

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

**RELAÇÃO ESPACIAL DA TECTÔNICA RÚPTIL COM A
HIDROGEOQUÍMICA E O POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO DO
SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL NA REGIÃO DO ALTO RIO
URUGUAI, NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL**

GUSTAVO GARCIA DA CUNHA

ORIENTADOR - Prof. Dr. Ari Roisenberg

Porto Alegre, 2014

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

**RELAÇÃO ESPACIAL DA TECTÔNICA RÚPTIL COM A
HIDROGEOQUÍMICA E O POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO DO
SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL NA REGIÃO DO ALTO RIO
URUGUAI, NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL**

GUSTAVO GARCIA DA CUNHA

ORIENTADOR - Prof. Dr. Ari Roisenberg

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Alexandra Vieira Suhogusoff (USP)

Prof. Dr. Arthur Nanni (UFSC)

Prof. Dr. Ruy Paulo Phillip (UFRGS)

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

Porto Alegre – 2014

AGRADECIMENTOS

À UFRGS e ao PPGGEO pela oportunidade de me qualificar e ao CNPq pela bolsa de mestrado.

Ao Núcleo de Assessoria em Estatística (NAE-UFRGS), em especial ao Prof. Pulgati, pelo apoio no entendimento da análise estatística do estudo.

À CPRM pelo fornecimento de bases cartográficas e, em conjunto com a CORSAN, pelo fornecimento de dados dos poços tubulares.

Ao meu orientador Ari, pela paciência e ajuda, com a sua experiência e visão crítica. Ao amigo Marcos Alexandre, pelo companheirismo no campo e pelas discussões geológicas e hidrogeológicas, que auxiliaram nas ideias realizadas na dissertação.

Aos colegas da sala 105, em especial ao Frota, Cássio, Ana Clara e Isadora, pelas rodas de chimarrão, pelo companheirismo e apoio nas discussões geológicas.

Ao DRH/SEMA, em especial à Rejane, pela compreensão nessa etapa de término da dissertação.

Ao grande amigo Roberto Kirchheim pelo apoio, companheirismo e ensinamentos.

Aos amigos Lanys, Marquitto, Isa, Matias, Betinho e Frota, que me acompanharam na jornada da graduação e mestrado, formando uma amizade de tamanho inestimável e que eu espero cultiva-la para o restante da vida.

A minha família, em especial aos meus pais Renato e Margaret, pelo apoio em todos os momentos sem medir esforços. A minha irmã Paula, pelos momentos de descontração e ajuda que me proporcionou. Aos meus avós Marat e Maria, que são como meus “segundos pais” e agregaram muito em minha formação como pessoa.

E por fim, agradeço a minha companheira de todos os momentos, meu amor, Lisi, pelo apoio e incentivo sempre sem medir esforços. És uma pessoa maravilhosa, a melhor alma que eu já conheci e, sem dúvidas, a minha maior sorte foi te encontrar.

RESUMO

Nos últimos anos, a necessidade de melhorar o conhecimento dos recursos hídricos subterrâneos tem sido cada vez mais importante, justificando o elevado número de estudos que estão sendo desenvolvidos sobre o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG). A área em estudo encontra-se na região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul abrangendo 107 municípios. Geologicamente a área é constituída por rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, sendo o SASG, o aquífero mais utilizado na região. A região apresenta forte afetação de tectônica rúptil, cuja caracterização estrutural é importante para o entendimento da hidráulica e da distribuição hidrogeoquímica do sistema aquífero envolvido. O objetivo do presente estudo consiste na caracterização morfoestrutural, hidrogeológica e hidrogeoquímica do SASG, tentando reconhecer a influência da tectônica no potencial hidrogeológico e na disposição dos diferentes tipos hidrogeoquímicos de águas subterrâneas, testando a existência de relações com as estruturas no condicionamento do sistema aquífero, através dos dados obtidos de poços tubulares e do estudo dos lineamentos estruturais presentes na área. A metodologia utilizada envolveu a aquisição de dados de poços tubulares georreferenciados da região, traçado de lineamentos morfotectônicos por meio de imagens de satélite e filtragens em Sistema de Informações Geográficas (SIG), geração mapas temáticos e, por fim, uma análise estatística dos dados obtidos. Foram traçados 1.981 lineamentos tectônicos, sendo esses separados por comprimento e padrões de direções. A variação do potencial hidrogeológico demonstrou a influência das estruturas tectônicas regionais, onde se verificou uma correlação positiva entre a densidade de lineamentos com o potencial de produção dos poços. Os lineamentos de pequeno porte e de direções NE-E e NW-W são dominantes na área e são os padrões que apresentam estatisticamente maior potencial de produção dos poços. A variação das fácies hidrogeoquímicas demonstrou a influência das estruturas tectônicas regionais, onde se verificou uma correlação positiva entre a densidade de lineamentos com o as fácies estudadas. As Fácies CaMg e Águas Mistas apresentam características de baixo tempo de residência, estando mais relacionadas a captações de águas associadas a áreas de recarga do SASG, sendo a primeira relacionada aos lineamentos de direção NE-E e N-NW e a segunda com a direção NW-W. A Fácies Na, relacionada com lineamentos de direção NE-E e NW-W, apresenta valores de pH alcalinos, baixa dureza e elevado STD, que sugerem mistura com águas provenientes do SAG subjacente. As Fácies FeK e F estão mais relacionadas com zonas de recarga ascendente do SAG, sendo a primeira apresentando relação com as direções NE-E e NW-W e a segunda fortemente relacionada com lineamentos N-NE.

Palavras-chaves: Sistema Aquífero Serra Geral. Hidrogeologia. Hidrogeoquímica. Densidade de lineamentos. Região do Alto Rio Uruguai.

ABSTRACT

In the recent years, the need to improve the knowledge of groundwater resources has been increasingly important, justifying the large number of studies that are being developed on the Serra Geral Aquifer System (SGAS). The study area is located in the Alto Uruguai River region, northwest of the State of Rio Grande do Sul, covering 107 municipal districts. Geologically the area consists of volcanic rocks of the Serra Geral Formation, representing the SGAS, the most exploited aquifer in the region. The area is highly affected by tectonic lineaments, whose structural characterization is an important feature to better understanding the hydraulic and hydrogeochemical characteristics of this aquifer system. The aim of the present study includes the morphostructural, hydrogeological and hydrogeochemical characterization of the SGAS, recognizing the influence of tectonic lineaments on the hydrogeological potential and in the distribution of different hydrogeochemical facies. Through the database of tubular wells and the study of the morphotectonic lineaments present in the area, statistical tests were performed in order to find out structural relationships conditioning the aquifer system, The methodology used in the present study included the acquisition data of georeferenced tubular wells of the region, tracing of morphotectonic lineaments through satellite images, filtering in geographic information system (GIS) and statistical analysis using Principal Components Analysis and Cluster Analysis overall data. 1.981 lineaments were drawn and discriminated by length and direction patterns. Variations in the hydraulic capacity demonstrated the influence of regional tectonic structures. This is certified by the positive correlation between the lineament density and the water production of the wells. The small lineaments and directions NE-E and NW-W are dominant in the area and statistically are the most important factors for the potential production from the wells. The variation of hydrogeochemical facies showed the influence of regional tectonic structures, with a positive correlation between the lineaments density with the observed hydrochemical facies. The CaMg Facies and the Facies of Mixed Waters exhibit characteristics of low time residence, being related to recharge areas of SGAS, the first one mainly linked to NE-E and N-NW directions and the second one to the NW-W direction. The Na Facies is related to NE-E and NW-W lineaments, showing alkaline pH, low hardness and high Total Dissolved Solids, suggesting mixing with waters from the underlying Guarani Aquifer System (GAS). The FeK Facies and F are more related to areas of ascending recharge of GAS, the first one presenting relationship with the NE-E and NW-W directions and the second strongly related to N-NE lineaments.

Key-words: Serra Geral Aquifer System, Hydrogeology, Hydrogeochemical facies, Lineament density, Uruguai River region.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Mapa da região do Alto Rio Uruguai, no Noroeste do Rio Grande do Sul, mostrando as folhas a serem estudadas com destaque para a área em estudo.7
- Figura 2. Mapa geológico da área em estudo (modificado de CPRM, 2006).9
- Figura 3. Mapa geomorfológico da área em estudo (modificado de IBGE, 2003).11
- Figura 4. Unidade Geomorfológica Planalto dos Campos Gerais. As duas fotografias mostram morfologia mais aplanada caracterizada por sucessões de colinas isoladas entre si por vales, coberto por vegetação de campos. Na terceira fotografia é possível observar o topo plano da colina, que é característico dessa unidade. A quarta fotografia apresenta a região de Machadinho e demonstra que, em determinadas regiões dessa unidade, o solo é bastante espesso.12
- Figura 5. Unidade Geomorfológica Planalto Dissecado Rio Iguaçu - Rio Uruguai, apresentando forma de relevo de dissecção mais intensa, caracterizada por colinas alongadas, com desníveis acentuados em direção aos vales dos rios.12
- Figura 6. Unidade Geomorfológica Planalto de Santo Ângelo, mostrando homogeneidade, perceptível pela morfologia do relevo em forma de colinas rasas, com pequenos desníveis entre topo e vale.13
- Figura 7. Perfil de solo na área de estudo, na região de Boa Vista das Missões, município localizado na Unidade geomorfológica Planalto de Santo Ângelo, mostrando solo bastante espesso nessa unidade.....13
- Figura 8: Afloramento de zona amigdalóide de basalto e brecha vulcânica, mostrando circulação de água pelas fraturas da rocha.14
- Figura 9. Mapa hidrogeológico da área em estudo (modificado de CPRM, 2005). ...17
- Figura 10. Localização dos poços tubulares cadastrados que captam o SASG na área de estudo.21
- Figura 11. Mapa do relevo sombreado gerado a partir do MDT da região do Alto Rio Uruguai.....23
- Figura 12. Ilustração mostrando o conceito do cálculo da densidade de lineamento, onde L1 e L2 são as porções de comprimento dos lineamentos inseridos na área do círculo (modificado de Oliveira *et al.*, 2009).....28
- Figura 13. Mapa de densidade da totalidade de lineamentos traçados na área do estudo.....28

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
2	OBJETIVOS	7
3	ESTADO DA ARTE	8
3.1	Contexto Geológico	8
3.2	Contexto Geomorfológico	9
3.3	Contexto Hidrogeológico	14
4	METODOLOGIA.....	20
4.1	Revisão bibliográfica e compilação de dados sobre a área em estudo	20
4.2	Poços do SASG.....	21
4.3	Análise tectônica da área	22
4.4	Tratamento e interpretação dos dados obtidos.....	23
4.4.1	Classificação das estruturas	23
4.4.2	Análise Estatística estrutural	24
4.4.3	Análise Estatística dos poços.....	24
4.4.4	Elaboração de mapas e gráficos.....	27
5	ARTIGO CIENTÍFICO I	30
6	ARTIGO CIENTÍFICO II	52
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
	ANEXOS	85
	Anexo 1 Dados hidrogeológicos dos poços tubulares do SASG	86
	Anexo 2 Dados hidrogeoquímicos dos poços tubulares do SASG	96

SOBRE A ESTRUTURA DESTA DISSERTAÇÃO:

Esta dissertação de mestrado está estruturada em torno de dois artigos submetidos em periódicos nacionais de ampla circulação. Conseqüentemente, sua organização compreende as seguintes partes principais:

- a) Introdução sobre o tema e descrição do objeto da pesquisa de mestrado, onde estão sumarizados os objetivos e a filosofia de pesquisa, o estado da arte sobre o tema e a metodologia utilizada.

- b) Artigos submetidos a periódicos com corpo editorial permanente e revisores independentes escritos pelo autor durante o desenvolvimento de seu Mestrado.

- c) Anexos, compreendendo documentação de natureza numérica (tabelas), que, por sua dimensão e/ou natureza, não pode ser incluída nos artigos.

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de melhorar o conhecimento dos recursos hídricos subterrâneos tem se tornado, nos últimos anos, cada vez mais importante. A crescente demanda de água para abastecimento público e a escassez de águas superficiais devido a vários fatores, como a estiagem, resultam no elevado número de estudos que estão sendo desenvolvidos sobre o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG). Tais estudos visam melhorar o entendimento das condições e potencialidades de armazenamento e vulnerabilidade do aquífero. Cerca de 80% do abastecimento público das cidades situadas sobre a Formação Serra Geral é realizado através da exploração de águas do SASG (NANNI, 2008). A elevação da exploração dessas águas se justifica devido ao baixo custo com o tratamento das mesmas e as técnicas de exploração, que se tornam cada vez mais acessíveis. A utilização indiscriminada dessas reservas podem causar problemas de abastecimento da população para o futuro.

A área a ser estudada no presente trabalho localiza-se na região do Alto Rio Uruguai, no Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, estando compreendida nas cartas topográficas Chapecó (Folha SG-22-Y-C) e Erechim (Folha SG-22-Y-D) em escalas 1:250.000 da Diretoria de Serviço Geográfico (DSG) (Fig. 1). Abrange 107 municípios gaúchos e situa-se no Alto Rio Uruguai, compreendendo a parte oriental da Bacia Hidrográfica dos Rios Turvo-Santa Rosa-Santo Cristo, a parte Norte das Bacias Hidrográficas do Rio Passo Fundo e do Rio da Várzea e a parte ocidental da Bacia Hidrográfica dos rios Apuaê-Inhandava. A área é acessível por várias rodovias asfaltadas, tanto federais, como estaduais, como a BR-386, BR-158, BR-468, RS-126 RS-135, RS-324 e RS-155. Há, ainda, vários acessos por estradas municipais e vicinais.

Segundo Moreno (1961), o clima da região foi descrito como subtropical (Cfa), tendo o autor se baseado na classificação de Koeppen, na qual são considerados a sazonalidade e os valores médios anuais e mensais da temperatura do ar e da precipitação. A região do Alto Rio Uruguai se caracteriza por climas mesotérmicos, temperatura média do ar dos três meses mais frios compreendidas entre -3°C e 18°C e do mês mais quente superior a 22°C , além de estações de verão e inverno bem definidas, com chuvas em todos os meses do ano.

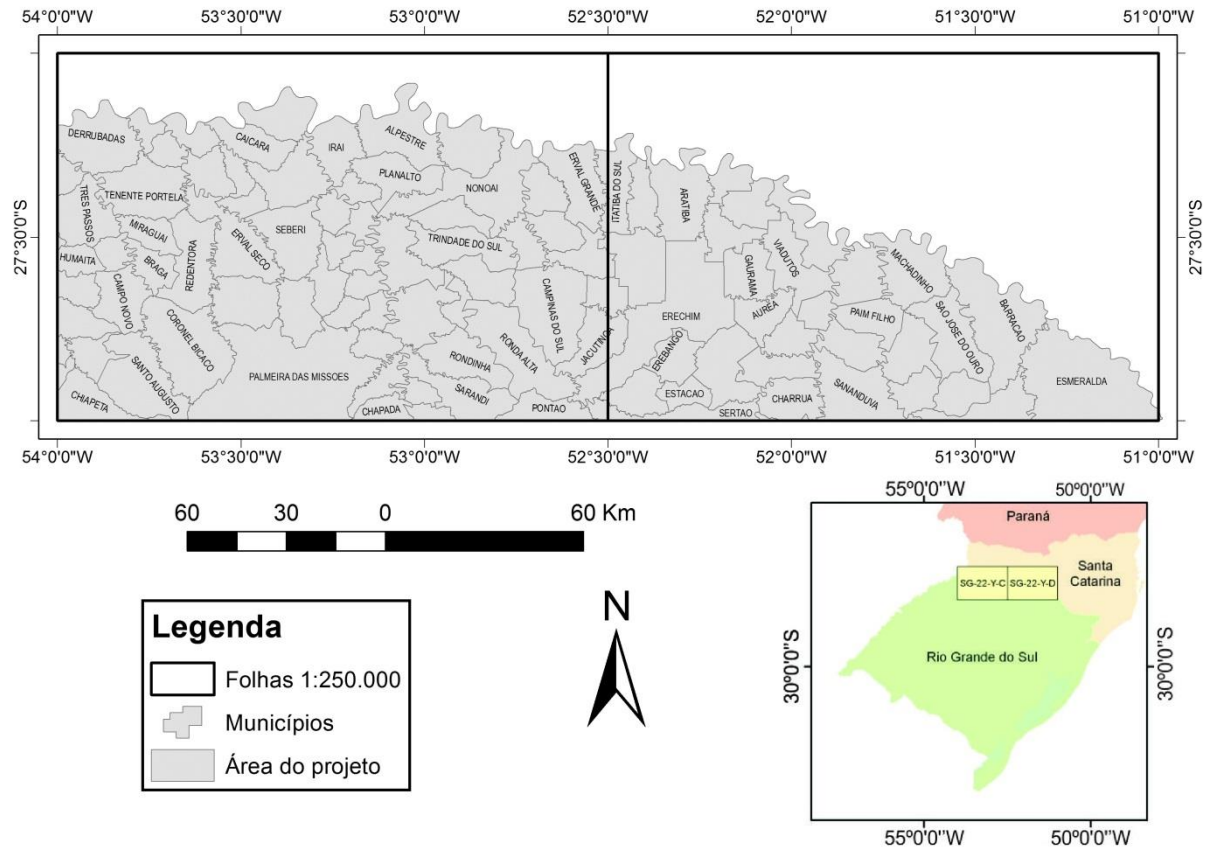


Figura 1. Mapa da região do Alto Rio Uruguai, no Noroeste do Rio Grande do Sul, mostrando as folhas a serem estudadas com destaque para a área em estudo.

A avaliação da qualidade da água subterrânea, bem como suas características hidrogeoquímicas, constitui uma informação de grande importância para a gestão, e adequabilidade de uso. Nesta região as águas subterrâneas representam um recurso de importância estratégica. As águas do SASG exploradas, no Alto Rio Uruguai, através de poços tubulares e captações de fontes são utilizadas para diversas finalidades de uso, destacando-se o abastecimento público, dessedentação de animais, indústria e agricultura, bem como para o turismo, pelas características geotermiais da região.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral do presente estudo é de aprimorar o conhecimento dos condicionantes geológicos e a caracterização hidrogeológica e hidrogeoquímica da região do Alto Rio Uruguai, contribuindo para melhorar o nível de informações sobre o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), através do entendimento da influência da tectônica rígida na produtividade de poços e disposição espacial dos diferentes tipos

hidrogeoquímicos de águas subterrâneas, testando a existência de blocos estruturais no condicionamento do sistema aquífero.

O estudo ainda tem como objetivo servir como guia auxiliar para a exploração das águas subterrâneas do SASG, uma vez que pode indicar as melhores condições de exploração de águas com diferentes condições hidrogeoquímicas e auxiliar na locação de poços com maior produtividade.

3. ESTADO DA ARTE

3.1 Contexto Geológico

A área em estudo está localizada na porção Sul da Bacia do Paraná, sendo recoberta pela Formação Serra Geral, que junto com a Formação Botucatu sotoposta, faz parte do Grupo São Bento, de idade Juro-Cretácea. Os arenitos da Formação Botucatu não afloram na área, estando localizados na base da pilha vulcânica. Devido à tectônica rígida decorrente de lineamentos tectônicos maiores e mais profundos, essa área possui uma grande importância hidrogeológica, principalmente no Sul do Brasil, decorrente da elevada explotabilidade.

Estudos de Peate *et al.* (1989, 1992) permitiram o reconhecimento de seis diferentes grupos geoquímicos na sequência básica. Segundo Roisenberg & Viero (2000), a região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul corresponde a basaltos tipo alto-TiO₂, que aparecem intercalados com basaltos tipo baixo-TiO₂, havendo registro restrito de vulcânicas ácidas interdiguadas de caráter porfíritico do tipo Chapecó.

Na região em estudo predominam basaltos tipo Paranapanema, que correspondem a basaltos alto-TiO₂; na porção oriental da área são encontrados basaltos tipo Esmeralda (baixo-TiO₂); e na porção Norte da área, próximo ao limite do Estado do Rio Grande do Sul com Santa Catarina, são encontradas as vulcânicas ácidas (CPRM, 2006) (Fig. 2).

As unidades básicas Paranapanema e Esmeralda apresentam condicionamento geológico semelhante, não sendo observadas diferenças macroscópicas notáveis no campo (CHIES, 1991). O pacote básico é composto por derrames individualizados com espessuras entre 10 e 40 metros, que apresentam frequentes intercalações de arenitos interderrames com características semelhantes às da Formação Botucatu (NANNI, 2008). A parte basal dos derrames é marcada muitas vezes por brechas, de fluxo ou auto-brechas, seguida por uma zona pouco

espessa de disjunção tabular. A parte central apresenta um aspecto massivo com disjunções colunares espaçadas, sendo sobreposta por uma zona delgada de disjunção tabular. O topo do derrame é vesicular/amigdaloidal e de cor avermelhada, tendo na mineralogia das amígdalas zeolitas, apofilita, ametista, calcedônia, ágata, opala, calcita, selenita, cobre nativo, entre outros (ROISENBERG & VIERO, 2000).

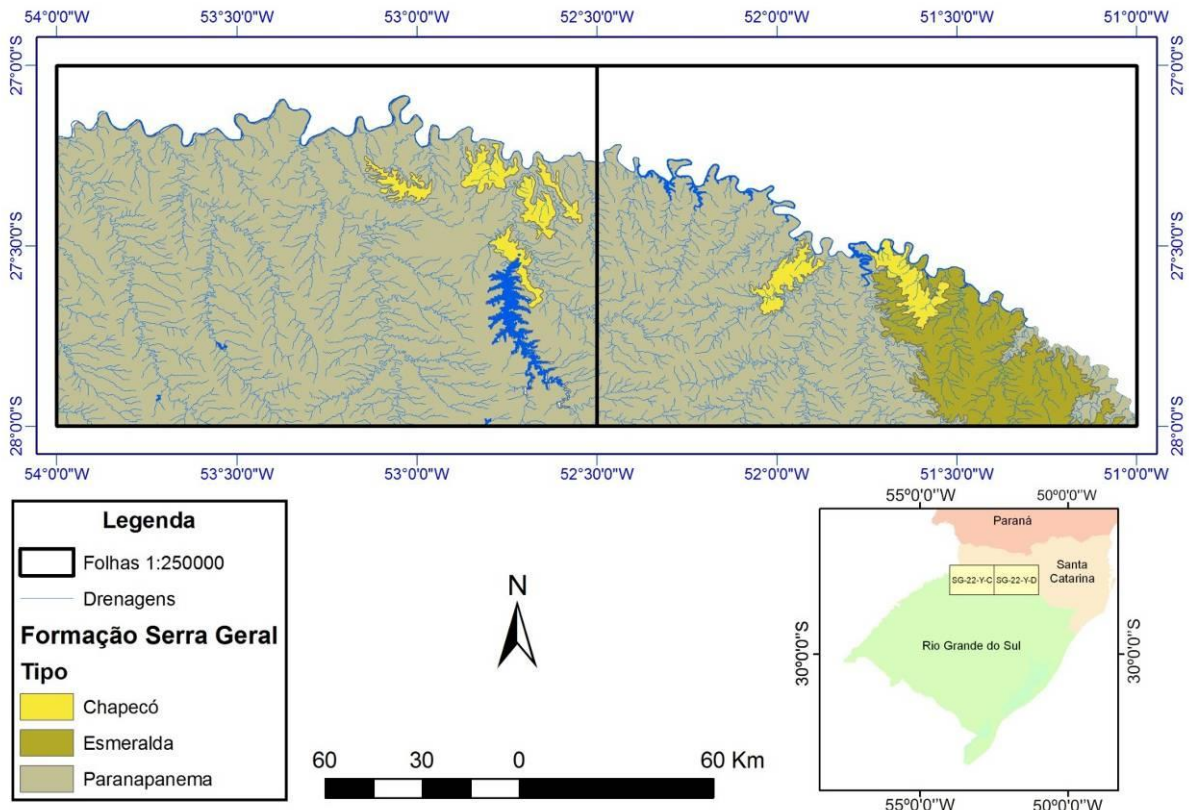


Figura 2. Mapa geológico da área em estudo (modificado de CPRM, 2006).

3.2 Contexto Geomorfológico

A evolução das formas de relevo é modelada por processos atuais e pretéritos de caráter exógeno, como o clima, a vegetação e o tipo de solo. Dentre os processos de caráter endógeno a tectônica exerce um papel de fundamental importância, juntamente com a distribuição espacial dos litotipos (CHRISTOFOLETTI, 1980).

A combinação desses fatores torna-se muito importante, já que em locais onde as litologias são resistentes, o relevo tende a ser mais preservado em virtude das limitações impostas aos agentes modeladores. Especial ênfase foi dada ao reconhecimento geomorfológico da região, pois a expressão gráfica dos lineamentos no terreno pode ser ressaltada ou ter o contraste minimizado nas imagens espaciais.

A geomorfologia da região em estudo foi descrita com base no Projeto RADAMBRASIL (1986), que definiu três categorias distintas para a hierarquização da compartimentação geomorfológica. O primeiro grande táxon, denominado Domínio Morfoestrutural, comporta várias Regiões Geomorfológicas, que compõem o segundo táxon, que por sua vez admitem subdivisões chamadas unidades geomorfológicas (terceiro táxon) (JUSTOS *et al.*, 1986).

A área em estudo localiza-se no Domínio das Bacias e Coberturas Sedimentares. Esse domínio apresenta formas de relevo esculpidas pelas litologias da Bacia do Paraná, desde a fase de sedimentação paleozóica e mesozóica até a fase efusiva, de idade juro-cretácea e, posteriormente, por coberturas terciárias. Esse domínio é subdividido em seis Regiões Geomorfológicas, sendo duas presentes na área em estudo: Planalto das Araucárias e Planalto das Missões (JUSTOS *et al.*, 1986).

A Região Geomorfológica Planalto das Araucárias corresponde à porção mais oriental do Domínio Morfoestrutural das Bacias e Coberturas Sedimentares, estendendo-se pelo Estado do Rio Grande do Sul e Sul do Estado de Santa Catarina. As formas de relevo foram esculpidas especialmente em rochas vulcânicas ácidas da Formação Serra Geral, que capeiam as vulcânicas básicas, estas correspondendo aos relevos mais conservados da região. As características geomorfológicas são bastante heterogêneas, variando desde formas amplas e aplainadas até níveis mais profundos de entalhamento ao longo dos rios. Esta Região Geomorfológica pode ser subdividida em quatro unidades geomorfológicas, duas das quais na área deste estudo: Planalto dos Campos Gerais e Planalto Dissecado Rio Iguaçu - Rio Uruguai (Fig. 3) (JUSTOS *et al.*, 1986).

A Região Geomorfológica Planalto das Missões ocupa a porção central do Domínio Morfoestrutural das Bacias e Coberturas Sedimentares. As formas de relevo são homogêneas e suaves e os solos profundos, o que favorece à atividade agrícola. Devido à homogeneidade da área, foi definido que essa região só teria uma unidade, que se denominou Unidade Geomorfológica Planalto de Santo Ângelo (JUSTOS *et al.*, 1986).

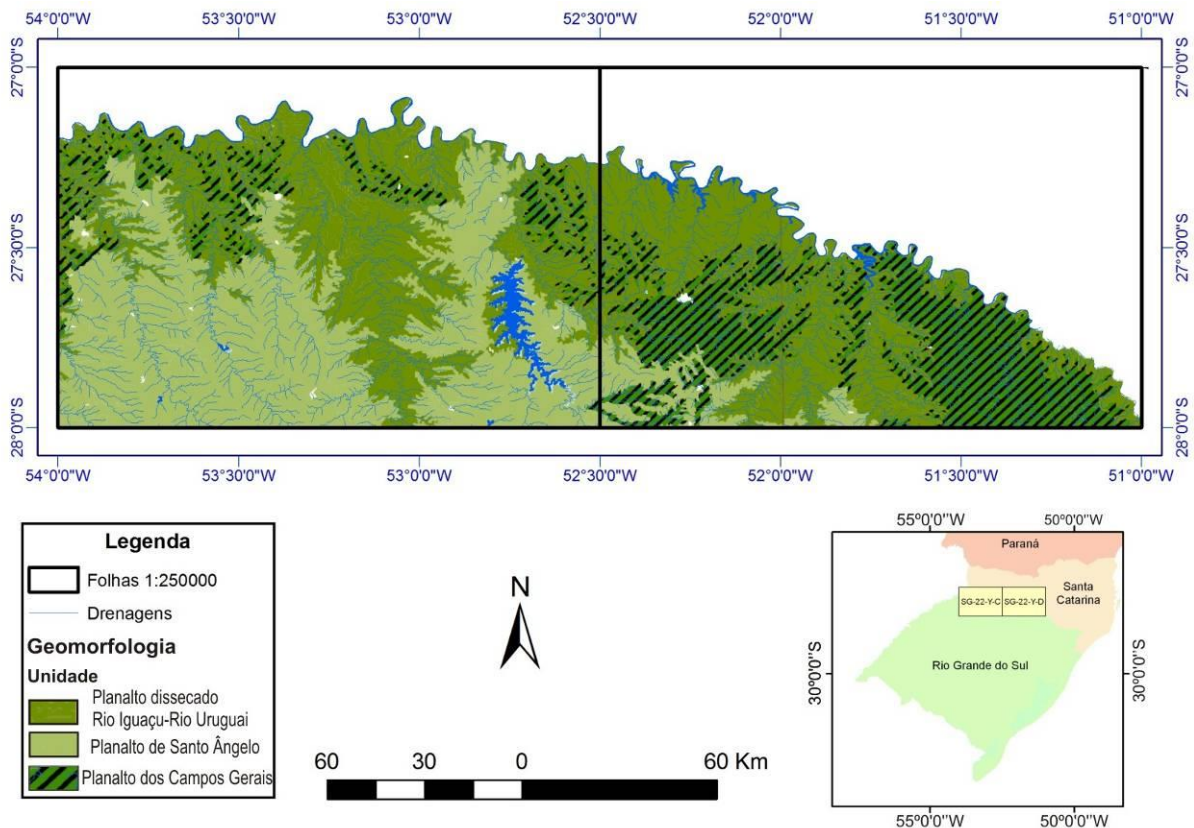


Figura 3. Mapa geomorfológico da área em estudo (modificado de IBGE, 2003).

