castanho
	63	71	Basalto castanho com pigmentos brancos
	71	75	Basalto cinza
	75	81	Basalto cinza com pigmentos brancos
	81	87	Arenito fino rosado --- EA
	87	129	Arenito fino avermelhado --- EA
129	150	Arenito fino rosado	
Canela 3	0	5	Sedimento silto argiloso marrom escuro
	5	8	Basalto marrom
	8	21	Basalto cinza escuro
	21	24	Basalto amigdalóide marrom escuro
	24	45	Basalto cinza escuro --- EA
	45	49	Basalto marrom
	49	56	Basalto cinza escuro
	56	66	Basalto marrom
	66	81	Basalto amigdalóide marrom escuro

	81	102	Basalto cinza escuro
	102	106	Basalto amigdalóide marrom escuro --- EA
	106	120	Basalto marrom escuro
Canoas 3	0	3	Sedimento arenoso rosado
	3	6	Sedimento silto argiloso amarelado
	6	27	Sedimento areno argiloso rosado
	27	36	Arenito bege --- EA
	36	39	Arenito silicificado marrom escuro
	39	42	Argilito avermelhado
	42	55	Siltito avermelhado --- EA
	55	58	Siltito esverdeado
	58	64	Arenito fino rosado
	64	79	Siltito rosado
	79	88	Folhelho marrom escuro
	88	110	Folhelho cinza escuro --- EA
	110	126	Folhelho cinza esverdeado
	126	130	Folhelho cinza escuro
Canoas 50	0	4	Solo argiloso amarelado
	4	8	Sedimento silto argiloso amarelo esverdeado
	8	14	Sedimento argiloso bege
	14	25	Sedimento silto argiloso cinza
	25	31	Folhelho cinza
	31	38	Folhelho marrom escuro
	38	61	Diabásio cinza escuro
	61	111	Folhelho cinza --- EA
111	121	Folhelho silicificado cinza escuro --- EA	
Caraá 6938	ND	ND	ND
Caraá 6930	ND	ND	ND
Caraá 6941	ND	ND	ND
Caraá 6936	ND	ND	ND
Estância Velha 17441	0	15	Solo cinza amarronzado
	15	110	Arenito fino amarelo avermelhado
Estância Velha 12501	0	30	Solo
	30	90	Arenito médio
FLONA	ND	ND	ND
Fundação Zoobotânica	ND	ND	ND
Igrejinha 11	0	3	Sedimento argilo siltoso cinza
	3	5	Sedimento arenoso amarelado
	5	8	Seixos em matriz arenosa amarelado
	8	21	Arenito rosado --- EAI
	21	74	Arenito avermelhado --- EA
	74	78	Folhelho avermelhado
	78	85	Arenito médio rosado
	85	91	Arenito fino avermelhado
	91	100	Folhelho avermelhado
Nova Hartz 1	0	4	Solo marrom claro
	4	12	Sedimento arenoso rosado
	12	29	Arenito fino rosado
	29	36	Arenito médio rosado --- EA
	36	77	Arenito fino a médio rosa a bege
	77	95	Arenito fino silicificado avermelhado --- EA
	95	107	Arenito fino a médio avermelhado

	107	112	Arenito fino a médio branco vítreo --- EA
	112	130	Arenito fino rosa claro --- EA
	130	138	Arenito fino com silte avermelhado
	0	3	Solo marrom claro
	3	24	Basalto homogêneo cinza escuro --- EA
	24	47	Basalto cinza com mineralizações de cor esbranquiçada
	47	53	Basalto marrom
	53	61	Basalto homogêneo cinza
Nova Hartz 4	61	82	Basalto castanho com mineralizações
	82	94	Basalto pouco fraturado cinza escuro --- EA
	94	114	Basalto marrom
	114	124	Basalto cinza escuro
	124	138	Basalto marrom escuro
	138	250	Arenito avermelhado --- EA
	0	4	Solo areno argiloso
	4	9	Sedimento arenoso com argila bege
	9	23	Arenito fino com argila rosado
	23	59	Arenito fino a médio silicificado rosado --- EA
	59	77	Arenito conglomerático marrom escuro
Novo Hamburgo 1	77	88	Siltito avermelhado
	88	92	Arenito conglomerático marrom escuro
	92	99	Arenito silicificado cinza esverdeado a branco
	99	110	Folhelho rosado
	110	115	Siltito rosado
	115	120	Folhelho rosado
	0	6	Sedimento areno argiloso avermelhado
	6	53	Sedimento arenoso com silte rosado --- EAI
Novo Hamburgo 7	53	94	Arenito conglomerático friável avermelhado
	94	150	Arenito fino a médio marrom escuro --- EA
	0	4	Solo silto argiloso marrom claro
	4	7	Basalto alterado castanho
Parobé 1	7	14	Basalto homogêneo cinza
	14	42	Arenito silicificado rosado
	42	200	Arenito silicificado avermelhado --- EA
	0	3	Sedimento argilo arenoso castanho
	3	7	Sedimento silto arenoso marrom
	7	19	Arenito fino pouco alterado avermelhado
Parobé 3	19	46	Arenito fino a médio rosado --- EAI
	46	102	Arenito fino rosado --- EA
	102	121	Arenito fino avermelhado --- EA
	121	150	Arenito fino a médio rosado --- EA
	0	6	Sedimento areno argiloso avermelhado
	6	13	Sedimento arenoso amarelado
Portão 2	13	48	Arenito médio rosado --- EA
	48	59	Arenito silicificado avermelhado
	59	72	Arenito pouco friável rosado --- EA
	72	126	Arenito fino a médio rosado --- EA
Riozinho 7375	ND	ND	ND
	0	3	Areia siltosa marrom
Rolante 7388	3	6	Areia argilosa cinza
	6	55	Arenito bege a rosado --- EA
	55	78	Arenito médio vermelho

	78	91	Arenito médio rosado
	0	5	Sedimento argiloso com pedregulhos marrom
	5	13	Basalto homogêneo cinza escuro
	13	78	Basalto cinza a castanho --- EA
Rolante 7392	78	102	Basalto verde acinzentado --- EA
	102	108	Basalto homogêneo cinza escuro
	108	114	Basalto cinza amarronzado
	114	150	Basalto verde acinzentado
Rolante 7394	ND	ND	ND
	0	4	Sedimento areno argiloso marrom
	4	8	Basalto cinza
São Francisco de Paula 3	8	137	Basalto de cor, cinza, castanho e esverdeado --- EA
	137	173	Basalto amigdalóide avermelhado --- EA
	173	196	Basalto marrom escuro e cinza
	196	200	Basalto vesicular com quartzo e zeolitas, marrom
São Franc. de Paula 6987	0	30	Basalto
São Franc. de Paula 7003	0	45	Basalto
	0	4	Solo rosado
	4	8	Sedimento arenoso amarelado
	8	15	Sedimento areno argiloso marrom escuro
	15	21	Seixos em matriz arenosa marrom escuro
	21	35	Arenito fino a médio avermelhado
	35	49	Arenito conglomerático avermelhado
São Leopoldo 1	49	55	Folhelho avermelhado
	55	59	Arenito fino silicificado rosado
	59	106	Arenito fino avermelhado
	106	111	Siltito avermelhado
	111	135	Arenito marrom escuro --- EA
	135	139	Folhelho marrom escuro
	139	142	Folhelho rosado
	142	150	Folhelho marrom escuro
	0	11	Sedimento arenoso com argila marrom
	11	29	Sedimento arenoso com argila rosado
	29	45	Arenito fino rosado
	45	67	Arenito médio marrom a rosa claro
São Leopoldo 8	67	119	Arenito silicificado rosado
	119	143	Arenito médio marrom a rosa claro --- EA
	143	159	Arenito silicificado avermelhado
	159	189	Arenito silicificado vermelho escuro
	189	195	Folhelho avermelhado
	195	200	Arenito vermelho escuro
	0	4	Sedimento arenoso marrom escuro
	4	14	Sedimento arenoso rosado
	14	81	Arenito médio silicificado avermelhado
	81	89	Folhelho avermelhado
São Leopoldo 13	89	102	Arenito silicificado marrom escuro --- EA
	102	117	Arenito rosado
	117	122	Arenito silicificado marrom escuro
	122	134	Argilito avermelhado
	134	147	Arenito silicificado avermelhado
	147	155	Argilito avermelhado
	155	165	Siltito rosado

	165	180	Arenito avermelhado --- EA
	180	188	Arenito silicificado avermelhado
	188	193	Siltito silicificado avermelhado
	193	202	Arenito avermelhado
Santo Antônio da Patrulha 3	0	3	Sedimento areno siltoso marrom escuro
	3	12	Basalto marrom
	12	34	Basalto cinza escuro
	34	39	Basalto marrom escuro
	39	69	Basalto cinza escuro
	69	74	Basalto com cristais de quartzo marrom escuro
	74	98	Basalto cinza escuro
	98	105	Basalto marrom escuro
	105	180	Basalto cinza escuro
	180	193	Basalto cinza
	193	200	Arenito rosado --- EA
Taquara 3	0	8	Basalto alterado cinza
	8	16	Basalto homogêneo cinza escuro
	16	19	Basalto amigdalóide marrom escuro
	19	21	Basalto marrom
	21	30	Basalto cinza escuro
	30	36	Basalto amigdalóide cinza
	36	40	Basalto cinza escuro
	40	128	Basalto cinza escuro e marrom
	128	137	Basalto amigdalóide marrom escuro
	137	213	Basalto avermelhado, cinza escuro e marrom
213	300	Arenito médio a grosso rosa claro a bege --- EA	
Taquara 9	0	4	Solo marrom claro
	4	10	Sedimento silto arenoso marrom
	10	18	Arenito fino rosado
	18	49	Arenito silicificado fino avermelhado
	49	121	Arenito silicificado médio a fino rosado
	121	145	Arenito silicificado fino avermelhado
	145	154	Argilito avermelhado
	154	177	Arenito fino avermelhado
	177	201	Arenito rosado
	201	213	Argilito avermelhado
213	220	Arenito médio avermelhado --- EA	
Taquara 14	0	7	Sedimento areno argiloso cinza amarelado
	7	23	Basalto cinza escuro
	23	31	Basalto homogêneo cinza a castanho
	31	46	Basalto cinza com cristais de quartzo
	46	53	Basalto castanho
	53	72	Basalto homogêneo cinza --- EA
	72	90	Arenito fino avermelhado --- EA

A composição litológica dos 29 poços que contêm perfil estratigráfico permite segmentar a bacia em 04 principais domínios, desconsiderando as unidades formais (Formação, Grupo, etc), exposto na **Figura 6**.

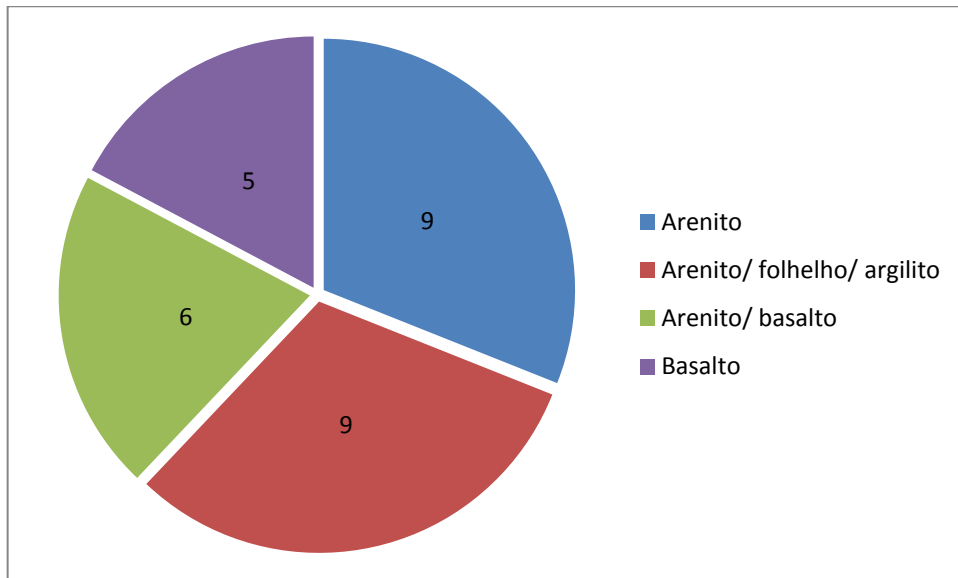


Figura 6: Diagrama circular de distribuição dos poços por litologia predominante.

Os poços perfurados somente em arenito estão distribuídos próximos à latitude mediana da bacia, englobando os municípios de Estância Velha, Portão, Novo Hamburgo, Campo Bom, Nova Hartz, Parobé e Rolante, em cotas que variam de 30 a 95 m. Os perfurados em arenito/ folhelho/ argilito estão concentrados desde a foz do Rio dos Sinos, em cotas aproximadas de 25 m, até a porção média do rio, em cota de 45 m, englobando os municípios de Canoas, São Leopoldo, Novo Hamburgo, Araricá, Igrejinha e Taquara. O domínio arenito/basalto distribui-se principalmente em faixa N-S, em cota mínima é de 80 m e máxima de 200 m, constituída pelos municípios de Parobé, Taquara, Nova Hartz, Canela e Santo Antônio da Patrulha, sendo que este último encontra-se isolado na porção leste da bacia. Os poços perfurados somente em basalto estão nas cotas superiores a 180 m, com altitude máxima de 915 m em São Francisco de Paula, próximo ao limite NE da bacia. Fazem parte também os municípios Canela e Rolante.

Os parâmetros físico-químicos aferidos durante as coletas (**Figura 7**) indicam certa variância ao longo da bacia, o que se percebe nos valores de pH, que oscilam entre 6,0 e 9,5, com tendência de acréscimo das Terras Altas para as Baixas, ou seja, valores de pH entre 6 e 8 predominam em poços locados em perfil basáltico, enquanto os casos com pH acima de 8 mostram a influência do pacote sedimentar da Bacia do Paraná. O mesmo comportamento não pode ser observado em relação à condutividade elétrica, a qual varia de 0,12 a 1,54 mS/cm² sem padrão definido ao longo de toda a área. Apenas no poço PA-01 o valor obtido foi de 165,7 mS/cm²,

bastante anômalo com relação aos demais. A temperatura oscilou entre 17,4 e 24,8°C de forma aleatória, porém, cabe ressaltar que este parâmetro é de pouca relevância ao estudo.

Ressalta-se que o ponto de coleta PA-01 foi suprimido do gráfico de condutividade elétrica apresentado a seguir, com o intuito de não haver recobrimento dos demais pontos de coleta e, para temperatura, alguns valores estão ausentes devido à incongruência no equipamento durante as amostragens.

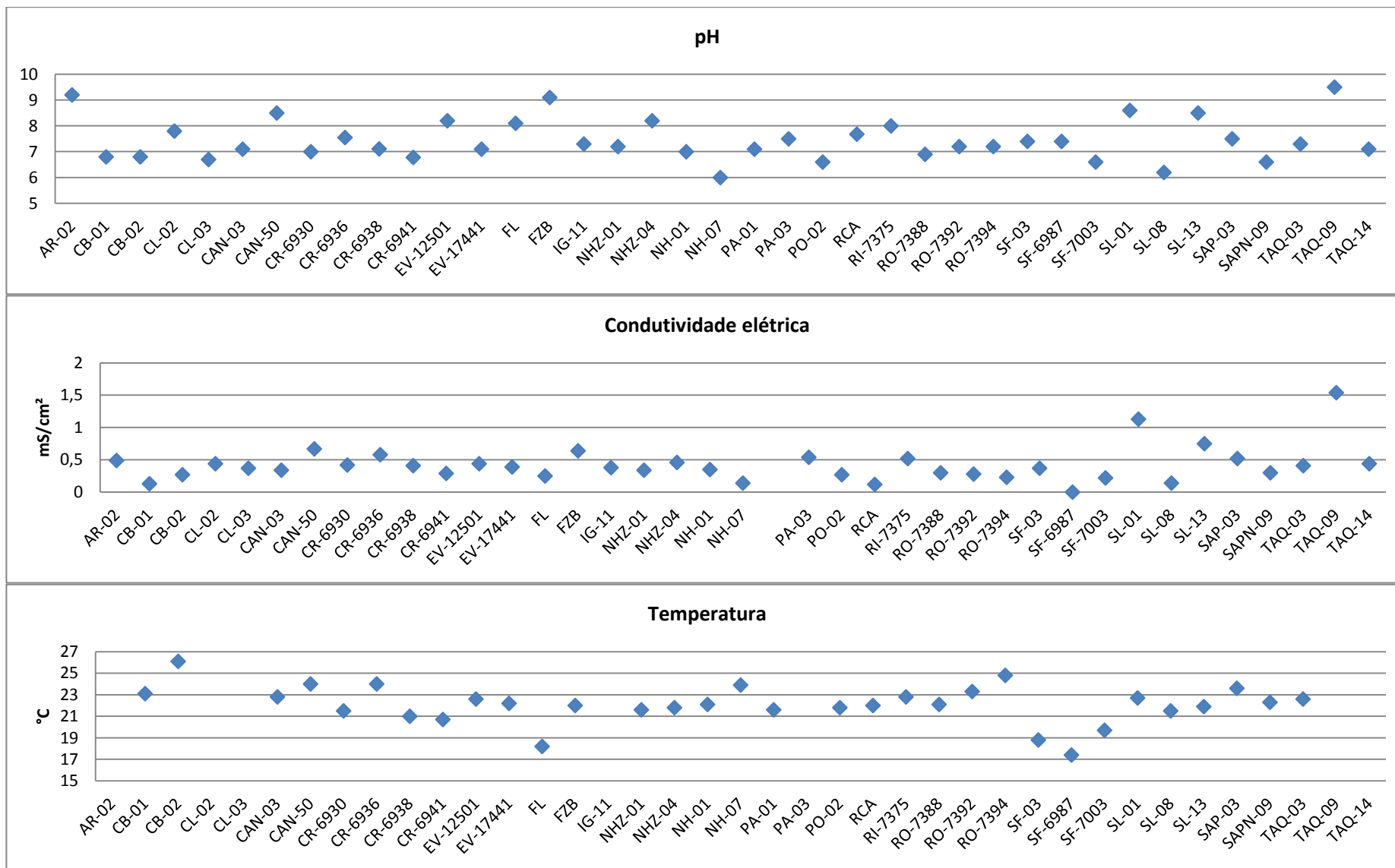


Figura 7: Diagramas de dispersão para os parâmetros físico-químicos aferidos durante as coletas de água.

Os resultados analíticos obtidos por ICP-MS demonstram que, mesmo com baixos limites de detecção assegurados pelo método, 35 elementos químicos analisados do conjunto de 70 situaram-se abaixo dos valores de detecção. Entretanto, compreendem elementos traços comumente encontrados em valores inferiores a 0,1 mg/l, pela baixa disponibilidade no meio físico ou mobilidade reduzida no perfil geológico. O **Quadro 6** demonstra a porcentagem de amostras situadas abaixo dos LD para cada elemento.

Quadro 6: Elementos químicos com predominância de resultados analíticos abaixo dos limites de detecção.

Elementos com predomínio inferior ao LD	%
Ag, Au, Bi, Cd, Dy, Er, Eu, Gd, Ho, In, Lu, Nb, Pd, Pt, Re, Sm, Tb, Te, Tm, Yb	100
Hf, Hg, Ta, Th	97,4
Pr, Rh, Sb	94,9
Tl	92,3
Ru	87,2
La, Se	84,6
Zr	82
Ti	69,2
Nd	66,6
Be	64

Ressalte-se que cádmio e mercúrio, importantes contaminantes em sistemas urbanos aos quais se agrega grande risco para os seres vivos, mesmo quando analisados por ICP-MS e tendo limites de detecção da ordem de 0,05 e 0,1 ppb, respectivamente, apresentam concentrações inferiores. Apenas a amostra NHZ-01 possui concentração superior para o Hg, com 0,7 ppb.

Os resultados compilados da análise química são apresentados na **Tabela 2**, o qual representa a principal base deste estudo.

Tabela 2: Resultados analíticos obtidos por ICP-MS.