A Unidade Geomorfológica Planalto dos Campos Gerais está localizada predominantemente na carta topográfica Erechim (Folha SG-22-Y-D) e espalhada em pequenas porções da parte Norte da carta Chapecó (Folha SG-22-Y-C). Essa unidade caracteriza-se por relevo relativamente mais plano e conservado. As formas de relevo demonstram a ocorrência de etapas evolutivas de dissecção, apresentando áreas conservadas de morfologia planar e outras onde a erosão conseguiu alargar vales. Mostra áreas com sucessão de colinas de topos planos cobertas por vegetação de campos, separadas por vales de fundo chato (Fig. 4) (JUSTOS *et al.*, 1986).

A Unidade Geomorfológica Planalto Dissecado Rio Iguaçu–Rio Uruguai possui grande expressão areal na área do estudo. Essa unidade desenvolveu-se predominantemente nas rochas básicas da Formação Serra Geral, destacando-se pelas formas de relevo dissecado e associando-se diretamente à dissecção do Rio Uruguai e seus tributários mais importantes. O controle estrutural é evidenciado na rede hidrográfica, onde os cursos fluviais seguem as orientações das linhas estruturais principais. O relevo apresenta colinas alongadas, com desníveis acentuados para os vales dos rios (Fig. 5) (JUSTOS *et al.*, 1986).



Figura 4. Unidade Geomorfológica Planalto dos Campos Gerais. As duas primeiras fotografias mostram morfologia mais aplanada caracterizada por sucessões de colinas isoladas entre si por vales, coberto por vegetação de campos. Na terceira fotografia é possível observar o topo plano da colina, que é característico dessa unidade. A quarta fotografia apresenta a região de Machadinho e demonstra que, em determinadas regiões dessa unidade, o solo é bastante espesso.



Figura 5. Unidade Geomorfológica Planalto Dissecado Rio Iguaçu - Rio Uruguai, apresentando forma de relevo de dissecção mais intensa, caracterizada por colinas alongadas, com desníveis acentuados em direção aos vales dos rios.

A Unidade Geomorfológica Planalto de Santo Ângelo localiza-se predominantemente na carta topográfica Chapecó (Folha SG-22-Y-C) e na porção Sul da carta Erechim (Folha SG-22-Y-D). Essa unidade caracteriza-se por um relevo em forma de colinas rasas (coxilhas), com pequenos desníveis entre topo e vale (Fig. 6). Os solos são espessos (Fig. 7) e há disseminação dos fenômenos de erosão e movimentos de massa em diversos estágios de evolução nas vertentes das colinas e nas cabeceiras das drenagens, que cortam áreas de lavouras e criação de gado (JUSTOS *et al.*, 1986).



Figura 6. Unidade Geomorfológica Planalto de Santo Ângelo, mostrando homogeneidade, perceptível pela morfologia do relevo em forma de colinas rasas, com pequenos desníveis entre topo e vale.



Figura 7. Perfil de solo na área de estudo, na região de Boa Vista das Missões, município localizado na Unidade geomorfológica Planalto de Santo Ângelo, mostrando solo bastante espesso nessa unidade.

3.3 Contexto Hidrogeológico

O pacote vulcânico constitui um sistema aquífero fraturado heterogêneo e anisotrópico com condições de armazenamento e circulação da água restritas às descontinuidades (Fig. 8). O SASG é diferente de aquíferos fraturados Pré-Cambrianos, por suas particularidades litológicas e estruturais. Segundo Freitas & Machado (2000), as principais diferenças residem na zona vesicular de topo de derrame e na zona de disjunção horizontal, que, quando interceptadas por fraturamentos, interconectam-se podendo armazenar grandes volumes de água subterrânea.



Figura 8: Afloramento de zona amigdalóide de basalto e brecha vulcânica, mostrando circulação de água pelas fraturas da rocha.

Machado & Faccini (2004) definem que o Compartimento Norte–Alto Uruguai é limitado ao Sul pelo Sistema de Falhas Terra de Areia–Posadas e a leste pela Falha do Leão. Caracteriza-se pelo registro do SAG, totalmente confinado pelos derrames vulcânicos. Nesse compartimento, localizam-se os poços tubulares mais profundos do Sistema Aquífero Guarani no Estado do Rio Grande do Sul.

O SAG, segundo ANA (2001), possui área total de 1.195.500 Km² e somente aflora em aproximadamente 12,8% desta área, ou seja, 153.000 Km². Das áreas aflorantes, 67,8% (104.000 Km²) localizam-se no Brasil, 30,1% no Paraguai e 2,1%

no Uruguai. Na área restante (81,2%), ou seja, cerca de 1.000.000 Km², o SAG encontra-se sotoposto às rochas vulcânicas da Formação Serra Geral.

Muitos estudos sobre o SAG foram realizados até a presente data. Em geral, tratam-se de abordagens sintéticas em escalas de 1:2.500.000 a 1:5.000.000, sobre sua distribuição e características hidrogeológicas nos quatro países em que ocorre (MACHADO & FACCINI, 2004).

Trabalhos realizados sobre a estruturação do SAG no Uruguai e na porção influenciada pelo Arco de Ponta Grossa, no Estado do Paraná, têm demonstrado a compartimentação do sistema aquífero, com base em grandes estruturas tectônicas, que individualizam compartimentos com características hidrogeológicas e hidrogeoquímicas bem definidas (ROSA F^o *et al.*, 2003). A atual estruturação do SAG está condicionada aos eventos tectônicos e às sucessivas reativações tectônicas que afetaram a geologia do Estado do Rio Grande do Sul e que ocorreram principalmente do final do Permiano até o Cretáceo.

Segundo Machado & Faccini (2004), os trabalhos de Eilers (1993) e Eilers *et al.* (1993), Frasca e Lisboa (1993), Frasca (1996), Lisboa (1993, 1996), Lisboa *et al.* (1985), Takahashi (1991) e Takahashi *et al.* (1993) e Agrar und Hidrotechnik (1970), em áreas específicas de ocorrência do SAG, corroboram que as linhas tectônicas promovem uma compartimentação bem definida com reflexos nas características hidrogeoquímicas.

Möbus (1987) estudou o comportamento hidrogeológico do aquífero do SASG na região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Sua pesquisa abrangeu uma área limitada a oeste pela cidade de Porto Lucena, a leste por Santo Augusto, a Sul por Guarani das Missões e a Norte por Tuparendi. Adotando técnicas de análise fatorial e de agrupamento como ferramenta para auxiliar na caracterização hidrogeológica da área estudada, foram analisados sessenta e oito poços tubulares, da Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN). Tal estudo foi realizado segundo sete variáveis (número de entradas de água, profundidade da última entrada de água, descarga específica, pH, razão Cl/HCO₃, sólidos totais dissolvidos e espessura do manto de alteração) e resultou na obtenção de cinco grupos distintos de águas na região.

Lisboa (1996) reconhece três unidades hidrogeológicas distintas do SASG, definidas através de dados hidrogeoquímicos de águas subterrâneas no Estado do Rio Grande do Sul: Abóbada Oeste Aplainada, entre as bacias dos Rios Ibicuí e Quaraí; Abóbada Central Densamente Dissecada, na bacia do Alto Rio Uruguai e

Fachada Atlântica Dissecada, nas bacias dos Rios Caí e Antas. Registrou nesse estudo, que as águas subterrâneas nos três compartimentos são predominantemente bicarbonatadas cálcicas. Na Abóbada Oeste Aplainada foi registrada uma fácies bicarbonatada magnésiana, interpretada como decorrente de longo tempo de residência. Nos três compartimentos foram observados registros de águas sódicas, cuja origem é atribuída à mistura de águas de recarga meteórica com águas ascendentes do SAG subjacente. Estudos de Fraga (1986) em fontes termais associadas à fraturamentos importantes do SASG do Paraná identificaram predominância de águas bicarbonatadas sódicas ou tipos mistos, decorrentes de processos de mistura impostos por distintos condicionamentos hidrogeológicos.

Face aos recorrentes períodos de estiagem, a utilização das águas subterrâneas do SASG tem crescido exponencialmente nos últimos anos. Somente na região oeste de Santa Catarina, esta unidade contava, em 2002, com mais de 2.700 poços tubulares cadastrados, com profundidades médias de 117m e vazão média de 7,7 m³/h (FREITAS *et al.*, 2003). Alguns poços do oeste catarinense perfurados no pacote vulcânico e que possuem profundidades de até 200m, apresentam vestígios de óleo e, muitas vezes, gás natural, decorrentes de provável exsudação da Formação Irati. Este fato, aliado à frequente mistura de águas da Formação Serra Geral com águas profundas, reforça a hipótese de interconexão hidráulica, criadas por estruturas tectônicas maiores (FREITAS *et al.*, 2003). Este arcabouço estrutural controla, provavelmente, a variabilidade das águas subterrâneas (e minerais) observadas no SASG e SAG.

Machado (2005) em relação a texturas, estruturas e ambientes deposicionais, utiliza o conceito estratigráfico em conjunto com características hidrogeoquímicas e feições estruturais para sugerir uma compartimentação hidroestratigráfica do SAG, para o Estado do Rio Grande do Sul.

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2005) apresentou o Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul, na escala 1:750.000. Tal mapa foi realizado através de um mapeamento hidrogeológico, que buscou agrupar as ocorrências de água subterrânea, conforme os tipos de rochas e estruturas que servem de espaço armazenador de água. As unidades foram classificadas segundo províncias hidrogeológicas, de acordo com seu potencial hídrico. Segundo o mapa, a área em estudo apresenta dois Sistemas Aquíferos da Formação Serra Geral: Sistema Aquífero Serra Geral I (SASG I) e Sistema Aquífero Serra Geral II (SASG II) (Fig. 9).

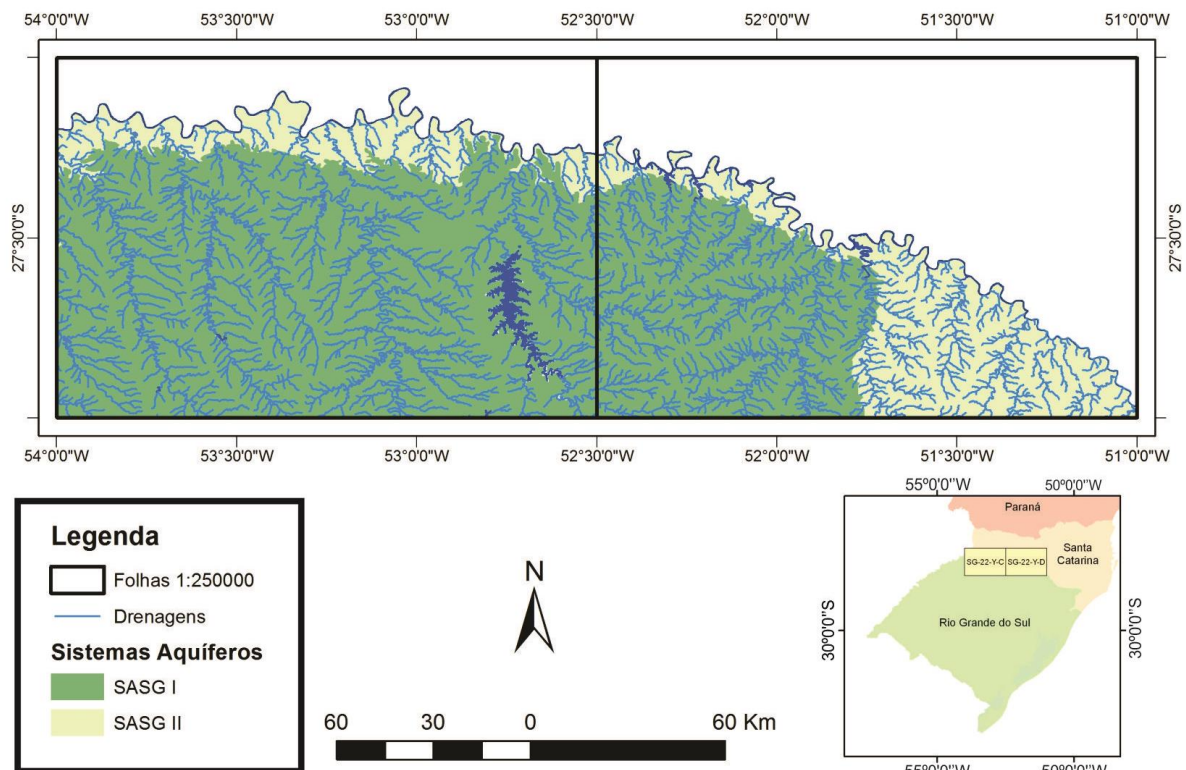


Figura 9. Mapa hidrogeológico da área em estudo (modificado de CPRM, 2005).

O Sistema Aquífero Serra Geral I ocupa quase toda a Chapecó (Folha SG-22-Y-C) e porção ocidental da Folha Erechim (Folha SG-22-Y-D). O SASG I apresenta capacidades específicas muito variadas, existindo poços não produtivos próximos de outros com excelentes produtividade, apresentando a maioria dos poços variando entre 1 a 4 m³/h/m e excepcionalmente valores superiores a 4 m³/h/m. As salinidades em geral são baixas, em média 200 mg/l. Poços que captam águas mais salinas, sódicas e de elevado pH (entre 9 e 10), provavelmente correspondem a porções do aquífero influenciadas por águas ascendentes do SAG (CPRM, 2005).

O Sistema Aquífero Serra Geral II ocorre em toda a extensão e próximo ao Rio Uruguai. Ocupa ainda a porção oriental da Folha Erechim (Folha SG-22-Y-D). Os poços do SASG II apresentam capacidades específicas inferiores a 0,5 m³/h/m, entretanto, excepcionalmente em áreas mais fraturadas ou com arenitos na base do sistema, podem ser encontrados valores superiores a 2 m³/h/m. Assim como o SASG I, as salinidades apresentam valores baixos, geralmente inferiores a 250 mg/l e maiores valores de pH, salinidade e teores de sódio devem ser influenciados por descargas ascendentes do SAG (CPRM, 2005).

Falhamentos de grande porte fazem interconexão dos dois sistemas aquíferos, que passam a constituir o denominado Sistema Aquífero Integrado

Guarani/Serra Geral (SAIG/SG). A região oeste dos Estados de Santa Catarina e do Paraná, assim como a região Norte e Noroeste do Rio Grande do Sul, tem como principal fonte de águas subterrâneas o SAIG/SG (SCHEIBE & HIRATA, 2008).

Betiollo (2006), com base no estudo da tectônica rúptil definiu padrões estruturais que condicionam a hidrogeologia e hidrogeoquímica da região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. Definiu a distribuição espacial dos lineamentos por extensão, direção dominante e áreas de maior densidade. Observou que não houve boa correlação da densidade de lineamentos e os blocos tectono-estruturais com o potencial de exploração dos poços, mas reconheceu boa correlação com os lineamentos de médio porte, principalmente os de direção NW.

O Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE, 1982) apresentou que, para uma análise da produtividade dos recursos hídricos subterrâneos, é mais adequado utilizar os dados da capacidade específica do que da vazão do poço, pois apesar da capacidade não ser um parâmetro exclusivo do aquífero, ainda apresenta melhor correlação com a transmissividade do que a vazão. Fernandes (2008) completa que para a utilização da capacidade específica é importante que os dados sejam bem selecionados para diminuir a influência de aspectos construtivos dos poços.

Fernandes (2008), com base no estudo de revisão dos condicionantes geológicos e dos métodos de investigação em aquíferos de rochas fraturadas, apresenta que a tectônica é o fator que mais influi na circulação de água em rochas cristalinas, pois gera caminhos de percolação e controla, na maioria das vezes, suas principais características geométricas, como por exemplo, abertura, direções, densidade e conectividade.

Nanni (2008) definiu que a dinâmica da recarga ascendente de aquíferos pode gerar altas concentrações de fluoreto, que interfeririam na hidrogeoquímicas de aquíferos, onde o referido íon não é esperado, como no SASG. Nestes casos, o fator estrutural contribui para a definição das características físicas e químicas das águas e, em muitos casos, promove oscilações. Ainda cita que o equilíbrio entre as recargas ascendentes e meteóricas não depende somente de fatores naturais. O uso demasiado do recurso hídrico subterrâneo pode acarretar perdas de qualidade das águas, que alterariam as condições naturais do nível estático do SASG. Essas mudanças promoveriam a ascensão de águas submetidas à condições de temperaturas e pressões mais elevadas através da trama fraturada do SASG,

podendo trazer problemas locais ou regionais, caso não fossem tomadas medidas de proteção ao manancial subterrâneo.

Na região de divisa entre o Rio Grande do Sul e Santa Catarina, denominada Extremo Oriental do Planalto da Serra Geral, a disposição espacial do topo do SAG varia da cota 100, no sopé dos Aparados da Serra, até 900 metros no Município de Urubici, SC, indicando intensa atividade tectônica, que determina não só o fluxo das águas superficiais como, certamente, a compartimentação dos processos regionais de recarga e descarga do SAG e do SASG. Na região Noroeste do Rio Grande do Sul e sudoeste de SC, situam-se os municípios de Frederico Westphalen, Iraí e Vicente Dutra (RS) e Itapiranga e Palmitos (SC), todos com surgências de águas termais e de termalismo em poços tubulares, o que proporciona importante uso turístico e medicinal dessas águas. Trabalhos do PROESC (Projeto Oeste de Santa Catarina), realizado pela CPRM e Governo do Estado de Santa Catarina, sugerem que este termalismo indicaria a interconexão dos dois sistemas aquíferos em foco (FREITAS *et al.*, 2003).

Freitas *et al.* (2012) apresenta um estudo integrando dados de potencial hidrogeológico, vulnerabilidade e hidrogeoquímicas do SASG na Bacia Hidrográfica dos Rios Turvo-Santa Rosa-Santo Cristo. Quatro domínios foram descritos, em ordem decrescente, quanto a potencialidade do aquífero na região: zona muito boa, zona boa, zona regular e zona ruim. A zona muito boa é a que apresenta melhor potencial em termos de água subterrânea e onde é possível se obter as melhores vazões atingindo até 80 m³/h. A zona boa são previstas vazões médias entre 5 e 50 m³/h. A zona regular apresenta poços nulos ou de pequenas vazões. Já a zona pobre é uma área potencialmente ruim para ocorrência de água subterrânea, com expectativa de vazões de no máximo 2 m³/h, não sendo recomendável a perfuração de poços tubulares.

Segundo o mesmo estudo, a vulnerabilidade intrínseca do aquífero na bacia apresenta-se menor (baixa a moderada) na zona aquífera muito boa do que nas demais zonas. Os tipos hidrogeoquímicos do SASG foram separados em tipo I (Águas Bicarbonatadas Cálcicas ou Magnesianas), representando 44,4% do total das amostras, cujas características são apresentar um tempo de residência não muito grande associadas a áreas de recarga do SASG e possuem valores mais baixos de pH e STD. As águas do tipo II (Águas Bicarbonatadas Sódicas) predominantes na bacia do estudo, com 47,6 % do total das amostras, apresentam valores de pH alcalino, baixa dureza e STD com teores que sugerem mistura com

águas provenientes do SAG subjacente. O Tipo III (Águas Sulfatadas ou Cloretadas Cálcicas Magnesianas), correspondentes a 3,2% do total das amostras, representa águas com pH abaixo de 7, baixo STD, dureza baixa além de apresentarem baixos teores de fluoretos. Por fim, as águas do tipo IV (Águas Sulfatadas ou Cloretadas Sódicas), representando 4,8 % do total das amostras, apresenta águas alcalinas, com STD alto, dureza elevada e teor de Flúor relativamente alto. Este tipo de água, também apresenta influência do aquífero Guarani (FREITAS *et al.*, 2012).

Nanni *et al.* (2012) apresentou um estudo sobre a influência da atividade antrópica na qualidade das águas do SASG na Bacia Hidrográfica dos Rios Turvo-Santa Rosa-Santo Cristo, no Noroeste do Rio Grande do Sul. Os resultados obtidos na pesquisa indicam, que as águas captadas dos poços no SASG para abastecimento da população ainda não apresentam problemas de contaminação pela atividade antrópica na região. Os autores sugerem que os problemas relacionados com contaminação deste aquífero ainda são muito incipientes e localizados, geralmente relacionados a poços mal construídos ou abandonados, do tipo escavado, que captam águas do aquífero freático e que sofrem influência direta das condições de superfície, como o aporte de águas superficiais contaminadas.

4. METODOLOGIA

O desenvolvimento deste estudo utilizou técnicas variadas, que envolvem conhecimento em geologia estrutural, sensoriamento remoto, geomorfologia, hidrogeologia e hidrogeoquímica.

4.1 Revisão bibliográfica e compilação de dados sobre a área em estudo

Foi realizada uma ampla pesquisa bibliográfica, obtendo dados a partir de artigos científicos, relatórios técnicos e mapas geológicos, além de trabalhos em nível de pós-graduação.

Nesta etapa foi obtida documentação específica sobre poços tubulares da região, constantes em arquivos de empresas privadas e órgãos públicos, como CPRM e Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), com ênfase em dados hidrogeológicos, como níveis estático e dinâmico, vazão, profundidade do poço, além das análises químicas. Para selecionar os poços foram escolhidos aqueles que possuíam informações consistentes, como localização, dados de posição espacial como coordenadas geográficas, determinadas por GPS, ou croquis

que possibilitam seu georreferenciamento, perfis de sondagem, ensaio de bombeamento, podendo ser utilizados dados de poços que não estão mais em uso.

4.2 Poços do SASG

Ao todo foram inventariados 383 poços, que captam água do SASG na área do Projeto (Fig. 10). Além de possuírem informações hidrogeológicas completas, os poços selecionados abrangeram toda a área do estudo, facilitando o cruzamento dos dados estruturais e hidrodinâmicos, fornecendo elementos para reconhecimento das condicionantes dos SASG.

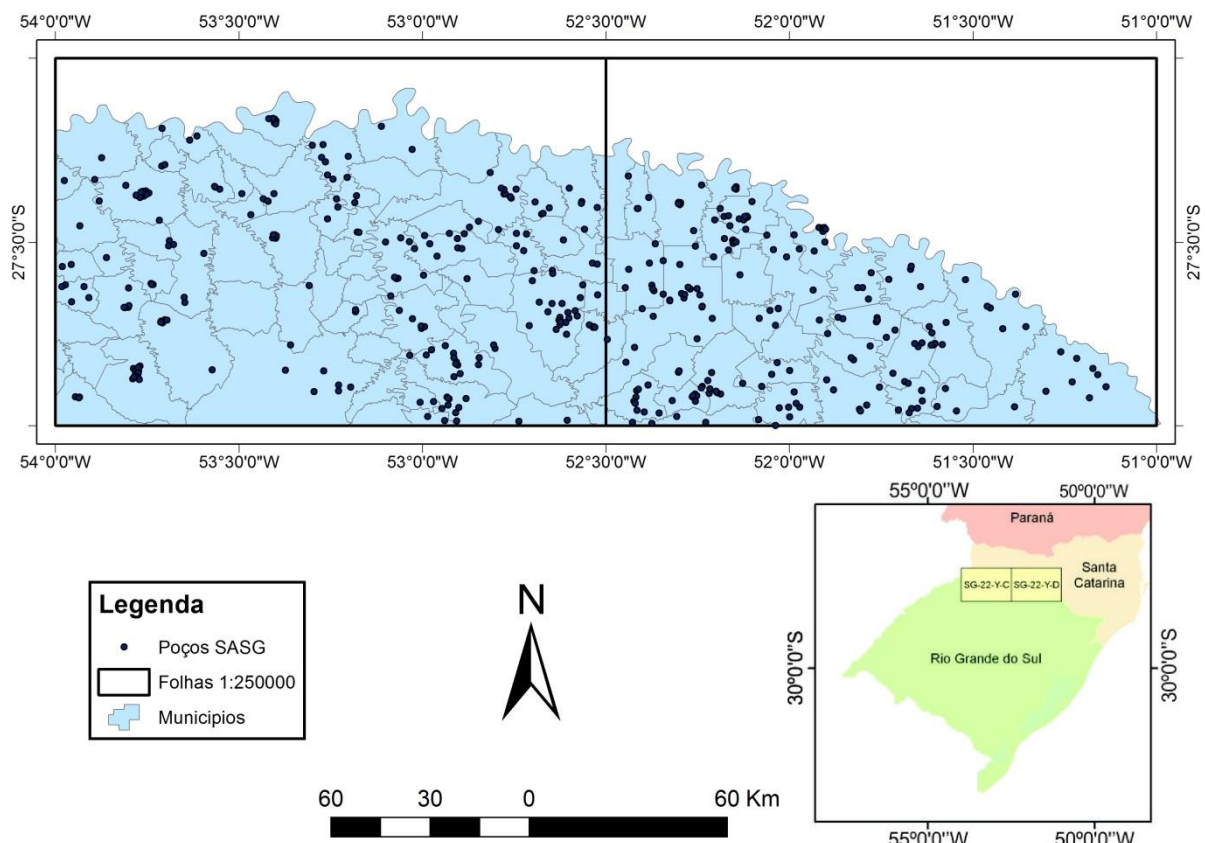


Figura 10. Localização dos poços tubulares cadastrados que captam o SASG na área de estudo.

A caracterização química das águas do SASG foi realizada através da compilação de informações existentes obtidas durante a etapa de aquisição dos dados da área em estudo.

As análises da CORSAN mostraram-se na maioria das vezes completas e com balanço iônico compatível com o estudo hidrogeoquímico realizado. Desta forma o estudo realizado contou com 142 análises físico-químicas dentro da área do projeto.

Para o estudo da qualidade das águas subterrâneas foi considerada somente uma análise por poço, sempre a mais completa e mais recente. Adotou-se o estudo clássico de hidrogeoquímica visando os diferentes tipos geoquímicos de águas subterrâneas existentes na bacia.

A escolha dos poços foi realizada com base na consistência dos dados das análises físico-químicas de cada ponto de captação. Foram descartados os poços que não continham na sua análise os cátions e ânions utilizados Diagrama Piper (cálcio, sódio, magnésio, bicarbonato, cloreto e sulfato) e que apresentassem erro no balanço iônico superior a 10%.

4.3 Análise tectônica da área

A etapa de análise tectônica foi realizada através de imagens de satélite. Esta análise permitiu traçar lineamentos tectônicos, na tentativa de estabelecer padrões e eventuais blocos estruturais.

Para realizar a interpretação das estruturas da área foi confeccionada uma imagem de relevo sombreado, gerada a partir de um MDT (modelo digital de terreno), que possibilita visualizar as diferenças de relevo em uma dada região. Os dados do MDT foram extraídos do projeto *Shuttle Radar Topography Mission – SRTM* (USGS). A imagem sombreada é gerada a partir de uma grade retangular sobre a qual é aplicado um modelo de iluminação.

O software utilizado para fazer relevo sombreado é denominado *ENVI*[®] 4.2, através da ferramenta *Topographic Modeling* com a rotina *Topographic kernel size 3* e a opção *Shaded Relief*. Dessa forma, foram considerados parâmetros de elevação e azimute de 45 metros (m) e 330°, respectivamente, sendo a imagem salva no formato *TIFF* (Fig. 11).

As estruturas foram interpretadas em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) com o uso do software *ArcGIS*[®] 9.3, sendo traçados os lineamentos geológicos, muitas vezes destacados por alinhamentos de escarpas e vales, além de drenagens. A escala utilizada foi 1:250.000, que permitiu mapear estruturas em escala regional.

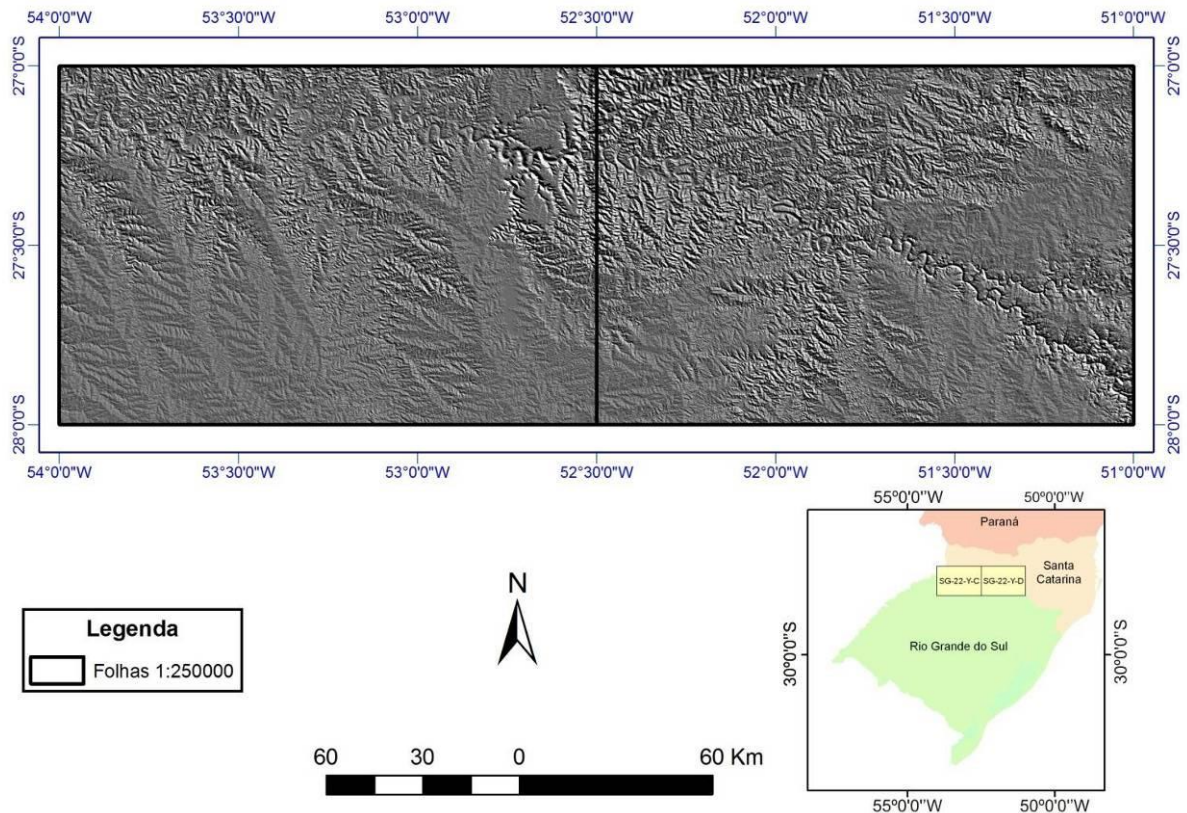


Figura 11. Mapa do relevo sombreado gerado a partir do MDT da região do Alto Rio Uruguai.

4.4 Tratamento e interpretação dos dados obtidos

Os dados obtidos foram analisados com apoio de softwares específicos, como *ArcGIS*[®] 9.3, *RockWorks*[®] 14 e *Excel*[®] 2010, verificando-se a relação entre a parte estrutural da região e a potencialidade dos aquíferos.

4.4.1 Classificação das estruturas

O traçado de lineamentos em ambiente SIG permitiu que valores de coordenadas, comprimento e azimute fossem extraídos automaticamente, sendo criada uma tabela de atributos dos lineamentos, que forneceu informações para tratamentos estatísticos posteriores. As estruturas foram separadas em lineamentos de pequeno porte (<10 km), médio porte (10-100 km) e grande porte (>100 km).

Para medir o azimute de cada lineamento de maneira automatizada, o procedimento adotado foi a utilização da extensão de modelagem *ArcSDM*, do aplicativo *ArcGIS*[®]. Esta rotina cria automaticamente duas colunas *SDMAzimuth* e *SDMBearing* na tabela de atributos dos lineamentos. O *SDMAzimuth* varia de 0 a 360° e o *SDMBearing* por quadrantes (0 a 90°), com sinal negativo ou positivo,

correspondente a NW ou NE, respectivamente. Nesse trabalho não foi utilizado o *SDMBearing*, por facilidade de trabalho, optando-se pelo *SDMAzimuth*.

Para medir o comprimento de cada lineamento foi utilizada ferramenta *Calculate geometry*, selecionando-se propriedade *length*, disponível no aplicativo *ArcGIS*[®].

4.4.2 Análise Estatística estrutural

A aplicação de métodos estatísticos nos lineamentos tectônicos foram realizados através do programa *RockWorks*[®] importando-se a tabela de atributos gerada no aplicativo *ArcGIS*[®]. As informações de comprimento e frequência das estruturas originaram diagramas de rosetas, que foram analisados para definição dos principais padrões de elementos lineares.

Os diagramas produzidos pela ferramenta *Utilities* do *RockWorks*[®] permitem importar a tabela de lineamentos. Na ferramenta *Utilities* foi selecionado o comando *rose diagram – from Bearings*, para frequência, ou *rose diagram - from Endpoint*, para comprimento das estruturas. Esse comando é encontrado na aba *linears*. Para tanto, foi aberto um menu de opções para configurar o estilo de diagrama de rosetas desejado.

Através da análise das rosetas, os principais padrões de lineamentos foram individualizados, a partir da opção *Select by Attributes* da aba *Selection* do aplicativo *ArcGIS*[®]. A seleção do intervalo azimutal referente ao padrão desejado foi individualizado em um novo arquivo, SIG, por meio da rotina *Export Data*, clicando-se com o botão direito no arquivo original e escolhendo a opção *Data*.

A finalidade de confecção dos diagramas de rosetas foi relacionar os intervalos azimutais dos lineamentos, tanto com base no somatório dos comprimentos dos lineamentos, quanto na sua frequência absoluta (número de lineamentos existentes), estabelecendo-se relações com parâmetros hidrogeológicos específicos, como a capacidade específica dos poços, além de relacionar os padrões com a geoquímica das águas subterrâneas.

4.4.3 Análise Estatística dos poços

O tratamento estatístico dos parâmetros hidrogeológicos foi realizado através de conceitos básicos da Estatística Descritiva e apresentação gráfica de distribuições amostrais. Essa análise compreende um conjunto de métodos e

técnicas que visam extrair as características empíricas essenciais de padrões de distribuição de uma determinada variável hidrogeológica. Consiste em organizar os dados, seja por seleção, agrupamento ou divisão proporcional, para que, depois de resumidos, haja melhor compreensão, facilitando o manuseio dos dados.

A estatística descritiva é um modo de resumir uma série de observações do padrão de distribuição que será analisado. No presente trabalho foram utilizados dois tipos de estatística descritiva: Medidas de Tendência Central (MTC) e Medidas de Dispersão (MD).

As MCT são calculadas para representar o valor central de um determinado parâmetro. No caso, foram utilizadas a média aritmética e mediana. A média aritmética de um conjunto de valores numéricos é calculada somando-se todos estes valores e dividindo-se o resultado pelo número de elementos somados, que é igual ao número de elementos do conjunto. A mediana é o valor intermediário que separa a metade superior da metade inferior do conjunto de dados.

As MD medem o grau de variabilidade dos pontos, em torno do valor central da amostra. No presente estudo foram utilizados o desvio padrão e o coeficiente de variação. O desvio padrão é a medida mais comum da dispersão estatística, sendo definido como a raiz quadrada da variância. A variância de uma variável aleatória é uma medida da sua dispersão estatística, indicando a distância dos valores em relação ao valor esperado. É definida como sendo a média dos quadrados dos desvios em relação à média aritmética. Por desvio entende-se a diferença entre o valor do conjunto de dados e a média. O coeficiente de variação é uma medida de dispersão que se utiliza para a comparação de distribuições diferentes. O desvio padrão é relativo à média e como duas distribuições podem ter valores médios diferentes, o desvio dessas duas distribuições não é comparável. A solução é usar o coeficiente de variação, que corresponde ao desvio padrão dividido pela média aritmética.

A apresentação gráfica de distribuições amostrais é utilizada para demonstrar a essência do padrão de distribuição de um determinado parâmetro, representando-se como gráficos de histogramas e diagramas de frequência relativa acumulada.

O histograma é um gráfico composto por retângulos justapostos em que a base de cada um corresponde ao intervalo de valor do parâmetro e sua altura corresponde à frequência (LANDIM, 2003). O diagrama de frequência relativa acumulada resulta da união, por linhas contínuas, de pares formados pelos limites superiores dos intervalos de classe e pelas ordenadas consecutivamente

acumuladas do histograma, desde a menor até a maior (NAGHETTINI E PINTO, 2007). É importante, pois permite a identificação imediata da mediana (quartil médio), quartil superior e quartil inferior.

Após terem sido processadas as informações contendo geologia e hidrogeologia da área em estudo, iniciou-se a análise dos dados hidrogeoquímicos a partir do tratamento estatístico dos dados. Essa etapa contou com o apoio do NAE/IM/UFRGS (Núcleo de Assessoria Estatística/ Instituto de Matemática/ Universidade Federal do Rio Grande do Sul), utilizando-se o programa SPSS[®] versão 12. Os dados hidrogeoquímicos foram analisados através de duas técnicas de tratamento estatístico de análise multivariada: Análise Fatorial de Componentes Principais e Análise de agrupamentos.

A Análise Fatorial de Componentes Principais (AFCP) foi utilizada para separar as fácies hidrogeoquímicas existentes no SASG. Esse processo possibilita transformar linearmente um conjunto de variáveis originais em um novo conjunto, menor, de variáveis não-correlacionadas, facilitando o manuseio e a compreensão do fenômeno, sem perda significativa de informação (PALÁCIO, 2004).

A AFCP demanda três etapas principais, iniciando pela preparação da matriz de correlação, seguido pela extração dos fatores comuns e redução de variáveis explicativas e, por fim, na rotação dos eixos relativos aos fatores comuns. O objetivo dessas etapas é tornar a solução mais simples e facilmente interpretável (TOLEDO & NICOLELLA, 2002).

A preparação da matriz de correlação busca padronizar os dados, normalizando para o valor de 1, mínimo *eigenvalue* aceito (KAISER, 1958). A matriz de correlação obtida nem sempre é de fácil compreensão. Para suprimir essa limitação, usa-se o processo de rotação ortogonal da matriz original, gerando uma nova matriz de cargas fatoriais, que apresentam melhor significado interpretativo aos fatores (ANDRADE *et al.*, 2007). A estrutura que é obtida pelo método Varimax inclui fatores dominantes, as variáveis e seus valores de comunalidade que é a proporção da variância total de uma variável explicada pelos fatores totais (FERNANDES *et al.*, 2006).

A análise de agrupamentos (*Cluster analysis*) é usada para caracterizar várias técnicas numéricas cujo objetivo é classificar valores de uma matriz de dados em grupos discretos. Os diversos métodos de análise de agrupamentos podem ser enquadrados em 4 tipos principais: Método de partição, métodos com origem

arbitrária, métodos por similaridade mútua e métodos por agrupamentos hierárquicos (LANDIM, 2010).

No presente trabalho foi utilizado o método por agrupamentos hierárquicos, que é a técnica mais utilizada em estudos geológicos. Esse método consiste em obter uma matriz simétrica de similaridade a partir da matriz original, obtida através da AFCP. Esse tipo de análise busca detectar pares de casos com a mais alta similaridade ou mais baixa distância (LANDIM, 2010).

Existem várias técnicas de agrupamentos, para o presente estudo foi escolhido o método de variância mínima (*ward's method of sum-of-squares method*). Nessa técnica a perspectiva é sobre a variabilidade que existe dentro de cada grupo. O agrupamento é realizado ao se determinar que pares de casos, quando tomados em conjunto, apresentam o menor acréscimo de variabilidade (LANDIM, 2010).

Os resultados da análise são usualmente organizados em gráficos que mostrarão as relações entre os grupos encontrados. A forma gráfica mais usada para representar o resultado final é o dendograma.

Após a análise do dendograma e separação em grupos distintos de tipos hidrogeoquímicos de água, esses grupos são projetados em gráficos das cargas dos Fatores principais, obtidos a partir da AFCP, elaborados no plano bidimensional (FERNANDES et al., 2006).

Os dados geoquímicos das águas de cada agrupamento foram posteriormente cruzados com os lineamentos, com o objetivo de identificar padrões e correlações entre disposição espacial e a tectônica rúptil da área.

4.4.4 Elaboração de mapas e gráficos

Foram gerados mapas de densidade de fraturas, que correspondem ao número de lineamentos que ocorre em determinada área, a partir da ferramenta *LineDensity* do programa *ArcGIS*[®]. Essa ferramenta calcula a densidade de cada forma linear nas redondezas de cada célula (pixel) do raster de saída. A densidade é calculada em unidades de comprimento por unidade de área (km/km²).

Conceitualmente este cálculo consiste em considerar um círculo desenhado ao redor de cada célula da imagem usando como raio um valor arbitrário informado nas propriedades da ferramenta (Fig. 12). A porção do comprimento de cada lineamento que cai dentro da área circular é somado e o total dividido pela área do círculo (OLIVEIRA et al., 2009). Assim, estruturas que estejam até o valor do raio de

distância serão utilizadas no cálculo da densidade. O resultado são mapas de densidades de lineamentos (Fig. 13), que são avaliados em função dos poços cadastrados anteriormente.

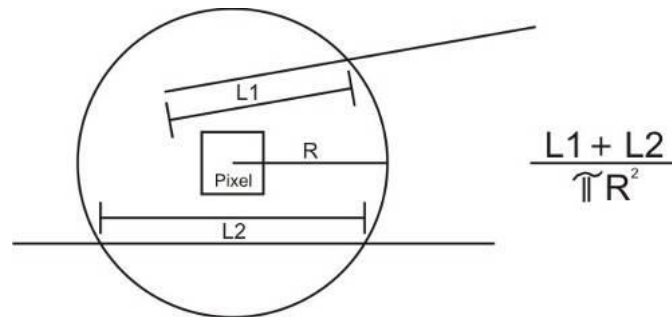


Figura 12. Ilustração mostrando o conceito do cálculo da densidade de lineamento, onde L1 e L2 são as porções de comprimento dos lineamentos inseridos na área do círculo (modificado de Oliveira et al., 2009).

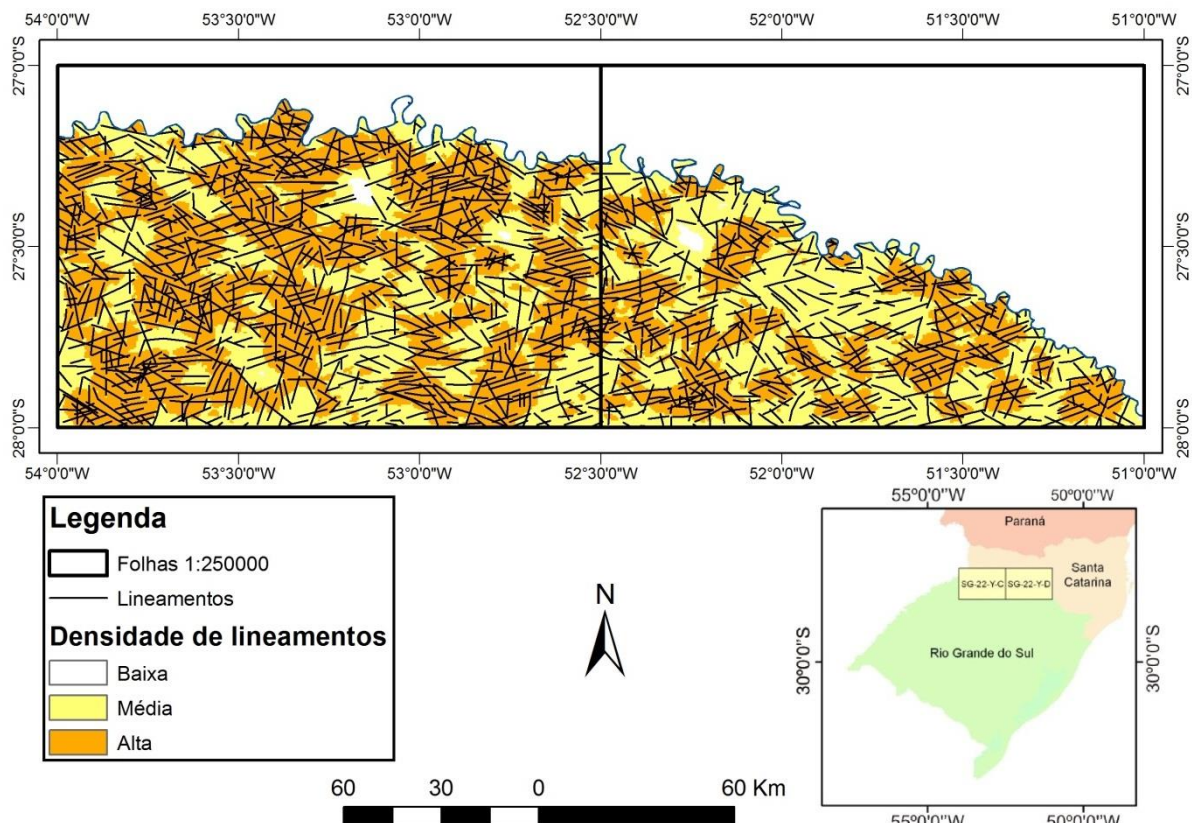


Figura 13. Mapa de densidade da totalidade de lineamentos traçados na área do estudo.

O pacote de *software Microsoft Office*® 2010, através dos programas *Word* e *Excel*, foi utilizado para a elaboração e edição de texto e confecção de gráficos e análises de estatística descritiva.

Os tipos geoquímicos das águas foram determinados através do diagrama de Piper, plotando-se os percentuais de mili-equivalentes dos principais cátions e

ânions através do programa *Diagrammes*[®], *software* disponibilizado pelo Laboratório de Hidrogeologia d'Avignon (*Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon*). O programa também calculou o balanço iônico poços utilizados para as análises geoquímica das águas. O balanço é obtido através do somatório de todos os cátions e todos os ânions separadamente. A soma total de cátions deve ser igual ou aproximadamente igual a soma dos ânions. Como já citado, para a pesquisa em questão, foi adotado que a diferença entre os somatórios não fosse superior a 10%.

5. ARTIGO CIENTÍFICO I

Relações entre a tectônica rúptil e a produtividade de poços do Sistema Aquífero Serra Geral na região do Alto Rio Uruguai, RS

Relationship between the brittle tectonic and the well productivity in the Serra Geral Aquifer System, Alto Uruguai River region, Rio Grande do Sul State

Artigo submetido à **Revista Águas Subterrâneas (Revista ABAS)**



Capa > Usuário > Autor > Submissões > #27867 > Resumo

CAPA

SOBRE

PÁGINA DO USUÁRIO

PESQUISA

ATUAL

ANTERIORES

TUTORIAIS RÁPIDOS

ABAS

AJUDA DO SISTEMA

#27867 Sinopse

RESUMO AVALIAÇÃO EDIÇÃO

Submissão

Autores	Gustavo Garcia da Cunha, Ari Roisenberg, Marcos Alexandre Freitas	
Título	Relações entre a tectônica rúptil e a produtividade dos poços do Sistema Aquífero Serra Geral na região do Alto Rio Uruguai, RS	
Documento original	27867-102509-2-SM_DOCX	11-03-2014
Docs. sup.	Nenhum(a)	INCLUIR DOCUMENTO SUPLEMENTAR
Submetido por	Sr. Gustavo Cunha	
Data de submissão	11 de março de 2014 - 12:23	
Seção	Artigos	
Editor	Nenhum(a) designado(a)	

Situação

Situação	Aguardando designação
Iniciado	11-03-2014
Última alteração	11-03-2014

Metadados da submissão

EDITAR METADADOS

Autores

Nome	Gustavo Garcia da Cunha
Instituição/Afiliação	Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
País	Brasil
Resumo da Biografia	—
Contato principal para correspondência.	
Nome	Ari Roisenberg
Instituição/Afiliação	Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
País	Brasil
Resumo da Biografia	—
Nome	Marcos Alexandre Freitas
Instituição/Afiliação	Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Superintendência Regional de Porto Alegre
País	Brasil
Resumo da Biografia	—

Título e Resumo

Título Relações entre a tectônica rúptil e a produtividade dos poços do Sistema Aquífero Serra Geral na região do Alto Rio Uruguai, RS

Resumo Nos últimos anos, a necessidade de melhorar o conhecimento sobre os recursos hídricos subterrâneos tem sido cada vez mais importante, justificando o elevado número de estudos desenvolvidos sobre o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG). A área em estudo encontra-se na região do Alto Rio Uruguai, no Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Geologicamente a área é constituída por rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, sendo o SASG, o aquífero mais utilizado na região. A região apresenta forte afetação de tectônica rúptil, cuja caracterização estrutural é importante para o entendimento da hidráulica do sistema aquífero envolvido, reconhecendo a influência da tectônica no potencial de produção dos poços. A metodologia utilizada envolveu a aquisição de dados de poços georreferenciados da região, traçado de lineamentos morfotectônicos por meio de imagens de satélite e filtragens direcionais em Sistema de Informações Geográficas, geração de mapas temáticos e análise estatística dos dados. Foram traçados 1.981 lineamentos tectônicos, sendo esses separados por comprimento e padrões de direções. A variação do potencial hidrogeológico demonstrou a influência das estruturas tectônicas, onde existe uma correlação positiva entre a densidade de lineamentos com o potencial de produção dos poços. Os lineamentos de pequeno porte e de direções NE-E e NW-W são dominantes na área e estatisticamente são os condicionantes mais importantes para o potencial de produção dos poços.

Indexação

Palavras-chave Sistema Aquífero Serra Geral; SASG; Hidrogeologia; Densidade de lineamentos; região do Alto Rio Uruguai

Idioma pt

Agências de fomento

Agências Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq

ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, São Paulo, Brasil - eISSN 2179-9784

IDIOMA

PATROCINADORES

 DIVULGUE
 SEU PRODUTO OU SERVIÇO


USUÁRIO

Logado como:

ggcunha

- Perfil
- Sair do sistema

NOTIFICAÇÕES

- Visualizar
- Gerenciar

AUTOR

Submissões

- Ativo (1)
- Arquivo (0)
- Nova submissão

CONTEÚDO DA REVISTA

Pesquisa

 Todos

Procurar

- Por Edição
- Por Autor
- Por título

TAMANHO DE FONTE

INFORMAÇÕES

- Para leitores
- Para Autores
- Para Bibliotecários

EDIÇÃO ATUAL

ATOM	1.0
RSE	2.0
RSE	1.0

Relações entre a tectônica rúptil e a produtividade dos poços do Sistema Aquífero Serra Geral na região do Alto Rio Uruguai, RS

Relationship between the brittle tectonic and the well productivity in the Serra Geral Aquifer System, Alto Uruguai River region, Rio Grande do Sul State

Gustavo Garcia da CUNHA¹, Ari ROISENBERG¹ & Marcos Alexandre FREITAS²

¹ Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

² Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Superintendência Regional de Porto Alegre, Brasil.

RESUMO

Nos últimos anos, a necessidade de melhorar o conhecimento sobre os recursos hídricos subterrâneos tem sido cada vez mais importante, justificando o elevado número de estudos desenvolvidos sobre o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG). A área em estudo encontra-se na região do Alto Rio Uruguai, no Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Geologicamente a área é constituída por rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, sendo o SASG, o aquífero mais utilizado na região. A região apresenta forte afetação de tectônica rúptil, cuja caracterização estrutural é importante para o entendimento da hidráulica do sistema aquífero envolvido, reconhecendo a influência da tectônica no potencial de produção dos poços. A metodologia utilizada envolveu a aquisição de dados de poços georreferenciados da região, traçado de lineamentos morfotectônicos por meio de imagens de satélite e filtragens direcionais em Sistema de Informações Geográficas, geração de mapas temáticos e análise estatística dos dados. Foram traçados 1.981 lineamentos tectônicos, sendo esses separados por comprimento e padrões de direções. A variação do potencial hidrogeológico demonstrou a influência das estruturas tectônicas, onde existe uma correlação positiva entre a densidade de lineamentos

com o potencial de produção dos poços. Os lineamentos de pequeno porte e de direções NE-E e NW-W são dominantes na área e estatisticamente são os condicionantes mais importantes para o potencial de produção dos poços.

Palavras-chaves: Sistema Aquífero Serra Geral, SASG, Hidrogeologia, Densidade de lineamentos, região do Alto Rio Uruguai.

ABSTRACT

In the recent years, the need to improve the understanding of the groundwater resources has been increasingly important, justifying the large number of studies developed on the Serra Geral Aquifer System (SGAS). The study area is located in the Alto Uruguai River region, northwest of the State of Rio Grande do Sul. Geologically the area consists of volcanic rocks belonging to the Serra Geral Formation, representing the SGAS, the most exploited aquifer in the area. The region is strongly affected by tectonic lineaments, whose structural characterization is an important feature to better understanding the hydraulics of the SGAS system, through the influence of tectonic in the production potential of wells. The methodology involved the acquisition data of georeferenced wells, tracing of tectonic lineaments through satellite images and directional filtering in the Geographic Information System, generation of thematic maps and statistical analysis of the database. 1.981 lineaments were drawn and discriminated by length and direction Patterns. Variations in the hydraulic capacity demonstrate the influence of regional tectonic structures. This is certified by the positive correlation between the lineament density and the water production of the wells. The small lineaments and directions NE-E and NW-W are dominant in the area and statistically are the most important factors for the potential production of the wells.

Keywords: Serra Geral Aquifer System, SGAS, Hydrogeology, Lineament density, Alto Uruguai River region.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda de recursos hídricos subterrâneos, como ocorre nas últimas décadas no Sul do País, acompanhada pela escassez e poluição das águas superficiais justificam o elevado número de estudos que estão sendo desenvolvidos sobre os Sistemas Aquíferos Serra Geral (SASG) e Guarani (SAG). Os estudos visam melhorar o entendimento das condições hidráulicas, vulnerabilidade natural e potencial de armazenamento dos dois sistemas aquíferos. É reconhecido que a exploração indiscriminada dessas reservas pode causar problemas de abastecimento para o futuro.

A área estudada no presente trabalho localiza-se na região do Alto Rio Uruguai, Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, estando compreendida nas cartas topográficas Chapecó (Folha SG-22-Y-C) e Erechim (Folha SG-22-Y-D) em escalas 1:250.000 da Diretoria de Serviço Geográfico (DSG), abrangendo 107 municípios (Fig. 1). Compreende a porção oriental da Bacia Hidrográfica dos Rios Turvo-Santa Rosa-Santo Cristo, a parte Norte das Bacias Hidrográficas do Rio Passo Fundo e do Rio da Várzea e o setor ocidental da Bacia Hidrográfica dos Rios Apuaê-Inhandaua.

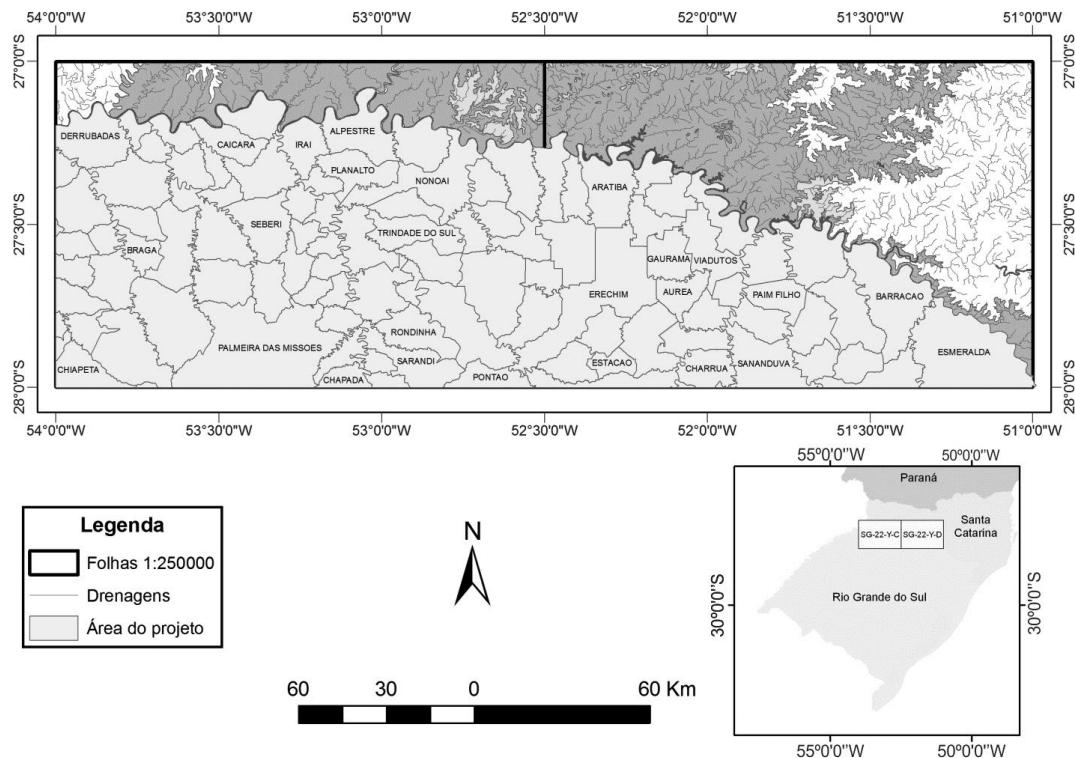


Figura 1. Localização da área de estudo.
Figure 1. Location of the study area.

GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA

A área está localizada na porção Sul da Bacia do Paraná, sendo recoberta pela Formação Serra Geral, que junto com a Formação Botucatu, sotoposta, faz parte do Grupo São Bento, de idade Juro-Cretácea. Os arenitos da Formação Botucatu não afloram na área, estando localizados na base da pilha vulcânica. Em razão da intensa tectônica rígida, que afetou essa porção da bacia, a região possui uma grande importância hidrogeológica, decorrente da elevada explotabilidade.

Estudos de Peate *et al.* (1989, 1992) permitiram o reconhecimento de seis diferentes grupos geoquímicos na sequência básica. A região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul corresponde a basaltos do tipo alto-TiO₂ que aparecem intercalados com basaltos tipo baixo-TiO₂, havendo registro restrito de interdigitações de rochas vulcânicas ácidas porfíricas (Roisenberg & Viero, 2000).

Predominam na região basaltos da fácies Paranapanema, que correspondem a tipos alto-TiO₂. Na porção oriental são encontrados basaltos da fácies Esmeralda

(baixo-TiO₂) e na porção Norte, próximo ao limite com Santa Catarina, afloram vulcânicas ácidas porfíricas, da fácies Chapecó (CPRM, 2006) (Fig. 2).

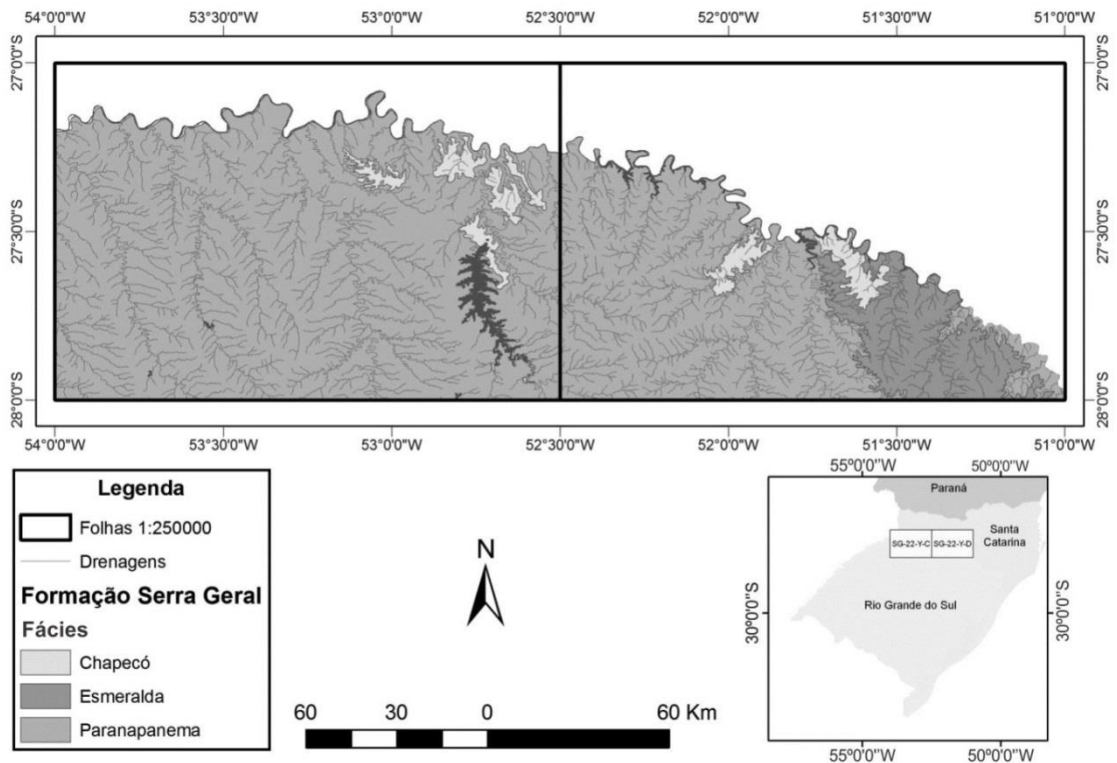


Figura 2. Mapa geológico da área em estudo (modificado de CPRM, 2006).
Figure 2. Geological map of the study area (modified from CPRM, 2006).

O pacote vulcânico constitui um sistema aquífero fraturado heterogêneo e anisotrópico com condições de armazenamento e circulação da água restritas às descontinuidades. Segundo Freitas & Machado (2000), o SASG é diferente de aquíferos fraturados Pré-Cambrianos, por suas particularidades litológicas e estruturais. As principais diferenças residem na zona vesicular de topo de derrame e na zona de disjunção horizontal, que interceptadas por fraturas interconectam-se podendo armazenar volumes apreciáveis de água subterrânea.

O Sistema Aquífero Guarani (SAG) na área encontra-se confinado pelas rochas vulcânicas em seu compartimento Norte–Alto Uruguai (Machado & Faccini,

2004). Nesse compartimento localizam-se os poços tubulares mais profundos do SAG no Estado do Rio Grande do Sul.

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) apresentou em 2005 o Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul, em escala 1:750.000. As unidades foram classificadas segundo províncias hidrogeológicas, de acordo com seu potencial hídrico. Segundo este mapa, a área em estudo apresenta dois Sistemas Aquíferos da Formação Serra Geral: Sistema Aquífero Serra Geral I (SASG I) e Sistema Aquífero Serra Geral II (SASG II), este último restrito ao Rio Uruguai e à parte Leste da área (Fig. 3).

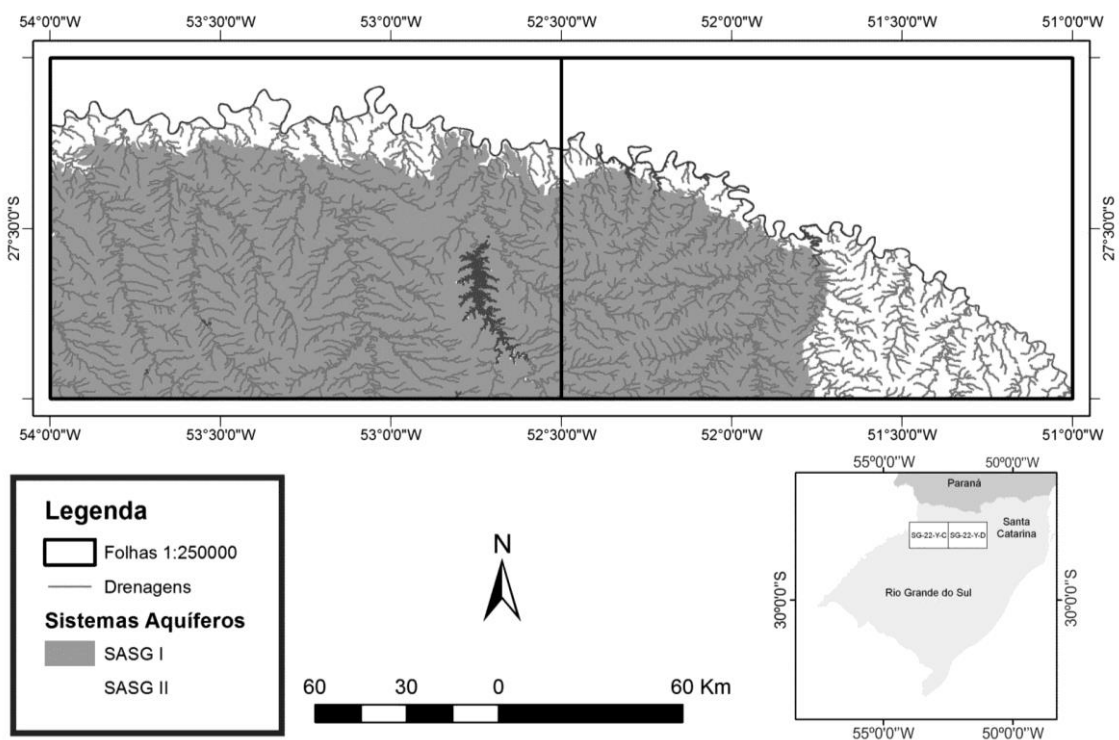


Figura 3. Mapa hidrogeológico da área em estudo (modificado de CPRM, 2005).
Figure 3. Hydrogeological map of the study area (modified from CPRM, 2005).

Falhamentos de grande porte fazem interconexão dos dois sistemas aquíferos, que passam a constituir o denominado Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral (SAIG/SG) (Scheibe & Hirata, 2008). A região oeste dos

Estados de Santa Catarina e do Paraná, assim como a região Norte e Noroeste do Rio Grande do Sul, tem como principal fonte de águas subterrâneas o SAIG/SG.

Na região em estudo as águas subterrâneas são exploradas através de poços tubulares e captações de fontes, sendo utilizadas para abastecimento público, dessedentação de animais, indústria e agricultura, bem como para o turismo, tendo em vista as características geotermiais. Por tais razões este recurso hídrico possui importância estratégica.

METODOLOGIA

Foi organizado um cadastro georeferenciado de poços tubulares profundos da região, a partir de arquivos do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN) e empresas privadas. Foram selecionados poços que possuíam informações completas para posterior tratamento estatístico.

Os lineamentos morfotectônicos da área foram registrados a partir de imagens de satélite, com o intuito de estabelecer padrões ou eventuais blocos estruturais, estabelecendo-se um total de 1.981 linhas tectônicas. Para realizar a interpretação das estruturas foi confeccionada uma imagem de relevo sombreado, gerada a partir de um MDT (Modelo Digital de Terreno), que possibilita visualizar diferenças de relevo. Os dados do MDT foram extraídos do projeto *Shuttle Radar Topography Mission – SRTM (USGS)*.

As estruturas foram interpretadas em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) com o uso do *software ArcGIS® 9.3* em escala de 1:250,000, que mostrou-se adequada para os estudos regionais propostos. O traçado de lineamentos em ambiente SIG permitiu que valores de coordenadas, comprimento e azimute fossem extraídos automaticamente, sendo criada uma tabela de atributos

dos lineamentos, que forneceu informações para tratamentos estatísticos posteriores. As estruturas foram separadas em lineamentos de pequeno porte (<10 km), médio porte (10-100 km) e grande porte (>100 km).

O tratamento estatístico dos parâmetros tectônicos foi realizado através do programa *RockWorks*[®] 14 importando-se a tabela gerada no *software ArcGIS*[®]. As informações de comprimento e frequência das estruturas originaram diagramas de rosetas com a finalidade de relacionar intervalos azimutais de lineamentos, com base no somatório dos comprimentos dos traços e na sua frequência absoluta (número de lineamentos), estabelecendo-se relações com parâmetros hidrogeológicos. Para estes parâmetros calcularam-se os valores de Medidas de Tendência Central (MTC) e Medidas de Dispersão (MD).

Como resultado desta sistemática foram gerados, através do *software ArcGIS*[®], mapas de densidade de fraturas, que correspondem ao número de lineamentos que ocorre em determinada área, sendo avaliados em função dos poços cadastrados.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para facilitar a interpretação dos resultados foram feitas filtragens de direção e comprimento dos lineamentos e seus respectivos diagramas de rosetas e mapas de densidade.

Não foram identificados lineamentos contínuos de grande porte, possivelmente devido à escala de 1:250.000 utilizada no estudo. As principais direções de lineamentos, ilustradas pelo diagrama estatístico de roseta de frequência absoluta, são representadas pelos seguintes azimutes: 060° a 070°, 0 a 015° e 290° a 315° (Fig. 4). Assim, foram definidas filtragens por direções, divididas

em quatro grupos: N-NE (0 a 45°/180° a 225°), NE-E (45° a 90°/225° a 270°), NW-W (90° a 135°/270° a 315°) e N-NW (135° a 180°/315° a 360°) (Fig. 5).

O diagrama de roseta de comprimento médio da totalidade de lineamentos (Fig. 6) mostra que as direções NE-E, NW-W e N-NE são as que apresentam os lineamentos de maior porte e apresentam relação com as direções de maior frequência.

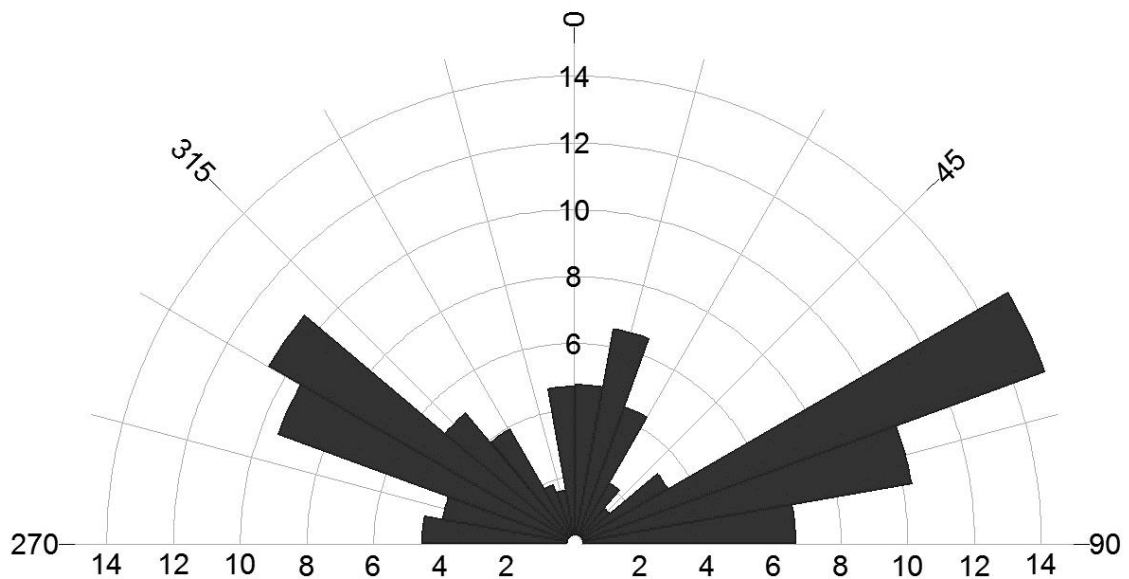


Figura 4. Frequência absoluta das principais direções morfoestruturais da totalidade dos lineamentos representada em diagrama estatístico de roseta para a área em estudo.

Figure 4. Absolute frequency of the main directions of the entire morphostructural lineaments represented in statistical rosette diagram in the study area.

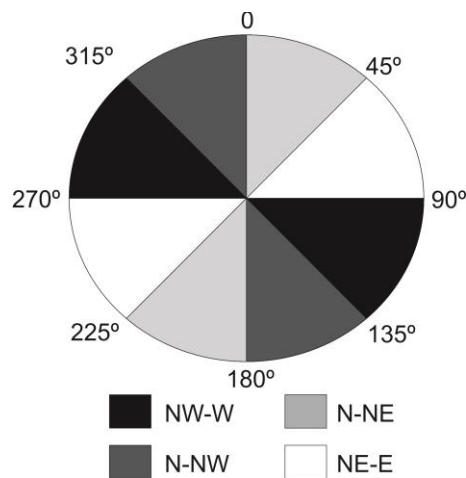


Figura 5. Grupos definidos por filtragens de direções.

Figure 5. Groups defined by filtering of directions.

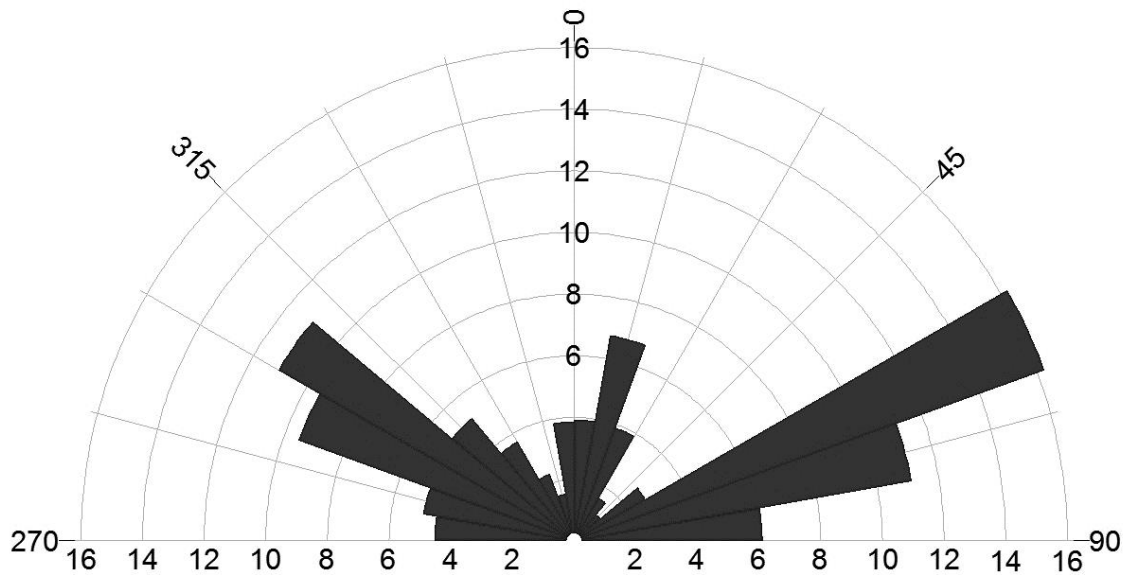


Figura 6. Diagrama estatístico de roseta da totalidade dos lineamentos morfoestruturais na área em estudo em relação ao comprimento médio.
 Figure 6. Statistical rosette diagram of the entire morphostructural lineaments compared to the average length in the study area.

Mapas de densidade de lineamentos foram gerados para a totalidade dos lineamentos e para cada grupo de direções e comprimento de fraturas. Esses mapas permitem estabelecer diferentes padrões tectônicos presentes no SASG (Nanni, 2008).

O mapa da totalidade dos lineamentos mostra que a porção ocidental da área é a que apresenta maior densidade. Como toda a área apresenta elevado grau de fraturamento, apenas focos pontuais são reconhecidos como de densidade baixa de lineamentos. Predominam os lineamentos de pequeno porte (80,8% dos lineamentos traçados), exibindo uma distribuição relativamente homogênea. Os lineamentos de médio porte, por sua vez, apresentam sua maior concentração na porção ocidental da área.

Dos lineamentos, 18,3% possuem direções N-NE com maior incidência na porção sudoeste, principalmente nos municípios de Palmeira das Missões, Dois Irmãos das Missões, Boa Vista das Missões, Jaboticaba, Seberi e Coronel Bicaco. O padrão de direção predominante é NE-E (35,8%), afetando de forma homogênea

quase toda Folha Chapecó no Estado do Rio Grande do Sul. Na Folha Erechim, ocorrem focos de alta densidade, principalmente nos municípios de Erechim, Barrão do Cotegipe, Paim Filho, Cacique Dôble, São José do Ouro, Sananduva, Esmeralda e Getúlio Vargas. A segunda direção de maior incidência é NW-W (31,4%), mostrando distribuição homogênea em toda a área de estudo. A direção N-NW registra 14,5% do total dos lineamentos morfotectônicos, sendo distribuídos homogeneamente na área. A maior densidade de fraturas com esta direção é verificada nas regiões de Erechim-Getúlio Vargas e Frederico Westphalen-Seberi.

Foram inventariados 383 poços, que captam água do SASG na área do projeto. A capacidade específica dos poços apresentou média de 1,87 m³/h/m e mediana de 0,56 m³/h/m. O desvio padrão e o desvio médio foram de 4,64 m³/h/m e 2,01 m³/h/m, respectivamente.

O histograma de capacidade específica confirma que a maioria dos poços apresenta baixos valores (Fig. 7). Na mesma figura, a curva que representa a frequência acumulada registra como quartil superior 2 m³/h/m, significando que 75% dos poços da área possuem capacidade específica menor que este valor. É importante ressaltar que uma fração significativa dos poços da região (13%) possuem elevado potencial de exploração, com capacidades específicas superiores a 4 m³/h/m. No entanto, é de se registrar que poços não produtivos podem ser encontrados muito próximos a poços com excelentes vazões, o que demonstra a heterogeneidade do SASG.

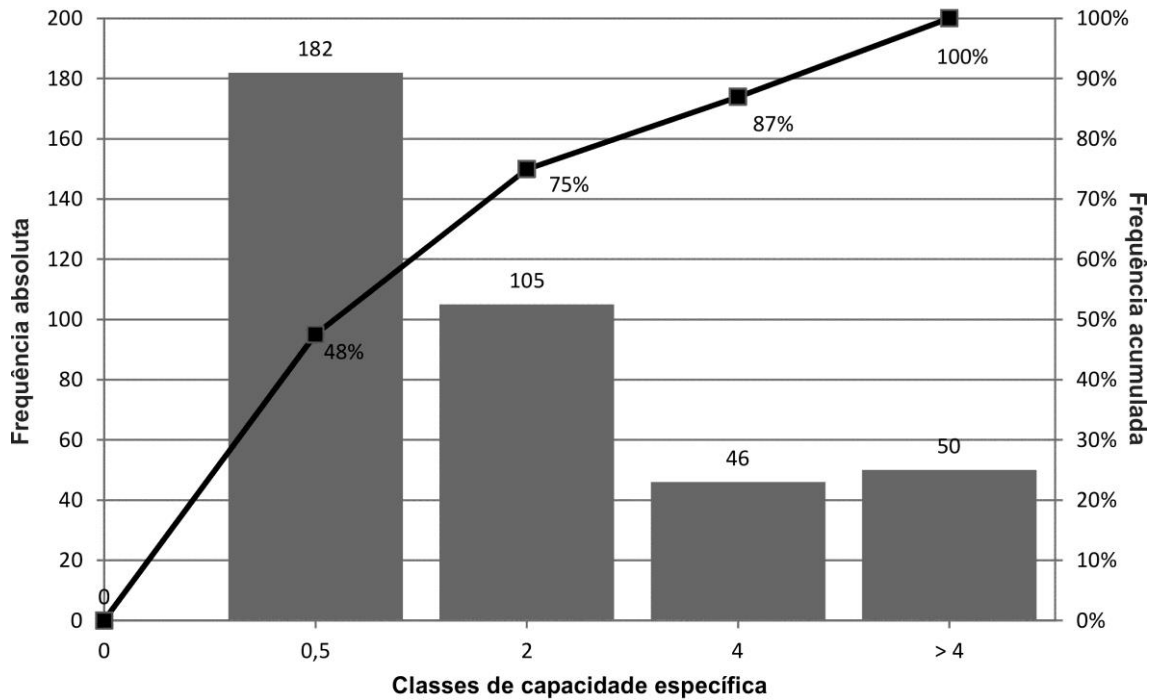


Figura 7. Histograma de frequência absoluta e acumulada de capacidade específica dos poços que captam águas do SASG na área de estudo.
 Figure 7. Histogram and cumulative absolute frequency of the specific capacity of wells that capture the SGAS waters in the study area.

Os poços mais produtivos da área em estudo localizam-se nos municípios de Barra da Guarita, Constantina, Entre Rios do Sul, Frederico Westphalen, Iraí, Jacutinga, Marcelino Ramos, Severiano de Almeida, Tenente Portela e Trindade do Sul. Além disso, os municípios de Braga, Getúlio Vargas, Jacutinga, Santo Augusto, Severiano de Almeida e Tenente Portela apresentam três ou mais poços com capacidade específica superior a 4 m³/h/m. Nota-se, ainda, que poços com maior capacidade específica não aparecem concentrados, mas são distribuídos igualmente em toda região.

O cruzamento de dados, da análise estrutural e da hidrogeologia dos poços, permitiu relacionar as estruturas, densidade de lineamentos e produtividade dos poços (Fig. 8 e 9).

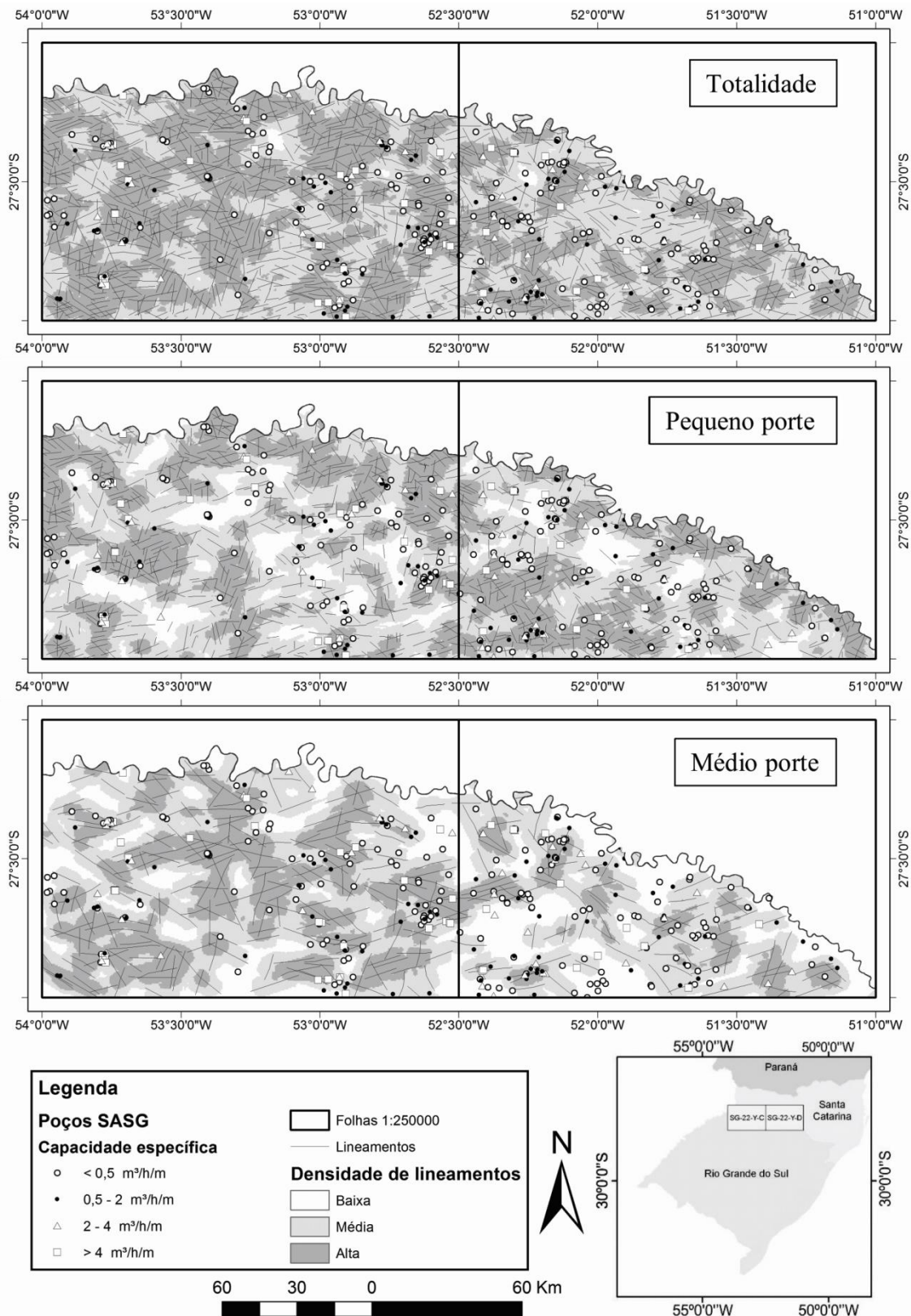


Figura 8. Distribuição espacial e densidade do total de lineamentos e de lineamentos de pequeno e médio porte, comparadas com a capacidade específica dos poços.

Figure 8. Spatial distribution and density of the total, short and medium-sized lineaments, compared with the specific capacity of wells.