Amostra	pH	cond mS/cm ²	Ag PPB	Al PPB	As PPB	Au PPB	B PPB	Ba PPB	Be PPB	Bi PPB	Br PPB	Ca PPM	Cd PPB	Ce PPB	Cl PPM	Co PPB	Cr PPB	Cs PPB	Cu PPB	Dy PPB
AR-02	9,20	0,49	<0,05	37,00	1,20	<0,05	257,00	36,90	<0,05	<0,05	24,00	9,45	<0,05	0,04	1,00	0,13	2,30	<0,01	1,10	<0,01
CAN-03	7,10	0,34	<0,05	5,00	1,80	<0,05	28,00	161,31	<0,05	<0,05	21,00	17,56	<0,05	0,01	<1	0,05	0,70	0,03	0,60	<0,01
CAN-50	8,50	0,67	<0,05	13,00	<0,5	<0,05	219,00	90,15	<0,05	<0,05	34,00	3,39	<0,05	0,02	5,00	0,12	<0,5	0,13	0,60	<0,01
CB-01	6,80	0,13	<0,05	2,00	<0,5	<0,05	9,00	80,01	0,17	<0,05	11,00	5,42	<0,05	<0,01	<1	<0,02	0,80	0,08	1,00	<0,01
CB-02	6,80	0,25	<0,05	3,00	<0,5	<0,05	10,00	353,66	0,08	<0,05	14,00	18,38	<0,05	0,01	<1	0,02	0,80	0,01	6,90	<0,01
CL-02	7,80	0,44	<0,05	19,00	<0,5	<0,05	49,00	0,95	<0,05	<0,05	44,00	47,02	<0,05	0,07	<1	0,09	<0,5	0,02	0,90	<0,01
CL-03	7,10	0,34	<0,05	<1	<0,5	<0,05	18,00	0,31	<0,05	<0,05	58,00	26,49	<0,05	<0,01	2,00	<0,02	1,50	<0,01	1,00	<0,01
CR-6938	7,11	0,41	<0,05	2,00	0,70	<0,05	11,00	42,17	0,10	<0,05	62,00	34,38	<0,05	<0,01	5,00	<0,02	2,00	<0,01	2,10	<0,01
CR-6930	7,00	0,42	<0,05	2,00	<0,5	<0,05	16,00	0,59	<0,05	<0,05	60,00	34,08	<0,05	<0,01	6,00	0,04	0,70	0,01	0,60	<0,01
CR-6941	6,78	0,29	<0,05	3,00	<0,5	<0,05	10,00	0,36	<0,05	<0,05	21,00	20,01	<0,05	<0,01	3,00	<0,02	<0,5	<0,01	2,50	<0,01
CR-6936	7,55	0,58	<0,05	6,00	<0,5	<0,05	38,00	25,31	<0,05	<0,05	38,00	38,30	<0,05	<0,01	12,00	0,03	2,10	0,02	1,10	<0,01
EV-17441	7,10	0,39	<0,05	5,00	1,30	<0,05	14,00	82,75	0,08	<0,05	44,00	25,01	<0,05	0,01	19,00	0,12	2,20	<0,01	0,60	<0,01
EV-12501	8,20	0,44	<0,05	7,00	1,30	<0,05	23,00	46,47	<0,05	<0,05	29,00	12,12	<0,05	0,01	2,00	<0,02	5,60	0,10	2,00	<0,01
FL	8,10	0,25	<0,05	3,00	1,90	<0,05	83,00	0,22	<0,05	<0,05	13,00	11,70	<0,05	<0,01	<1	<0,02	<0,5	0,04	1,80	<0,01
FZB	9,10	0,64	<0,05	66,00	4,10	<0,05	215,00	81,84	<0,05	<0,05	27,00	2,11	<0,05	0,04	3,00	0,02	<0,5	<0,01	1,80	<0,01
IG-11	7,30	0,38	<0,05	4,00	0,80	<0,05	18,00	9,52	0,08	<0,05	57,00	31,20	<0,05	0,01	3,00	0,05	3,00	<0,01	0,90	<0,01
NH-01	7,00	0,35	<0,05	<1	1,70	<0,05	28,00	133,95	<0,05	<0,05	19,00	16,93	<0,05	<0,01	<1	0,03	2,70	0,02	0,20	<0,01
NH-07	6,00	0,14	<0,05	2,00	<0,5	<0,05	12,00	139,40	0,15	<0,05	5,00	2,34	<0,05	<0,01	2,00	0,19	0,80	0,32	2,30	<0,01
NHZ-01	7,20	0,34	<0,05	6,00	2,40	<0,05	12,00	131,27	0,08	<0,05	35,00	29,55	<0,05	0,06	6,00	<0,02	1,20	<0,01	1,70	<0,01
NHZ-04	8,20	0,46	<0,05	4,00	1,20	<0,05	59,00	20,20	<0,05	<0,05	18,00	46,38	<0,05	0,01	1,00	<0,02	5,10	0,01	0,90	<0,01
PA-01	7,10	165,70	<0,05	4,00	<0,5	<0,05	9,00	5,99	<0,05	<0,05	35,00	14,92	<0,05	<0,01	<1	0,10	10,00	<0,01	1,40	<0,01
PA-03	7,50	0,54	<0,05	<1	<0,5	<0,05	11,00	21,73	0,26	<0,05	50,00	56,40	<0,05	<0,01	3,00	<0,02	4,10	<0,01	1,60	<0,01
PO-02	6,60	0,27	<0,05	3,00	0,70	<0,05	9,00	31,59	0,12	<0,05	49,00	15,54	<0,05	0,02	6,00	0,03	1,00	0,03	0,80	<0,01
RCA	7,68	0,12	<0,05	36,00	<0,5	<0,05	9,00	10,68	<0,05	<0,05	26,00	4,24	<0,05	0,21	1,00	0,23	<0,5	<0,01	1,20	<0,01
RI-7375	8,00	0,52	<0,05	5,00	1,00	<0,05	54,00	18,00	0,08	<0,05	46,00	31,86	<0,05	<0,01	5,00	<0,02	4,20	0,01	0,50	<0,01
RO-7388	6,90	0,30	<0,05	3,00	0,80	<0,05	7,00	42,61	0,25	<0,05	31,00	16,43	<0,05	<0,01	3,00	<0,02	3,00	<0,01	0,40	<0,01
RO-7392	7,20	0,28	<0,05	8,00	<0,5	<0,05	6,00	0,31	<0,05	<0,05	43,00	24,62	<0,05	0,02	1,00	0,05	<0,5	0,01	1,90	<0,01
RO-7394	7,20	0,23	<0,05	2,00	<0,5	<0,05	6,00	0,12	0,12	<0,05	19,00	15,71	<0,05	<0,01	<1	<0,02	8,60	0,01	1,30	<0,01
SAP-03	7,50	0,52	<0,05	3,00	0,70	<0,05	38,00	37,44	<0,05	<0,05	104,00	25,87	<0,05	<0,01	18,00	0,04	<0,5	0,03	0,70	<0,01
SAPN	6,60	0,30	<0,05	24,00	<0,5	<0,05	16,00	2,06	<0,05	<0,05	37,00	19,68	<0,05	0,10	<1	0,08	2,20	<0,01	7,40	<0,01
SF-03	7,40	0,37	<0,05	2,00	0,50	<0,05	35,00	0,56	<0,05	<0,05	203,00	33,21	<0,05	0,01	<1	<0,02	<0,5	0,05	2,00	<0,01
SF-6987	7,40	0,00	<0,05	3,00	<0,5	<0,05	8,00	0,35	<0,05	<0,05	74,00	24,29	<0,05	<0,01	5,00	<0,02	<0,5	0,03	0,40	<0,01
SF-7003	6,60	0,22	<0,05	2,00	0,60	<0,05	9,00	0,35	<0,05	<0,05	14,00	13,60	<0,05	<0,01	<1	<0,02	<0,5	0,03	0,70	<0,01
SL-01	8,60	1,13	<0,05	18,00	8,40	<0,05	763,00	27,76	<0,05	<0,05	61,00	2,04	<0,05	0,05	8,00	0,15	<0,5	<0,01	1,40	<0,01
SL-08	6,20	0,14	<0,05	5,00	<0,5	<0,05	8,00	158,23	0,72	<0,05	45,00	3,18	<0,05	<0,01	2,00	0,18	<0,5	0,27	365,00	<0,01
SL-13	8,50	0,75	<0,05	31,00	43,80	<0,05	920,00	35,04	<0,05	<0,05	38,00	2,97	<0,05	0,09	3,00	0,19	1,20	<0,01	1,30	<0,01
TAQ-03	7,30	0,41	<0,05	3,00	<0,5	<0,05	21,00	12,80	0,07	<0,05	28,00	37,99	<0,05	<0,01	<1	0,02	9,50	<0,01	0,70	<0,01
TAQ-09	9,50	1,54	<0,05	13,00	0,90	<0,05	635,00	7,29	<0,05	<0,05	71,00	33,10	<0,05	0,02	21,00	0,02	<0,5	0,01	3,90	<0,01
TAQ-14	7,10	0,44	<0,05	3,00	<0,5	<0,05	19,00	1,72	<0,05	<0,05	43,00	37,24	<0,05	<0,01	1,00	0,08	2,20	<0,01	1,30	<0,01

Tabela 2 (continuação)

Amostra	Er PPB	Eu PPB	Fe PPB	Ga PPB	Gd PPB	Ge PPB	Hf PPB	Hg PPB	Ho PPB	In PPB	K PPM	La PPB	Li PPB	Lu PPB	Mg PPM	Mn PPB	Mo PPB	Na PPB	Nb PPB	Nd PPB
AR-02	<0,01	<0,01	12,00	0,81	<0,01	1,04	0,07	<0,1	<0,01	<0,01	0,82	<0,01	27,50	<0,01	0,80	1,84	3,20	75.403,00	<0,01	<0,01
CAN-03	<0,01	<0,01	14,00	0,44	<0,01	0,14	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	2,01	<0,01	11,20	<0,01	6,06	0,76	0,20	29.690,00	<0,01	<0,01
CAN-50	<0,01	<0,01	16,00	0,40	<0,01	0,88	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,93	<0,01	92,90	<0,01	1,23	3,57	4,20	129.409,00	<0,01	<0,01
CB-01	<0,01	<0,01	<10	<0,05	<0,01	0,08	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	4,39	<0,01	1,90	<0,01	1,48	3,74	<0,1	7.372,00	<0,01	<0,01
CB-02	<0,01	<0,01	<10	<0,05	<0,01	0,06	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	5,38	<0,01	3,30	<0,01	7,13	0,81	<0,1	8.340,00	<0,01	<0,01
CL-02	<0,01	<0,01	271,00	0,07	<0,01	0,18	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,17	0,03	11,30	<0,01	5,14	58,51	0,20	23.501,00	<0,01	0,03
CL-03	<0,01	<0,01	308,00	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,33	<0,01	2,40	<0,01	13,37	8,60	<0,1	10.891,00	<0,01	<0,01
CR-6938	<0,01	<0,01	<10	0,92	<0,01	0,16	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,48	<0,01	10,70	<0,01	11,59	0,22	0,10	20.934,00	<0,01	<0,01
CR-6930	<0,01	<0,01	<10	0,39	<0,01	0,10	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,26	<0,01	5,00	<0,01	11,89	0,53	0,20	22.056,00	<0,01	<0,01
CR-6941	<0,01	<0,01	<10	0,25	<0,01	0,06	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,10	<0,01	3,80	<0,01	8,83	0,24	<0,1	15.618,00	<0,01	<0,01
CR-6936	<0,01	<0,01	<10	0,17	<0,01	0,19	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,46	<0,01	10,10	<0,01	10,85	0,71	0,80	43.265,00	<0,01	<0,01
EV-17441	<0,01	<0,01	<10	<0,05	<0,01	0,10	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	1,48	<0,01	4,00	<0,01	7,72	2,09	<0,1	27.634,00	<0,01	<0,01
EV-12501	<0,01	<0,01	46,00	<0,05	<0,01	0,22	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	1,66	<0,01	12,80	<0,01	5,64	0,73	<0,1	58.853,00	<0,01	0,01
FL	<0,01	<0,01	57,00	0,10	<0,01	0,15	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,18	<0,01	13,00	<0,01	2,22	5,13	0,10	27.718,00	<0,01	0,01
FZB	<0,01	<0,01	14,00	<0,05	<0,01	0,28	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,60	0,02	23,60	<0,01	1,05	3,85	0,80	115.250,00	<0,01	0,03
IG-11	<0,01	<0,01	16,00	0,06	<0,01	0,12	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,78	<0,01	2,80	<0,01	12,50	0,81	<0,1	13.550,00	<0,01	<0,01
NH-01	<0,01	<0,01	<10	0,17	<0,01	0,09	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	3,67	<0,01	6,50	<0,01	6,91	1,62	4,00	27.542,00	<0,01	<0,01
NH-07	<0,01	<0,01	<10	0,35	<0,01	<0,05	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	4,26	<0,01	3,00	<0,01	0,81	2,40	<0,1	7.868,00	<0,01	<0,01
NHZ-01	<0,01	<0,01	112,00	<0,05	<0,01	0,11	<0,02	0,70	<0,01	<0,01	2,55	0,05	5,20	<0,01	4,85	9,98	<0,1	15.606,00	<0,01	0,03
NHZ-04	<0,01	<0,01	<10	<0,05	<0,01	0,44	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,42	<0,01	10,10	<0,01	2,12	0,59	0,20	27.424,00	<0,01	<0,01
PA-01	<0,01	<0,01	23,00	0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	1,18	<0,01	0,30	<0,01	8,12	2,75	<0,1	9.690,00	<0,01	<0,01
PA-03	<0,01	<0,01	39,00	<0,05	<0,01	0,29	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,65	<0,01	4,00	<0,01	17,45	0,16	<0,1	14.589,00	<0,01	<0,01
PO-02	<0,01	<0,01	<10	<0,05	<0,01	0,06	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	1,87	<0,01	2,30	<0,01	7,36	0,55	<0,1	13.927,00	<0,01	0,01
RCA	<0,01	<0,01	147,00	0,57	<0,01	<0,05	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,88	0,07	0,50	<0,01	2,00	12,31	<0,1	5.111,00	<0,01	0,08
RI-7375	<0,01	<0,01	<10	<0,05	<0,01	0,26	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,46	<0,01	13,00	<0,01	6,54	0,32	0,40	45.299,00	<0,01	<0,01
RO-7388	<0,01	<0,01	<10	<0,05	<0,01	0,19	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,51	<0,01	2,60	<0,01	11,52	0,23	<0,1	14.494,00	<0,01	0,01
RO-7392	<0,01	<0,01	92,00	<0,05	<0,01	0,16	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,17	<0,01	5,00	<0,01	7,07	21,78	<0,1	10.228,00	<0,01	0,01
RO-7394	<0,01	<0,01	26,00	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,36	<0,01	0,30	<0,01	7,46	0,32	<0,1	6.192,00	<0,01	<0,01
SAP-03	<0,01	<0,01	13,00	0,34	<0,01	0,44	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,49	<0,01	24,80	<0,01	2,10	0,63	0,50	64.966,00	<0,01	<0,01
SAPN	<0,01	<0,01	19,00	0,32	0,01	<0,05	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,25	0,06	1,10	<0,01	10,66	2,59	<0,1	11.723,00	<0,01	0,09
SF-03	<0,01	<0,01	33,00	0,07	<0,01	0,16	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	1,54	<0,01	9,70	<0,01	6,28	2,62	0,10	18.388,00	<0,01	<0,01
SF-6987	<0,01	<0,01	<10	<0,05	<0,01	0,15	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,64	<0,01	6,00	<0,01	4,50	1,51	<0,1	11.309,00	<0,01	0,01
SF-7003	<0,01	<0,01	<10	<0,05	<0,01	0,10	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,72	<0,01	2,90	<0,01	3,42	0,59	<0,1	8.927,00	<0,01	<0,01
SL-01	<0,01	<0,01	37,00	0,23	<0,01	0,25	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,83	<0,01	79,60	<0,01	0,85	2,11	7,30	223.452,00	<0,01	<0,01
SL-08	<0,01	<0,01	18,00	<0,05	<0,01	0,06	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	6,45	<0,01	2,30	<0,01	1,97	6,04	<0,1	5.615,00	<0,01	0,01
SL-13	<0,01	<0,01	46,00	0,15	<0,01	0,31	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	1,08	0,03	45,80	<0,01	1,09	3,05	1,70	149.353,00	<0,01	0,03
TAQ-03	<0,01	<0,01	32,00	0,27	<0,01	0,13	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,18	<0,01	3,50	<0,01	10,00	1,37	0,10	14.937,00	<0,01	<0,01
TAQ-09	<0,01	<0,01	30,00	0,66	<0,01	0,70	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,59	<0,01	110,80	<0,01	<0,05	0,83	4,50	239.238,00	<0,01	<0,01
TAQ-14	<0,01	<0,01	17,00	0,14	<0,01	<0,05	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,26	<0,01	2,40	<0,01	17,59	0,92	0,10	11.582,00	<0,01	<0,01

Tabela 2 (continuação)

Amostra	Ni PPB	P PPB	Pb PPB	Pd PPB	Pr PPB	Pt PPB	Rb PPB	Re PPB	Rh PPB	Ru PPB	S PPM	Sb PPB	Sc PPB	Se PPB	Si PPB	Sm PPB	Sn PPB	Sr PPB	Ta PPB	Tb PPB
AR-02	0,60	42,00	0,30	<0,2	<0,01	<0,01	0,96	<0,01	<0,01	<0,05	30,00	<0,05	5,00	<0,5	16.468,00	<0,02	0,11	62,71	0,05	<0,01
CAN-03	<0,2	82,00	0,20	<0,2	<0,01	<0,01	2,08	<0,01	0,01	<0,05	<1	<0,05	9,00	0,90	31.073,00	<0,02	0,11	244,19	<0,02	<0,01
CAN-50	0,80	16,00	0,20	<0,2	<0,01	<0,01	2,59	<0,01	<0,01	<0,05	2,00	<0,05	3,00	<0,5	8.145,00	<0,02	0,10	170,94	<0,02	<0,01
CB-01	0,30	323,00	0,20	<0,2	<0,01	<0,01	13,51	<0,01	<0,01	<0,05	<1	<0,05	4,00	<0,5	24.932,00	<0,02	0,08	27,55	<0,02	<0,01
CB-02	2,00	58,00	0,80	<0,2	<0,01	<0,01	13,60	<0,01	<0,01	0,06	<1	<0,05	4,00	<0,5	23.313,00	<0,02	0,06	125,88	<0,02	<0,01
CL-02	0,30	<10	0,20	<0,2	<0,01	<0,01	0,39	<0,01	<0,01	<0,05	9,00	<0,05	10,00	<0,5	32.797,00	<0,02	0,11	41,43	<0,02	<0,01
CL-03	0,40	27,00	0,30	<0,2	<0,01	<0,01	0,35	<0,01	<0,01	<0,05	<1	<0,05	11,00	<0,5	39.932,00	<0,02	0,09	16,24	<0,02	<0,01
CR-6938	<0,2	56,00	0,10	<0,2	<0,01	<0,01	0,37	<0,01	<0,01	<0,05	<1	<0,05	7,00	<0,5	28.461,00	<0,02	0,10	85,02	<0,02	<0,01
CR-6930	0,20	29,00	0,10	<0,2	<0,01	<0,01	0,33	<0,01	<0,01	<0,05	6,00	<0,05	8,00	<0,5	32.817,00	<0,02	0,12	49,01	<0,02	<0,01
CR-6941	0,20	88,00	0,20	<0,2	<0,01	<0,01	0,25	<0,01	<0,01	<0,05	<1	<0,05	9,00	<0,5	34.927,00	<0,02	0,12	22,23	<0,02	<0,01
CR-6936	0,30	17,00	0,60	<0,2	<0,01	<0,01	0,80	<0,01	<0,01	<0,05	19,00	<0,05	7,00	<0,5	22.752,00	<0,02	0,13	69,21	<0,02	<0,01
EV-17441	<0,2	83,00	0,20	<0,2	<0,01	<0,01	1,09	<0,01	<0,01	0,06	3,00	<0,05	3,00	<0,5	22.271,00	<0,02	0,20	60,49	<0,02	<0,01
EV-12501	<0,2	30,00	0,50	<0,2	<0,01	<0,01	1,15	<0,01	<0,01	0,05	<1	<0,05	2,00	<0,5	14.971,00	<0,02	0,10	130,46	<0,02	<0,01
FL	0,20	64,00	0,20	<0,2	<0,01	<0,01	0,33	<0,01	<0,01	<0,05	<1	<0,05	3,00	0,50	21.178,00	<0,02	0,09	3,63	<0,02	<0,01
FZB	0,80	65,00	24,80	<0,2	<0,01	<0,01	0,72	<0,01	<0,01	<0,05	5,00	0,47	<1	<0,5	6.298,00	<0,02	0,18	40,02	<0,02	<0,01
IG-11	0,50	101,00	0,40	<0,2	<0,01	<0,01	0,58	<0,01	<0,01	<0,05	<1	<0,05	9,00	<0,5	31.486,00	<0,02	0,14	95,42	<0,02	<0,01
NH-01	<0,2	<10	<0,1	<0,2	<0,01	<0,01	6,68	<0,01	<0,01	<0,05	1,00	<0,05	7,00	<0,5	22.568,00	<0,02	<0,05	61,71	<0,02	<0,01
NH-07	1,60	47,00	0,30	<0,2	<0,01	<0,01	16,76	<0,01	<0,01	<0,05	<1	<0,05	5,00	<0,5	17.649,00	<0,02	0,08	18,70	<0,02	<0,01
NHZ-01	<0,2	337,00	1,20	<0,2	0,01	<0,01	2,20	<0,01	<0,01	<0,05	3,00	<0,05	4,00	<0,5	23.689,00	<0,02	0,05	100,29	<0,02	<0,01
NHZ-04	<0,2	<10	0,50	<0,2	<0,01	<0,01	0,78	<0,01	<0,01	<0,05	27,00	<0,05	3,00	0,70	21.516,00	<0,02	0,09	145,51	<0,02	<0,01
PA-01	0,60	59,00	0,20	<0,2	<0,01	<0,01	1,55	<0,01	<0,01	<0,05	<1	<0,05	10,00	<0,5	36.630,00	<0,02	<0,05	55,63	<0,02	<0,01
PA-03	<0,2	21,00	0,30	<0,2	<0,01	<0,01	0,40	<0,01	<0,01	<0,05	<1	<0,05	11,00	<0,5	37.294,00	<0,02	0,19	89,01	<0,02	<0,01
PO-02	<0,2	265,00	0,10	<0,2	<0,01	<0,01	3,56	<0,01	<0,01	<0,05	<1	<0,05	3,00	<0,5	25.512,00	<0,02	0,09	71,97	<0,02	<0,01
RCA	0,40	11,00	0,20	<0,2	0,01	<0,01	2,04	<0,01	<0,01	<0,05	<1	<0,05	3,00	<0,5	9.575,00	<0,02	0,13	17,39	<0,02	<0,01
RI-7375	<0,2	10,00	<0,1	<0,2	<0,01	<0,01	0,82	<0,01	<0,01	0,05	22,00	<0,05	2,00	<0,5	14.634,00	<0,02	<0,05	156,15	<0,02	<0,01
RO-7388	0,30	144,00	0,10	<0,2	<0,01	<0,01	0,81	<0,01	<0,01	<0,05	<1	<0,05	4,00	<0,5	29.082,00	<0,02	0,06	83,88	<0,02	<0,01
RO-7392	<0,2	51,00	0,40	<0,2	<0,01	<0,01	0,33	<0,01	<0,01	<0,05	<1	<0,05	4,00	0,50	31.570,00	<0,02	0,05	11,63	<0,02	<0,01
RO-7394	<0,2	94,00	<0,1	<0,2	<0,01	<0,01	0,46	<0,01	<0,01	0,07	<1	<0,05	4,00	<0,5	27.843,00	<0,02	0,07	25,17	<0,02	<0,01
SAP-03	0,20	12,00	0,20	<0,2	<0,01	<0,01	0,91	<0,01	<0,01	<0,05	2,00	<0,05	4,00	<0,5	12.709,00	<0,02	0,12	111,09	<0,02	<0,01
SAPN	0,60	39,00	0,50	<0,2	<0,01	<0,01	0,35	<0,01	<0,01	<0,05	<1	<0,05	10,00	<0,5	34.675,00	<0,02	0,11	36,71	<0,02	<0,01
SF-03	0,60	121,00	0,30	<0,2	<0,01	<0,01	1,24	<0,01	<0,01	<0,05	<1	<0,05	8,00	0,90	24.246,00	<0,02	0,25	20,69	<0,02	<0,01
SF-6987	<0,2	132,00	0,20	<0,2	<0,01	<0,01	0,66	<0,01	<0,01	<0,05	<1	<0,05	3,00	<0,5	17.769,00	<0,02	0,05	29,41	<0,02	<0,01
SF-7003	<0,2	159,00	<0,1	<0,2	<0,01	<0,01	0,63	<0,01	<0,01	<0,05	<1	<0,05	3,00	<0,5	21.126,00	<0,02	0,06	24,05	<0,02	<0,01
SL-01	0,90	42,00	0,30	<0,2	<0,01	<0,01	1,01	<0,01	<0,01	<0,05	24,00	<0,05	2,00	<0,5	5.708,00	<0,02	0,11	34,06	<0,02	<0,01
SL-08	6,60	47,00	34,00	<0,2	<0,01	<0,01	20,93	<0,01	<0,01	<0,05	<1	1,33	2,00	<0,5	15.836,00	<0,02	3,73	31,60	<0,02	<0,01
SL-13	1,00	28,00	0,40	<0,2	<0,01	<0,01	1,72	<0,01	<0,01	<0,05	8,00	<0,05	2,00	2,10	6.002,00	<0,02	0,08	30,43	<0,02	<0,01
TAQ-03	0,20	44,00	0,20	<0,2	<0,01	<0,01	0,26	<0,01	<0,01	<0,05	6,00	<0,05	11,00	<0,5	37.078,00	<0,02	0,09	45,48	<0,02	<0,01
TAQ-09	<0,2	13,00	0,20	<0,2	<0,01	<0,01	0,55	<0,01	0,03	0,06	195,00	<0,05	2,00	<0,5	7.051,00	<0,02	0,11	787,07	<0,02	<0,01
TAQ-14	0,30	32,00	0,10	<0,2	<0,01	<0,01	0,28	<0,01	<0,01	<0,05	<1	<0,05	10,00	<0,5	33.322,00	<0,02	0,07	75,61	<0,02	<0,01

Tabela 2 (continuação)

Amostra	Te PPB	Th PPB	Ti PPB	Tl PPB	Tm PPB	U PPB	V PPB	W PPB	Y PPB	Yb PPB	Zn PPB	Zr PPB
AR-02	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,24	8,90	2,14	0,10	<0,01	23,70	1,31
CAN-03	<0,05	<0,05	11,00	<0,01	<0,01	2,32	4,80	0,03	0,42	<0,01	70,10	<0,02
CAN-50	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,08	<0,2	0,47	0,33	<0,01	12,00	0,04
CB-01	<0,05	<0,05	<10	0,03	<0,01	<0,02	0,90	0,03	0,01	<0,01	476,00	<0,02
CB-02	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,02	4,70	<0,02	0,02	<0,01	5.631,80	<0,02
CL-02	<0,05	<0,05	14,00	<0,01	<0,01	0,02	<0,2	0,08	0,05	<0,01	3,50	<0,02
CL-03	<0,05	<0,05	14,00	<0,01	<0,01	0,03	33,60	0,02	0,01	<0,01	23,80	<0,02
CR-6938	<0,05	<0,05	10,00	<0,01	<0,01	0,30	19,40	<0,02	0,83	<0,01	8,30	0,04
CR-6930	<0,05	<0,05	12,00	<0,01	<0,01	0,11	50,50	<0,02	0,31	<0,01	3,70	<0,02
CR-6941	<0,05	<0,05	13,00	<0,01	<0,01	<0,02	38,80	<0,02	0,19	<0,01	2,50	<0,02
CR-6936	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,48	57,50	0,09	0,13	<0,01	9,60	<0,02
EV-17441	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,14	19,70	<0,02	<0,01	<0,01	8,10	<0,02
EV-12501	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,34	42,00	0,03	0,03	<0,01	23,20	<0,02
FL	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	1,02	25,70	0,32	<0,01	<0,01	85,50	<0,02
FZB	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	1,63	38,40	0,35	0,03	<0,01	32,70	<0,02
IG-11	<0,05	<0,05	12,00	<0,01	<0,01	0,15	19,00	0,03	0,03	<0,01	20,20	<0,02
NH-01	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,07	9,40	0,07	<0,01	<0,01	<0,5	<0,02
NH-07	<0,05	<0,05	<10	0,10	<0,01	0,05	<0,2	<0,02	0,35	<0,01	223,30	<0,02
NHZ-01	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,08	10,10	0,03	0,04	<0,01	1,90	<0,02
NHZ-04	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,45	11,90	0,10	<0,01	<0,01	132,80	<0,02
PA-01	<0,05	<0,05	13,00	<0,01	<0,01	0,04	22,80	<0,02	0,02	<0,01	72,70	<0,02
PA-03	<0,05	<0,05	14,00	<0,01	<0,01	0,10	21,30	0,02	<0,01	<0,01	56,80	<0,02
PO-02	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,04	14,50	<0,02	0,03	<0,01	2,10	<0,02
RCA	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	<0,02	0,50	<0,02	0,64	<0,01	3,50	<0,02
RI-7375	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	4,23	24,80	0,37	<0,01	<0,01	31,20	<0,02
RO-7388	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,26	19,00	<0,02	0,01	<0,01	1,60	<0,02
RO-7392	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,03	11,30	<0,02	0,01	<0,01	350,60	<0,02
RO-7394	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,03	31,20	<0,02	<0,01	<0,01	3,80	<0,02
SAP-03	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,12	7,30	0,14	0,41	<0,01	44,10	<0,02
SAPN	<0,05	<0,05	14,00	<0,01	<0,01	<0,02	32,50	<0,02	0,41	<0,01	6,50	0,07
SF-03	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,49	10,30	0,03	0,05	<0,01	23,80	<0,02
SF-6987	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,08	7,80	<0,02	<0,01	<0,01	189,10	<0,02
SF-7003	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,38	14,90	<0,02	<0,01	<0,01	3,60	<0,02
SL-01	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	6,37	<0,2	0,42	0,09	<0,01	13,30	0,04
SL-08	<0,05	<0,05	<10	0,12	<0,01	0,07	0,70	<0,02	0,01	<0,01	212,40	<0,02
SL-13	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	3,54	323,80	0,14	0,07	<0,01	55,30	0,05
TAQ-03	<0,05	<0,05	14,00	<0,01	<0,01	0,09	32,30	0,02	0,30	<0,01	330,90	<0,02
TAQ-09	<0,05	0,05	<10	<0,01	<0,01	<0,02	<0,2	10,57	0,12	<0,01	25,30	0,11
TAQ-14	<0,05	<0,05	13,00	<0,01	<0,01	0,06	37,20	0,14	0,12	<0,01	8,40	<0,02

A Análise de Componentes Principais aplicada inicialmente nos 35 elementos considerados para análise estatística identificou os elementos apresentados no **Quadro 7** como *outliers*, portanto, sem correlação, ou com baixa correlação, entre as amostras, o que corresponde à valores atípicos no conjunto amostral. Esses elementos dificultam a realização do modelamento estatístico e foram subtraídos das análises conseguintes. No entanto, são de extrema relevância na compreensão hidrogeoquímica da área estudada, visto que indicam anomalias composicionais entre os poços de captação e descontinuidade na distribuição destes elementos.

Quadro 7: Elementos identificados como *outliers* na análise estatística.

<i>Outliers</i>
As, Br, Cl, Co, Cr, Cs, Cu, Ni, P, Pb, Sn, Sr, U, V, W, Zn

Dessa forma, o modelamento estatístico foi realizado com base em 19 elementos químicos, além dos parâmetros pH e condutividade elétrica. A extração dos componentes principais seguiu o método de rotação Varimax com normalização Kaiser, o que evidenciou 05 fatores expressos no **Quadro 8**.

Quadro 8: Fatores obtidos na Análise de Componentes Principais.

	Fatores				
	1	2	3	4	5
Ln_Na	,939	-,163			
Ln_Cond	,929		-,132		
Ln_Li	,920	-,175			
Ln_B	,907	-,209		,177	
Ln_pH	,846	-,209	-,276	,206	
Ln_Mo	,823	-,160	,196		,119
Ln_Ge	,822	-,139			,126
Ln_S	,818		-,113		
Sc	-,247	,872	-,117	,126	,194
Si	-,530	,765	-,199		
Mg	-,337	,761	-,263	-,190	
Ca		,751	-,338	-,124	
Ln_K	-,203	-,201	,922		-,126
Ln_Rb	-,236	-,275	,901		
Ln_Ba	,203	-,157	,817	-,140	,140
Ln_Mn				,884	-,133
Ln_Fe	,146	,162	-,166	,852	
Ln_Ce		-,344	-,106	,695	,410
Ln_Al	,427	-,484	-,126	,536	,253
Ln_Y					,956
Ga	,323				,884

Legenda: Ln – Logaritmo natural

A interação entre os Fatores identificou 06 *clusters* utilizando o método *Ward Linkage*, apresentados na **Figura 8**, na forma de dendograma.

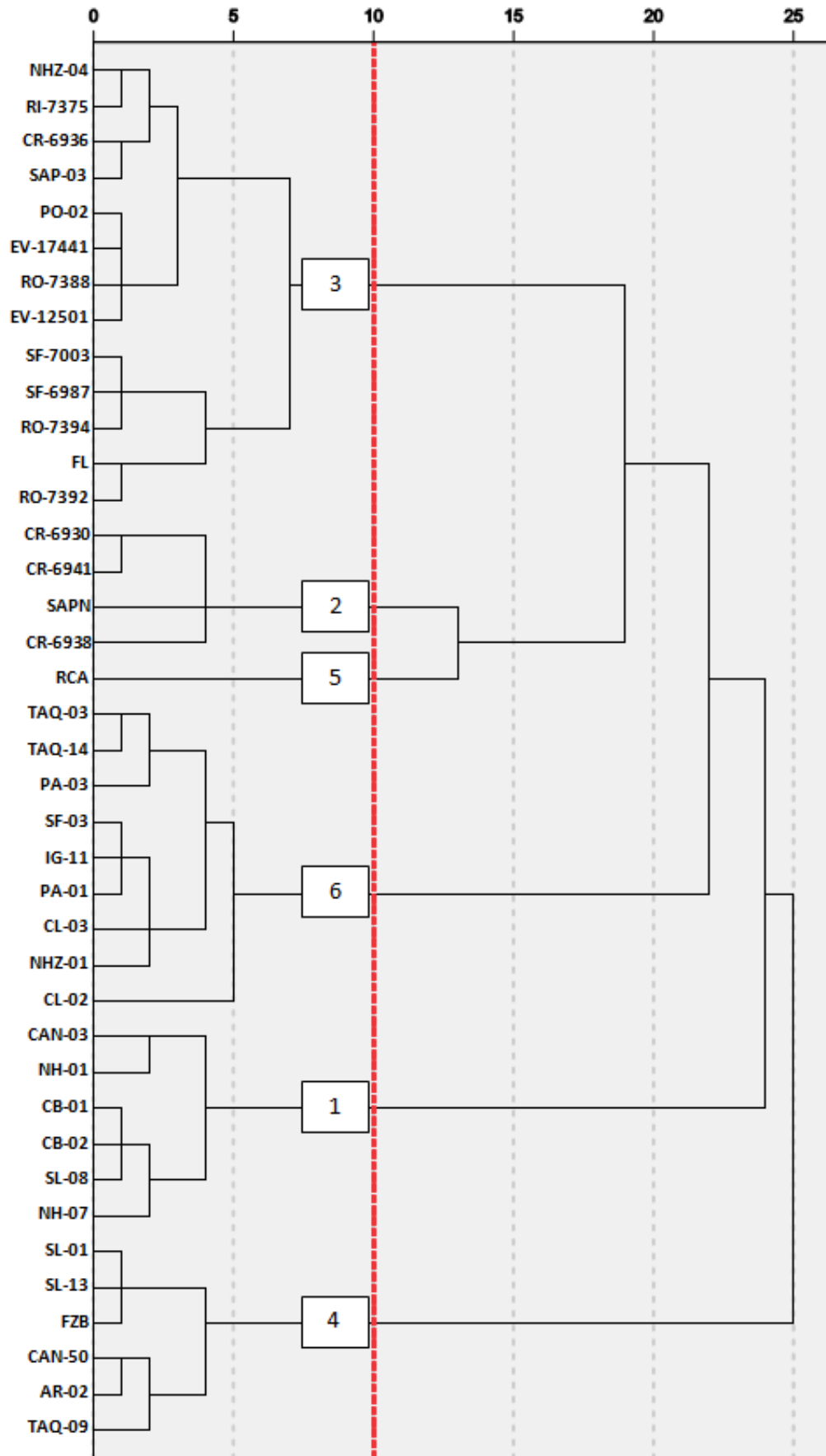


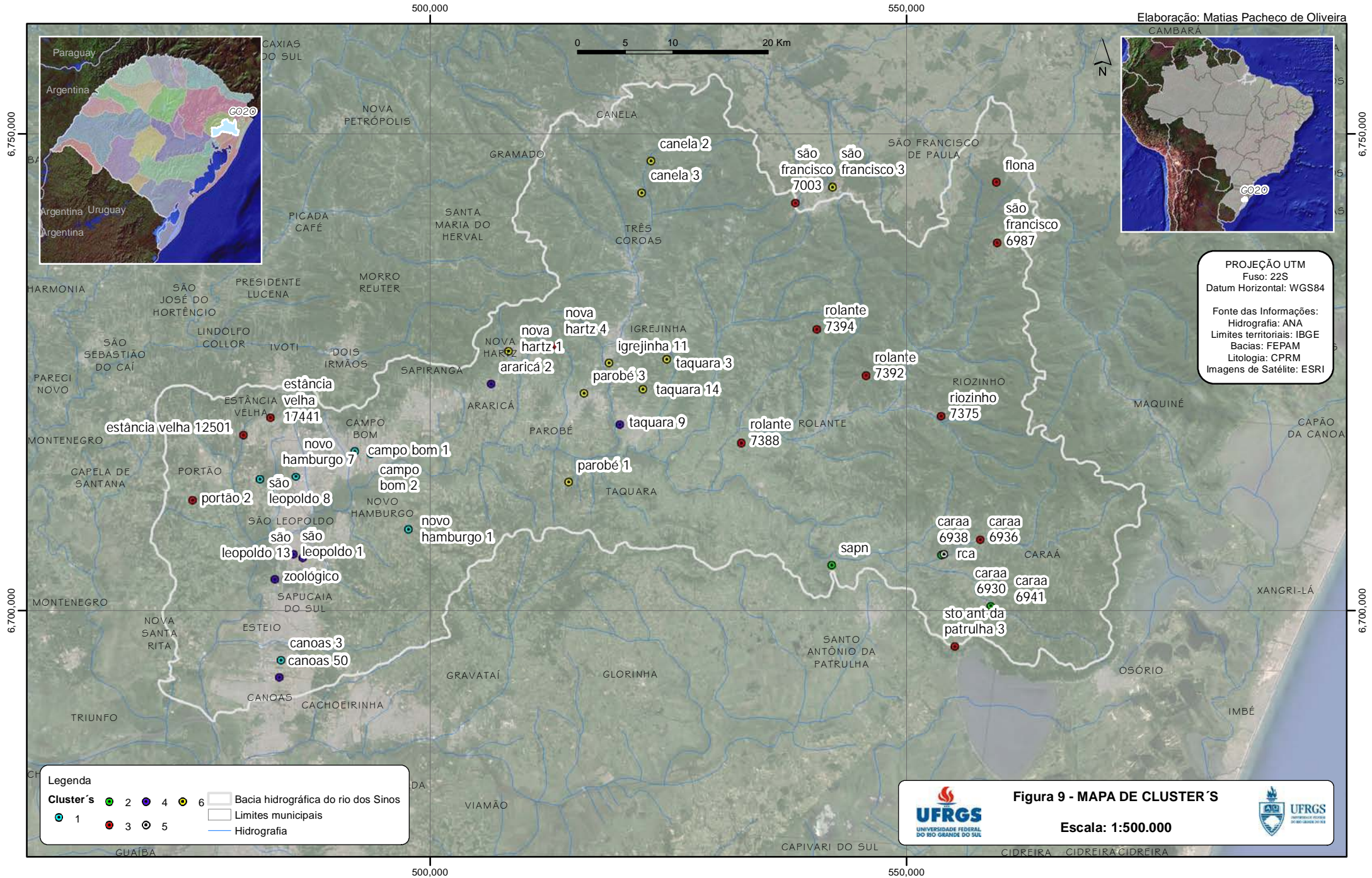
Figura 8: Dendrograma com a combinação de *clusters* obtidos por *Ward Linkage*.