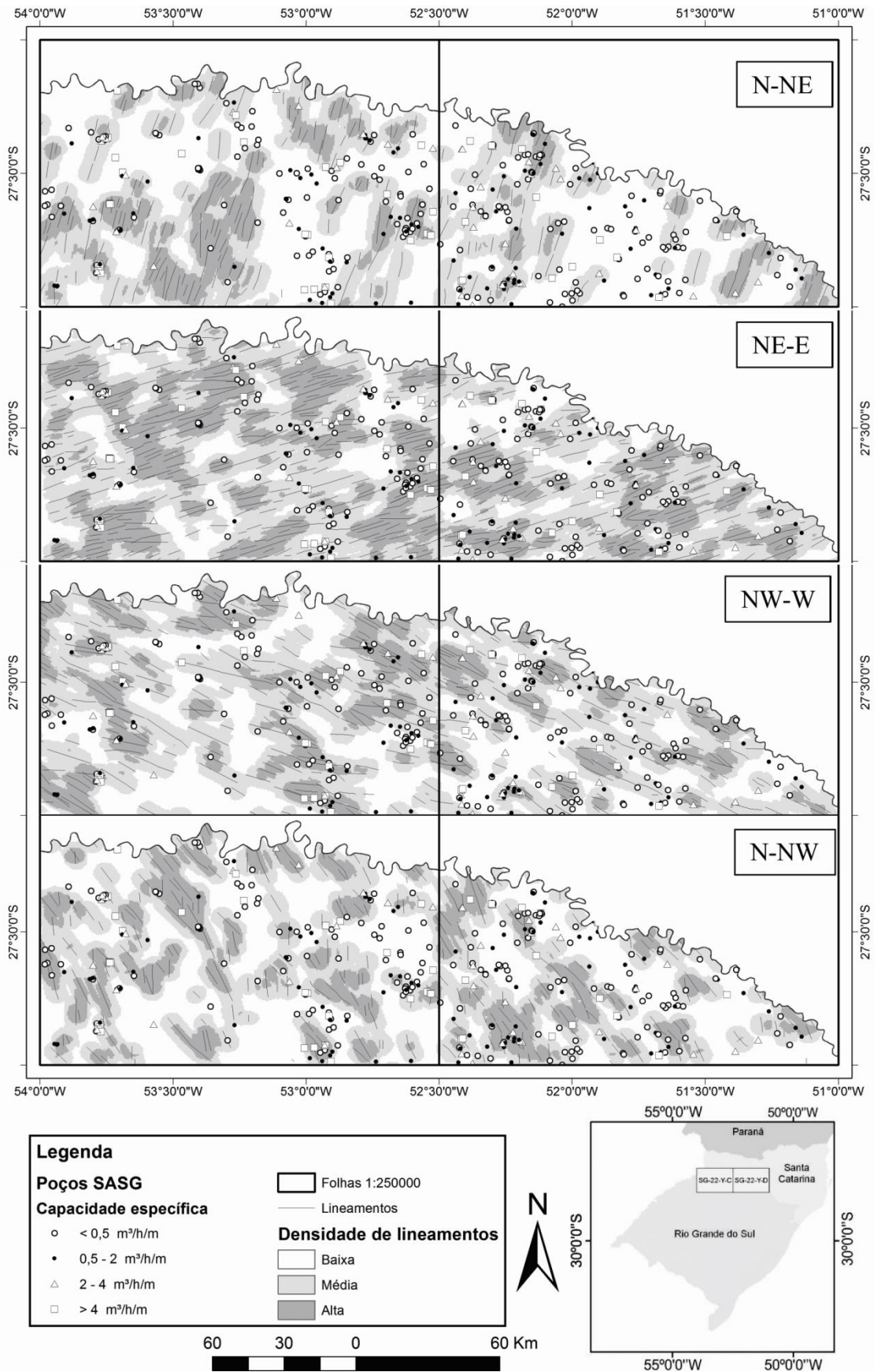


Figura 9. Distribuição espacial e densidade dos lineamentos, conforme as direções preferenciais, comparadas com a capacidade específica dos poços na área em estudo.

Figure 9. Spatial distribution and lineament density of preferential directions compared with the specific capacity of wells in the study area.

Foram considerados no levantamento estatístico 96 poços tubulares com capacidade específica maior que 2 m³/h/m. As relações obtidas permitem verificar que existe correlação positiva entre o potencial aquífero e a densidade de lineamentos na área em estudo (Tab. 1), de tal forma que 74% dos poços produtivos situam-se em áreas de alta densidade, considerada a totalidade dos lineamentos. A correlação dos poços mais produtivos com a densidade de fraturas de pequeno e médio porte ainda é positiva nas áreas de alta densidade, resultando em valores de 56% e 53%, respectivamente.

Tabela 1. Posicionamento estatístico dos poços em relação à densidade e direção dos lineamentos tectônicos.

Table 1. Statistical positioning of wells related to the density and direction of tectonic lineaments.

Lineamentos	Poços	Densidade de Lineamentos			Total	Lineamentos		
		Baixa	Média	Alta		Distantes	Próximos	Total
Totalidade	Quantidade	-	25	71	96	-	-	-
	%	0	26	74	100	-	-	-
Pequeno Porte	Quantidade	7	35	54	96	27	69	96
	%	7	37	56	100	28	72	100
Médio Porte	Quantidade	11	34	51	96	44	52	96
	%	12	35	53	100	46	54	100
NW-W	Quantidade	10	36	50	96	40	56	96
	%	10	38	52	100	42	58	100
N-NW	Quantidade	29	40	27	96	68	28	96
	%	30	42	28	100	71	29	100
N-NE	Quantidade	34	35	27	96	66	30	96
	%	36	36	28	100	69	31	100
NE-E	Quantidade	14	33	49	96	38	58	96
	%	15	34	51	100	40	60	100

Dos 96 poços considerados mais produtivos, aproximadamente 52% localizam-se nas áreas de alta densidade de lineamentos de direção NE-E e NW-W e somente 10 a 15% dos poços encontram-se em áreas de baixa densidade segundo essas direções. Por outro lado, 28% dos poços são registrados ao longo de direções N-NE e N-NW em áreas de alta densidade.

Na Tabela 1, considerando a relação entre o posicionamento relativo dos poços e o comprimento dos lineamentos, pode-se verificar que 72% dos poços são localizados ao longo de lineamentos de pequeno porte, enquanto 54% nos de médio porte. Tomando-se em conta os dez poços mais produtivos da área, estes estão relacionados com lineamentos de médio porte. Ao comparar o conjunto de 96 poços selecionados com as direções preferenciais dos lineamentos, é possível determinar que 60% e 58% dos poços são localizados segundo NE-E e NW-W, respectivamente. As direções N-NE e N-NW não possuem interferência expressiva na produtividade, correspondendo, em média, a 30% dos poços considerados.

Na intersecção de estruturas de direção NE-E e NW-W é possível verificar que o potencial de produção dos poços é incrementado. Assim, o poço tubular de maior capacidade específica, localizado no município de Constantina, ocorre próximo a um par conjugado de lineamentos de médio porte com estas direções.

CONCLUSÕES

A integração dos dados estruturais e hidrogeológicos permitiram melhorar o entendimento do potencial hidrogeológico do Sistema Aquífero Serra Geral no Noroeste do Rio Grande do Sul, reconhecendo-se os padrões e parâmetros condicionantes.

A utilização do aplicativo *ArcGIS*[®] para a criação e gerenciamento de um banco de dados mostrou-se uma ferramenta extremamente útil para filtragem, interpretação e geração de resultados em base georreferenciada. Por outro lado, o tratamento das estruturas em ambiente SIG permitiu definir e separar de forma adequada a distribuição espacial dos lineamentos por comprimento, direção e densidade.

Os resultados demonstraram que os lineamentos de pequeno porte são dominantes na região e os de médio porte concentram-se na porção oeste. A maioria das estruturas possui padrões de direções NE-E e NW-W.

A variação do potencial hidrogeológico na região, a partir do valor da capacidade específica dos poços tubulares selecionados, demonstrou forte influência das estruturas morfotectônicas. Verifica-se que existe correlação positiva entre a densidade de lineamentos e o potencial de produção dos poços. Os lineamentos de pequeno e médio porte, e os padrões de direção NE-E e NW-W estão relacionados com os poços mais produtivos, enquanto os lineamentos de direção N-NE e N-NW possuem influência menor no potencial hídrico.

REFERÊNCIAS

BETIOLLO, L. M. **Caracterização estrutural, hidrogeológica e hidrogeoquímicas dos sistemas aquíferos Guarani e Serra Geral no nordeste do Rio grande do Sul, Brasil**. 2006. 117 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul. Escala: 1:750.000. 2005. Disponível em:
<http://www.cprm.gov.br/publique/media/mapa_hidrogeologico_RS.pdf>. Acesso em: 28/03/2011.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul. Escala: 1:750.000. 2006. Disponível em:
<http://www.cprm.gov.br/publique/media/mapa_rio_grande_sul.pdf>. Acesso em: 28/03/2011.

CUNHA, G. G. **Caracterização estrutural e hidrogeológica dos Sistemas Aquíferos Guarani e Serra Geral na região do Alto Uruguai, Noroeste do Rio Grande do Sul**. 2010. 86 f. Monografia (Graduação em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

EILERS, V. H. M. **Análise hidrogeológica da Região Sudoeste do Rio Grande do Sul através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento**. 1993. 128 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1993.

EILERS, V. H. M.; CAICEDO, N. O. L.; LISBÔA, N. A. Análise hidrogeológica da região sudoeste do Rio Grande do Sul através de técnicas de sensoriamento remoto e do uso do Sistema Geográfico de Informações. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CONE SUL, 1993, Gramado. **Anais...** Gramado: v. 2, 1993. p. 131-141.

FEITOSA, F. A. C. & MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. 3.ed. Fortaleza: CPRM / LABHID-UFPE, 2008.

FERNANDES, A. J.; PERROTTA, M. M.; SALVADOR, E. D.; AZEVEDO, S. G.; GIMENEZ FILHO, A.; PAULON, N. Potencial dos aquíferos fraturados do Estado de São Paulo: condicionantes geológicos. **Revista Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 65-84, 2007.

FERNANDES, A. J. Aquíferos fraturados: uma revisão dos condicionantes geológicos e dos métodos de investigação. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 49, n. 1/2, p. 49-72, 2008.

FREITAS, M. A.; MACHADO, J. L. F. Hydrochemistry of Serra Geral Aquifer In Western Santa Catarina State. In: CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2000, Fortaleza, **Anais...** Fortaleza, [S. n], 2000.

FREITAS, M. A. PROESC: **Diagnóstico dos recursos hídricos subterrâneos do oeste do Estado de Santa Catarina** – Projeto Oeste de Santa Catarina. Porto Alegre: CPRM / SDMSC / SDASC / EPAGRI. 2003. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/sureg-pa/prodesc/relatorios/TEXTO5O.pdf>>. Acesso em: 28/04/2011.

FREITAS, M. A.; MACHADO, J. L. F. **Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul: relatório final**. Porto Alegre: CPRM, 65 p. 2005.

FREITAS, M. A.; BINOTTO, R. B.; NANNI, A.S.; RODRIGUES, A. L. M.; BORTOLI, C. R. Avaliação do potencial hidrogeológico, vulnerabilidade intrínseca e hidroquímica do Sistema Aquífero Serra Geral no Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p. 31-41, 2012.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. 2. ed. São Paulo: Editora UNESP, 2003.

LISBÔA, N. A. Compartimentação hidrogeológica e diferenciação hidrogeoquímica em aquíferos do extremo Sul do Planalto Meridional do Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CONE SUL, 1993, Gramado, **Anais...** Gramado: v. 2, 1993. p. 539-548.

LISBÔA, N. A. **Fácies, estratificações hidrogeoquímicas e seus controladores geológicos, em unidades hidrogeológicas do Sistema Aquífero Serra Geral, na Bacia do Paraná, Rio Grande do**

Sul. 1996. 135 f. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

MACHADO, J. L. F.; FACCHINI, U. F. Influência dos falhamentos regionais na estruturação do Sistema Aquífero Guarani no Estado do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., 2004, Cuiabá, **Anais...** Cuiabá: ABAS, 2004. 14 p. (CD-ROM).

MACHADO, J. L. F. **Compartimentação espacial e arcabouço hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul**. 2005. 237 f. Tese (Doutorado em Geologia). Programa de Pós-Graduação em Geologia, Área de concentração em Geologia Sedimentar, Unisinos, São Leopoldo, 2005.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007.

NANNI, A. S. O Flúor em águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul: origem e condicionamento geológico. In: SEMANA ACADÊMICA DOS ALUNOS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS, 1., 2006, Porto Alegre, **Resumos...** Porto Alegre: UFRGS, 2006. p. 101-104.

NANNI, A. S. **O flúor em águas do Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul: origem e condicionamento geológico**. 2008. 127 f. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

OLIVERA, D. B.; MORENO, R. S.; MIRANDA, D. J.; RIBEIRO, C. S.; SEOANE, J. C. S.; MELO, C. L. Elaboração de um mapa de lineamento estrutural e densidade de lineamento através de imagem SRTM, em uma área ao Norte do rio Doce, ES. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009. p. 4157-4163.

PEATE, D. W.; HAWKESWORTH, C. J.; MANTOVANI, M. S. M.; SHUKOWSKI, W. Mantle plumes and flood-basalt stratigraphy in the Paraná. **South American Geology**. v.18, p. 1223-1226, 1989.

PEATE, D. W.; HAWKESWORTH, C. J.; MANTOVANI, M. S. M. Chemical stratigraphy of the Paraná lavas (South America): classification of magma types and their spatial distribution. **Bulletin of Volcanology**. v.55, p. 119-139, 1992.

ROISENBERG, A. **Petrologia e geoquímica do vulcanismo ácido mesozóico da província meridional da Bacia do Paraná**. 1989. 285 f. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1989.

ROISENBERG, A.; VIERO, A. P. O vulcanismo Mesozóico da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul. In: Holz, M.; De Ros, L. F. **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CIGO / UFRGS, 2000. Pag. 355-374.

SCHEIBE, L.F.; HIRATA, R. O contexto tectônico dos sistemas aquíferos Guarani e Serra Geral em Santa Catarina, uma revisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 15., 2008, Natal, **Anais...** Natal: ABAS. CD-ROM.

TAKAHASHI, H. A. **Caracterização morfoestrutural e hidrogeológica de aquíferos em meio fraturado através de técnicas de sensoriamento remoto e análise estatística, em Setor do Planalto Meridional – RS**. 1991. 126 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil / Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1991.

TAKAHASHI, H. A.; HAERTEL, V.; LISBÔA, N. A. Caracterização morfoestrutural e hidrogeológica de aquíferos em meio fraturado através de técnicas de sensoriamento remoto e análise estatística em setor do Planalto Meridional, RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 1993, Curitiba, **Anais...** Curitiba: INPE, 1993. p. 332 – 350.

TOLEDO, L.G.; NICOLELLA, G. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.59, n.1, p.181-186, 2002.

USGS - U.S. GEOLOGICAL SURVEY. **Shuttle Radar Topography Mission**. Disponível em: <<http://srtm.usgs.gov/>>. Acesso em: 03/05/2011.

6. ARTIGO CIENTÍFICO II

Hidrogeoquímica do Sistema Aquífero Serra Geral na região do Alto Rio Uruguai, Noroeste do Rio Grande do Sul e sua relação espacial com a tectônica rúptil

Hydrogeochemistry of the Serra Geral Aquifer System in the Alto Uruguai River region, northwest of the Rio Grande do Sul State and its spatial relationship with the brittle tectonic

Artigo submetido à **Revista Pesquisas em Geociências / UFRGS**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Pesquisas em Geociências

Porto Alegre, 26 de março 2014.

Ao
Gustavo Garcia da Cunha e colaboradores

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.

Agradeço a seleção de *Pesquisas em Geociências* para a publicação de sua contribuição. O manuscrito será analisado quanto ao conteúdo e enquadramento nas normas de preparação, para que seja iniciado o processo de análise por pares.

Título: *Hidrogeoquímica do Sistema Aquífero Serra Geral na região do Alto Uruguai, Noroeste do Rio Grande do Sul e sua relação especial com a tectônica rúptil.*

Autores: Gustavo Garcia da Cunha, Ari Roisenberg, Fernando Hepp Pulgati & Marcos Alexandre Freitas.

Atenciosamente,

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'Paulo Alves de Souza', is centered on the page.

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, Sala 209

CEP 91.540-000, Porto Alegre, RS, Brasil.

Email: paulo.alves.souza@ufrgs.br

Hidrogeoquímica do Sistema Aquífero Serra Geral na região do Alto Rio Uruguai, Noroeste do Rio Grande do Sul e sua relação espacial com a tectônica rúptil

Hydrogeochemistry of the Serra Geral Aquifer System in the Alto Uruguai River region, northwest of the Rio Grande do Sul State and its spatial relationship with the brittle tectonic

Gustavo Garcia da CUNHA*¹, Ari ROISENBERG¹, Fernando Hepp PULGATI² & Marcos Alexandre FREITAS³

¹ Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500, Prédio 43126, Sala 103, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mails: ggcunha@gmail.com; ari.roisenberg@ufrgs.br

² Instituto de Matemática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500, Prédio A, Sala 102, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: pulgati@ufrgs.br

³ Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Superintendência Regional de Porto Alegre, Rua Banco da Província, nº 105, CEP: 90840-030, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: marcos.freitas@cprm.gov.br

Resumo

O presente estudo visa contribuir para melhorar o conhecimento hidrogeoquímico sobre o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), reconhecendo diferentes tipos geoquímicos de águas subterrâneas e testando a existência de relações com as estruturas no condicionamento do sistema aquífero, através dos dados obtidos de poços tubulares e do estudo dos lineamentos estruturais presentes na região do Alto Rio Uruguai, no Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. A metodologia utilizada envolveu a aquisição de dados de poços tubulares georreferenciados da região, traçado de lineamentos morfotectônicos por meio de imagens de satélite e filtragens em Sistema de Informações Geográficas (SIG), geração mapas temáticos e, por fim, uma análise estatística dos dados obtidos. Foram traçados 1.981 lineamentos tectônicos, sendo esses separados por padrões de direções. Os lineamentos de direção NE-E e NW-W são dominantes na área. A variação das fácies hidrogeoquímica demonstrou relação com as estruturas tectônicas regionais, onde se verificou uma correlação positiva entre a densidade de lineamentos com as fácies estudadas. As Fácies CaMg e Fácies Águas Mistadas apresentam características de baixo tempo de residência, estando mais relacionadas a captações de águas associadas a áreas de recarga do SASG, sendo a primeira relacionada aos lineamentos de direção NE-E e N-NW e a segunda com a

direção NW-W. A Fácies Na, relacionada com lineamentos de direção NE-E e NW-W, apresenta valores de pH alcalinos, baixa dureza e elevado Sólidos Totais Dissolvidos (STD), que sugerem mistura com águas provenientes do Sistema Aquífero Guarani (SAG) subjacente. As Fácies FeK e F estão mais relacionadas com zonas de recarga ascendente do SAG, sendo a primeira apresentando relação com as direções NE-E e NW-W e a segunda fortemente relacionada com lineamentos N-NE.

Abstract

The present study aims to improve the knowledge on the hydrogeochemistry of the Serra Geral Aquifer System (SGAS), recognizing different facies of geochemical groundwater and testing the existence of structural relationships conditioning the aquifer system. The methodology included the informations from tubular wells and the study of structural lineaments presents in the Alto Uruguai River region, northwestern of the State of Rio Grande do Sul. The methodology was conducted through the initial acquisition of georeferenced database of tubular wells in the area, recovering of tectonic lineaments through satellite imagery and filtering in a Geographic Information System (GIS), generating thematic maps and, finally, statistical analysis of the database. 1.981 tectonic lineaments were drawn and separated by length and patterns direction. Small lineaments and directions NE-E and NW-W are dominant in the area. The variation of hydrogeochemical facies showed the influence of regional tectonic structures, where there was a positive correlation between the lineament density with the facies studied. The CaMg Facies and the Facies of Mixed Waters exhibit characteristics of low time residence, being more related to recharge areas of SGAS, the first one being linked to NE-E and N-NW directions and the second one with the NW-W direction. The Na Facies is related to lineaments NE-E and NW-W directions and having alkaline pH and high total dissolved solids (TDS), suggests mixing with waters from the underlying Guarani Aquifer System (GAS). The FeK and F Facies are more related to areas of ascending recharge of GAS or even deeper aquifers, the first one presenting relationship with the NE-E and NW-W directions and the second strongly related to N-NE lineaments.

Palavras-chaves: Sistema Aquífero Serra Geral. SASG. Hidrogeoquímica. Densidade de lineamentos. Região do Alto Rio Uruguai.

Keywords: Serra Geral Aquifer System. SGAS. Hydrogeochemistry. Lineament density. Alto Uruguai River region.

1. INTRODUÇÃO

A demanda de recursos hídricos na região Sul do Brasil tem crescido de forma exponencial nas últimas décadas, em razão da rápida evolução industrial e agrícola, que respondem ao aumento demográfico verificado principalmente nas grandes cidades. Por outro lado, a escassez e degradação das águas superficiais, intimamente ligada à atividade antrópica, tem impulsionado pesquisas e estudos desenvolvidos ultimamente sobre o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) e sobre o Sistema Aquífero Guarani (SAG) com o intuito de melhorar o conhecimento sobre o potencial hídrico, qualidade e vulnerabilidade desses recursos subterrâneos. A gestão dessas reservas pelos órgãos competentes é de fundamental importância para evitar futuros problemas de abastecimento público.

A área abrangida pelo presente estudo é localizada na região do Alto Rio Uruguai, Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, estando compreendida nas cartas topográficas 1:250.000 de Chapecó (Folha SG-22-Y-C) e Erechim (Folha SG-22-Y-D) da Diretoria de Serviço Geográfico (Fig. 1). Abrange um total de 107 municípios gaúchos, correspondendo à parte oriental da Bacia Hidrográfica dos Rios Turvo-Santa Rosa-Santo Cristo, à parte Norte das Bacias Hidrográficas do Rio Passo Fundo e do Rio da Várzea e à parte ocidental da Bacia Hidrográfica dos Rios Apuaê-Inhandava.

O clima na área segundo a classificação de Koeppen foi descrito como subtropical Cfa (Moreno, 1961). Esta classificação considera a sazonalidade e os valores médios anuais e mensais da temperatura do ar e da precipitação. A região apresenta temperatura média do ar dos três meses mais frios compreendidas entre -3°C e 18°C e do mês mais quente superior a 22°C , além de estações de verão e inverno bem definidas, com chuvas em todos os meses do ano. A precipitação pluviométrica média é de 1.550 mm/ano.

O presente trabalho visa incrementar o conhecimento hidrogeoquímico do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) na região do Alto Rio Uruguai, verificando o potencial de influência da tectônica na distribuição dos diferentes fácies de águas subterrâneas.

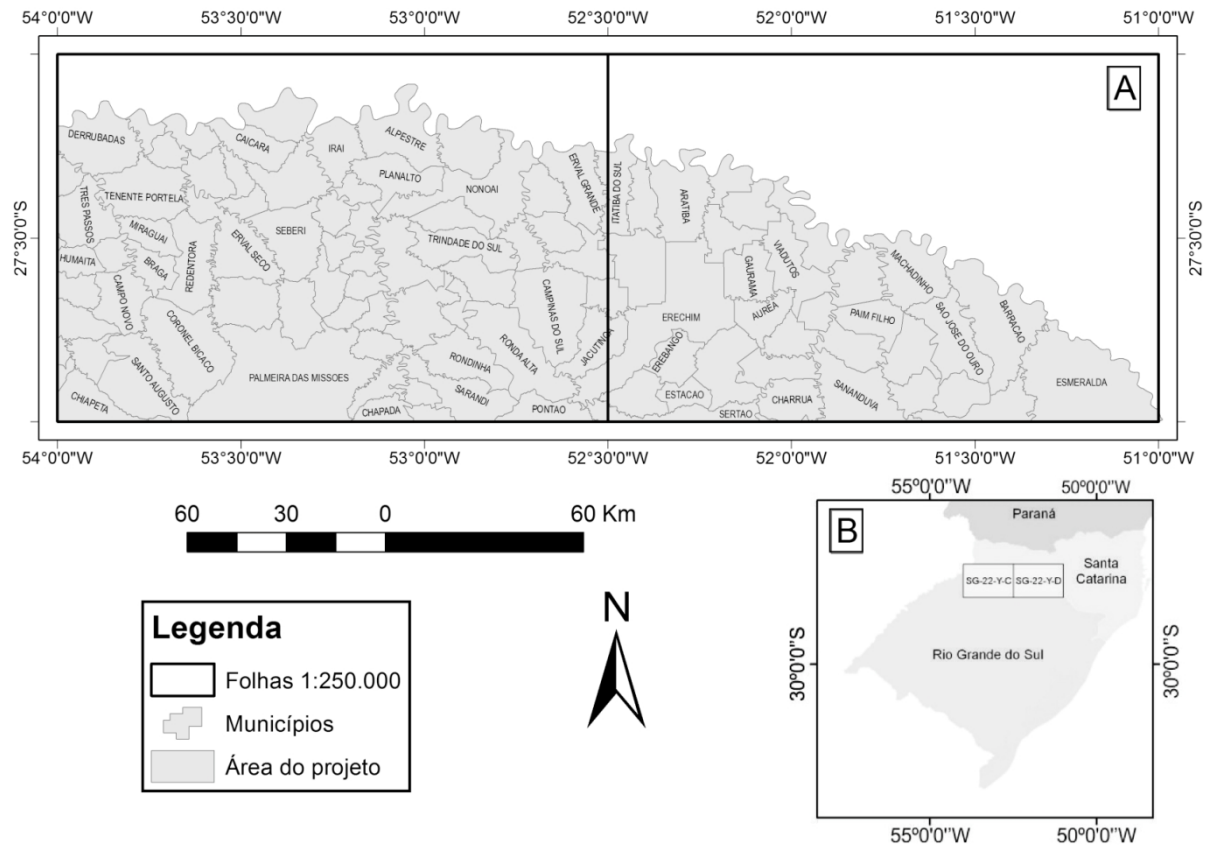


Figura 1. Mapa de localização: (A) Detalhe da área de estudo. (B) Mapa do Sul do Brasil indicando as folhas Chapecó e Erechim.

2. ÁREA, MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Geologia e hidrogeologia

A região em estudo está localizada na porção meridional da Bacia do Paraná sendo recoberta pelo pacote vulcânico da Formação Serra Geral, que possui espessuras de pelo menos 480 metros, como verificado a partir de sondagens em poços da Termas Três Arroios (480 m), Termas Machadinho (817 m), Frigorífico Agrodaniele e Laticíneos Tirol (960 m), ambos em Tapejara, e o poço da Companhia Riograndense de Saneamento (Corsan) na Barragem Arroio Ligeirinho em Erechim (868 m). Os arenitos da Formação Botucatu fazem parte junto com a Formação Serra Geral do Grupo São Bento, de idade Juro-Cretácea, estando localizados na base da pilha vulcânica.

O pacote vulcânico é constituído predominantemente por basaltos a andesi-basaltos do tipo alto- TiO_2 (fácies Paranapanema), enquanto basaltos baixo- TiO_2 (fácies Esmeralda) aparecem na parte oriental da área, como definidos por Peate *et al.* (1989, 1992). Ao Norte da região, próximo ao limite

do Estado do Rio Grande do Sul com o Estado de Santa Catarina, são encontradas vulcânicas ácidas porfíricas, fácies Chapecó, interdigitadas as vulcânicas básicas (CPRM, 2006).

Essa pilha vulcânica constitui o Sistema Aquífero Serra Geral, que mostra características hídricas francamente anisotrópicas e heterogêneas, com condições de armazenamento restritas às fraturas de contração e da tectônica rúptil. A zona vesicular de topo de derrame, juntamente com a zona de disjunção tabular inferior, também pode ter boa capacidade de armazenamento hídrico (Freitas & Machado, 2000), sendo reconhecida pela surgência de água em cortes de estrada.

O mapa hidrogeológico do Rio Grande do Sul (CPRM, 2005) define dois sistemas aquíferos na região em estudo, Sistema Aquífero Serra Geral I (SASG I) e Sistema Aquífero Serra Geral II (SASG II), distintos entre si pela capacidade hídrica, embora com características hidroquímicas semelhantes (Fig. 2). A salinidade em geral é baixa (média de 200 mg/l), enquanto águas mais salinas, sódicas e de elevado pH (entre 9 e 10) são aparentemente influenciadas por misturas com águas ascendentes do SAG.