1.7 Síntese integradora

A aquisição de dados secundários que permitam a caracterização fidedigna de aquífero é bastante limitada pela disponibilidade e pelo tipo de informações adquiridas durante a construção dos poços de captação ou gestão das águas subterrâneas. A descrição dos perfis litológicos pelos testemunhos de sondagem segue a caracterização básica da rocha, o que de fato cumpre com as necessidades dos órgãos ou empresas privadas. Da mesma forma, as análises químicas, quando presentes no cadastro, na maioria dos casos assumem erros de balanço iônico superiores aos conceitualmente aceitos.

A análise apresentada neste trabalho caracteriza a Bacia do Rio dos Sinos em sua totalidade, baseada em plano de amostragem desde as porções a montante, onde predominam basaltos da Formação Serra Geral e áreas pouco antropizadas, até as porções de jusante onde dominam rochas sedimentares da Bacia do Paraná em áreas de aglomerados urbanos e industriais. A segmentação hidrogeoquímica a partir da análise de 70 elementos químicos por ICP-MS, os quais foram refinados e inseridos em modelo estatístico para extração dos componentes principais e identificação de *clusters*, portanto, considera cada elemento químico como parâmetro essencial. A representação dos pontos de coleta segmentados por *cluster* segue na **Figura 9**.

Elaboração: Matias Pacheco de Oliveira



Os resultados demonstram que cerca de 50% dos elementos químicos analisados estão abaixo dos limites de detecção do ICP-MS, destacando-se entre outros, o Cd e o Hg (acima do LD apenas na amostra NHZ-01, em concentração de 0,7 ppb), considerados importantes contaminantes por influência antrópica, principalmente em áreas rurais com utilização de fertilizantes fosfatados, polos metalúrgicos/galvanoplásticos, fábricas e depósitos de baterias, curtumes, dentre outros (IPCS, 1992; Sanberg, 2008; WHO, 2011). Resultados semelhantes ao estudo em tela foram verificados por Rodrigues & Formoso (2006), os quais não detectaram Cd em coletas realizadas em cursos de rios próximos a curtumes em área adjacente à Bacia dos Sinos. Robaina *et al.* (2002) consideram de muito baixo a baixo o risco de contaminação por Cd no Rio dos Sinos e seus afluentes. No entanto, Hg em baixas concentrações está presente em amostras de fundo e em tecidos orgânicos coletados em peixes. A mobilidade geoquímica do Cd é bastante limitada, visto que tende a complexar-se como carbonatos insolúveis, como a otavita, sulfetos, como a greenokita, além de óxidos, sendo sua disponibilidade dependente do aumento da solubilidade do carbonato em condições oxidantes de baixo pH, ou ausência de sulfeto em condições redutoras (Deutsch, 1997). O Hg também é fortemente controlado pelas condições de oxi-redução e comumente está relacionado com a presença de Fe e S, precipitando na forma de sulfeto de mercúrio. O transporte no perfil de solo é influenciado por condições biogeoquímicas e normalmente se verificam maiores teores em horizontes orgânicos (Barringer *et al.*, 2013), fator determinante na distribuição deste elemento para porções subjacentes no perfil de solo e disponibilidade em águas subterrâneas.

Dentre os elementos considerados *outliers* para o modelamento estatístico é importante discretizar os metais As, Pb, V, Cr, Cu e Ni.

- **Arsênio**

Distribui-se, em média, em concentrações abaixo de 2,2 ppb e, em diversos casos, abaixo do limite de detecção (0,5 ppb). Entretanto, nos poços SL-01 e SL-13, ambos locados no Município de São Leopoldo e distantes aproximadamente 1 km entre si, as concentrações são de 8,4 ppb e 43,8 ppb,

respectivamente, o que de fato evidencia contaminação pontual nesta localidade. Como parâmetro comparativo, a Resolução Conama nº 396/2008 adota o limite de 10 ppb para água de consumo humano e 50 ppb para água de recreação. A concentração mais elevada dentre os demais poços inseridos no mesmo *cluster* (*cluster-4*, vide **Figura 8**), é de 4,1 ppb, aferida no poço FZB, locado nas adjacências dos poços supracitados. Rodrigues *et al.* (2010) identificaram teores próximos ao *background* geoquímico da área para este elemento em coletas realizadas em sedimento superficial e em perfil sedimentar em rios considerados sob risco de contaminação por atividade de curtumes, embora a literatura citada por estes autores afirme a utilização de sulfeto de arsênio em tratamento de couro no passado. Os dados obtidos corroboram na identificação de possível pluma de contaminação para este elemento de fonte aparentemente antrópica, visto que nos demais poços de mesmas litologias as concentrações mantêm-se próximas ao LD. O As é comumente associado ao Fe e possui mobilidade relacionada à espécie química presente no sistema. Na forma pentavalente apresenta mobilidade reduzida enquanto, em ambientes redutores, na forma trivalente, o As sofre menor adsorção e tem maior mobilidade, mais facilmente passando para a água subterrânea, principalmente em pH elevado (Deutsch, 1997; CETESB, 2012).

- **Chumbo**

O Pb também é evidenciado pela análise estatística e se distribui em concentrações muito próximas ao LD (0,1 ppb). Apenas nos poços FZB e SL-08 os valores ultrapassam o limite de 10 ppb estipulado pelo CONAMA para águas de consumo humano, em concentrações de 24,8 e 34,0 ppb, respectivamente. Os dois poços situam-se nas Terras Baixas da bacia, entre os municípios de Novo Hamburgo e São Leopoldo e, apesar de estarem inseridos em *clusters* distintos (*cluster 4* e *1*, respectivamente), são muito próximos composicionalmente. Robaina *et al.* (2002) consideram classes variáveis de risco para o Pb no Rio dos Sinos e seus afluentes, sendo que nos arroios Luiz Rau, Schimdt e Pampa estão as situações mais preocupantes, desde moderado a alto risco. Na natureza o Pb comumente é encontrado associado com S, formando a galena, porém sua distribuição nos perfis de solos é

fortemente controlada por oxi-hidróxidos de Fe e Mn, que adsorvem o Pb principalmente nas camadas mais superficiais do terreno, o que o torna um dos metais com menor mobilidade dentre os contaminantes (Deutsch, 1997). Este elemento foi largamente utilizado como antidetonante e lubrificante em combustíveis fósseis, o que acarretou fortes contaminações por via atmosférica, até sua proibição. Entretanto, ainda é utilizado em baterias elétricas, soldas, materiais de revestimento, materiais de borracha, dentre outros, portanto, associado às indústrias químicas e de construção civil (WHO, 2011; CETESB, 2012). Sobral *et al.* (2012) citam que durante o refino do minério de Pb, alguns elementos são removidos pelo Processo Harris, dentre eles o arsênio, estanho e antimônio, sendo que se pode adicionar os mesmos dependendo da liga metálica requerida, em especial Sn e Sb, os quais agem como anticorrosivos e melhoram a fluidez do material quando fundido. De forma concordante, no presente estudo, verifica-se que Sb está abaixo do limite de detecção em praticamente todas as amostras, exceto nas duas amostras supracitadas onde os valores de Pb se sobressaem às demais. Em FZB a concentração é de 0,47 ppb e em SL-08 de 1,33 ppb. O Sn se mantém com valores próximos ao LD, sendo o mais elevado de 3,73 ppb, justamente no poço SL-08, no qual também se verifica o valor mais elevado para o Cu, de 365,00 ppb.

- **Vanádio**

Nos poços CR-6930, CR-6936 e SL-13, V está em concentrações anômalas para águas subterrâneas e que se sobressaem aos demais poços analisados. As concentrações obtidas são de 50,5 ppb, 57,5 ppb e 323,8 ppb, respectivamente. De acordo com a Resolução Conama nº 396, para consumo humano o valor de referência é de 50 ppb, porém em água potável a concentração geralmente é inferior a 10 ppb (CETESB, 2012). Os 03 poços estão nos *clusters* 2, 3 e 4, respectivamente, os quais são distintos composicionalmente e se desenvolvem em perfis basálticos da Formação Serra Geral (CR-6930 e CR-6936) e em perfil arenítico/ argilito das unidades permianas da Bacia do Paraná (SL-13). Portanto, fontes distintas para esse elemento podem ser assumidas. Valores acima de 30 ppb são observados também nos municípios de Canela, Estância Velha, São Leopoldo, Santo

Antônio da Patrulha (nascente) e Taquara. O V é relativamente abundante na crosta terrestre, em concentração média de 100 mg/kg distribuído em cerca de 65 minerais, sendo que possui mobilidade elevada em pH neutro e alcalino, enquanto que em pH ácido é reduzida. Algumas das fontes antrópicas são as refinarias e termoelétricas, visto que combustíveis fósseis tendem a possuir concentrações elevadas deste elemento (ATSDR, 2012). Dentre os usos, é utilizado em metalurgia para confecção de ligas metálicas especiais e aço carbono de alta resistência, além de catalisadores, produção de vidros coloridos, borracha sintética, esmaltes para porcelanas e tintas (CETESB, 2012). De forma sucinta, Barcha (1998) retrata sobre a presença deste elemento no Aquífero Botucatu na sua porção confinada, associado com fluoretos e hipertermalidade em águas alcalinas bicarbonatadas, o que confere elevado valor econômico. Os valores extraídos de CPRM são de 70 ppb e pH acima de 9,0. Por outro lado, os poços em questão estão locados juntos ou muito próximos a cemitérios, o que agrega risco de contaminação pela decomposição de corpos e artigos associados, como caixões. Jonker & Olivier (2012) relatam valores de 61,59 mg/kg de V em solos inseridos em cemitérios, enquanto que para o mesmo contexto, porém fora da zona de influência do cemitério, o valor é de 29,41 mg/kg. Os autores associam a contaminação deste elemento e de outros como B, Mn e Ni ao tratamento utilizado na preservação da madeira em caixões, bem como dos ornamentos metálicos e tintas.

- **Cromo, cobre e níquel**

Os metais Cr, Cu e Ni assumem concentrações relativamente baixas ao longo de toda bacia. Ambos podem formar minerais insolúveis, como carbonatos e/ou sulfetos, no caso do Ni, hidróxidos, no caso do Cr e minerais férricos com o Cu (Deutsch, 1997). Os 03 elementos são analisados por Rodrigues & Formoso (2005) em cursos de rios sob possível contaminação de curtumes, porém apenas com o Cr há enriquecimento em sedimentos, embora os valores se mantenham próximos ao *background* da região. Observam também que o Cr está na forma trivalente, essencial ao metabolismo humano em baixas concentrações, ao contrário da forma hexavalente, com alto poder toxicológico. Fepam (2001) utiliza Cr e Ni, além de Fe, na análise de cargas potencialmente

poluidoras e sua redução pelos sistemas de tratamentos, visto que esses elementos estão presentes na maioria dos processos industriais com despejos inorgânicos. Para o Cr, as cargas lançadas são relacionadas às indústrias de couro, responsáveis por 46%, enquanto que 34% estão associadas às metalúrgicas. A carga total (bruta) é de 588,1 t/ano, porém a carga efetivamente lançada é de 12,8 t/ano, o que indica 98% de redução da carga poluidora pelos sistemas de tratamento. 80% da carga de Ni está associada às indústrias metalúrgicas, com carga total (bruta) de 54,8 t/ano e carga lançada de 3,8 t/ano, representando redução de 93%. De forma pontual, como citado anteriormente, a concentração mais elevada de Cu é de 365,00 ppb verificada no poço SL-08, no qual também está a concentração mais elevada para o Pb (34,00 ppb). A Resolução CONAMA nº 396/2008 estipula 2.000 ppb como valor limite em águas de consumo humano para o Cu, portanto o valor verificado em SL-08 situa-se muito abaixo desta referência. Entretanto, a concentração neste poço está acima da média para os poços analisados (10,9 ppb) e, associado ao Pb, evidencia contaminação antrópica.

Além dos metais descritos e considerados *outliers*, o B é o único não-metal inserido no modelo estatístico com valores discrepantes em algumas amostras. Nos poços SL-01, SL-13 e TAQ-09, os valores ultrapassam 500 ppb. Em SL-01 e SL-13 os valores são, respectivamente, de 763 ppb e 920 ppb, sendo que nestes poços estão os teores mais elevados de As. Em TAQ-09 a concentração é de 635 ppb, no qual se verifica também o valor mais elevado para S (195 ppb). Os 03 poços estão no *cluster* 4, agrupados com os poços AR-02, CAN-50 e FZB, nos quais as concentrações de B estão acima de 200 ppb, valor acima da média para todos os poços analisados, de 95,00 ppb. Os perfis estratigráficos dos poços inseridos neste *cluster* indicam a presença de folhelhos associados com arenitos, os quais são oriundos das unidades sedimentares permianas da Bacia do Paraná. Conforme Rodrigues & Quadros (1976), o B foi utilizado para traçar a paleossalinidade desses depósitos, com teores mais elevados na Formação Irati, provável fonte deste elemento para a água subterrânea nos poços estudados.

1.8 Referências bibliográficas

- ATSDR- *Agency for Toxic Substances and Disease Registry*. 2012. **Toxicological Profile for Vanadium**. U.S Department of Health and Human Services, Public Health Service. Atlanta, EUA.
- Barcha, S. F. 1998. Ocorrência de Vanádio no Aquífero Botucatu. In: **X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**. São Paulo, Brasil. Disponível em: <<http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/issue/view/1188>>. Acesso em: maio de 2013.
- Barringer, J. L.; Szabo, Z.; Reilly, P. A. 2013. **Current Perspectives in Contaminant Hydrology and Water Resources Sustainability. Chapter 5: Occurrence and Mobility of Mercury in Groundwater**. Geological Survey, USA.
- Bittencourt, A. V. L.; Filho, E. F. R.; Hindi, E. C.; Filho, A. C. B. 2003. 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. **Revista Águas Subterrâneas**. nº17.
- Caetano-Chang, M. R.; Tai, W. F. 2003. Diagênese de Arenitos da Formação Pirambóia no Centro-Leste Paulista. **Geociências**, v. 22. Especial, p. 33-39. UNESP, São Paulo, Brasil.
- CETESB- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 1988. **Norma nº 6410- Amostragem e monitoramento das águas subterrâneas**. Atualizada em 1999. São Paulo. Brasil.
- CETESB- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2012. **Ficha de Informação Toxicológica: Arsênio e seus compostos**. São Paulo. Brasil.
- CETESB- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2012. **Ficha de Informação Toxicológica: Chumbo e seus compostos**. São Paulo. Brasil.
- CETESB- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2012. **Ficha de Informação Toxicológica: Vanádio e seus compostos**. São Paulo. Brasil.
- Comitesinos- Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos. Disponível em: <<http://www.comitesinos.com.br/>>. Acesso em: 13 de setembro de 2011.
- CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 396 de 3 de abril de 2008. Diário Oficial da União nº 66, de 7 de abril de 2008, Seção 1, páginas 64-68.

- CPRM- Serviço Geológico do Brasil. 2006. **Mapa dos Sistemas Aquíferos, Projeto Plano Diretor de Mineração da Região Metropolitana de Porto Alegre- PDM**. Superintendência Regional de Porto Alegre. Escala 1: 250.000.
- CPRM- Serviço Geológico do Brasil. 2006. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro. Escala 1: 750.000.
- CPRM- Serviço Geológico do Brasil. 2010. **Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul**. Programa Geologia do Brasil- Levantamento da Geodiversidade. Porto Alegre, Brasil.
- Deutsch, W. J. 1997. **Groundwater Geochemistry: Fundamentals and applications to contamination**. New York, Lewis Publishers. 221p.
- Dias, K. D. N. 2006. **Análise Estratigráfica da Formação Pirambóia, Permiano Superior da Bacia do Paraná, Leste do Rio Grande do Sul**. Dissertação de Mestrado em Geociências. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul- UFRGS.
- Fepam- Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_sinos/sinos.asp>. Acessos diversos entre 2010 e 2012.
- Fepam- Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler. 2001. **Diagnóstico da Poluição Hídrica Industrial na Região Hidrográfica do Guaíba**. Porto Alegre, Brasil.
- Frank, H. T. 2008. **Gênese e Padrões de Distribuição de Minerais Secundários na Formação Serra Geral (Bacia do Paraná)**. Tese de Doutorado em Geociências. Instituto de Geociência, Universidade Federal do Rio Grande do Sul- UFRGS.
- Gesicki, A. L. D. 2007. **Evolução Diagenética das Formações Pirambóia e Botucatu (Sistema Aquífero Guarani) no Estado de São Paulo**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo- USP.
- Heine, C. A. 2008. **Análise de Sustentabilidade de Uso do Sistema Aquífero Guarani em Ivoí- RS**. Tese de Doutorado em Geologia. Programa de Pós-Graduação em Geologia. Área de Concentração em Geologia Sedimentar. Universidade do Vale do Rio dos Sinos- UNISINOS.
- IPCS- International Programme on Chemical Safety. 1992. **Cadmium- Environmental aspects**. Disponível em: <<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc135.htm>>. Acesso em: março de 2013.

- Jonker, C.; Olivier, J. 2012. *Mineral Contamination from Cemetery Soils: Case Study of Zandfontein Cemetery, South Africa*. **International Journal of Environmental Research and Public Health**. **9**: 511-520.
- Lagemann, E. 1986. O setor Coureiro-calçadista na História do Rio Grande do Sul. **Ensaio FEE**, **7**(2): 69-82.
- Machado, J. L. F. 2005. **Compartimentação Espacial e Arcabouço Hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul**. Tese de Doutorado em Geologia. Programa de Pós-Graduação em Geologia. Área de Concentração em Geologia Sedimentar. Universidade do Vale do Rio dos Sinos- UNISINOS.
- Magna Engenharia Ltda, 1996. Simulação de uma Proposta de Gerenciamento dos Recursos Hídricos na Bacia do Rio dos Sinos. Relatório Final dos Estudos (RF). Porto Alegre, Brasil.
- Marimon, M. P. C. 2006. **O Flúor nas Águas Subterrâneas da Formação Santa Maria na Região de Santa Cruz do Sul e Venâncio Aires, RS, Brasil**. Tese de Doutorado em Geociências. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul- UFRGS.
- Marimon, M.P.C.; Kay, K; Roisenberg, A.2007. Anomalous fluoride concentration in groundwater—Is it natural or pollution? A stable isotope approach. **Isotopes in environmental and Health Studies**, **43**(2): 1-11.
- Milani, E. J.; Melo, J. H. G.; Souza, P. A.; Fernandes, L. A.; França, A. B. 2007. Bacia do Paraná. **B. Geoci. PETROBRÁS**, v.15, 265-287.
- Muradás, K. 2011. **Análise de Parâmetros para Mapeamento de Vulnerabilidade de Contaminação das Águas Subterrâneas do Aquífero Guarani nos Municípios de Portão e Estância Velha/ RS**. São Leopoldo. Dissertação de Mestrado em Geologia. Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Área de Concentração: Meio Ambiente e Recursos Naturais, Linha de Pesquisa em Planejamento Ambiental. UNISINOS.
- Nanni, A. S. 2008. **O Flúor em águas do Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul: origem e condicionamento geológico**. Tese de Doutorado em Ciências. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul- UFRGS.
- Plano Sinos- Plano de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos. 2011. Meta 5, síntese do Plano de Bacia. Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, Brasil.

- PRÓ-SINOS, Consórcio Público de Saneamento Básico da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos. Disponível em: <<http://www.consorcioprosinos.com.br/>>. Acesso em: 18 de agosto de 2011.
- Quintas, M. C. L.; Mantovani, M. S. M; Zalán, P. V. 1999. Contribuição ao Estudo da Evolução Mecânica da Bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, **29**(2): 217-226.
- Reginato, P. A. R.; Strieder, A. J. 2006. Caracterização Estrutural dos Aquíferos Fraturados da Formação Serra Geral na Região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Geociências**. **36**(1): 13-22.
- Robaina, L. E.; Formoso, M. L. L.; Pires, C. A. F. 2002. Metais Pesados nos Sedimentos de Corrente como Indicadores de Risco Ambiental- Vale do Rio dos Sinos, RS. **Revista do Instituto Geológico. São Paulo**. **23**(2): 35-47.
- Rodrigues, M. L. K.; Formoso, M. L. L. 2005. *Geochemical Distribution of Selected Heavy Metals in Stream Sediments Affected by Tannery Activities*. **Water, Air and Soil Pollution**. **169**: 167-184.
- Rodrigues, M. L. K.; Formoso, M. L. L. 2006. *Heavy Metals in Recent Sediments and Bottom-Fish Under the Influence of Tanneries in South Brazil*. **Water, Air and Soil Pollution**. **176**: 307-327.
- Rodrigues, M. L. K.; Koller, D. K.; Guerra, T; Formoso, M. L. L. 2009. Avaliação do risco toxicológico à saúde humana associado ao incremento do fluxo de cromo antrópico em segmentos fluviais afetados por curtumes. **Pesquisa em Geociências**, **36**(2): 149-164.
- Rodrigues, M. L. K.; Rocha, H. R.; Formoso, M. L. L.. 2010. Avaliação do teor de arsênio em sedimentos fluviais sob a influência da atividade de curtumes. **Fepam em Revista**, v.3, n.2.
- Rodrigues, R.; Quadros, L.P. 1976. Mineralogia das Argilas e Teor de Boro das Formações Paleozóicas da Bacia do Paraná. *In*: **29º Congresso Brasileiro de Geologia**. Anais, p. 351-379. Ouro Preto, Brasil.
- Sanberg, E. 2008. **Composição Isotópica do Zinco em materiais Naturais de Compartimentos Geoquímicos Impactados por Indústria Galvânica: Potencial (do Zinco) como Traçador de Contaminação ambiental**. Tese de Doutorado em Geociências. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul- UFRGS.
- SCHERER, C.M.S.; TOMAZELLI, L.J.; GOLDBERG, K. Construção, acumulação e preservação do paleoerg Botucatu. *In*: Roberto Iannuzzi; José Carlos Frantz. (Org.). *In*: **50 Anos de Geologia. Instituto de Geociências**. Porto Alegre. Comunicação e Identidade, 2007, v. 01, p. 283-297.

SIAGAS- Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. CPRM. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>>. Acesso em: 27 de maio de 2010.

Soares, A. P. 2008. **Variabilidade Espacial no Sistema Aquífero Guarani: Controles Estratigráficos e Estruturais**. Tese de Doutorado em Ciências. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul- UFRGS.

Sobral, L. G. S.; Oliveira, D. M.; Souza, C. E. G.; França, C. A.; Braga, P. F. A. Metalurgia do chumbo: processos de produção e refino. *In: Projeto Santo Amaro- Bahia*. CETEM. Rio de Janeiro. 150-173.

Trivelin, P. C. O. 2001. **Espectrometria de massas por deflexão magnética para determinações de razão isotópica de elementos leves**. 15p. Relatório Interno. CENA/USP. Piracicaba. Brasil.

Warren, L. V.; Almeida, R. P.; Hachiro, J.; Machado, R.; Roldan, L. F.; Steiner, S. S.; Chamani, M. A. C. 2008. Evolução sedimentar da Formação Rio do Rasto (Permo-Triássico da Bacia do Paraná) na porção centro sul do Estado de Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**. **38**(2-suplemento): 213-277.

WHO- World Health Organization. **Guidelines for drinking-water quality**. 4^a Ed. Geneva. Suíça.

2. Artigo científico

Distribuição geoquímica de metais pesados e outros elementos químicos em águas subterrâneas da Bacia do Rio dos Sinos, RS.

Geochemistry distribution of heavy metals and other chemical elements in the groundwater of Sinos River Basin, RS.

Cássio Aranovich de ABREU*¹; Ari ROISENBERG²

¹Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500. CEP: 9150-970, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. Email: aranovich.abreu@gmail.com

²Laboratório de Hidrogeoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500. CEP: 9150-970, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. Email: ari.roisenberg@ufrgs.br

Resumo

A Bacia dos Sinos compreende 32 municípios na região metropolitana de Porto Alegre, no Estado do Rio Grande do sul, em acentuado crescimento urbano/ industrial com impactos ambientais evidenciados em catástrofes nos recursos hídricos superficiais, porém ainda pouco descritos para o meio subterrâneo. A análise hidrogeoquímica dos aquíferos na bacia foi realizada com base em 37 poços tubulares e 02 amostragens em nascentes, com ênfase na seleção de poços com perfis estratigráficos descritos, nos quais se realizou coleta e análise química por ICP-MS em conjunto de 70 elementos. Os dados foram inseridos no *software* SPSS para Análise Fatorial de Componentes Principais e discretização do conjunto amostral em *clusters*, corroborando na identificação de *outliers*. Foram identificados 05 principais grupamentos, sendo 02 em aquífero poroso com folhelhos (*clusters* 1 e 4), 02 em aquífero misto com indicativos de mistura por ascendência (*clusters* 3 e 6) e 01 em aquífero fraturado (*cluster* 02). Dentre os *outliers*, ressalta-se o As em concentração mais elevada de 43,8 ppb, associado com B (920,0 ppb) e S (195,0 ppb), com indicativos de influência geogênica. Pb em concentração de 34,0 ppb, associado a Cu (365,00 ppb), demonstra elevados teores para esses elementos e contaminação antrópica. Os metais pesados Cr, Ni, Cd e Hg estão em concentrações muito próximas ou abaixo do LD (limite de detecção). Os resultados evidenciam distintos aquíferos com composições pontualmente anômalas, que devem ser monitoradas e melhor detalhadas, assegurando locações mais assertivas e segurança na distribuição de água potável.

Palavras-chave: Hidrogeoquímica, aquíferos, metais pesados, Bacia do Rio dos Sinos.

Abstract

The Sinos River Basin comprises 32 municipalities in the metropolitan region of Porto Alegre, at Rio Grande do Sul state, in sharp urban/ industrial growth with environmental impacts evidenced by disasters in surface water resources, however poorly described in regard to the groundwater. The hydrogeochemical analysis of aquifers in the basin was based on 37 wells, bearing consistent stratigraphic profiles, and 02 spring samples, from each one of the selected sources, samples for chemical analysis by ICP-MS comprising 70 elements were taken. Throughout the SPSS software data were processed for factorial principal component and clusters analysis, allowing the identification of outliers. Five main groups were identified, two of those in porous aquifer with shales (clusters 1 and 4), two in mixed aquifer with mixing indicative by rising (clusters 3 and 6) and one in fractured aquifer (cluster 2). Among the outliers, the arsenic in the highest concentration of 43.8 ppb associated with boron (920.0 ppb) and sulfur (195.0 ppb), all of them considered to hold geogenic influence, are worth to be mentioned. Lead concentration of 34.0 ppb, associated with copper (365.00 ppb) shows high levels for these elements and therefore are associated to anthropogenic contamination events. Heavy metals such as chrome, nickel, cadmium and mercury bear concentrations very close to or below the detection limit. The results show that distinct aquifers occasionally reveal groundwater anomalous compositions, which should be monitored and detailed, ensuring more assertive and safe drinking water distribution.

Key words: Hydrogeochemistry, groundwater, heavy metals, Sinos River Basin.

1. Introdução

A caracterização das águas subterrâneas na Bacia do Rio dos Sinos é pouco desenvolvida quando comparada ao monitoramento das águas superficiais, muito embora o cadastro contido na base SIAGAS- Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (CPRM- Serviço Geológico do Brasil) demonstre a importância deste recurso para a região, com cerca de 280 poços cadastrados.

O atual estado de degradação da bacia é evidenciado por eventos catastróficos, como a mortandade de 85 toneladas de peixes em 2006 e outros eventos de menor impacto, os quais estão associados à intensa urbanização no entorno dos cursos d'água e presença de polos industriais metalúrgicos, galvanoplásticos e de curtimento de couro. Os eventos comumente ocorrem em períodos de estiagem, quando o nível dos rios estão baixos e há incremento na concentração de cargas orgânicas e demais contaminantes.

A importância desta bacia para a comunidade é ressaltada pela presença do primeiro comitê de bacia hidrográfica do Brasil, intitulado de Comitesinos e na criação do Pró-Sinos- Consórcio Público de Saneamento Básico da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, os quais, associados à Fepam- Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (órgão vinculado à Secretaria Estadual de Meio Ambiente), constituem as principais bases de conhecimento, controle e monitoramento da bacia.

A utilização de dados secundários no reconhecimento hidrogeoquímico das águas subterrâneas é limitada à base pré-existente, que de forma abrangente possibilita a verificação dos principais parâmetros químicos e hidrodinâmicos, porém distribuídos ao longo de décadas, sem planos de monitoramento ativos e validação dos dados. A presente pesquisa visa a caracterização dos aquíferos situados na Bacia do Rio dos Sinos, embasada em plano de coleta em poços selecionados e análise química por ICP-MS com enfoque em metais dissolvidos e elementos traços, que possibilita a identificação de potenciais contaminantes e discretização preliminar das suas fontes.

2. Área, materiais e métodos

2.1. Área de estudo

A Bacia do Rio dos Sinos situa-se na porção leste do Estado do Rio grande do Sul, composta pelo curso principal que percorre por cerca de 190 km desde a região da nascente situada no Município de Caraá, até a parte inferior, denominada de Terras Baixas, onde estão os maiores aglomerados urbanos, como Canoas, Novo Hamburgo e São Leopoldo. A área total da bacia é de 3.820 km² e engloba 32 municípios, com cerca de 1.346.151 habitantes (Plano Sinos, 2011).

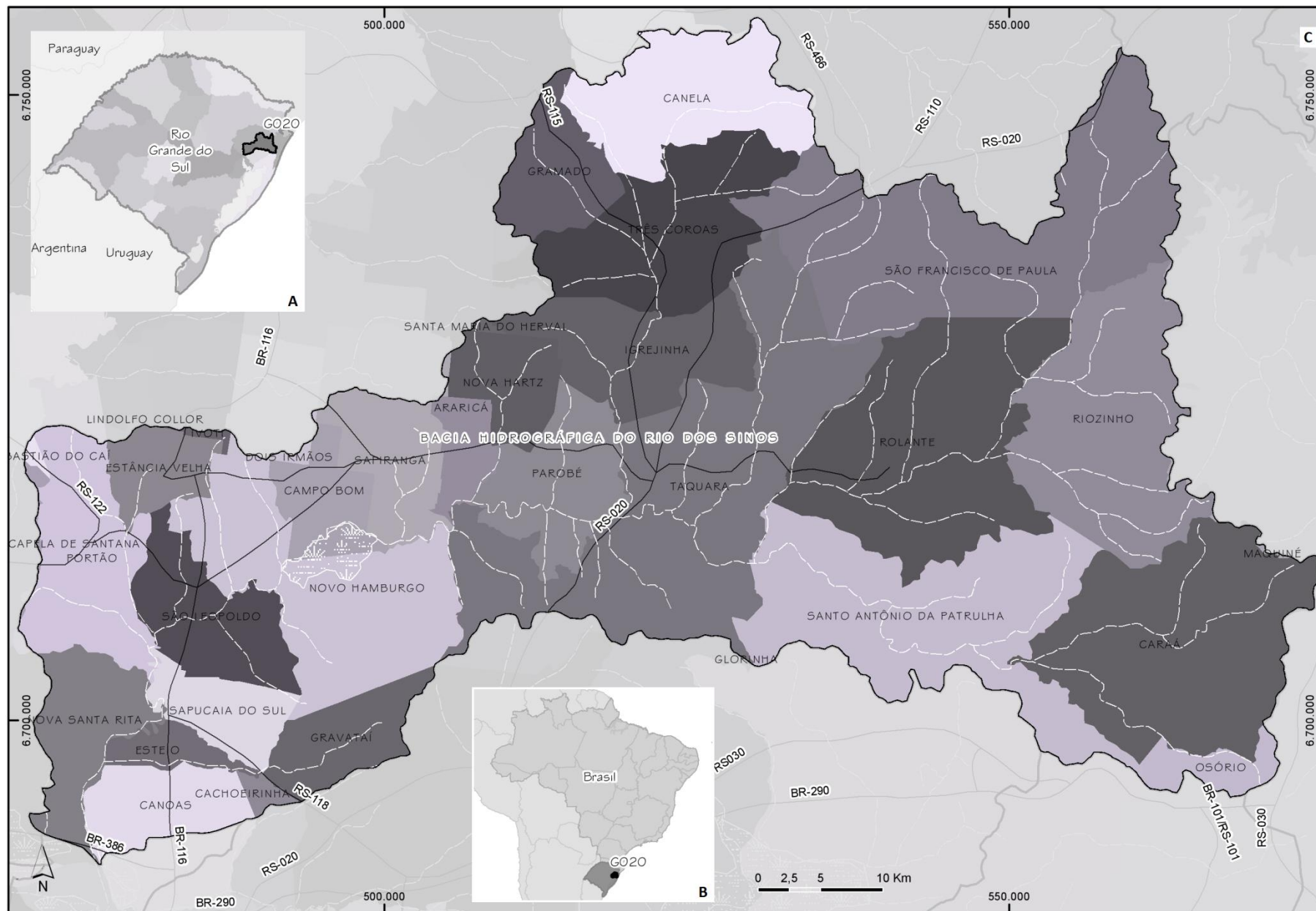


Figura 1: Subdivisão do Estado do RS em bacias hidrográficas com área de estudo em evidência (A), sua representação no Brasil (B) e distribuição dos municípios inseridos na Bacia do Rio Dos Sinos (C).

2.2. Caracterização Hidrogeológica

A área está inserida na Bacia do Paraná, conformada pela sequência vulcano-sedimentar originada em contexto Gonduânico, que abrange, além do Brasil, Uruguai, Paraguai e Argentina. Os extensos pacotes sedimentares distribuídos ao longo de 1,5 milhão de quilômetros quadrados são recobertos pela pilha vulcânica associada ao processo de rompimento de margem continental, as quais, somadas, perfazem registro estratigráfico de aproximadamente 7.000 m de espessura (Milani *et al.* 2007).

Com base no Mapa Geológico do Estado do Rio grande do Sul (CPRM, 2006), as nascentes do rio dos Sinos se desenvolvem nas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, representada por litótipos basálticos a riolíticos das fácies Gramado e Caxias, com menor expressão da fácies Várzea do Cedro. O sistema de fraturas NE e NW, além das fortes disjunções tabulares em topo de derrame, permitem a percolação da água e geração de aquífero com enorme importância na exploração de água subterrânea. Denominada de Unidade Hidrogeológica Serra Geral no Mapa dos Sistemas Aquíferos do Projeto Plano Diretor de Mineração da Região Metropolitana de Porto Alegre- PDM (CPRM, 2006), constitui aquífero com expressiva heterogeneidade e anisotropia, o que dificulta o modelamento físico-químico e de fluxo (Nanni, 2008), com predomínio de águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, tendo o Fe e Mn como elementos distribuídos em elevadas concentrações.

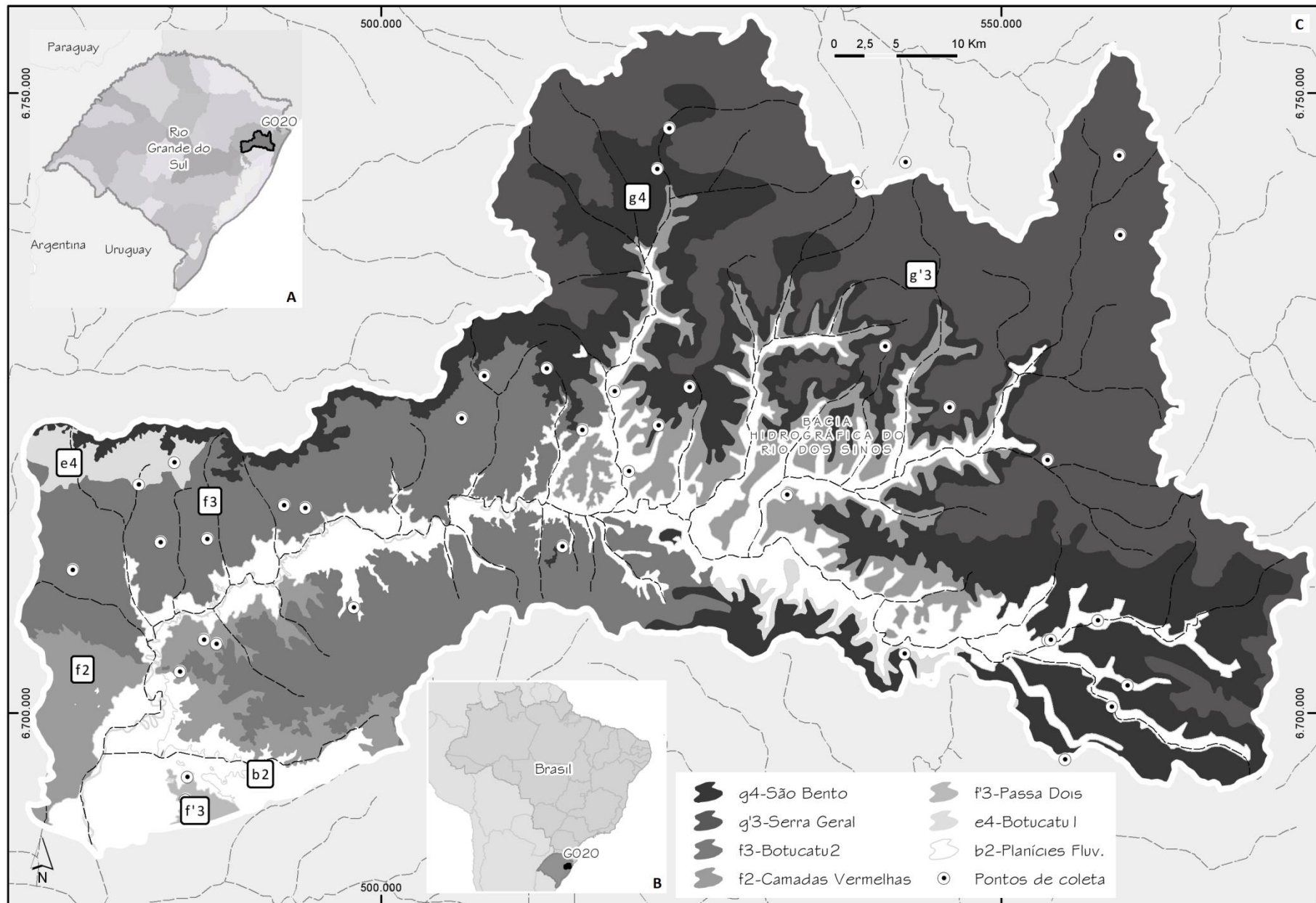


Figura 2: Subdivisão do Estado do RS em bacias hidrográficas com área de estudo em evidência (A) e sua representação no Brasil (B). Mapa Hidrogeológico da Bacia do Rio dos Sinos (C), modificado de CPRM (2006).

Na porção mediana da Bacia dos Sinos, conformada pelo escarpamento do relevo, estão distribuídos arenitos da Formação Botucatu, oriundos do paleoerg limitado no topo da seção por feições de interação com as rochas efusivas, portanto, depósitos de dunas ainda ativos durante os eventos vulcânicos (Scherer *et al.*, 2007). Esse contexto delimita duas Unidades hidrogeológicas: (I) São Bento, relacionada à porção confinada com forte controle estrutural dado pelas rochas efusivas, o que corrobora com a excelente qualidade de suas águas, com STD da ordem de 300 mg/L e vulnerabilidade baixa a negligenciável; (II) Botucatu, compõe a porção aflorante desses arenitos, porém com distintas situações dadas pelo controle estrutural por falhamentos gravitacionais (junto à escarpa) e porção mais homogênea com o distanciamento desta. Estão inseridos também os arenitos predominantemente eólicos, finos e de menor porosidade da Formação Piramboia (Caetano-Chang *et al.* 2003).

A Formação Rio do Rasto compreende a unidade basal da Bacia dos Sinos, cujo desenvolvimento está associado a ambiente de águas paráticas, portanto com sedimentação de granulometrias essencialmente finas, com formação de arenitos, siltitos e argilitos (Warren *et al.* 2008). Constitui a Unidade hidrogeológica Camadas Vermelhas, classificada como aquífero e utilizado como fonte de exploração devido a ausência de outras alternativas na região. Além das baixas vazões produzidas, a qualidade da água sofre grande influência negativa dada pelos argilitos. Proposições quanto à mistura de águas deste aquífero com os sobrepostos, principalmente da Unidade Serra Geral, são aventadas devido à presença de composições anômalas em águas exploradas em rochas basálticas, como elevados teores de flúor e enxofre, elementos típicos de depósitos sedimentares depositados em ambientes de águas calmas (Bittencourt *et al.* 2003; Marimon, 2006).