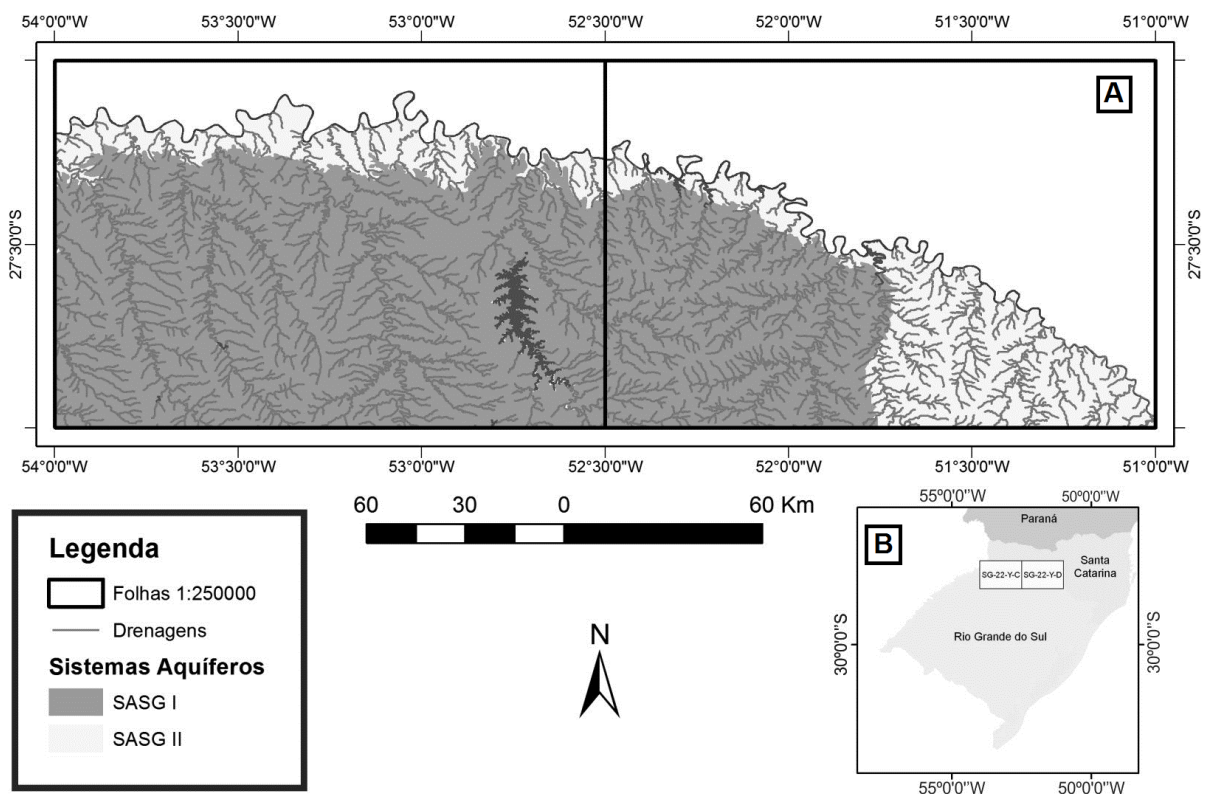


Figura 2. Mapa hidrogeológico da região (modificado de CPRM, 2005): (A) Detalhe dos aquíferos estudados. (B) Mapa do Sul do Brasil indicando as folhas Chapecó e Erechim.

Lisboa (1996) reconheceu três unidades hidrogeológicas distintas no SASG, do Rio Grande do Sul: Abóbada Oeste Aplainada, Fachada Atlântica Dissecada e Abóbada Central Densamente Dissecada, esta última a única representada na região em estudo, localizada na Bacia do Alto Rio Uruguai. Registrou que as águas subterrâneas nas três unidades são predominantemente bicarbonatadas cálcicas e que águas sódicas ocasionais tem sua origem na mistura de águas meteóricas com fluxos ascendentes do SAG subjacente.

Concentrações elevadas de fluoreto nas águas do SASG não são esperadas, face à baixa concentração deste elemento nas litologias do aquífero fraturado e seu registro deve ser relacionado com a dinâmica de recarga ascendente no aquífero, que contribuem para variações nas características físico-químicas das águas (Nanni *et al.*, 2008). Segundo o mesmo autor, o uso demasiado do recurso hídrico subterrâneo pode acarretar prejuízos na qualidade das águas, pela ascensão de águas mais profundas, através da trama fraturada do SASG.

Estudo integrado sobre o potencial hidrogeológico, vulnerabilidade e hidroquímica do SASG na Bacia Hidrográfica dos Rios Turvo-Santa Rosa-Santo Cristo, descreveu quatro tipos hidrogeoquímicos de águas do SASG (Freitas *et al.*, 2012). O tipo I é representado por águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas com valores mais baixos de pH e de Sólidos Totais Dissolvidos (STD), cujas características definem áreas de recarga do SASG com tempo de residência relativamente pequeno. As águas do tipo II são bicarbonatadas sódicas e apresentam valores de pH mais elevados, baixa dureza e valores de STD que sugerem misturas com águas do SAG subjacente. O Tipo III é definido por águas sulfatadas ou cloretadas cálcicas magnesianas com pH inferior a 7, baixos valores de STD e de fluoretos. As águas do tipo IV são sulfatadas ou cloretadas sódicas, de caráter alcalino, com elevados valores de STD, dureza e Flúor. Este tipo de água, também apresenta influência do aquífero Guarani.

2.2 Métodos

Na primeira etapa do estudo foi obtida documentação específica sobre poços tubulares da região, selecionando-se os poços que possuíam informações consistentes, como localização, perfis de sondagem e análises físico-químicas.

A análise tectônica foi realizada através de imagens de satélite a partir das quais foi confeccionada uma imagem de relevo sombreado, gerada a partir de um Modelo Digital de Terreno (MDT), que possibilita visualizar as diferenças de relevo em uma dada região, extraídos do projeto *Shuttle Radar Topography Mission – SRTM (USGS)*.

A imagem sombreada é gerada a partir de uma grade retangular sobre a qual é aplicado um modelo de iluminação. A partir dessa imagem é possível traçar lineamentos morfotectônicos, para tentar estabelecer padrões e eventuais blocos estruturais. As estruturas foram interpretadas em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) com o uso do *software ArcGIS® 9.3*, sendo traçados os lineamentos geológicos, em escala 1:250.000, que permitiu mapear estruturas regionais.

O traçado de lineamentos em ambiente SIG permitiu que valores de coordenadas e azimuth fossem extraídos automaticamente, sendo criada uma tabela de atributos dos lineamentos, que forneceu informações para tratamentos estatísticos posteriores.

O tratamento estatístico dos parâmetros tectônicos foi realizado através do programa *RockWorks® 14* para a aplicação de métodos estatísticos em lineamentos morfotectônicos importando-se a tabela gerada no aplicativo *ArcGIS®*. As informações de frequência das estruturas originou um diagrama de rosetas, que foi analisado para definição dos principais padrões de elementos lineares.

Após terem sido processadas as informações iniciou-se a análise dos dados hidrogeoquímicos a partir do tratamento estatístico, utilizando-se o programa *SPSS® versão 12*. Os dados hidroquímicos foram analisados através do tratamento estatístico de análise multivariada (Análise Fatorial de Componentes Principais e Análise de Agrupamentos).

A Análise Fatorial de Componentes Principais (AFCP) foi utilizada para separar as fácies hidroquímicas no SASG. Esse processo possibilita transformar linearmente um conjunto de variáveis originais em um novo conjunto menor de variáveis não-correlacionadas, facilitando o manuseio e a compreensão do fenômeno, sem perda significativa de informação (Palácio, 2004).

A preparação da matriz de correlação busca padronizar os dados, normalizando para o valor de 1, mínimo *eigenvalue* aceito (Kaiser, 1958). A matriz de correlação obtida nem sempre é de fácil compreensão. Para suprimir essa limitação, usa-se o processo de rotação ortogonal da matriz original, gerando uma nova matriz de cargas fatoriais, que apresentam melhor significado interpretativo aos fatores (Andrade *et al.*, 2007). A estrutura, que é obtida pelo método Varimax, inclui fatores

dominantes, as variáveis e seus valores de comunalidade que é a proporção da variância total de uma variável explicada pelos fatores totais (Fernandes *et al.*, 2006).

A análise de agrupamentos (*Cluster Analysis*) é usada para caracterizar várias técnicas numéricas com objetivo de classificar valores de uma matriz de dados em grupos discretos (Landim, 2010).

No presente trabalho foi utilizado o método por agrupamentos hierárquicos, que é a técnica mais utilizada em estudos geológicos, através da técnica de variância mínima (*ward's method of sum-of-squares method*). Esse método consiste em obter uma matriz simétrica de similaridade a partir da matriz original, obtida através da AFPC. Esse tipo de análise busca detectar pares de casos com a mais alta similaridade ou mais baixa distância (Landim, 2010).

Os resultados da análise são usualmente organizados em gráficos que mostram as relações entre os grupos encontrados. A forma gráfica mais usada para representar o resultado final é o dendograma.

Após a análise do dendograma e separação em grupos distintos de tipos hidrogeoquímicos de água, esses grupos são projetados em gráficos das cargas de Fatores principais, obtidos a partir da AFPC, elaborados no plano bidimensional.

Foram então gerados mapas de densidade de fraturas, que correspondem ao número de lineamentos que ocorre em determinada área. Conceitualmente este cálculo consiste em considerar um círculo desenhado ao redor de cada célula da imagem usando como raio um valor arbitrário informado nas propriedades da ferramenta. A porção do comprimento de cada lineamento que cai dentro da área circular é somado e o total dividido pela área do círculo (Oliveira *et al.*, 2009). Assim, estruturas que estejam até o valor do raio de distância serão utilizadas no cálculo da densidade. O resultado são mapas de densidades de lineamentos, que são avaliados em função dos poços cadastrados anteriormente. Foram gerados mapas para a totalidade dos lineamentos e para cada grupo de direções e comprimento das fraturas.

Os dados geoquímicos das águas de cada agrupamento foram posteriormente cruzados com os lineamentos, com o objetivo de identificar padrões e correlações entre disposição espacial e a tectônica rúptil da área. As diferentes fácies de águas ainda foram plotadas no diagrama de Piper, através do programa *Diagrammes, software livre* disponibilizado pelo Laboratório de Hidrogeologia d'Avignon

(Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon). No Diagrama de Piper, plotando-se os percentuais de mili-equivalentes por litro dos principais cátions e ânions de cada poço tubular. O programa também calculou o balanço iônico dos poços utilizados para as análises geoquímica das águas. Foram considerados somente as análises em que a diferença entre os somatórios não fosse superior a 10%.

3. RESULTADOS

A extração dos lineamentos a partir de imagens de satélite na área em estudo permitiu definir e traçar um total de 1.981 lineamentos morfotectônicos, que geraram um mapa de difícil interpretação, devido a poluição da imagem. Para facilitar a interpretação dos resultados foram feitas filtragens de direção dos lineamentos, sendo confeccionado diagrama de rosetas e mapas de densidade de lineamentos.

A partir da representação da totalidade dos lineamentos foi reconhecido que as principais direções ilustradas pelo diagrama estatístico de roseta de frequência absoluta, são representadas pelos seguintes azimutes: 060° a 070°, 0 a 015° e 290° a 315° (Fig. 3). Foram definidas filtragens por direções, divididas em quatro grupos: N-NE (0 a 45°/180° a 225°), NE-E (45° a 90°/225° a 270°), NW-W (90° a 135°/270° a 315°) e N-NW (135° a 180°/315° a 360°) (Fig. 4).

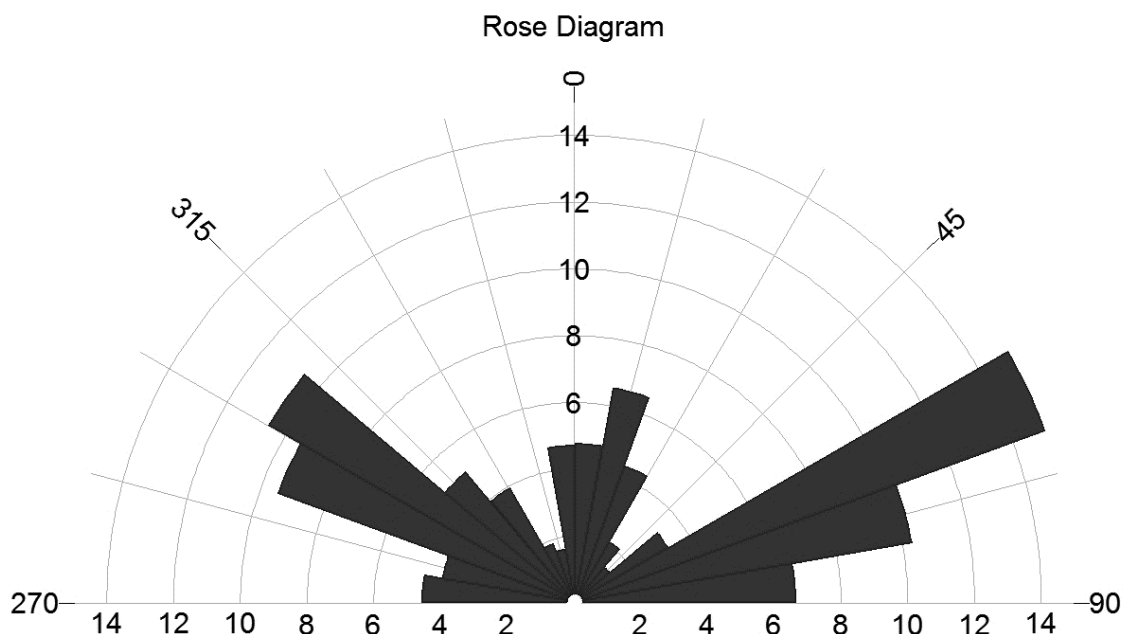


Figura 3. Diagrama estatístico de roseta da totalidade dos lineamentos, em relação à frequência absoluta, indicando as principais direções dos lineamentos morfoestruturais na área de estudo.

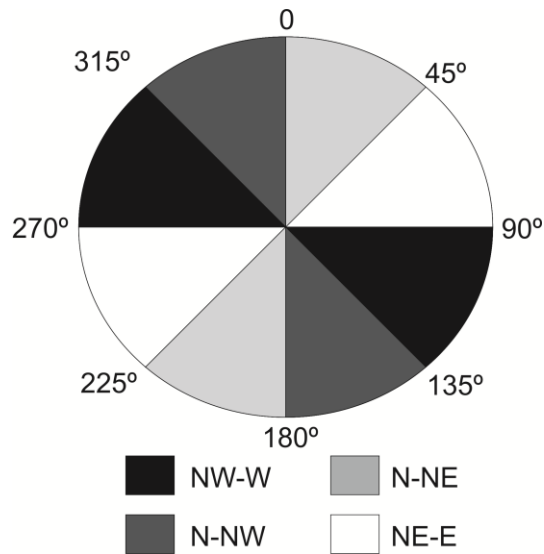


Figura 4. Grupos definidos por filtragens de direções.

O mapa de densidade da totalidade dos lineamentos mostra que a porção ocidental da área é a que apresenta maior densidade, sendo estes bem distribuídos por toda a Folha Chapecó. Já na Folha Erechim, a leste, predomina uma densidade média de lineamentos. Como a área apresenta elevado grau de fraturamento, apenas focos pontuais são reconhecidos com densidade baixa de lineamentos.

Foram computadas 362 (18,3%) estruturas de direção N-NE, na área em estudo. Tais estruturas apresentam maior ocorrência na porção sudoeste da área, principalmente nos municípios de Palmeira das Missões, Dois Irmãos das Missões, Boa Vista das Missões, Jaboticaba, Seberi e Coronel Bicaco. Na direção NE-E foram reconhecidos 709 (35,8%) lineamentos, que constituem o padrão de direção predominante. Estas estruturas afetam de forma homogênea quase toda Folha Chapecó. Na Folha Erechim, ocorrem focos de alta densidade, principalmente nos municípios de Erechim, Barrão do Cotegipe, Paim Filho, Cacique Doblê, São José do Ouro, Sananduva, Esmeralda e Getúlio Vargas. Segundo NW-W foram traçados 623 (31,4%) estruturas, constituindo o segundo padrão com mais lineamentos na área em estudo, mostrando distribuição homogênea. A direção N-NW possui frequência bem menor que as demais direções, tendo sido registrados apenas 287 lineamentos (14,5%) homogeneamente distribuídos.

Para a caracterização hidrogeoquímica, foram inventariados 142 poços, que captam água do SASG, selecionados com base na consistência dos dados (balanço iônico). Foram descartados os

poços que não continham na sua análise os cátions e ânions utilizados Diagrama Piper, resultando num conjunto de dados com os 13 seguintes parâmetros: cálcio, sódio, magnésio, potássio, bicarbonato, carbonato, cloreto e sulfato, flúor, pH, dureza, STD e ferro. Os resultados da análise estatística através da AFPCP permitiu o reconhecimento de 4 fatores distintos (Tab. 1).

Tabela 1. Matriz resultante da rotação da matriz original segundo o método Varimax.

Parâmetros	Fatores			
	F1	F2	F3	F4
STD	0,873		0,131	
pH	0,839	-0,293		-0,181
Na	0,796	-0,387	0,38	
CO ₃	0,755	-0,434		
Dureza	-0,313	0,92		
Ca	-0,322	0,883		
Mg	-0,27	0,861		
HCO ₃	0,344	0,746	0,233	
SO ₄	0,13		0,909	
Cl		0,146	0,829	
F	0,453		0,512	
Fe	0,102			0,884
K	-0,33			0,767

O Fator 1 (F1) contém STD, pH, Na e CO₃, típicos de águas bicarbonatadas sódicas. No Fator 2 (F2), prevalecem a dureza, Ca, Mg e HCO₃ representando águas bicarbonatadas cálcico-magnesianas. O Fator 3 (F3) contém SO₄, Cl e F como íons principais, mostrando que o enriquecimento em flúor está relacionado com água sulfatadas e cloretadas. O último fator (F4) compreende os parâmetros Fe e K.

Para facilitar o entendimento desses fatores foi elaborada uma análise de agrupamento, apresentado sob forma de dendograma, que permitiu o reconhecimento de cinco grupos distintos quimicamente de águas subterrâneas (Fig. 5). Tais grupos hidrogeoquímicos foram projetados em gráficos bidimensionais dos Fatores Principais, obtidos a partir da AFPCP (Fig. 6).

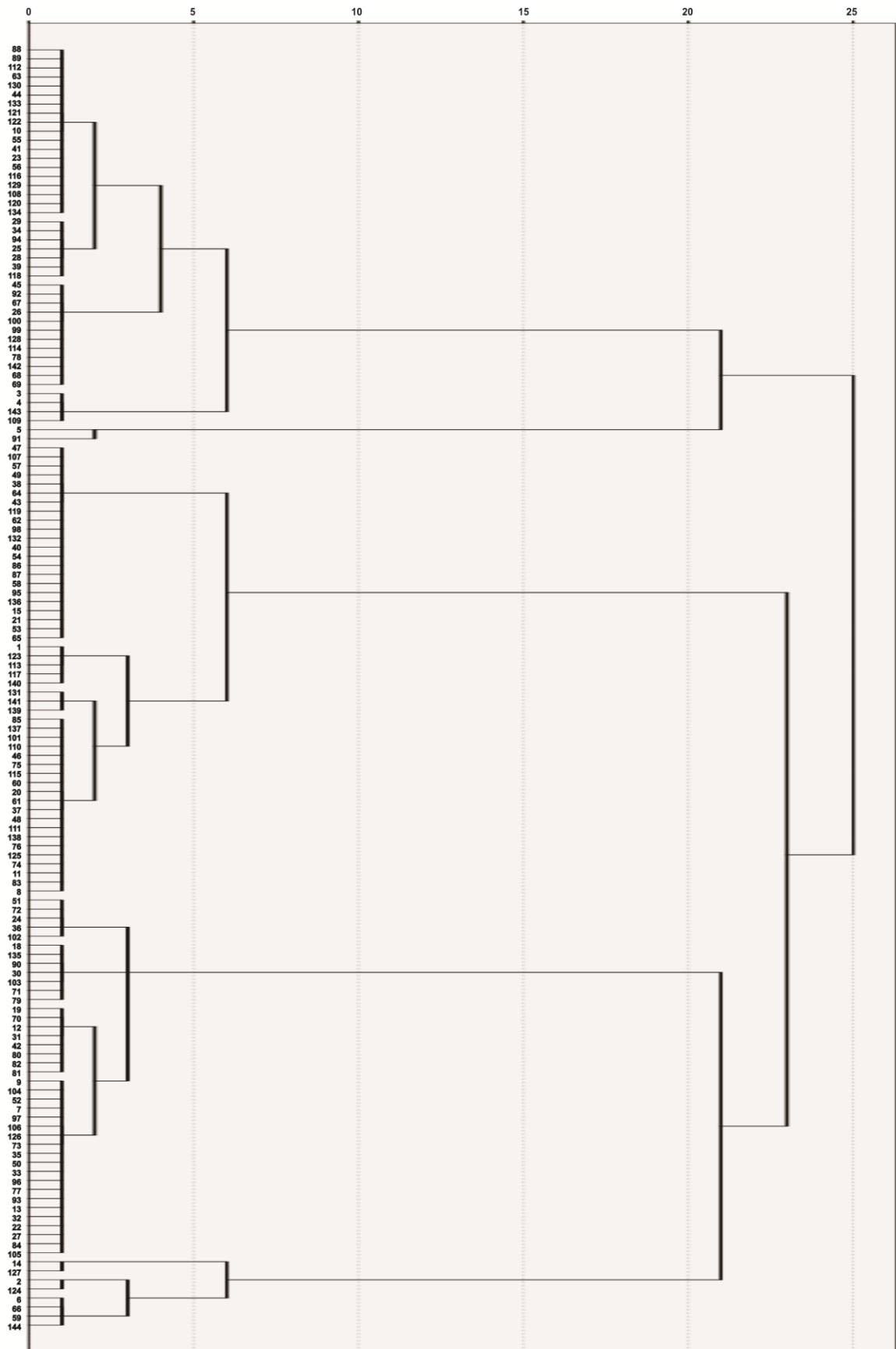


Figura 5. Dendrograma representando distintos grupos geoquímicos de água.

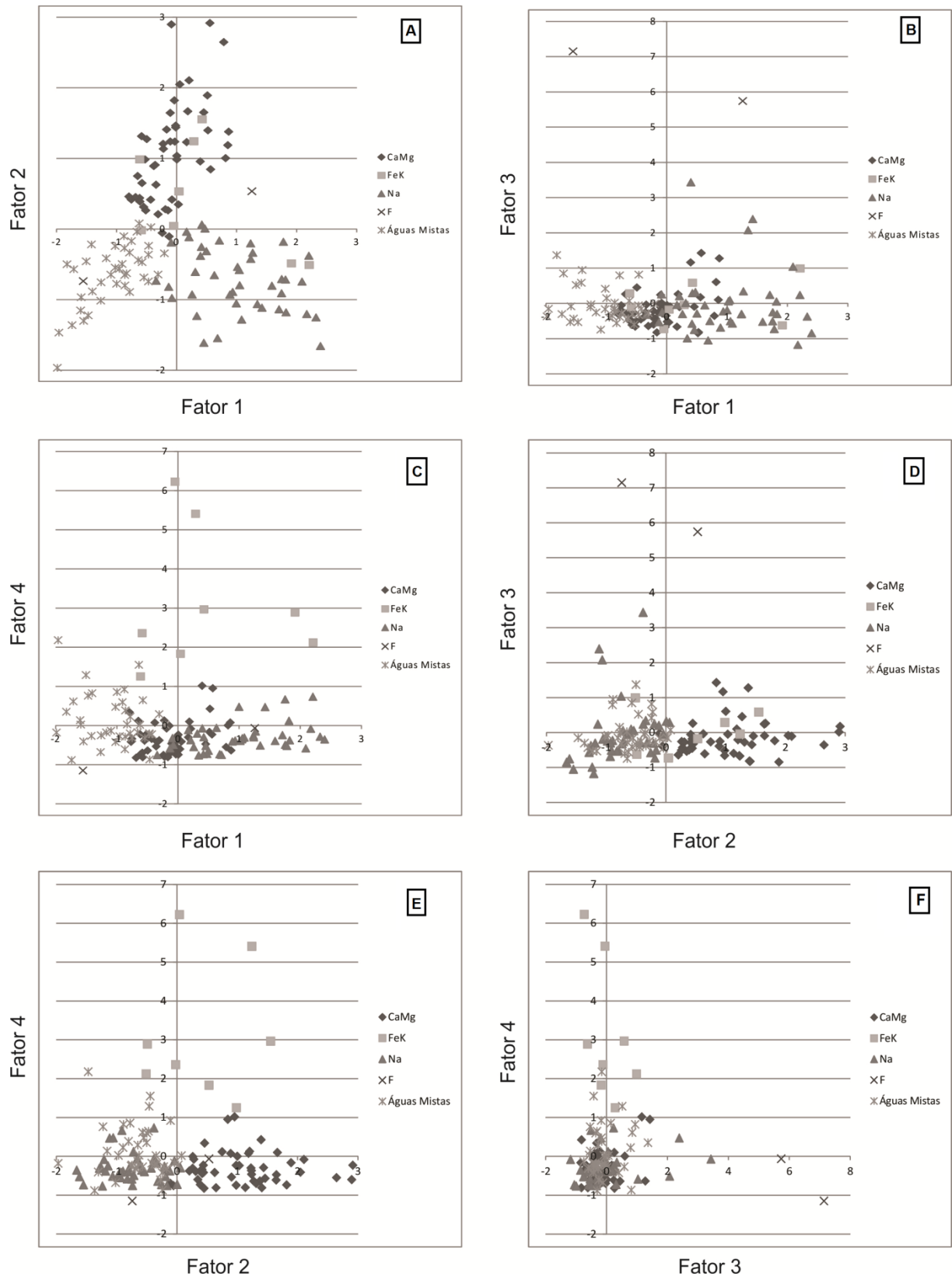


Figura 6. Gráficos bidimensionais projetando grupos geoquímicos de água, conforme as cargas dos fatores obtidos na AFPC: (A) Fator 1 x Fator 2. (B) Fator 1 x Fator 3. (C) Fator 1 x Fator 4. (D) Fator 2 x Fator 3. (E) Fator 2 x Fator 4. (F) Fator 3 x Fator 4.

A separação das amostras em grupos possibilitou interpretar melhor as características químicas e separar as fácies hidrogeoquímicas das águas da região. O Grupo 1 é fortemente relacionado com o F2. O grupo 2 apresenta relação com o F4. O Grupo 3 apresenta forte relação positiva com o F1 e relação negativa com o F2. O Grupo 4 é ligado ao F3 e depletado no F4. Por último, o Grupo 5 não apresenta correlação positiva com nenhum fator, mas possui correlação negativa com o F1 e F2.

Para facilitar a interpretação e organizar de forma mais eficiente e simplificada os dados obtidos na análise estatística, os grupos foram renomeados conforme os resultados obtidos. O Grupo 1 foi denominado de Fácies CaMg, o Grupo 2 em Fácies FeK, o Grupo 3 em Fácies Na, o Grupo 4 em Fácies F e o Grupo 5 em Fácies Águas Mistas.

Os cinco grupos de águas foram plotados no diagrama de Piper para relacionar o tratamento estatístico com a geoquímica das águas subterrâneas da região. Quando classificadas no diagrama de Piper (Fig. 7), as águas da Fácies CaMg são exclusivamente bicarbonatadas, entretanto os cátions predominam nas águas cálcicas ou magnesianas e em menor quantidade sódicas, representando 86% e 14%, respectivamente. A Fácies FeK predomina nas águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, contemplando 75% dos poços. O restante (25%) apresenta características bicarbonatadas sódicas. A Fácies Na representa 100% dos poços com águas bicarbonatadas sódicas, enquanto as águas da Fácies F são fortemente sódicas, porém apresentam caráter misto no tocante aos ânions, tendo 50% das águas caráter sulfatado ou cloretado e a outra metade bicarbonatada. No diagrama de Piper, a Fácies Águas Mistas são classificadas de forma similar às Fácies CaMg e Fácies FeK, predominando os tipos bicarbonatados cálcicos ou magnesianos (80%) e, subordinadamente, os tipos bicarbonatados sódicos (20%).

Integrando os dados obtidos na etapa de análise estatística com a classificação hidrogeoquímica das águas, foi observado que as águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas são representadas pelas duas primeiras fácies descritas anteriormente, sendo uma mais enriquecida em potássio e ferro (Fácies FeK). Essas águas possuem características mais ácidas e duras. O grupo de águas bicarbonatadas sódicas (Fácies Na) apresentam caráter alcalino e salinidade mais elevada. As amostras da Fácies F são claramente isoladas quando plotados no diagrama de Piper, se comparadas aos outros grupos de fácies hidroquímicas. A distribuição sustenta a associação de águas sulfatadas

com o flúor, tendo como atributo importante o caráter sódico e empobrecimento em potássio e ferro. A Fácies Águas Mistas é predominantemente representada por águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas.