Depósitos recentes aluviais e coluviais estão distribuídos ao longo dos cursos d'água e no entorno dos mesmos, compostos por sedimentos quartzo-arenosos de granulometria heterogênea e areias finas intercaladas com material silto-argiloso correspondente às planícies de inundação. Constituem a Unidade hidrogeológica Planícies fluviolacustres e subatuais, de importância relativamente inexpressiva, devido à baixa permeabilidade e composições extraídas comumente com

elevadas concentrações de Fe, Mn e S. A espessura reduzida desses pacotes permite a utilização dos aquíferos sotopostos.

2.3 Materiais e métodos

A base cadastral da pesquisa foi obtida junto à empresa HidroGeo Perfurações, que permitiu acesso ao banco de dados organizados em plataforma digital e possibilitou a identificação de 228 poços inseridos nos municípios inseridos na Bacia dos Sinos. Com intuito de complementar a distribuição dos poços, se utilizou o cadastro SIAGAS-CPRM.

A etapa de seleção dos poços permitiu o refinamento dos dados com base na exclusão daqueles com análises químicas incompletas e/ou com valores acima de 10% para o cálculo de balanço iônico. Demais poços não estão inseridos na pesquisa por fazerem parte dos municípios da Bacia dos Sinos, porém além dos limites desta, bem como aqueles onde não foi permitida a coleta. Dessa forma, o estudo contempla a análise da bacia com 37 poços distribuídos ao longo de toda área, a maior parte deles com descrição dos perfis estratigráficos, informação essencial para a compreensão hidrogeoquímica. A fim de complementar a pesquisa, coletou-se duas amostras de água superficial em nascentes, as quais seguiram as mesmas análises das demais.

Alíquotas de 1L de água foram obtidas conforme exposto na Norma CETESB nº 6410 (1988). As amostras, acidificadas em campo a pH 2 com ácido nítrico ultrapuro e filtradas com membrana 0,45 µm foram enviadas ao laboratório AcmeLabs sediado em Vancouver (Canadá), onde se realizou análise química por ICP-MS de um conjunto de 70 elementos, incluindo metais pesados e traços, com Limites de Detecção conforme Quadro 1. Os parâmetros pH, condutividade elétrica e temperatura foram aferidos durante as coletas. A acidificação realizada anteriormente à filtragem permite analisar o teor potencial de cada elemento no meio físico, independente de este se encontrar adsorvido em argilominerais ou dissolvido na água.

Quadro 1: Limites de detecção para os elementos químicos analisados por ICP-MS.

Ag	Al	As	Au	B	Ba	Be	Bi	Br	Ca
ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppm
0,05	1	0,5	0,05	5	0,05	0,05	0,05	5	0,05
Cd	Ce	Cl	Co	Cr	Cs	Cu	Dy	Er	Eu
ppb	ppb	ppm	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
0,05	0,01	1	0,02	0,5	0,01	0,1	0,01	0,01	0,01
Fe	Ga	Gd	Ge	Hf	Hg	Ho	In	K	La
ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppm	ppb
10	0,05	0,01	0,05	0,02	0,1	0,01	0,01	0,05	0,01
Li	Lu	Mg	Mn	Mo	Na	Nb	Nd	Ni	P
ppb	ppb	ppm	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
0,1	0,01	0,05	0,05	0,1	50	0,01	0,01	0,2	10
Pb	Pd	Pr	Pt	Rb	Re	Rh	Ru	S	Sb
ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppm	ppb
0,1	0,2	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05	1	0,05
Sc	Se	Si	Sm	Sn	Sr	Ta	Tb	Te	Th
ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
1	0,5	40	0,02	0,05	0,01	0,02	0,01	0,05	0,05
Ti	Tl	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zn	Zr
ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
10	0,01	0,01	0,02	0,2	0,02	0,01	0,01	0,5	0,02

Para a análise estatística a pesquisa contou com apoio do Núcleo de Assessoria Estatística-NAE/ UFRGS. Os resultados analíticos foram comparados através de Análise Fatorial de Componentes Principais através do *software* SPSS, específico para modelamento estatístico, no qual se inseriu o conjunto de dados acima do limite de detecção (LD) do método ICP-MS, além de pH e condutividade elétrica. Valores abaixo do LD em elementos essenciais no âmbito de caracterização hidrogeoquímica foram modificados para concentrações iguais ao LD/2, admitindo que valores nulos são improváveis, principalmente quando comprovada a existência do elemento no conjunto amostral em poços com características semelhantes. Esta metodologia permite a maximização das diferenças entre um grande número de variáveis e possibilita agregar estas variáveis em agrupamentos (*clusters*), além de ressaltar valores anômalos (*outliers*), que podem representar condições de contaminação.

3. Resultados

Os dados disponibilizados para águas subterrâneas comumente estão na sua forma bruta, com ausência de validação e de monitoramentos atualizados, o que agrega maior dificuldade na proposição de pesquisas e monitoramento da qualidade das águas subterrâneas. Diversos poços vistoriados durante os levantamentos de campo encontram-se inativos, em parte pela composição imprópria ao uso (dureza e pH elevados) e por ausência de manutenção.

Os pontos de coleta e a compilação dos parâmetros básicos extraída dos boletins dos poços tubulares selecionados para a presente pesquisa estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Pontos de coleta com características básicas dos poços tubulares (ND: Não Disponível; Datum WGS 84).

Identificação	Sigla	UTM E	UTM S	Prof. (m)	NE (m)	ND (m)	Vazão (m³/h)
Araricá 2	AR-02	506.477	6.723.790	220,00	18,40	87,00	5,62
Campo Bom 1	CB-01	492.231	6.716.765	186,00	54,00	89,20	4,73
Campo Bom 2	CB-02	493.860	6.716.480	100,00	19,90	70,75	2,50
Canela 2	CL-02	523.226	6.747.168	150,00	35,73	57,22	36,00
Canela 3	CL-03	522.258	6.743.878	120,00	38,93	88,80	1,73
Canoas 3	CAN-03	497.758	6.681.778	130,00	27,45	47,09	5,14
Canoas 50	CAN-50	484.247	6.693.028	121,00	19,00	61,00	4,00
Caraá 6938	CR-6938	553.732	6.705.873	72,00	6,63	43,82	ND
Caraá 6930	CR-6930	558.887	6.700.528	140,00	25,04	64,83	ND
Caraá 6941	CR-6941	560.136	6.702.253	84,00	2,85	28,19	37,86
Caraá 6936	CR-6936	557.772	6.707.472	156,00	0,00	65,00	29,3
Estância Velha 17441	EV-17441	483.336	6.720.235	110,00	1,05	53,00	ND
Estância Velha 12501	EV-12501	480.481	6.718.429	90,00	27,96	63,39	1,8
FLONA	FL	559.465	6.744.961	ND	ND	ND	ND
Fundação Zoobotânica	FZB	483.399	6.703.956	ND	ND	ND	ND
Igrejinha 11	IG-11	518.831	6.725.973	100,00	4,70	18,55	10,00
Nova Hartz 1	NHZ-01	508.300	6.727.200	138,00	8,70	112,10	7,00
Nova Hartz 4	NHZ-04	513.344	6.727.781	250,00	126,00	128,50	2,85
Novo Hamburgo 1	NH-01	497.797	6.708.544	120,00	4,11	78,98	5,30
Novo Hamburgo 7	NH-07	486.000	6.714.064	150,00	24,80	104,95	5,00
Parobé 1	PA-01	514.598	6.713.457	200,00	18,20	76,40	2,27
Parobé 3	PA-03	516.222	6.722.848	150,00	42,00	91,00	8,00
Portão 2	PO-02	475.134	6.711.552	126,00	15,68	29,60	4,30
Rio em Caraá	RCA	553.967	6.705.928	NA	NA	NA	NA
Riozinho 7375	RI-7371	552.258	6.721.084	ND	ND	ND	ND
Rolante 7388	RO-7388	532.711	6.717.613	91,00	4,20	18,60	7,00
Rolante 7392	RO-7392	545.810	6.724.665	150,00	7,20	118,40	2,30
Rolante 7394	RO-7394	540.617	6.729.569	150,00	ND	ND	ND
São Franc. de Paula 3	SF-03	542.276	6.744.474	200,00	46,60	49,40	6,20
São Franc. de Paula 6987	SF-6987	559.546	6.738.570	30,00	6,00	24,00	1,22
São Franc. de Paula 7003	SF-7003	538.371	6.742.803	54,00	ND	ND	ND
São Leopoldo 1	SL-01	485.719	6.705.919	150,00	43,20	132,00	2,22
São Leopoldo 8	SL-08	482.230	6.713.771	200,00	44,60	135,05	2,00
São Leopoldo 13	SL-13	486.724	6.705.577	202,00	19,50	192,00	0,75
Sto. Ant. da Patrulha 3	SAP-03	555.117	6.696.269	200,00	104,00	119,30	4,09
Nascente Santo Antônio da Patrulha	SAPN	542.185	6.704.955	NA	NA	NA	NA
Taquara 3	TAQ-03	524.874	6.726.324	300,00	187,30	217,00	5,14
Taquara 9	TAQ-09	519.967	6.719.613	220,00	1,00	30,16	4,80
Taquara 14	TAQ-14	522.373	6.723.230	90,00	31,00	61,00	7,20

Na Tabela 2 estão apresentados os parâmetros pH, condutividade elétrica e os 35 elementos químicos com predominância de valores acima dos limites de detecção. Dentre os elementos suprimidos do tratamento estatístico, ressaltam-se o Cd e Hg, o primeiro, em razão de todos resultados situarem-se abaixo do LD, enquanto o segundo, unicamente uma amostra registra valores acima do LD.

Tabela 2: Resultados analíticos para parâmetros físico-químicos e por ICP-MS (simbologia “<” quando inferior ao LD).

Amostra	pH	Cond. mS/cm ²	Al ppb	As ppb	B ppb	Ba ppb	Br ppb	Ca ppm	Ce ppb	Cl ppm	Co ppb	Cr ppb	Cs ppb	Cu ppb	Fe ppb	Ga ppb	Ge ppb	K ppm	Li ppb
6938	7,11	0,41	2,00	0,70	11,00	42,17	62,00	34,38	<0,01	5,00	<0,02	2,00	<0,01	2,10	<10	0,92	0,16	0,48	10,70
6930	7,00	0,42	2,00	<0,5	16,00	0,59	60,00	34,08	<0,01	6,00	0,04	0,70	0,01	0,60	<10	0,39	0,10	0,26	5,00
6941	6,78	0,29	3,00	<0,5	10,00	0,36	21,00	20,01	<0,01	3,00	<0,02	<0,5	<0,01	2,50	<10	0,25	0,06	0,10	3,80
6936	7,55	0,58	6,00	<0,5	38,00	25,31	38,00	38,30	<0,01	12,00	0,03	2,10	0,02	1,10	<10	0,17	0,19	0,46	10,10
RCA	7,68	0,12	36,00	<0,5	9,00	10,68	26,00	4,24	0,21	1,00	0,23	<0,5	<0,01	1,20	147,00	0,57	<0,05	0,88	0,50
CAN-03	7,10	0,34	5,00	1,80	28,00	161,31	21,00	17,56	0,01	<1	0,05	0,70	0,03	0,60	14,00	0,44	0,14	2,01	11,20
CAN-50	8,50	0,67	13,00	<0,5	219,00	90,15	34,00	3,39	0,02	5,00	0,12	<0,5	0,13	0,60	16,00	0,40	0,88	0,93	92,90
SAP-03	7,50	0,52	3,00	0,70	38,00	37,44	104,00	25,87	<0,01	18,00	0,04	<0,5	0,03	0,70	13,00	0,34	0,44	0,49	24,80
SPA-09	6,60	0,30	24,00	<0,5	16,00	2,06	37,00	19,68	0,10	<1	0,08	2,20	<0,01	7,40	19,00	0,32	<0,05	0,25	1,10
NH-01	7,00	0,35	<1	1,70	28,00	133,95	19,00	16,93	<0,01	<1	0,03	2,70	0,02	0,20	<10	0,17	0,09	3,67	6,50
NH-07	6,00	0,14	2,00	<0,5	12,00	139,40	5,00	2,34	<0,01	2,00	0,19	0,80	0,32	2,30	<10	0,35	<0,05	4,26	3,00
TAQ-03	7,30	0,41	3,00	<0,5	21,00	12,80	28,00	37,99	<0,01	<1	0,02	9,50	<0,01	0,70	32,00	0,27	0,13	0,18	3,50
TAQ-09	9,50	1,54	13,00	0,90	635,00	7,29	71,00	33,10	0,02	21,00	0,02	<0,5	0,01	3,90	30,00	0,66	0,70	0,59	110,80
TAQ-14	7,10	0,44	3,00	<0,5	19,00	1,72	43,00	37,24	<0,01	1,00	0,08	2,20	<0,01	1,30	17,00	0,14	<0,05	0,26	2,40
SL-01	8,60	1,13	18,00	8,40	763,00	27,76	61,00	2,04	0,05	8,00	0,15	<0,5	<0,01	1,40	37,00	0,23	0,25	0,83	79,60
SL-13	8,50	0,75	31,00	43,80	920,00	35,04	38,00	2,97	0,09	3,00	0,19	1,20	<0,01	1,30	46,00	0,15	0,31	1,08	45,80
SF-03	7,40	0,37	2,00	0,50	35,00	0,56	203,00	33,21	0,01	<1	<0,02	<0,5	0,05	2,00	33,00	0,07	0,16	1,54	9,70
IG-11	7,30	0,38	4,00	0,80	18,00	9,52	57,00	31,20	0,01	3,00	0,05	3,00	<0,01	0,90	16,00	0,06	0,12	0,78	2,80
AR-02	9,20	0,49	37,00	1,20	257,00	36,90	24,00	9,45	0,04	1,00	0,13	2,30	<0,01	1,10	12,00	0,81	1,04	0,82	27,50
CL-02	7,80	0,44	19,00	<0,5	49,00	0,95	44,00	47,02	0,07	<1	0,09	<0,5	0,02	0,90	271,00	0,07	0,18	0,17	11,30
CL-03	7,10	0,34	<1	<0,5	18,00	0,31	58,00	26,49	<0,01	2,00	<0,02	1,50	<0,01	1,00	308,00	<0,05	<0,05	0,33	2,40
PA-01	7,10	165,70	4,00	<0,5	9,00	5,99	35,00	14,92	<0,01	<1	0,10	10,00	<0,01	1,40	23,00	0,05	<0,05	1,18	0,30
PA-03	7,50	0,54	<1	<0,5	11,00	21,73	50,00	56,40	<0,01	3,00	<0,02	4,10	<0,01	1,60	39,00	<0,05	0,29	0,65	4,00
CB-01	6,80	0,13	2,00	<0,5	9,00	80,01	11,00	5,42	<0,01	<1	<0,02	0,80	0,08	1,00	<10	<0,05	0,08	4,39	1,90
CB-02	6,80	0,25	3,00	<0,5	10,00	353,66	14,00	18,38	0,01	<1	0,02	0,80	0,01	6,90	<10	<0,05	0,06	5,38	3,30
NHZ-04	8,20	0,46	4,00	1,20	59,00	20,20	18,00	46,38	0,01	1,00	<0,02	5,10	0,01	0,90	<10	<0,05	0,44	0,42	10,10
FL	8,10	0,25	3,00	1,90	83,00	0,22	13,00	11,70	<0,01	<1	<0,02	<0,5	0,04	1,80	57,00	0,10	0,15	0,18	13,00
7388	6,90	0,30	3,00	0,80	7,00	42,61	31,00	16,43	<0,01	3,00	<0,02	3,00	<0,01	0,40	<10	<0,05	0,19	0,51	2,60
PO-02	6,60	0,27	3,00	0,70	9,00	31,59	49,00	15,54	0,02	6,00	0,03	1,00	0,03	0,80	<10	<0,05	0,06	1,87	2,30
NHZ-01	7,20	0,34	6,00	2,40	12,00	131,27	35,00	29,55	0,06	6,00	<0,02	1,20	<0,01	1,70	112,00	<0,05	0,11	2,55	5,20
SF-7003	6,60	0,22	2,00	0,60	9,00	0,35	14,00	13,60	<0,01	<1	<0,02	<0,5	0,03	0,70	<10	<0,05	0,10	0,72	2,90
7394	7,20	0,23	2,00	<0,5	6,00	0,12	19,00	15,71	<0,01	<1	<0,02	8,60	0,01	1,30	26,00	<0,05	<0,05	0,36	0,30
7392	7,20	0,28	8,00	<0,5	6,00	0,31	43,00	24,62	0,02	1,00	0,05	<0,5	0,01	1,90	92,00	<0,05	0,16	0,17	5,00
SF-6987	7,40	-	3,00	<0,5	8,00	0,35	74,00	24,29	<0,01	5,00	<0,02	<0,5	0,03	0,40	<10	<0,05	0,15	0,64	6,00
7375	8,00	0,52	5,00	1,00	54,00	18,00	46,00	31,86	<0,01	5,00	<0,02	4,20	0,01	0,50	<10	<0,05	0,26	0,46	13,00
SL-08	6,20	0,14	5,00	<0,5	8,00	158,23	45,00	3,18	<0,01	2,00	0,18	<0,5	0,27	365,00	18,00	<0,05	0,06	6,45	2,30
FZB	9,10	0,64	66,00	4,10	215,00	81,84	27,00	2,11	0,04	3,00	0,02	<0,5	<0,01	1,80	14,00	<0,05	0,28	0,60	23,60
17441	7,10	0,39	5,00	1,30	14,00	82,75	44,00	25,01	0,01	19,00	0,12	2,20	<0,01	0,60	<10	<0,05	0,10	1,48	4,00
12501	8,20	0,44	7,00	1,30	23,00	46,47	29,00	12,12	0,01	2,00	<0,02	5,60	0,10	2,00	46,00	<0,05	0,22	1,66	12,80

Tabela 2 - continuação: Resultados analíticos para parâmetros físico-químicos e por ICP-MS (simbologia “<” quando inferior ao LD).

Amostra	Mg ppm	Mn ppb	Mo ppb	Na ppb	Ni ppb	P ppb	Pb ppb	Rb ppb	S ppm	Sc ppb	Si ppb	Sn ppb	Sr ppb	U ppb	V ppb	W ppb	Y ppb	Zn ppb
6938	11,59	0,22	0,10	20934,00	<0.2	56,00	0,10	0,37	<1	7,00	28461,00	0,10	85,02	0,30	19,40	<0.02	0,83	8,30
6930	11,89	0,53	0,20	22056,00	0,20	29,00	0,10	0,33	6,00	8,00	32817,00	0,12	49,01	0,11	50,50	<0.02	0,31	3,70
6941	8,83	0,24	<0.1	15618,00	0,20	88,00	0,20	0,25	<1	9,00	34927,00	0,12	22,23	<0.02	38,80	<0.02	0,19	2,50
6936	10,85	0,71	0,80	43265,00	0,30	17,00	0,60	0,80	19,00	7,00	22752,00	0,13	69,21	0,48	57,50	0,09	0,13	9,60
RCA	2,00	12,31	<0.1	5111,00	0,40	11,00	0,20	2,04	<1	3,00	9575,00	0,13	17,39	<0.02	0,50	<0.02	0,64	3,50
CAN-03	6,06	0,76	0,20	29690,00	<0.2	82,00	0,20	2,08	<1	9,00	31073,00	0,11	244,19	2,32	4,80	0,03	0,42	70,10
CAN-50	1,23	3,57	4,20	129409,00	0,80	16,00	0,20	2,59	2,00	3,00	8145,00	0,10	170,94	0,08	<0.2	0,47	0,33	12,00
SAP-03	2,10	0,63	0,50	64966,00	0,20	12,00	0,20	0,91	2,00	4,00	12709,00	0,12	111,09	0,12	7,30	0,14	0,41	44,10
SPA-09	10,66	2,59	<0.1	11723,00	0,60	39,00	0,50	0,35	<1	10,00	34675,00	0,11	36,71	<0.02	32,50	<0.02	0,41	6,50
NH-01	6,91	1,62	4,00	27542,00	<0.2	<10	<0.1	6,68	1,00	7,00	22568,00	<0.05	61,71	0,07	9,40	0,07	<0.01	<0.5
NH-07	0,81	2,40	<0.1	7868,00	1,60	47,00	0,30	16,76	<1	5,00	17649,00	0,08	18,70	0,05	<0.2	<0.02	0,35	223,30
TAQ-03	10,00	1,37	0,10	14937,00	0,20	44,00	0,20	0,26	6,00	11,00	37078,00	0,09	45,48	0,09	32,30	0,02	0,30	330,90
TAQ-09	<0.05	0,83	4,50	239238,00	<0.2	13,00	0,20	0,55	195,00	2,00	7051,00	0,11	787,07	<0.02	<0.2	10,57	0,12	25,30
TAQ-14	17,59	0,92	0,10	11582,00	0,30	32,00	0,10	0,28	<1	10,00	33322,00	0,07	75,61	0,06	37,20	0,14	0,12	8,40
SL-01	0,85	2,11	7,30	223452,00	0,90	42,00	0,30	1,01	24,00	2,00	5708,00	0,11	34,06	6,37	<0.2	0,42	0,09	13,30
SL-13	1,09	3,05	1,70	149353,00	1,00	28,00	0,40	1,72	8,00	2,00	6002,00	0,08	30,43	3,54	323,80	0,14	0,07	55,30
SF-03	6,28	2,62	0,10	18388,00	0,60	121,00	0,30	1,24	<1	8,00	24246,00	0,25	20,69	0,49	10,30	0,03	0,05	23,80
IG-11	12,50	0,81	<0.1	13550,00	0,50	101,00	0,40	0,58	<1	9,00	31486,00	0,14	95,42	0,15	19,00	0,03	0,03	20,20
AR-02	0,80	1,84	3,20	75403,00	0,60	42,00	0,30	0,96	30,00	5,00	16468,00	0,11	62,71	0,24	8,90	2,14	0,10	23,70
CL-02	5,14	58,51	0,20	23501,00	0,30	<10	0,20	0,39	9,00	10,00	32797,00	0,11	41,43	0,02	<0.2	0,08	0,05	3,50
CL-03	13,37	8,60	<0.1	10891,00	0,40	27,00	0,30	0,35	<1	11,00	39932,00	0,09	16,24	0,03	33,60	0,02	0,01	23,80
PA-01	8,12	2,75	<0.1	9690,00	0,60	59,00	0,20	1,55	<1	10,00	36630,00	<0.05	55,63	0,04	22,80	<0.02	0,02	72,70
PA-03	17,45	0,16	<0.1	14589,00	<0.2	21,00	0,30	0,40	<1	11,00	37294,00	0,19	89,01	0,10	21,30	0,02	<0.01	56,80
CB-01	1,48	3,74	<0.1	7372,00	0,30	323,00	0,20	13,51	<1	4,00	24932,00	0,08	27,55	<0.02	0,90	0,03	0,01	476,00
CB-02	7,13	0,81	<0.1	8340,00	2,00	58,00	0,80	13,60	<1	4,00	23313,00	0,06	125,88	0,02	4,70	<0.02	0,02	5631,80
NHZ-04	2,12	0,59	0,20	27424,00	<0.2	<10	0,50	0,78	27,00	3,00	21516,00	0,09	145,51	0,45	11,90	0,10	<0.01	132,80
FL	2,22	5,13	0,10	27718,00	0,20	64,00	0,20	0,33	<1	3,00	21178,00	0,09	3,63	1,02	25,70	0,32	<0.01	85,50
7388	11,52	0,23	<0.1	14494,00	0,30	144,00	0,10	0,81	<1	4,00	29082,00	0,06	83,88	0,26	19,00	<0.02	0,01	1,60
PO-02	7,36	0,55	<0.1	13927,00	<0.2	265,00	0,10	3,56	<1	3,00	25512,00	0,09	71,97	0,04	14,50	<0.02	0,03	2,10
NHZ-01	4,85	9,98	<0.1	15606,00	<0.2	337,00	1,20	2,20	3,00	4,00	23689,00	0,05	100,29	0,08	10,10	0,03	0,04	1,90
SF-7003	3,42	0,59	<0.1	8927,00	<0.2	159,00	<0.1	0,63	<1	3,00	21126,00	0,06	24,05	0,38	14,90	<0.02	<0.01	3,60
7394	7,46	0,32	<0.1	6192,00	<0.2	94,00	<0.1	0,46	<1	4,00	27843,00	0,07	25,17	0,03	31,20	<0.02	<0.01	3,80
7392	7,07	21,78	<0.1	10228,00	<0.2	51,00	0,40	0,33	<1	4,00	31570,00	0,05	11,63	0,03	11,30	<0.02	0,01	350,60
SF-6987	4,50	1,51	<0.1	11309,00	<0.2	132,00	0,20	0,66	<1	3,00	17769,00	0,05	29,41	0,08	7,80	<0.02	<0.01	189,10
7375	6,54	0,32	0,40	45299,00	<0.2	10,00	<0.1	0,82	22,00	2,00	14634,00	<0.05	156,15	4,23	24,80	0,37	<0.01	31,20
SL-08	1,97	6,04	<0.1	5615,00	6,60	47,00	34,00	20,93	<1	2,00	15836,00	3,73	31,60	0,07	0,70	<0.02	0,01	212,40
FZB	1,05	3,85	0,80	115250,00	0,80	65,00	24,80	0,72	5,00	<1	6298,00	0,18	40,02	1,63	38,40	0,35	0,03	32,70
17441	7,72	2,09	<0.1	27634,00	<0.2	83,00	0,20	1,09	3,00	3,00	22271,00	0,20	60,49	0,14	19,70	<0.02	<0.01	8,10
12501	5,64	0,73	<0.1	58853,00	<0.2	30,00	0,50	1,15	<1	2,00	14971,00	0,10	130,46	0,34	42,00	0,03	0,03	23,20

A inserção desses dados no modelamento estatístico permitiu identificar que As, Br, Cl, Co, Cr, Cs, Cu, Ni, P, Pb, Sn, Sr, U, V, W e Zn constituem *outliers*, o que pode explicar a baixa correlação desses elementos no conjunto amostral e, principalmente, ressaltar contaminantes pontuais ao longo da área estudada. A correlação entre os demais elementos resultou em 05 fatores, os quais, através da interação e utilização do método *Ward Linkage*, definiu 06 *clusters*, conforme Figura 3.

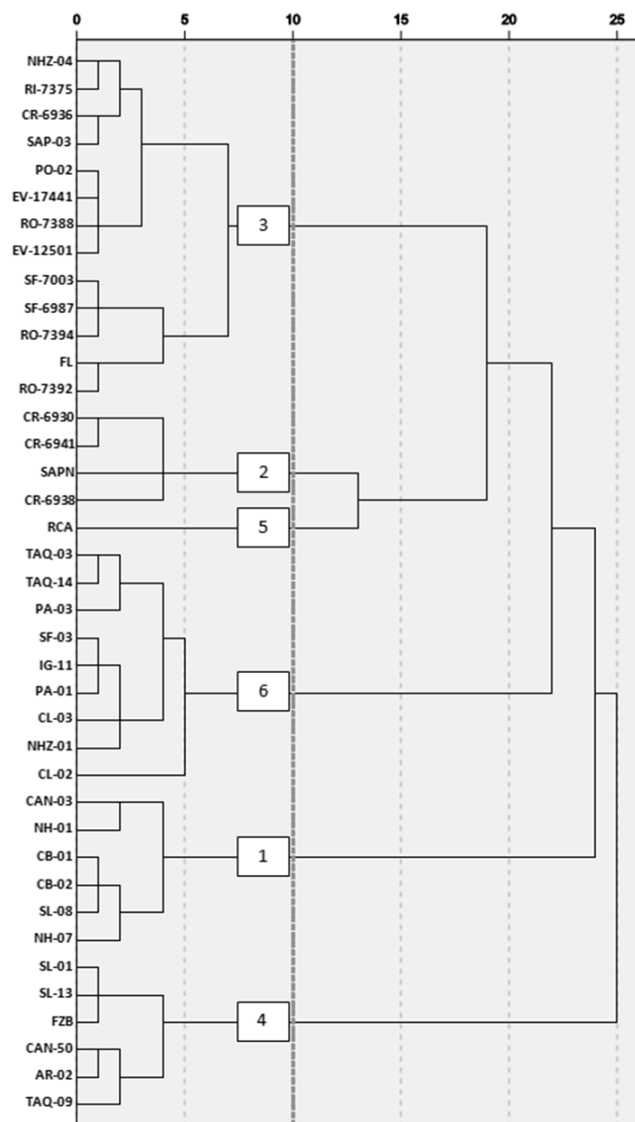


Figura 3: Dendrograma com a combinação dos *Clusters* obtidos por *Ward Linkage*.

A interpretação realizada a partir da formação dos *clusters* e perfis estratigráficos permite inferir que cada *cluster* representa um conjunto com tendências homogêneas, portanto, os *outliers* verificados e descritos na sequência são relativos a cada conjunto, independente se comuns às demais amostras.

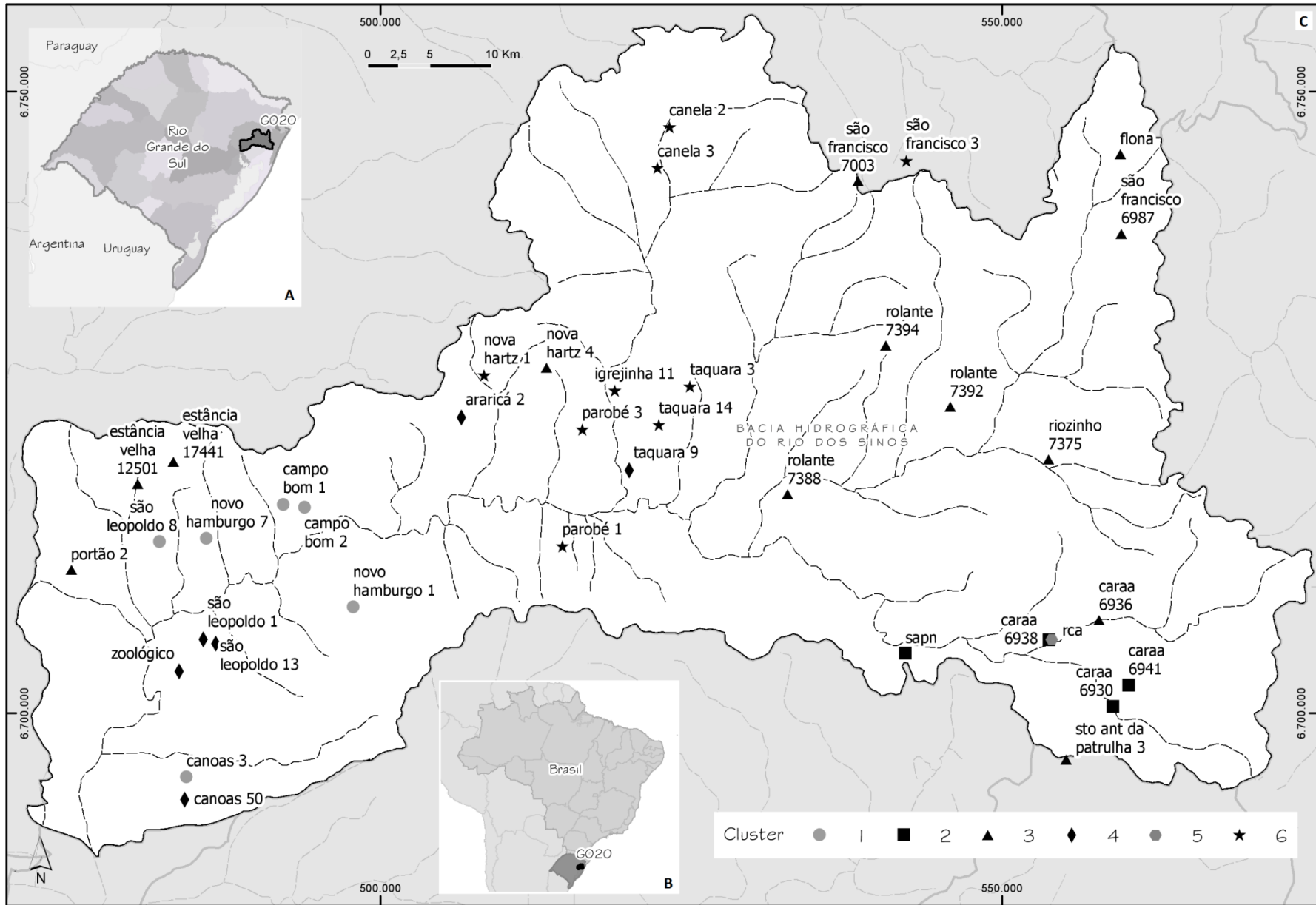


Figura 4: Subdivisão do Estado do RS em bacias hidrográficas com área de estudo em evidência (A) e sua representação no Brasil (B). Mapa esquemático com pontos de coletas caracterizados por *Cluster* (C).

3.1. Cluster 1

Corresponde a poços concentrados na parte inferior da bacia, nos municípios de Canoas, Novo Hamburgo, São Leopoldo e Campo Bom, onde predominam perfis compostos por arenitos argilosos a conglomeráticos, por vezes com folhelhos na porção basal e siltitos na porção mediana. A presença de folhelhos na base do perfil aparenta ser determinante no distanciamento composicional dos poços CAN-03 e NH-01 dos demais componentes do *cluster*, evidenciado pelo dendograma. Entretanto, se evidenciam os elevados teores para Cu e Pb, ambos no poço SL-08, conforme Figura 5.

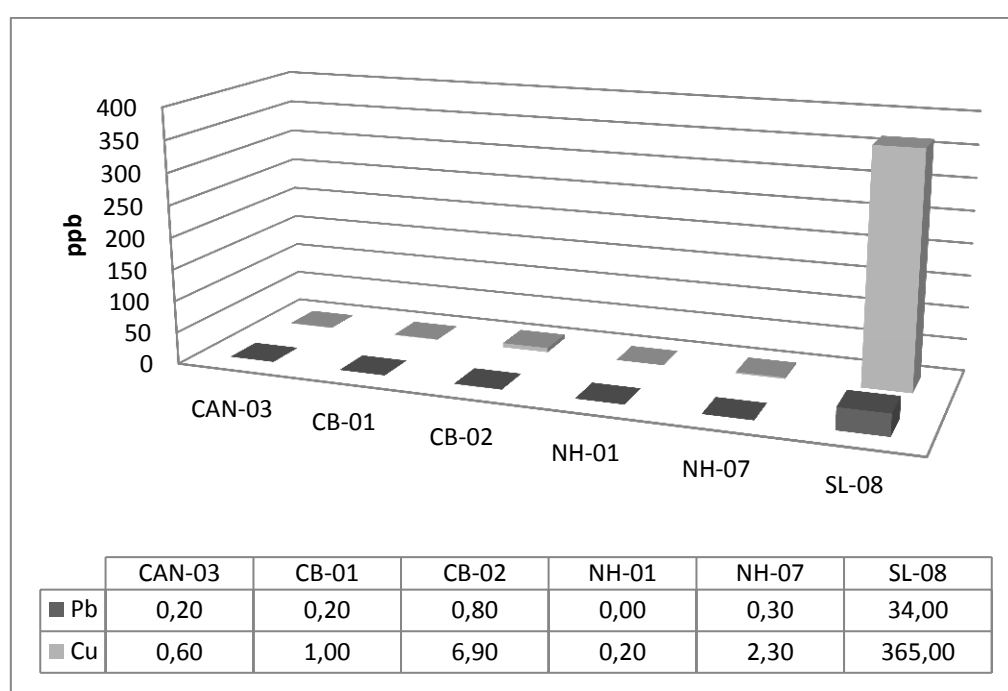


Figura 5: Gráfico colunar comparativo entre pontos de coleta para Pb e Cu.

3.2. Cluster 2

Concentrado na porção superior da bacia, exclusivamente em poços de perfis basálticos no Município de Caraá e em nascente situada próxima ao contato entre o arenito da Formação Botucatu e extrusivas da Formação Serra Geral. Dentro do conjunto, sobressaem Ba e V. A variabilidade do Ba dentre os poços deste *cluster* se situa entre 42,17 ppb e 0,36 ppb. No entanto, comparado à amostragem de todos os poços estudados, o valor mais elevado situa-se próximo à média (47,49 ppb).

O V assume valores próximos ao limite permitido para consumo humano de acordo com a Resolução CONAMA nº 396/2008 (50,00 ppb) nas amostras CR-6941 e SAPN, enquanto na amostra CR-6930 o valor situa-se acima do limite, com 50,50 ppb. A amostra referente à coleta em curso d'água, denominada de RCA, embora se encontre como única no *cluster 5*, pode ser inserida neste conjunto, visto a proximidade composicional.

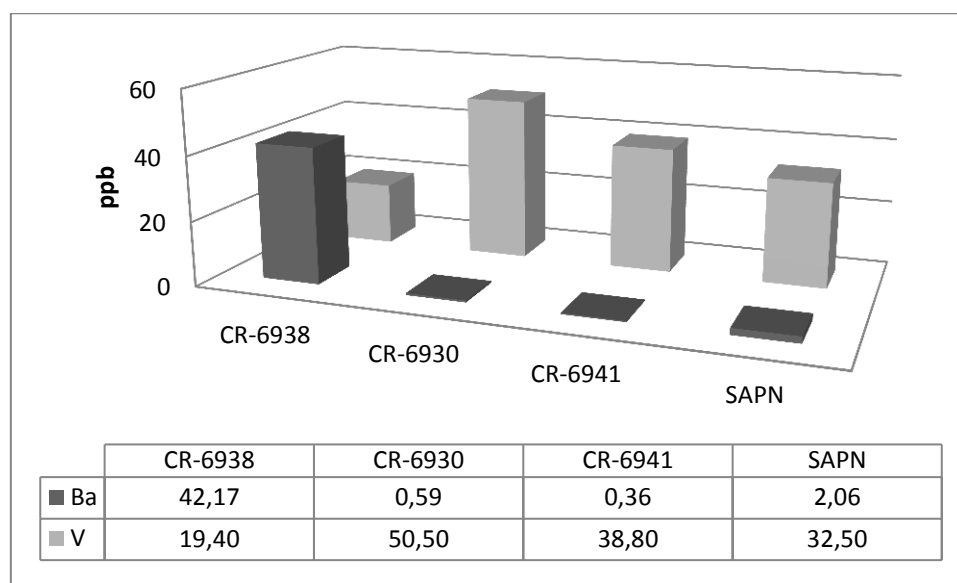


Figura 6: Gráfico colunar comparativo entre pontos de coleta para Ba e V.

3.3. Cluster 3

Apresenta ampla distribuição ao longo da bacia, influenciado pelas fácies Caxias e Gramado da Formação Serra Geral na porção leste e nordeste, e pelos arenitos da Formação Botucatu e Piramboia, na porção oeste. Embora a ausência de perfis estratigráficos para alguns poços dificulte a discretização, percebe-se a afinidade entre 03 subgrupos na correlação dendograma/perfil estratigráfico. Não se observam *outliers* ou elementos específicos que caracterizem esse *cluster*.

Três subgrupos são verificados: (I) Poços em perfis predominantemente basálticos, com influência de arenitos na porção basal e/ou provável conexão por águas ascendentes do aquífero sotoposto, em concordância com Marimon (2006) e Bittencourt *et al.* (2003). Esta correlação é observada tanto em alguns perfis, nos quais se verificam arenitos na porção basal, como também na proximidade deste subgrupo com o grupo “b”, descrito na sequência. Fazem parte os poços NHZ-04,

RI-7375, CR-6936 e SAP-03; (II) Poços desenvolvidos apenas em arenitos pertencentes à Formação Botucatu e/ou Piramboia, como no caso dos poços PO-02, EV-17441, EV-12501 e RO-7388 e (III) Os poços SF-7003, SF-6987, RO-7394, FL e RO-7392, localizados em situação topograficamente mais elevada, são representantes do Sistema Aquifero Serra Geral.