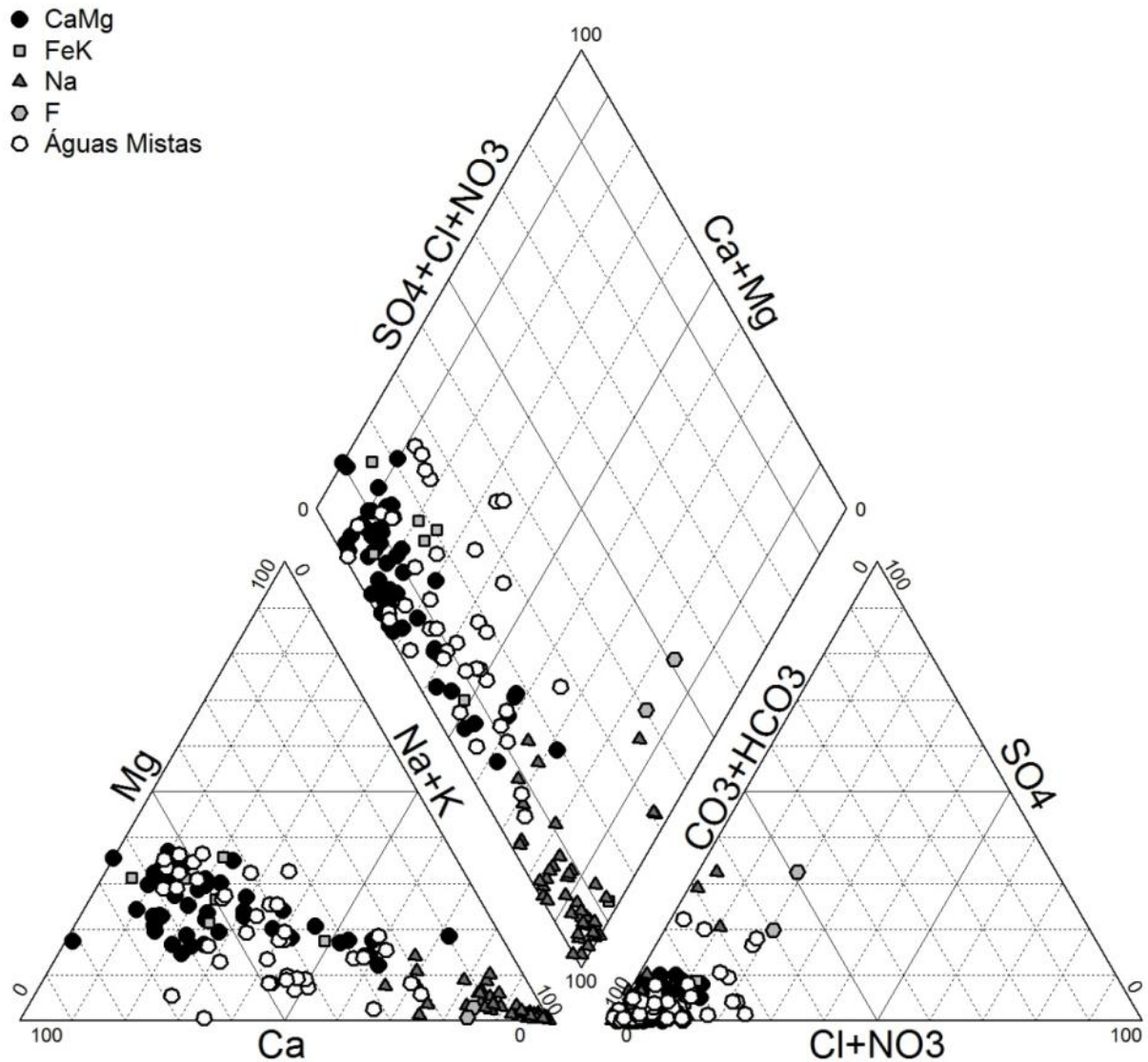


Figura 7. Fácies hidrogeoquímicas plotadas no Diagrama de Piper.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O cruzamento de dados, da análise estrutural e da hidrogeoquímica dos poços, permitiu relacionar as estruturas, densidade de lineamentos e os grupos geoquímicos de águas da região do Alto Rio Uruguai (Fig. 8 e 9).

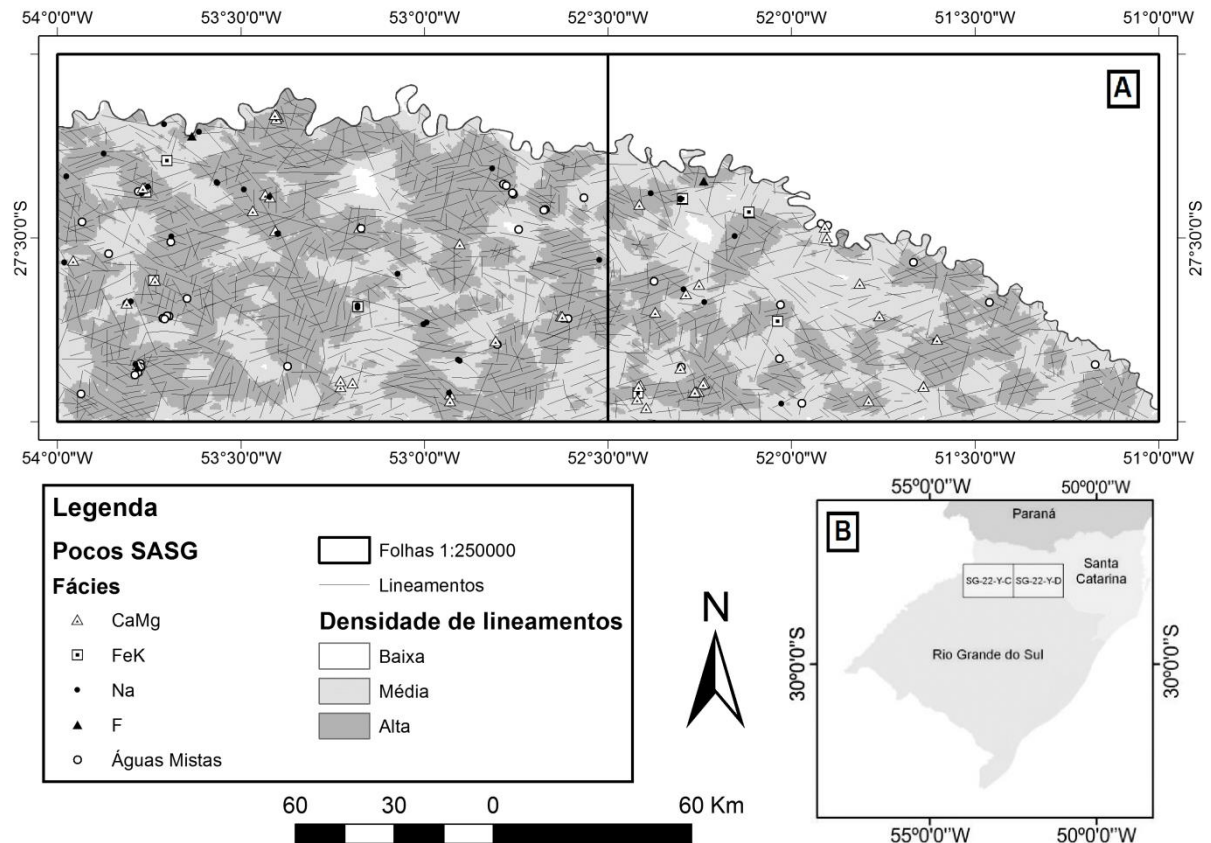


Figura 8. (A) Distribuição espacial e densidade da totalidade de lineamentos comparadas com as fácies hidrogeoquímicas dos poços. (B) Mapa do Sul do Brasil indicando as folhas Chapecó e Erechim.

Segundo verificado na área, todas as fácies hidroquímicas encontradas na região do estudo possuem uma forte correlação positiva com áreas de alta densidade de lineamentos, conforme demonstra a Figura 8 e a Tabela 2.

A Tabela 3 demonstra que a Fácies CaMg apresenta maior incidência nas áreas de alta densidade dos lineamentos NE-E e N-NW, com 50% e 56% dos poços, respectivamente. As águas da Fácies FeK e Fácies Na estão concentradas nos lineamentos NE-E e NW-W. É importante salientar que, segundo Cunha (2010), essas direções de lineamentos (NE-E e NW-W) são as direções que apresentam os poços mais produtivos da região do Alto Rio Uruguai. A Fácies F encontra-se restrita à região próxima ao Rio Uruguai, situando-se em zonas de alta densidade de lineamentos N-NE. Não obstante, este dado possui pequeno significado, considerando-se a existência de somente 2 poços. A Fácies Águas Mistas apresentou maior incidência nos lineamentos de direção NW-W.

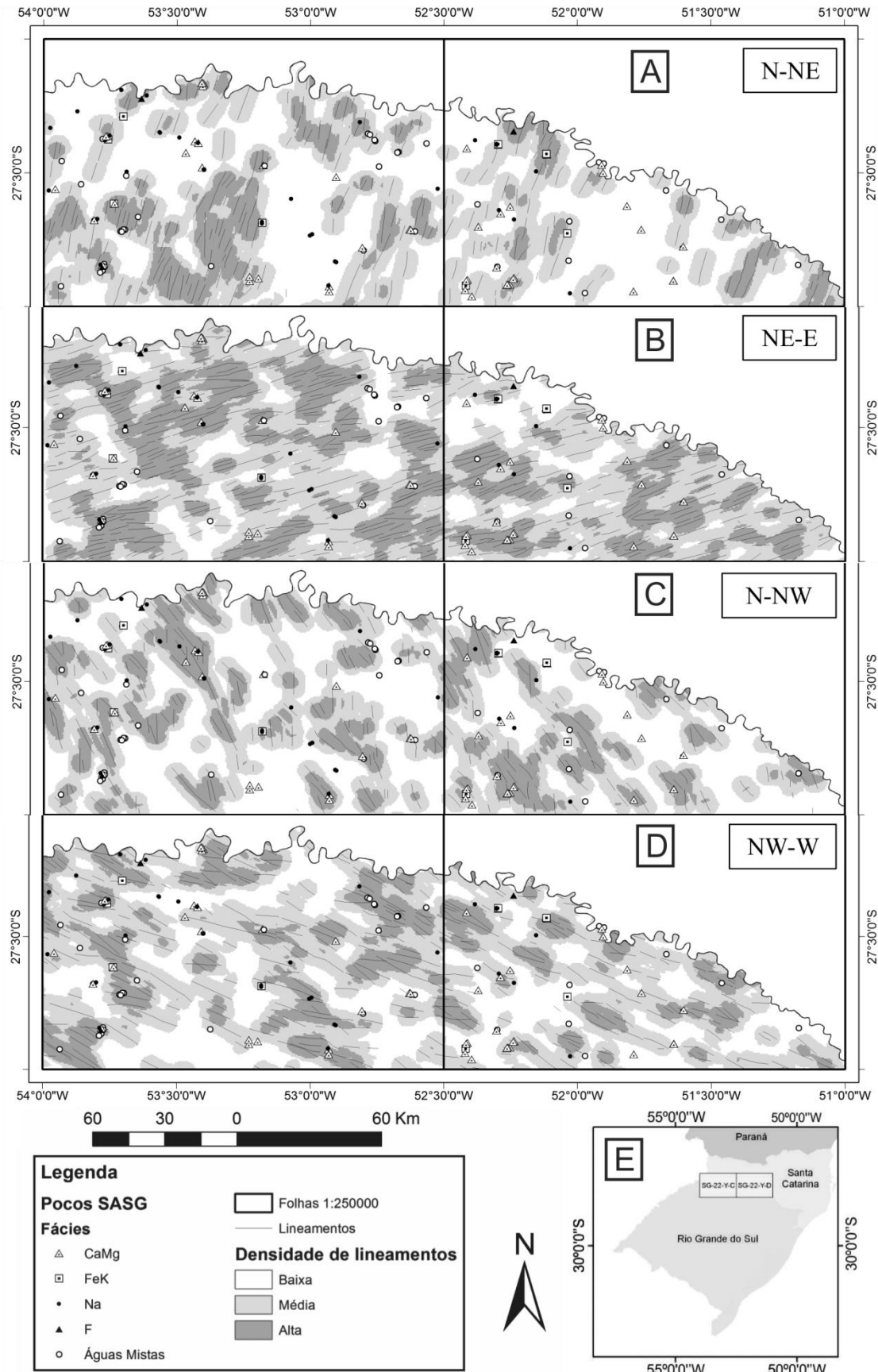


Figura 9. Distribuição espacial e densidade dos lineamentos das direções preferenciais comparados com as fácies hidroquímicas das águas: (A) N-NE. (B) NE-E. (C) N-NW. (D) NW-W. (E) Mapa do Sul do Brasil indicando as folhas Chapecó e Erechim.

Tabela 2. Estatística do posicionamento dos poços, segundo as fácies hidrogeoquímicas, com a densidade dos lineamentos tectônicos.

		Densidade de lineamentos		
Fácies	Poços	Totalidade de Lineamentos		
		Baixa	Média	Alta
CaMg	nº.	0	12	<u>38</u>
	%	0,0	24,0	<u>76,0</u>
FeK	nº.	0	2	<u>6</u>
	%	0,0	25,0	<u>75,0</u>
Na	nº.	0	6	<u>36</u>
	%	0,0	14,3	<u>85,7</u>
F	nº.	0	0	<u>2</u>
	%	0,0	0,0	<u>100,0</u>
Águas Mistas	nº.	1	12	<u>27</u>
	%	2,5	30,0	<u>67,5</u>

Tabela 3. Posicionamento dos poços, segundo as fácies hidrogeoquímicas, com a direção e a densidade dos lineamentos morfotectônicos.

		Densidade de lineamentos											
Fácies	Poços	NE-E			N-NE			N-NW			NW-W		
		Baixa	Média	Alta	Baixa	Média	Alta	Baixa	Média	Alta	Baixa	Média	Alta
CaMg	nº.	4	21	<u>25</u>	19	16	15	14	8	<u>28</u>	16	15	19
	%	8,0	42,0	<u>50,0</u>	38,0	32,0	30,0	28,0	16,0	<u>56,0</u>	32,0	30,0	38,0
FeK	nº.	3	1	<u>4</u>	1	5	2	4	1	3	3	1	<u>4</u>
	%	37,5	12,5	<u>50,0</u>	12,5	62,5	25,0	50,0	12,5	37,5	37,5	12,5	<u>50,0</u>
Na	nº.	2	18	<u>22</u>	20	15	7	14	16	12	7	12	<u>23</u>
	%	4,8	42,9	<u>52,4</u>	47,6	35,7	16,7	33,3	38,1	28,6	16,7	28,6	<u>54,8</u>
F	nº.	0	2	0	0	0	<u>2</u>	2	0	0	0	2	0
	%	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	<u>100,0</u>	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0
Águas Mistas	nº.	12	14	14	9	21	10	14	18	8	8	8	<u>24</u>
	%	30,0	35,0	35,0	22,5	52,5	25,0	35,0	45,0	20,0	20,0	20,0	<u>60,0</u>

As relações entre as várias fácies de águas e o comprimento dos lineamentos evidenciou uma completa falta de racionalidade dos resultados, demonstrando que não existe uma correlação entre o tamanho das estruturas e a composição das águas.

Cunha (2010), através de mapa potenciométrico na mesma área de estudo, indicou que o fluxo regional das águas subterrâneas se faz na direção do Rio Uruguai, de leste para oeste. É de se registrar que a Fácies CaMg e a Fácies Águas Mistas se distribuem predominantemente em áreas de recarga do SASG, conforme demonstra esse mapa potenciométrico. Os dados sugerem que estas águas possuem

baixo tempo de residência e se relacionam com a recarga pluviométrica, demonstrada pelos valores mais baixos de pH e STD. A Fácies FeK e a Fácies F apresentam distribuição predominante em áreas de descarga e/ou recarga ascendente do SAG. Por outro lado, as águas da Fácies Na possuem valores de pH mais alcalino, baixa dureza e elevado STD, que sugerem características de águas com maior tempo de residência e com possível mistura com águas provenientes do SAG subjacente. Essa distribuição é concordante com Nanni (2008), Nanni et. al. (2008; 2009) e Freitas *et. al.* (2012), que apresentaram uma interpretação sobre a interação de água ascendentes do SAG, para representar essas Fácies mais diferenciadas do SASG.

5. CONCLUSÕES

O tratamento estatístico dos dados hidrogeoquímicos através da AFCP permitiu o reconhecimento de 4 fatores distintos de águas subterrâneas. Para facilitar o entendimento desses fatores foi elaborada uma análise de agrupamento, apresentado sob forma de dendograma, que separou as águas do SASG, na região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, em cinco grupos distintos quimicamente (Fácies CaMg, Fácies FeK, Fácies Na, Fácies F e Fácies Águas Mistas).

A análise de 1.981 lineamentos morfotectônicos a partir de imagens de satélites demonstrou a existência de 4 direções preferenciais de faturamento, em sua maioria NE-E e NW-W.

A integração dos dados e a comparação entre a distribuição das várias fácies hidrogeoquímicas e os elementos estruturais mostrou correlações evidentes entre a densidade de lineamentos e os grupos químicos. Os lineamentos de direção NE-E e N-NW se correlacionam predominantemente com a Fácies CaMg. A Fácies FeK e Fácies Na apresentam relação com as direções NE-E e NW-W. A Fácies F está fortemente relacionada com os lineamentos N-NE e a Fácies Águas Mistas com a direção NW-W.

A Fácies CaMg e a Fácies Águas Mistas apresentam características de baixo tempo de residência, estando relacionadas às áreas de recarga do SASG, possuindo valores mais baixos de pH e STD. A Fácies Na apresenta valores de pH alcalino, baixa dureza e elevado STD, o que sugere misturas com águas provenientes do SAG subjacente. A Fácies FeK e a Fácies F estão mais relacionadas com zonas de descarga e/ou recarga ascendente do SAG.

REFERÊNCIAS

- ANA. Agência Nacional de Águas. 2002. *Relatório de Gestão 2001*. Brasília. ANA. 51p. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/RelatorioGestao/_docs/Relatorio2001/2001_RelatorioGestao.pdf>. Acesso em: 03/04/2011.
- Andrade, E. M.; Araújo, L. F. P.; Rosa, M. F.; Disney, W. & Alves, A. B. 2007. Seleção de indicadores da qualidade das águas superficiais pelo emprego de análise multivariada. *Engenharia Agrícola*, 27(3); 683-690.
- Betiollo, L. M. 2006. *Caracterização estrutural, hidrogeológica e hidrogeoquímicas dos sistemas aquíferos Guarani e Serra Geral no nordeste do Rio grande do Sul, Brasil*. Porto Alegre, 117p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Chavez-Kuz, L. & Salamuni, E. 2003. Análise estatística de dados hidrogeológicos de poços tubulares profundos do município de Curitiba - Paraná. *Boletim Paranaense de Geociências*, 53(1): 59-79.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil. 2005. *Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Governo do Estado do Rio Grande do Sul, SOPS - Secretária de Obras Públicas e Saneamento, SEMA - Secretária do Meio Ambiente, DRH – Departamento de Recursos Hídricos, escala: 1:750.000. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/mapa_hidrogeologico_RS.pdf>. Acesso em: 28/03/2011.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil. 2006. *Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre. Projeto Geologia do Brasil ao Milionésimo – Programa Geologia do Brasil, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, escala: 1:750.000. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/mapa_rio_grande_sul.pdf>. Acesso em: 28/03/2011.
- Cunha, G. G. 2010. *Caracterização estrutural e hidrogeológica dos Sistemas Aquíferos Guarani e Serra Geral na região do Alto Uruguai, noroeste do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, 86p. Monografia de Conclusão de Curso. Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Davis, J. C. 2002. *Statistics and Data Analysis in Geology*. 3.ed., New York, John Wiley & Sons, 620p.
- Feitosa, F. A. C. & Manoel Filho, J. 2000. *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*. 2.ed., Fortaleza, CPRM-LABHID-UFPE, 412p.
- Fernandes, M. A. B.; Santiago, M. M. F.; Mendes Filho, J.; Silva, C. M. S. V.; Frischkorn, H. & de Lima, J. O. G. 2006. Análise estatística aplicada em amostras de água subterrânea no município de Caucaia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 14., 2006, Curitiba, Anais... Curitiba, ABAS, 16p. CD-ROM.
- Frasca, A. A. & Lisboa, N. A. 1993. Contribuição do sensoriamento remoto na compartimentação morfotectônica e morfoestrutural da Bacia do Paraná, Grupo São Bento, RS e suas relações com as estruturas do embasamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 1993, Curitiba, Anais... Curitiba, INPE, v. 3, p. 211-220.
- Freitas, M. A. & Machado, J. L. F. 2000. Hydrochemistry of Serra Geral Aquifer In Western Santa Catarina State. In: CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÀGUAS SUBTERRÂNEAS, 1., 2000, Fortaleza,. Anais... Fortaleza, ABAS/AHLSUD/IAH, CD-ROM.
- Freitas, M. A. & Machado, J. L. F. 2005. *Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul: relatório final*. Porto Alegre, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 65p.
- Freitas, M. A.; Binotto, R. B.; Nanni, A.S.; Rodrigues, A. L. M. & Bortoli, C. R. 2012. Avaliação do potencial hidrogeológico, vulnerabilidade intrínseca e hidroquímica do Sistema Aquífero Serra Geral no noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 17(2): 31-41.
- Invernizzi, A. L. & Oliveira, S. M. B. 2004. Hydrochemical characterization of a watershed through factor analysis. *Revista Águas Subterrâneas*, 18(1): p. 67-77.

- Justo, A. P. 2006. *Sistemas orbitais e aéreos aplicados à análise multi-escala de lineamentos na borda sudeste da Bacia do Parnaíba*. Natal, 115p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Kaiser, H. F. 1958. The Varimax Criterion for Analytic Rotation in Factor Analysis. *Psychometrika*, 23(3): 187–200.
- Landim, P. M. B. 2003. *Análise estatística de dados geológicos*. 2.ed. São Paulo, UNESP. 253p.
- Landim, P. M. B. 2010. *Introdução à análise estatística de dados geológicos multivariados*. Rio Claro, UNESP. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 20/11/2011.
- Lisbôa, N. A. 1996. *Fácies, estratificações hidrogeoquímicas e seus controladores geológicos, em unidades hidrogeológicas do Sistema Aquífero Serra Geral, na Bacia do Paraná, Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, 135p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Machado, J. L. F. 2005. *Compartimentação espacial e arcabouço hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul*. São Leopoldo, 237p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Área de concentração em Geologia Sedimentar, Universidade do Vale do Rio dos Sinos.
- Naghetini, M. & Pinto, E. J. A. 2007. *Hidrologia estatística*. Belo Horizonte, CPRM, 561p.
- Nanni, A. S. 2008. *O flúor em águas do Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul: origem e condicionamento geológico*. Porto Alegre, 127p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Nanni, A. S.; Roisenberg, A.; Fachel, J. M. G.; Mesquita, G. & Danieli, C. 2008. Fluoride characterization by principal component analysis in the hydrochemical fácies of Serra Geral Aquifer System in Southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 80(4): 693-702.
- Nanni, A. S.; Roisenberg, A.; Marimon, M. P. C. & Viero, A. P. 2009. The hydrochemical facies and anomalous fluoride content in the Serra Geral aquifer system, southern Brazil: a GIS approach with tectonic and principal component analysis. *Environmental Geology*, 58(6): 1247-1255.
- Nanni, A. S.; Binotto, R. B. & Rodrigues, A. L. M. 2012. Avaliação da influência das atividades antrópicas na qualidade das águas subterrâneas no noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 17(2): 43-51.
- Olivera, D. B.; Moreno, R. S.; Miranda, D. J.; Ribeiro, C. S.; Seoane, J. C. S. & MELO, C. L. 2009. Elaboração de um mapa de lineamento estrutural e densidade de lineamento através de imagem SRTM, em uma área ao Norte do rio Doce, ES. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. *Anais...* Natal, INPE. p. 4157-4163.
- Palácio, H.A.Q. 2004. *Índice de qualidade das águas na parte baixa da bacia hidrográfica do rio Trussu, Ceará*. Fortaleza, 96p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará.
- Roisenberg, A. & Viero, A. P. 2000. O vulcanismo Mesozóico da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul. In: Holz, M.; De Ros, L. F. *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, CIGO/UFRGS, p. 355-374.
- Takahashi, H. A.; Haertel, V. & Lisbôa, N. A. 1993. Caracterização morfoestrutural e hidrogeológica de aquíferos em meio fraturado através de técnicas de sensoriamento remoto e análise estatística em setor do Planalto Meridional, RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 1993, Curitiba. *Anais...* Curitiba, INPE. p. 332 – 350.
- USGS. U. S. Geological Survey. 2000. *Shuttle Radar Topography Mission*. Washington, NASA-USGS. Disponível em: <<http://srtm.usgs.gov/>>. Acesso em: 03/05/2011.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A integração dos dados estruturais, hidrogeológicos hidrogeoquímicos permitiram melhorar o entendimento do potencial hidrogeológico e da distribuição geoquímica das águas subterrâneas do SASG do Noroeste do Rio Grande do Sul (Folhas Chapecó e Erechim), reconhecendo os parâmetros condicionantes e padrões do sistema aquífero estudado na região.

A utilização do aplicativo ArcGIS® (SIG) para a criação e gerenciamento de um banco de dados mostrou-se uma ferramenta eficaz e adequada para filtragens, interpretação e geração de resultados em base georreferenciada. Além disso, o tratamento das estruturas no ambiente do Sistema de Informações geográficas (SIG) permitiu definir e separar a distribuição espacial dos lineamentos por comprimento, direção e áreas de maior densidade.

Os lineamentos de pequeno porte são dominantes na área como um todo. Os de médio porte concentram-se na Folha Chapecó. A maioria das estruturas apresentam padrões de direção NE-E e NW-W.

A variação do potencial hidrogeológico na região, a partir do valor da capacidade específica dos poços tubulares selecionados, demonstrou forte influência das estruturas tectônicas no SASG. Verifica-se correlação positiva da densidade de lineamentos com o potencial de produção dos poços. Os lineamentos de pequeno e médio porte, e os padrões de direção NE-E e NW-W apresentaram maior influência na produtividade dos poços. Os lineamentos de direção N-NE e N-NW não possuem interferência expressiva na produtividade dos poços.

A análise estatística realizada no banco de dados hidroquímicos do SASG, conjugando a análise fatorial de componentes principais e análise de agrupamentos, mostrou-se eficaz para separar 5 diferentes fácies hidrogeoquímicas na área em estudo. A distribuição espacial dos tipos químicos demonstrou correlação positiva entre a densidade de lineamentos de direção NE-E e N-NW com a fácies CaMg. As fácies FeK e Na apresentam correlação positiva com as direções NE-E e NW-W. A fácies F está fortemente relacionada com os lineamentos N-NE e a fácies Águas Mistas com a direção NW-W.

As fácies CaMg e Águas Mistas apresentam características que indicam baixo tempo de residência e estão relacionadas à captação de águas associadas a áreas de recarga do SASG, particularizando-se por valores mais baixos de pH e Sólidos Totais Dissolvidos. A fácies Na está correlacionada com valores de pH mais

elevados e contém níveis superiores de Sólidos Totais Dissolvidos, o que sugere mistura de águas meteóricas com águas provenientes do SAG subjacente. As fácies FeK e F possuem relações que indicam provável relação com zonas de recarga ascendente do SAG ou de outras unidades mais profundas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRAR UND HIDROTECHNIK. 1970. **Estudo hidrológico da Bacia do Rio Caí**. Secretaria de Obras Públicas do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. (Relatório Inédito).

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Inventário de Recursos Hídricos**. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 03/04/2011.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. 2002. **Relatório de Gestão 2001**. Brasília: ANA, 2002. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 03/04/2011.

ANDRADE, E. M.; ARAÚJO, L. DE F. P.; ROSA, M. F.; DISNEY, W.; ALVES, A. B. 2007. Seleção de indicadores da qualidade das águas superficiais pelo emprego de análise multivariada. **Engenharia Agrícola** Jaboticabal, SP, v.27, n.3, p.683-690, set./dez. 2007.

BETIOLLO, L. M. 2003. **Condicionantes geológicos e caracterização hidrogeoquímicas dos Aquíferos Guarani e Serra Geral nas Bacias dos Arroios Imbaá e Itapitocaí, Uruguaiana, RS**. 56 f. Monografia (Graduação) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

BETIOLLO, L. M. 2006. **Caracterização estrutural, hidrogeológica e hidrogeoquímicas dos sistemas aquíferos Guarani e Serra Geral no nordeste do Rio grande do Sul, Brasil**. 2006. 117 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

CHAVEZ-KUZ, L.; SALAMUNI, E. 2003. Análise estatística de dados hidrogeológicos de poços tubulares profundos do município de Curitiba - Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, PR, n. 53, p. 59-79, 2003.