3.4. Cluster 4

Corresponde a poços com grande proximidade aos do *Cluster 1* distribuídos principalmente na porção baixa da bacia, nos municípios de Canoas, São Leopoldo, Araricá e Taquara. Os perfis indicam presença de arenitos intercalados com argilitos e/ou folhelhos. A diferenciação química entre os *clusters* ocorre devido às elevadas concentrações de B no *Cluster 4*, com valores superiores a 200 ppb nos 05 poços tubulares que o compõe, o que também explica o distanciamento destes dos demais analisados no estudo, com média de 95,00 ppb para este elemento. Nos poços SL-01 (763 ppb de B) e SL-13 (920 ppb de B), também se verificam os valores mais elevados para As, de 8,40 ppb e 43,8 ppb, respectivamente. Para o poço TAQ-09 (635 ppb de B), registra-se o valor mais elevado para S, de 195 ppb, enquanto nos demais poços do estudo nenhum valor ultrapassa 30 ppb.

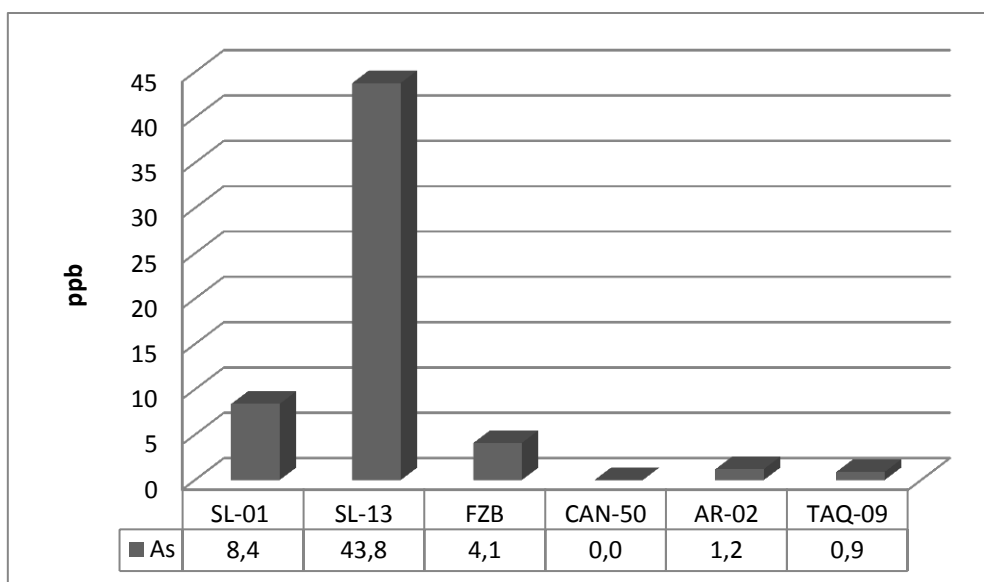


Figura 7: Gráfico colunar comparativo entre pontos de coleta para As.

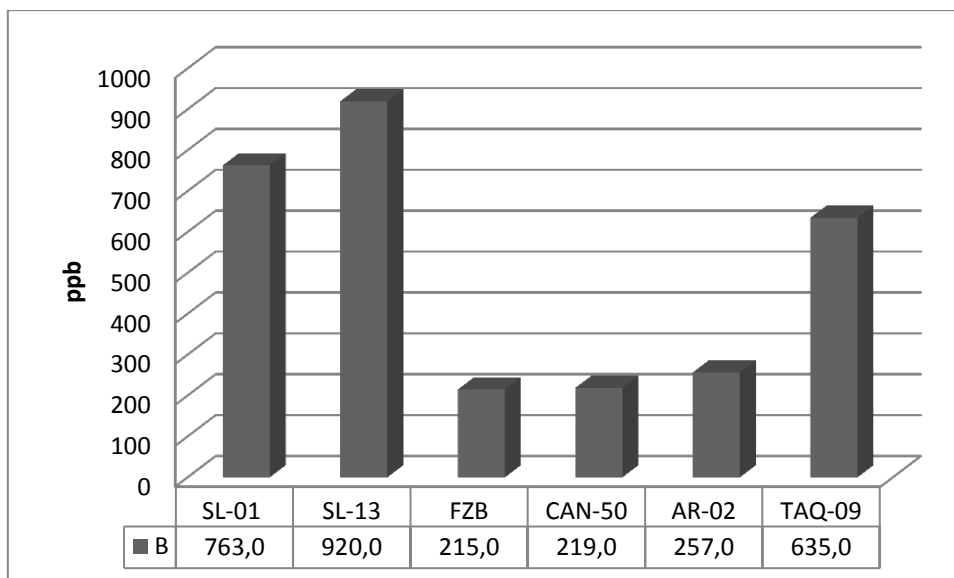


Figura 8: Gráfico colunar comparativo entre pontos de coleta para B.

3.5. Cluster 6

Este grupo compreende poços distribuídos em eixo norte-sul na porção central da bacia apresentando situações distintas: (I) Perfis basálticos com entradas d'água em arenitos na porção basal (TAQ-03, TAQ-14, PA-01 e CL-02); (II) Perfis predominantemente areníticos (PA-03, IG-11 e NHZ-01) e (III) Perfis basálticos (SF-03 e CL-03).

A associação decorre, provavelmente, por extenso lineamento evidenciado no vale do Rio Paranhana e ao correspondente fluxo NE-SW dominante na bacia, conforme mapa potenciométrico do Plano Sinos (2011).

4. Discussão dos resultados

A organização do conjunto amostral em *clusters* permite identificar elementos químicos considerados anômalos para cada grupamento, considerando a variabilidade hidrogeológica da Bacia do Rio dos Sinos. Dessa forma, destacamos os seguintes elementos conforme comportamento hidrogeoquímico nos *clusters*.

4.1. Arsênio/boro

No conjunto amostral verifica-se que as concentrações de As são inferiores a 2,2 ppb, com 48,7 % das amostras abaixo do LD (0,5 ppb). No entanto, o *Cluster 4*, especificamente nos poços SL-01 e SL-13 as concentrações de As são de 8,4 e 43,8 ppb, respectivamente, e concordantes com os elevados teores de B, 763,0 e 920,0 ppb. Os demais componentes do *Cluster 4* apresentam teores de B acima de 200 ppb, valor que ultrapassa à média dos demais poços analisados (95,0 ppb). De forma pontual, a amostra TAQ-09 deste *Cluster* apresenta a mais elevada concentração de S (195 ppb), o que corrobora a correlação deste *Cluster* com águas provenientes de folhelhos permianos da Bacia do Paraná, nos quais há incremento nos teores de boro a partir da Formação Rio Bonito (Rodrigues & Quadros, 1976).

4.2. Chumbo/cobre/antimônio

O chumbo se distribui ao longo da bacia em concentrações comumente inferiores a 0,3 ppb, com média no conjunto amostral de 1,77 ppb. No entanto, concentrações de 24,8 e 34,0 ppb são verificadas nos poços FZB e SL-08, respectivamente. Os dois poços situam-se nas Terras Baixas da bacia, entre os municípios de Novo Hamburgo e São Leopoldo e, apesar de estarem inseridos em *Clusters* distintos (*Clusters 4* e *1*, respectivamente), são muito próximos composicionalmente. As concentrações para o Cu variam entre 0,6 e 7,4 ppb, com máximo de 365 ppb no poço SL-08. De forma concordante, o Sb está abaixo do LD (0,05 ppb) em todas amostras, exceto na FZB (0,47 ppb) e SL-08 (1,33 ppb). Neste caso é importante ressaltar que o Pb foi largamente utilizado como antidetonante e lubrificante em combustíveis fósseis, o que pode conduzir à contaminação do aquífero por via atmosférica. Entretanto, o Pb ainda é largamente utilizado na fabricação de baterias elétricas, soldas, materiais de revestimento, borracha, dentre outros materiais, amplamente utilizados em indústrias químicas e de construção civil (WHO, 2011; CETESB, 2012). O Sb é comumente associado ao Pb na natureza e é registrado em concentrações inferiores a 1,0 ppb em águas subterrâneas (Filella *et al.* 2002).

Robaina *et al.* (2002) consideram classes variáveis de risco para o Pb no Rio dos Sinos e seus afluentes, sendo que os arroios Luiz Rau, Schimdt e Pampa as situações mais preocupantes. No entanto, a mobilidade do Pb é extremamente reduzida e controlada por oxi-hidróxidos de Fe e Mn, que comumente adsorvem este elemento nas camadas superficiais dos solos (Deutsch, 1997). Portanto, este é elemento anômalo em águas subterrâneas, principalmente em perfis sedimentares.

4.3. Vanádio

Elevadas concentrações de V são verificadas em poços inseridos nos *Clusters* 2, 3 e 4, mesmo que distantes, o que pode indicar fontes diversas para esse elemento. A concentração média para os poços analisados é de 29,6 ppb, porém registram-se 50,5 em CR-6930, 57,5 ppb em CR-6936 e 323,8 ppb em SL-13, que também possui As e B elevados. O V é considerado relativamente abundante na crosta terrestre e possui elevada mobilidade, principalmente em pH neutro a alcalino, tendo como principais fontes antrópicas os combustíveis fósseis (ATSDR, 2012), a produção de ligas metálicas especiais, bem como na fabricação de aço carbono de alta resistência, além de catalisadores, produção de vidros coloridos, borracha sintética, esmaltes para porcelanas e tintas (CETESB, 2012).

Concentrações elevadas foram verificadas por Barcha (1998) em águas explotadas de porções confinadas com hipertermalismo no Aquífero Guarani. Ressalta-se que os poços estão locados próximos a cemitérios, fator que pode condicionar a elevação dos teores no aquífero freático, face à decomposição dos caixões funerários que contém teores elevados de V, o utilizado na preservação da madeira e na fabricação de tintas, bem como dos ornamentos metálicos (Jonker & Olivier, 2012).

4.4. Cádmio/mercúrio/cromo/níquel

Embora considerados importantes metais traçadores de contaminação antrópica, devido ao intenso uso na produção de fertilizantes fosfatados, e da indústria metalúrgica e de galvanoplastia, baterias, curtumes, dentre outros (IPCS, 1992; WHO, 2011), o Cr e Ni, utilizadas na análise de cargas potencialmente poluidoras por Fepam (2001), estão praticamente ausentes nas amostras analisadas. Em análises realizadas próximas a curtumes, Rodrigues & Formoso (2005) verificaram o incremento de Cr em sedimentos, porém em concentrações que se situam próximas ao *background* da região. É

importante assinalar que o Cr possui pouca mobilidade em condições de pH neutro à alcalino e o Ni, igualmente, não demonstra variações significativas. Na presente análise o Ni assume a maior concentração na amostra SL-08 (6,6 ppb), enquanto que no restante das amostras o valor não ultrapassa 1,0 ppb. Para Cr, o valor mais elevado é de 10,0 ppb na amostra PA-01, porém, tende a se situar próximo a 3,0 ppb nas demais amostras.

O Cd está abaixo do LD (0,05 ppb) em todas amostras, enquanto o Hg situa-se acima do LD apenas na amostra NHZ-01, com 0,07 ppb. Em análises químicas realizadas ao longo de cursos de rios próximos a curtumes, Rodrigues & Formoso (2006) não detectaram Cd, enquanto que Robaina *et al.* (2002) consideram muito baixo a baixo o risco de contaminação por este elemento no Rio dos Sinos e seus afluentes, o que parece se materializar nas águas subterrâneas analisadas.

5. Conclusão

A definição dos *Clusters* permite identificar os padrões hidrogeoquímicos presentes na Bacia dos Sinos, ressaltando as anomalias composicionais para cada grupamento. Os dados apresentados podem auxiliar na confecção de modelo hidrogeoquímico, bem como na elaboração de planos de monitoramento com ênfase nos elementos identificados como *outliers*. De forma sucinta, a segmentação dos aquíferos presentes na bacia se dá da seguinte maneira: (I) Aquíferos porosos em perfis sedimentares com e sem folhelhos, diferenciados entre si pela presença de boro, *Clusters* 1 e 4; (II) Aquífero essencialmente fraturado, *Cluster* 2 e (III) Aquífero misto com interação por ascensão de águas subterrâneas, *Clusters* 3 e 6.

Dentre os metais pesados analisados, Cd, Hg, Cr e Ni praticamente não se fazem presentes nas águas subterrâneas da bacia e também não são verificados nos compartimentos superficiais (Rodrigues & Formoso 2005, 2006; Robaina *et al.* 2002), o que indica que esses elementos apresentam forte diluição nos recursos hídricos da bacia e/ou são adsorvidos em barreiras geoquímicas superficiais, como solos ricos em matéria orgânica ou com óxidos de ferro.

Na porção baixa da bacia, mais especificamente no Município de São Leopoldo (poços SL-01, SL-08 e SL-13) são evidenciadas as principais anomalias, com indicativos de fontes geogênicas e fontes antropogênicas que limitam o uso de águas subterrâneas exploradas nessa região.

Os fatores geogênicos estão relacionados com as relativamente elevadas concentrações de As e B decorrentes dos folhelhos permianos da Bacia do Paraná, em teores próximos ou mesmo superiores aos limites de referência (10 ppb), conforme WHO (2011). Esta mesma referência bibliográfica considera o As como elemento não essencial ao ser humano e que sua exposição prolongada pode gerar desde lesões na pele a câncer de pulmão, bexiga, dentre outros efeitos colaterais.

Por outro lado, os fatores antropogênicos são indicados pela presença de Pb associado a Cu e Sb provavelmente relacionados às indústrias químicas. Mesmo tendo mobilidade reduzida, estes elementos são verificados nas águas subterrâneas de forma pontual. O valor de referência para Pb é de 10 ppb e exposição a este elemento pode levar a uma série de efeitos colaterais, como distúrbios neurológicos, cardíacos, renais e de fertilidade (WHO, 2011).

Embora a Portaria MS nº 2914/2011, legislação mais atual referente à potabilidade da água, não trate de valores de referência para V, a Resolução CONAMA nº 396/2008 considera o valor de 50 ppb para consumo humano. ATSDR (2012) considera a via aérea como principal risco de exposição, no entanto, os elevados teores deste elemento e dos demais evidenciados na presente pesquisa devem ser monitorados e suas fontes detalhadas, garantindo maior assertividade na locação de poços tubulares e preservação da qualidade na água distribuída.

6. Referências bibliográficas

- ATSDR. *Agency for Toxic Substances and Disease Registry*. 2012. *Toxicological Profile for Vanadium*. Atlanta, ATSDR, 255p.
- Barcha, S. F. 1998. Ocorrência de Vanádio no Aquífero Botucatu. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS*. 10., 1998. São Paulo. Suplemento...São paulo. p. 1-6. Disponível em: <<http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/issue/view/1188> >. Acesso em: maio de 2013.
- Bittencourt, A. V. L.; Filho, E. F. R.; Hindi, E. C.; Filho, A. C. B. 2003. 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. *Revista Águas Subterrâneas*. nº 17/ Maio 2003.
- Caetano-Chang, M. R.; Tai, W. F. 2003. Diagênese de Arenitos da Formação Pirambóia no Centro-Leste Paulista. *Geociências*, v. 22. Especial, p. 33-39.
- CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 1988. Norma nº 6410- Amostragem e monitoramento das águas subterrâneas. Atualizada em 1999. São Paulo. 32p.
- CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2012. Chumbo e seus compostos. Ficha de Informação Toxicológica. São Paulo. 3p.
- CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2012. Vanádio e seus compostos. Ficha de Informação Toxicológica. São Paulo. 3p.
- Comitesinos. Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos. Disponível em: <<http://www.comitesinos.com.br/> >. Acesso em: 13 de setembro de 2011.
- CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 396 de 3 de abril de 2008. Diário Oficial da União nº 66, de 7 de abril de 2008, Seção 1, páginas 64-68.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Mapa dos Sistemas Aquíferos, Projeto Plano Diretor de Mineração da Região Metropolitana de Porto Alegre. Porto Alegre, escala 1: 250.000.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul. Rio de Janeiro, escala 1: 750.000.
- Deutsch, W. J. 1997. *Groundwater Geochemistry: Fundamentals and applications to contamination*. New York, Lewis Publishers. 221p.
- Fepam. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_sinos/sinos.asp>. Acessos em: 2010 a 2012.
- Fepam. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler. 2001. Diagnóstico da Poluição Hídrica Industrial na Região Hidrográfica do Rio Guaíba. Porto Alegre. 83p.
- Filella, M.; Belzile, N.; Chen, Y. 2002. *Antimony in the environment: a review focused on natural waters- I Occurrence*. *Earth-Science Reviews*. 57(2002): 125-176.
- Jonker, C.; Olivier, J. 2012. *Mineral Contamination from Cemetery Soils: Case Study of Zandfontein Cemetery, South Africa*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 9(2): 511-520.
- Marimon, M. P. C. 2006. O Flúor nas Águas Subterrâneas da Formação Santa Maria na Região de Santa Cruz do Sul e Venâncio Aires, RS, Brasil. Porto Alegre. 314p. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Geociências. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- Milani, E. J.; Melo, J. H. G.; Souza, P. A.; Fernandes, L. A.; França, A. B. 2007. Bacia do Paraná. Bol. Geoci. PETROBRÁS, Rio de Janeiro, v.15, 265-287.
- Nanni, A. S. 2008. O Flúor em águas do Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul: origem e condicionamento geológico. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Geociências. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Plano Sinos. Plano de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos. 2011. Meta 5, Atividade 5.3- Síntese do Plano de Bacia. Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo. 274p.
- PRÓ-SINOS, Consórcio Público de Saneamento Básico da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos. Disponível em: <<http://www.consorciosinos.com.br/>>. Acesso em: 18 de agosto de 2011.
- Robaina, L. E.; Formoso, M. L. L.; Pires, C. A. F. 2002. Metais Pesados nos Sedimentos de Corrente como Indicadores de Risco Ambiental- Vale do Rio dos Sinos, RS. Revista do Instituto Geológico. 23(2): 35-47.
- Rodrigues, M. L. K.; Formoso, M. L. L. 2005. *Geochemical Distribution of Selected Heavy Metals in Stream Sediments Affected by Tannery Activities. Water, Air and Soil Pollution*. 169: 167-184.
- Rodrigues, M. L. K.; Formoso, M. L. L. 2006. *Heavy Metals in Recent Sediments and Bottom-Fish Under the Influence of Tanneries in South Brazil. Water, Air and Soil Pollution*. 176: 307-327.
- Rodrigues, R.; Quadros, L.P. 1976. Mineralogia das Argilas e Teor de Boro das Formações Paleozóicas da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. 29., 1976. Ouro Preto. Anais... Ouro Preto. p. 351-379.
- Scherer, C.M.S.; Tomazelli, L.J.; Goldberg, K. 2007. Construção, acumulação e preservação do paleoerg I Botucatu. In: Roberto Iannuzzi & José Carlos Frantz. (Org.). 50 Anos de Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre. Comunicação e Identidade. p. 283-297.
- SIAGAS. Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. CPRM. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>>. Acesso em: 27 de maio de 2010.
- Warren, L. V.; Almeida, R. P.; Hachiro, J.; Machado, R.; Roldan, L. F.; Steiner, S. S.; Chamani, M. A. C. 2008. Evolução sedimentar da Formação Rio do Rasto (Permo-Triássico da Bacia do Paraná) na porção centro sul do estado de Santa Catarina, Brasil. Revista Brasileira de Geociências. 38(2-suplemento): 213-277.
- WHO. World Health Organization. *Guidelines for drinking-water quality*. 2011. Geneva.

Agradecimentos

Agradecemos ao NAE- Núcleo de Assessoria Estatística, à empresa HidroGeo, pela disponibilização dos dados dos poços tubulares e ao Geógrafo Matias Pacheco de Oliveira, pela confecção dos mapas.

Porto Alegre, 03 de setembro de 2015.

Ao
Cassio Aranovich de Abreu

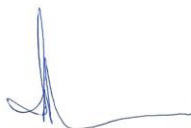
Venho comunicar o **recebimento** do manuscrito abaixo listado, submetido para publicação em *Pesquisas em Geociências*, órgão de divulgação científica editado pelo Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Manuscrito: ***Distribuição geoquímica de metais pesados e outros elementos em águas subterrâneas da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, RS.***

Autores: Cássio Aranovich de Abreu & Ari Roisenberg.

Agradeço a seleção de *Pesquisas em Geociências* para a publicação de sua contribuição.

Atenciosamente,



Prof. Dr. Paulo Alves de Souza
Editor Chefe

Pesquisas em Geociências

Instituto de Geociências – Departamento de Paleontologia e Estratigrafia
Av. Bento Gonçalves, nº 9500 - Bloco 1 - Prédio 43127 - CEP 91.540-000, Porto Alegre, RS, Brasil.
Email: paulo.alves.souza@ufrgs.br