CHIES, J. O. 1991. **Petrologia e Geoquímica do vulcanismo mesozóico da Bacia do Paraná na região ocidental do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 1991. 223 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

CHRISTOFOLETTI, A. 1982. **Geomorfologia**. 2.ed. São Paulo, SP: Editora Edgard Blucher, 188 p.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. 2005. Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul. Escala: 1:750.000. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/mapa_hidrogeologico_RS.pdf>. Acesso em: 28/03/2011.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. 2006. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul. Escala: 1:750.000. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/mapa_rio_grande_sul.pdf>. Acesso em: 28/03/2011.

CUNHA, G. G. 2010. **Caracterização estrutural e hidrogeológica dos Sistemas Aquíferos Guarani e Serra Geral na região do Alto Uruguai, noroeste do Rio Grande do Sul**. 2010. 86 f. Monografia (Graduação) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

DAEE- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. 1982. **Estudo de Águas Subterrâneas - Região Administrativa 4**. Sorocaba. SP: DAEE, 2 v.

DAVIS, J. C. 2002. Statistics and Data Analysis in Geology. 3 ed. New York, EUA: Editora John Wiley & Sons, 620 p.

EILERS, V. H. M. 1993. **Análise hidrogeológica da Região Sudoeste do Rio Grande do Sul através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento**. 1993. 128 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

EILERS, V. H. M.; CAICEDO, N. O. L.; LISBÔA, N. A. 1993. Análise hidrogeológica da região sudoeste do Rio Grande do Sul através de técnicas de sensoriamento remoto e do uso do Sistema Geográfico de Informações. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CONE SUL, 1993, Gramado, RS. **Anais...** Gramado, RS. v. 2, p. 131-141.

EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 1994. Ground Water and Wellhead Protection. Disponível em: <<http://www.epa.gov/nscep/index.html>>. Acesso em: 03/04/2011.

FEITOSA, F. A. C. & MANOEL FILHO, J. 2008. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. 3.ed. Fortaleza, CE: CPRM, LABHID-UFPE, 812p.

FERNANDES, A. J.; MALDANER, C. H.; WAHNFRIED, I.; FERREIRA, L. M.; PRESSINOTTI, M. M. N.; VARNIER, C. L.; IRITANI, M. A.; HIRATA, R. C. A. 2006. Modelo conceitual preliminar de circulação de água subterrânea no aquífero Serra

Geral, Ribeirão Preto, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 14., 2006, Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba, PR: ABAS. 16 p. (CD-ROM).

FERNANDES, A. J.; PERROTTA, M. M.; SALVADOR, E. D.; AZEVEDO, S. G.; GIMENEZ FILHO, A.; PAULON, N. 2007. Potencial dos aquíferos fraturados do Estado de São Paulo: condicionantes geológicos. **Revista Águas Subterrâneas**, São Paulo, SP, v. 21, n. 1, p. 65-84, out. 2007.

FERNANDES, A. J. 2008. Aquíferos fraturados: uma revisão dos condicionantes geológicos e dos métodos de investigação. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, SP, v. 49, n. 1/2, p. 49-72, jan.-dez. 2008.

FERNANDES, M. A. B.; SANTIAGO, M. M. F.; MENDES FILHO, J.; SILVA, C. M. S. V.; FRISCHKORN, H.; DE LIMA, J. O. G. 2006. Análise estatística aplicada em amostras de água subterrânea no município de Caucaia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 14., 2006, Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba, PR: ABAS. 16 p. (CD-ROM).

FRAGA, C. G. 1986. **Introdução ao zoneamento do Sistema Aquífero Serra Geral no Estado do Paraná**. 1986. 125 f. Dissertação (mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

FRASCA, A. A.; LISBÔA, N. A. 1993. Contribuição do sensoriamento remoto na compartimentação morfotectônica e morfoestrutural da Bacia do Paraná, Grupo São Bento, RS e suas relações com as estruturas do embasamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 1993, Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba, PR.: INPE, v. 3, p. 211-220.

FRASCA, A. A. 1996. **Aplicações de sensoriamento remoto e análise de lineamentos em estudos tectônicos na Região de São Francisco de Assis, Porção da Borda Meridional da Bacia do Paraná, RS**. 1996. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

FREITAS, M. A.; MACHADO, J. L. F. 2000. Hydrochemistry of Serra Geral Aquifer In Western Santa Catarina State. In: CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, Fortaleza, CE. **Anais...** Fortaleza, CE, [S. n].

FREITAS, M. A; CAYE, B. R.; MACHADO, J. L. F. 2003. PROESC: **Diagnóstico dos recursos hídricos subterrâneos do oeste do Estado de Santa Catarina** – Projeto Oeste de Santa Catarina. Porto Alegre: CPRM/SDM-SC/SDA-SC/EPAGRI. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/sureg-pa/prodesc/relatorios/TEXTO5O.pdf>>. Acesso em: 28/04/2011.

FREITAS, M. A.; MACHADO, J. L. F. 2005. **Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul**: relatório final. 2005. CPRM, Porto Alegre. 65 p.

FREITAS, M. A.; BINOTTO, R. B.; NANNI, A.S.; RODRIGUES, A. L. M.; BORTOLI, C. R. 2012. Avaliação do potencial hidrogeológico, vulnerabilidade intrínseca e hidroquímica do Sistema Aquífero Serra Geral no noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. 2012. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, RBRH, Porto Alegre, RS, v. 17, n. 2, p. 31-41, 2012.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2003. Mapa Geomorfológico da Folha Chapecó Sg.22–Y-C. Escala: 1:250.000. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas/tematicos/sistematizacao/geomorfologia/sg22yc_geom.pdf. Acesso em: 25/05/2011.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2003. Mapa Geomorfológico da Folha Erechim Sg.22–Y-D. Escala: 1:250.000. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas/tematicos/sistematizacao/geomorfologia/sg22ydzc_geom.pdf. Acesso em: 25/05/2011.

INVERNIZZI, A. L.; OLIVEIRA, S. M. B. 2004. Hydrochemical characterization of a watershed through factor analysis. **Revista Águas Subterrâneas**, ABAS, Curitiba, PR, v. 18, p. 67-77, 2004.

JUSTOS, J. O.; MACHADO, M. L. A.; FRANCO, M. S. M. 1986. Geomorfologia. In: IBGE. 1986. **Levantamento dos recursos naturais**. Rio de Janeiro, RJ: IBGE. v.33, cap. 2, p.313-388.

JUSTO, A. P. 2006. **Sistemas orbitais e aéreos aplicados à análise multi-escala de lineamentos na borda sudeste da Bacia do Parnaíba**. 2006. 115 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN.

KAISER, H. F. 1958. The Varimax Criterion for Analytic Rotation in Factor Analysis. **Psychometrika**, v. 23, n. 3, p. 187–200, 1958.

LANDIM, P. M. B. 2003. **Análise estatística de dados geológicos**. 2.ed. São Paulo, SP: Editora UNESP. 253 p.

LANDIM, P. M. B. 2010. Introdução à análise estatística de dados geológicos multivariados. Rio Claro, SP: UNESP. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 20/11/2011.

LISBÔA, N. A.; SCHUCK, M. T. O.; EICK, N. C.; CARRARO, C. C. 1985. Identificação de uma estrutura tectônica elíptica na Formação Serra Geral (RS), através de imagens do LANDSAT, radar e aerofotos. In: SIMPÓSIO SULBRASILEIRO DE GEOLOGIA. Sociedade Brasileira de Geologia, 2., 1985, Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis, SC.: SBG. p.131 – 145.

LISBÔA, N. A. 1993. Compartimentação hidrogeológica e diferenciação hidrogeoquímica em aquíferos do extremo Sul do Planalto Meridional do Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CONE SUL. 1993, Gramado, RS. **Anais...** Gramado, RS.: ABRH. p. 539-548.

LISBÔA, N. A. 1996. **Fácies, estratificações hidrogeoquímicas e seus controladores geológicos, em unidades hidrogeológicas do Sistema Aquífero Serra Geral, na Bacia do Paraná, Rio Grande do Sul.** 1996. 135 f. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

MACHADO, J. L. F.; FACCINI, U. F. 2004. Influência dos falhamentos regionais na estruturação do Sistema Aquífero Guarani no Estado do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., 2004, Cuiabá, MT. **Anais...** Cuiabá, MT.: ABAS. 14 p. (CD-ROM).

MACHADO, J. L. F. 2005. **Compartimentação espacial e arcabouço hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul.** 2005. 237 f. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Geologia, Área de concentração em Geologia Sedimentar, Unisinos, São Leopoldo, RS.

MÖBUS, G. 1987. **Análise estrutural e hidrogeológica do aquífero fraturado da Formação Serra Geral região noroeste do Rio Grande do Sul.** 1987. 124 f. Dissertação (Mestrado), Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil/Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

MONTAÑO, J.; ROSA FILHO, E. F.; HINDI, E. C.; CICALESE, H.; MONTAÑO, M.; URTASUN, S. G. 2002. Importância de las estructuras geológicas em el modelo conceptual Del Sistema Acuífero Guarani – Área Uruguaya. **Revista Águas Subterráneas**, ABAS, Curitiba, PR, v. 16, p. 111-119, 2002.

MORENO, J. A. 1961. **Clima do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, RS: Secretaria da Agricultura. 42 p.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. 2007. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte, MG: CPRM. 561 p.

NANNI, A. S. 2006. O Flúor em águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul: origem e condicionamento geológico. In: SEMANA ACADÊMICA DOS ALUNOS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS, 1., 2006, Porto Alegre. **Resumos...** Porto Alegre: UFRGS, 2006. p. 101-104.

NANNI, A. S. 2008. **O flúor em águas do Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul: origem e condicionamento geológico**. 2008. 127 f. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

NANNI, A. S.; ROISENBERG, A.; FACHEL, J. M. G.; MESQUITA, G.; DANIELI, C. 2008. Fluoride characterization by principal component analysis in the hydrochemical facies of Serra Geral Aquifer System in Southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, RJ, v. 80, n. 4, p. 693-702. dez. 2008.

NANNI, A. S.; ROISENBERG, A.; MARIMON, M. P. C.; VIERO, A. P. 2009. The hydrochemical facies and anomalous fluoride content in the Serra Geral aquifer system, southern Brazil: a GIS approach with tectonic and principal component analysis. **Environmental Geology**, v. 58, Issue 6, p. 1247-1255. 2009.

NANNI, A. S.; BINOTTO, R. B.; RODRIGUES, A. L. M. 2012. Avaliação da influência das atividades antrópicas na qualidade das águas subterrâneas no noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. 2012. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, RBRH, Porto Alegre, RS, v. 17, n. 2, p. 43-51, 2012.

NEVES, M. A. 2005. **Análise integrada aplicada à exploração de água subterrânea na Bacia do Rio Jundiá (SP)**. 2005. 200 f. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Geologia Regional, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP.

OLIVERA, D. B.; MORENO, R. S.; MIRANDA, D. J.; RIBEIRO, C. S.; SEOANE, J. C. S.; MELO, C. L. 2009. Elaboração de um mapa de lineamento estrutural e densidade de lineamento através de imagem SRTM, em uma área ao Norte do rio Doce, ES. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 25 a 30 abr., 2009, Natal. **Anais...** Natal, RN.: INPE. p. 4157-4163.

PALÁCIO, H.A.Q. 2004. Índice de qualidade das águas na parte baixa da bacia hidrográfica do rio Trussu, Ceará. 2004. 96 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.

PEATE, D. W.; HAWKESWORTH, C. J.; MANTOVANI, M. S. M.; SHUKOWSKI, W. 1989. Mantle plumes and flood-basalt stratigraphy in the Paraná. **South American Geology**. v.18, p. 1223-1226, 1989.

PEATE, D. W.; HAWKESWORTH, C. J.; MANTOVANI, M. S. M. 1992. Chemical stratigraphy of the Paraná lavas (South America): classification of magma types and their spatial distribution. **Bulletin of Volcanology**. v.55, p. 119-139, 1992.

ROISENBERG, A. 1989. **Petrologia e geoquímica do vulcanismo ácido mesozóico da província meridional da Bacia do Paraná**. 1989. 285 f. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

ROISENBERG, A.; VIERO, A. P. 2000. O vulcanismo Mesozóico da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul. In: Holz, M.; De Ros, L. F. 2000. **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, RS: CIGO/UFRGS, Pag. 355-374.

ROSA FILHO, E. F.; HINDI, E. C.; ROSTIROLLA, S. P.; FERREIRA, F. J. F.; BITTENCOURT, A. V. L. 2003. Sistema Aquífero Guarani – Considerações preliminares sobre a influência do Arco de Ponta Grossa no Fluxo das Águas Subterrâneas. **Revista Águas Subterrâneas**, ABAS, Curitiba, PR, v. 17, p. 91-111, 2003.

TAKAHASHI, H. A. 1991. **Caracterização morfoestrutural e hidrogeológica de aquíferos em meio fraturado através de técnicas de sensoriamento remoto e análise estatística, em Setor do Planalto Meridional – RS**. 1991. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil/Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

TAKAHASHI, H. A.; HAERTEL, V.; LISBÔA, N. A. 1993. Caracterização morfoestrutural e hidrogeológica de aquíferos em meio fraturado através de técnicas de sensoriamento remoto e análise estatística em setor do Planalto Meridional, RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 1993, Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba, PR.: INPE. p. 332 – 350.

TOLEDO, L.G.; NICOLELLA, G. 2002. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, SP, v.59, n.1, p.181-186, 2002.

USGS – U. S. Geological Survey. 2000. ***Shuttle Radar Topography Mission***. Washington, NASA-USGS. Disponível em: <<http://srtm.usgs.gov/>>. Acesso em: 03/05/2011.

ANEXOS

ANEXO 1

Dados hidrogeológicos dos poços tubulares do SASG

ID	Município	Latitude	Longitude	Cota (m)	Prof (m)	Q (m³/h)	NE (m)	ND (m)	Δ (m)	Q/Δ (m³/h/m)
1	Alpestre	-27,1853	-53,1119	232,00	38,00	10,00	6,00	10,00	4,00	2,50
2	Alpestre	-27,2486	-53,0283	450,00	70,60	10,78	26,60	29,98	3,38	3,19
3	Ametista do Sul	-27,3292	-53,2436	312,00	220,00	1,10	0,30	75,53	75,23	0,01
4	Ametista do Sul	-27,3247	-53,2050	292,00	228,00	1,60	37,48	155,36	117,88	0,01
5	Ametista do Sul	-27,3744	-53,1792	339,00	174,00	4,00	11,36	56,32	44,96	0,09
6	Ametista do Sul	-27,3936	-53,1839	267,00	138,00	16,00	2,39	62,95	60,56	0,26
7	Ametista do Sul	-27,3831	-53,2342	235,00	84,00	20,00	8,30	10,97	2,67	7,49
8	Aratiba	-27,3922	-52,3011	407,00	55,00	1,70	10,00	23,50	13,50	0,13
9	Aratiba	-27,4697	-52,2606	597,00	150,00	2,70	46,35	74,36	28,01	0,10
10	Aratiba	-27,3956	-52,2969	485,00	120,00	7,83	18,60	100,33	81,73	0,10
11	Aratiba	-27,3936	-52,2969	475,00	108,50	19,57	18,65	92,69	74,04	0,26
12	Aratiba	-27,3933	-52,3028	490,00	92,00	28,13	16,08	27,73	11,65	2,41
13	Aratiba	-27,3950	-52,3028	407,00	92,00	28,13	16,08	27,73	11,65	2,41
14	Aratiba	-27,3986	-52,2983	409,00	72,00	50,00	6,13	25,00	18,87	2,65
15	Aratiba	-27,3961	-52,3025	485,00	118,00	52,80	46,81	54,74	7,93	6,66
16	Aurea	-27,6872	-52,0528	576,00	152,00	3,50	0,30	84,00	83,70	0,04
17	Aurea	-27,6814	-52,0300	592,00	108,00	5,60	1,00	54,00	53,00	0,11
18	Aurea	-27,7086	-52,0819	645,00	108,00	5,62	13,00	92,00	79,00	0,07
19	Aurea	-27,7269	-52,0383	646,00	468,00	7,61	5,00	12,00	7,00	1,09
20	Barão de Cotegipe	-27,6425	-52,3442	735,00	192,00	1,80	8,00	189,00	181,00	0,01
21	Barão de Cotegipe	-27,6247	-52,4475	756,00	54,00	3,00	21,43	28,15	6,72	0,45
22	Barão de Cotegipe	-27,5050	-52,3653	860,00	84,00	3,40	54,00	70,00	16,00	0,21
23	Barão de Cotegipe	-27,5750	-52,4383	766,00	78,00	5,60	21,00	25,00	4,00	1,40
24	Barão de Cotegipe	-27,6178	-52,3747	680,00	69,00	7,20	6,00	42,00	36,00	0,20
25	Barão de Cotegipe	-27,5578	-52,3814	816,00	85,00	8,00	15,00	60,00	45,00	0,18
26	Barão de Cotegipe	-27,6331	-52,3692	683,00	154,00	30,00	5,98	51,05	45,07	0,67
27	Barão de Cotegipe	-27,6278	-52,3731	676,00	108,00	39,13	2,75	21,29	18,54	2,11
28	Barão de Cotegipe	-27,7025	-52,3707	640,00	108,00	56,25	14,13	28,89	14,76	3,81
29	Barra da Guarita	-27,1906	-53,7089	180,00	122,00	52,94	12,28	16,48	4,20	12,60
30	Barra do Rio Azul	-27,4092	-52,4144	380,00	84,00	52,80	6,94	24,98	18,04	2,93
31	Barra do Rio Azul	-27,4092	-52,4122	430,00	84,00	52,80	6,94	24,98	18,04	2,93
32	Barra Funda	-27,9756	-52,9856	463,00	98,00	3,00	28,00	32,00	4,00	0,75
33	Barra Funda	-27,9350	-52,9700	461,00	82,00	18,10	14,00	16,76	2,76	6,56
34	Barra Funda	-27,9375	-53,0064	419,00	125,00	31,89	26,70	31,30	4,60	6,93
35	Barracão	-27,6425	-51,3842	740,00	33,00	2,00	16,00	26,00	10,00	0,20
36	Barracão	-27,6425	-51,3842	747,00	120,00	4,00	7,35	29,68	22,33	0,18
37	Barracão	-27,6033	-51,5203	768,00	78,00	6,90	4,45	48,00	43,55	0,16
38	Barracão	-27,7369	-51,4192	704,00	70,00	13,15	2,93	5,91	2,98	4,41
39	Barracão	-27,6806	-51,4525	740,00	150,00	13,89	2,35	28,42	26,07	0,53
40	Barracão	-27,6758	-51,4611	730,00	110,00	25,71	3,18	60,11	56,93	0,45
41	Barracão	-27,7311	-51,3558	755,00	83,00	34,00	2,50	25,23	22,73	1,50
42	Benjamin Constant do Sul	-27,4950	-52,6158	782,00	133,00	3,00	69,00	83,00	14,00	0,21
43	Boa Vista das Missões	-27,6186	-53,3086	542,00	101,00	2,40	47,00	84,00	37,00	0,06
44	Boa Vista das Missões	-27,7811	-53,3589	624,00	175,00	4,13	50,66	131,63	80,97	0,05

ID	Município	Latitude	Longitude	Cota (m)	Prof (m)	Q (m³/h)	NE (m)	ND (m)	Δ (m)	Q/Δ (m³/h/m)
45	Braga	-27,6131	-53,7389	390,00	81,80	16,51	41,82	45,64	3,82	4,32
46	Braga	-27,6139	-53,7372	405,00	82,00	26,87	37,82	44,18	6,36	4,22
47	Braga	-27,6158	-53,7336	412,00	96,00	49,50	42,51	48,01	5,50	9,00
48	Braga	-27,6158	-53,7369	410,00	84,00	66,00	1,49	15,93	14,44	4,57
49	Cacique Doblê	-27,7750	-51,6392	640,00	168,00	2,67	1,40	130,45	129,05	0,02
50	Cacique Doblê	-27,7856	-51,6497	649,00	60,00	3,70	18,33	42,00	23,67	0,16
51	Cacique Doblê	-27,8583	-51,7183	574,00	56,00	4,40	2,31	32,00	29,69	0,15
52	Cacique Doblê	-27,7767	-51,6589	635,00	162,00	7,09	0,30	96,95	96,65	0,07
53	Cacique Doblê	-27,8803	-51,6858	619,00	44,00	8,00	4,43	19,22	14,79	0,54
54	Campinas do Sul	-27,6906	-52,6583	568,00	120,00	2,55	20,00	101,00	81,00	0,03
55	Campinas do Sul	-27,7053	-52,6247	582,00	116,00	3,20	8,50	85,00	76,50	0,04
56	Campinas do Sul	-27,6878	-52,5836	569,00	127,00	3,50	0,00	44,00	44,00	0,08
57	Campinas do Sul	-27,7386	-52,6356	629,00	84,00	5,80	26,00	78,00	52,00	0,11
58	Campinas do Sul	-27,7200	-52,6092	563,00	192,00	6,43	5,50	66,24	60,74	0,11
59	Campinas do Sul	-27,7078	-52,6008	559,00	115,00	6,50	8,80	70,00	61,20	0,11
60	Campinas do Sul	-27,7144	-52,6239	557,00	154,00	8,78	22,47	121,55	99,08	0,09
61	Campinas do Sul	-27,7133	-52,6281	565,00	102,00	10,00	43,30	90,81	47,51	0,21
62	Campinas do Sul	-27,7256	-52,6254	581,00	144,00	12,63	0,12	121,10	120,98	0,10
63	Campinas do Sul	-27,7014	-52,5778	558,00	107,00	15,00	33,55	43,43	9,88	1,52
64	Campinas do Sul	-27,7183	-52,6231	580,00	68,00	17,56	0,05	10,35	10,30	1,70
65	Campinas do Sul	-27,6925	-52,6031	552,00	84,00	18,59	11,38	24,51	13,13	1,42
66	Campinas do Sul	-27,7278	-52,7092	601,00	86,00	24,00	1,30	31,48	30,18	0,80
67	Campinas do Sul	-27,7517	-52,6072	569,00	90,00	30,00	0,00	5,00	5,00	6,00
68	Campo Novo	-27,6783	-53,8017	400,00	112,00	9,68	11,40	49,28	37,88	0,26
69	Campo Novo	-27,6736	-53,7992	400,00	162,00	12,00	1,80	11,04	9,24	1,30
70	Campo Novo	-27,6253	-53,8008	390,00	132,00	13,00	10,50	14,00	3,50	3,71
71	Campo Novo	-27,6786	-53,8106	395,00	108,00	31,30	13,88	43,25	29,37	1,07
72	Campo Novo	-27,6781	-53,8131	400,00	86,00	40,00	1,36	40,86	39,50	1,01
73	Carlos Gomes	-27,7131	-51,9183	436,00	202,00	2,70	62,00	102,00	40,00	0,07
74	Charrua	-27,9500	-51,9725	567,00	157,00	2,40	28,00	130,00	102,00	0,02
75	Charrua	-27,9086	-51,9872	620,00	276,00	2,60	67,00	235,90	168,90	0,02
76	Charrua	-27,9522	-52,0278	560,00	144,00	4,00	26,45	100,00	73,55	0,05
77	Charrua	-27,9397	-51,9811	586,00	120,00	4,80	12,00	80,00	68,00	0,07
78	Charrua	-27,9767	-51,9992	654,00	166,00	5,20	75,43	111,17	35,74	0,15
79	Charrua	-27,9502	-52,0024	614,00	150,00	6,00	61,68	90,00	28,32	0,21
80	Chiapeta	-27,9226	-53,9340	520,00	150,00	20,00	67,64	85,00	17,36	1,15
81	Chiapeta	-27,9221	-53,9451	500,00	55,00	34,62	21,70	47,68	25,98	1,33
82	Chiapetta	-27,9244	-53,9364	450,00	108,00	40,00	29,43	87,86	58,43	0,68
83	Constantina	-27,7358	-53,0022	480,00	140,00	9,09	84,97	117,37	32,40	0,28
84	Constantina	-27,7094	-53,0272	424,00	125,00	9,50	88,30	99,18	10,88	0,87
85	Constantina	-27,6869	-53,0628	344,00	80,00	24,00	6,40	12,57	6,17	3,89
86	Constantina	-27,7306	-52,9936	445,00	120,00	43,90	75,04	84,38	9,34	4,70
87	Constantina	-27,7289	-53,0033	424,00	102,00	64,29	62,93	63,78	0,85	75,63
88	Coronel Bicaco	-27,7119	-53,7014	420,00	89,00	7,50	12,62	56,21	43,59	0,17
89	Coronel Bicaco	-27,7161	-53,7119	415,00	114,00	11,00	2,45	23,59	21,14	0,52

ID	Município	Latitude	Longitude	Cota (m)	Prof (m)	Q (m³/h)	NE (m)	ND (m)	Δ (m)	Q/Δ (m³/h/m)
90	Coronel Bicaco	-27,8483	-53,5731	524,00	90,00	11,13	34,34	38,58	4,24	2,63
91	Coronel Bicaco	-27,7206	-53,7078	420,00	84,00	20,57	3,95	26,24	22,29	0,92
92	Coronel Bicaco	-27,7133	-53,6964	445,00	114,00	32,73	4,35	45,16	40,81	0,80
93	Coronel Bicaco	-27,7188	-53,7127	390,00	78,00	51,43	2,06	18,17	16,11	3,19
94	Cristal do Sul	-27,4375	-53,2583	347,00	87,00	4,26	14,78	27,10	12,32	0,35
95	Cristal do Sul	-27,4058	-53,2306	267,00	174,00	7,90	12,00	36,84	24,84	0,32
96	Cruzaltense	-27,6169	-52,5633	673,00	258,00	1,00	94,05	121,62	27,57	0,04
97	Cruzaltense	-27,6517	-52,5700	537,00	218,00	1,00	30,00	148,00	118,00	0,01
98	Cruzaltense	-27,5781	-52,6456	505,00	146,00	2,40	37,05	118,07	81,02	0,03
99	Cruzaltense	-27,5858	-52,6444	568,00	216,00	4,00	77,35	156,09	78,74	0,05
100	Cruzaltense	-27,6675	-52,6194	538,00	180,00	5,00	41,55	139,76	98,21	0,05
101	Cruzaltense	-27,6056	-52,7003	604,00	162,00	8,10	17,49	49,60	32,11	0,25
102	Cruzaltense	-27,6683	-52,6469	548,00	156,00	10,00	54,89	62,09	7,20	1,39
103	Cruzaltense	-27,6644	-52,6819	576,00	84,00	21,41	19,95	33,42	13,47	1,59
104	Entre Rios do Sul	-27,4789	-52,7164	366,00	140,00	2,88	33,02	58,60	25,58	0,11
105	Entre Rios do Sul	-27,5789	-52,6961	541,00	49,00	6,00	12,00	12,50	0,50	12,00
106	Entre Rios do Sul	-27,5236	-52,7236	640,00	51,00	6,25	0,00	15,00	15,00	0,42
107	Entre Rios do Sul	-27,5108	-52,7442	582,00	120,00	10,00	31,52	83,69	52,17	0,19
108	Erebango	-27,8550	-52,3020	774,00	98,00	1,13	25,24	45,01	19,77	0,06
109	Erebango	-27,8514	-52,3007	769,00	110,00	13,33	79,71	91,36	11,65	1,14
110	Erechim	-27,6769	-52,2381	677,00	60,00	4,00	18,00	30,00	12,00	0,33
111	Erechim	-27,6586	-52,3256	747,00	100,00	5,00	21,01	38,02	17,01	0,29
112	Erechim	-27,6444	-52,2444	685,00	126,00	5,20	5,20	95,00	89,80	0,06
113	Erechim	-27,6603	-52,3264	724,00	210,00	7,30	15,10	165,00	149,90	0,05
114	Erechim	-27,6286	-52,2708	745,00	106,00	7,60	14,86	38,64	23,78	0,32
115	Erechim	-27,5511	-52,3442	640,00	95,00	7,65	11,06	13,48	2,42	3,16
116	Erechim	-27,6756	-52,2378	665,00	210,00	10,00	8,03	72,00	63,97	0,16
117	Erechim	-27,6239	-52,2758	790,00	114,00	12,00	60,00	105,00	45,00	0,27
118	Erechim	-27,5117	-52,2564	455,00	47,00	13,00	22,00	41,00	19,00	0,68
119	Erechim	-27,5617	-52,2983	549,00	72,00	13,65	17,42	26,00	8,58	1,59
120	Erechim	-27,7636	-52,2514	719,00	84,00	15,00	18,00	23,00	5,00	3,00
121	Erechim	-27,6278	-52,2517	719,00	210,00	30,00	3,98	85,00	81,02	0,37
122	Erechim	-27,7083	-52,2103	649,00	239,27	50,00	31,05	70,00	38,95	1,28
123	Erval Grande	-27,4653	-52,5581	725,00	193,00	1,50	167,00	187,00	20,00	0,08
124	Erval Grande	-27,4067	-52,5239	705,00	104,00	3,50	89,00	90,00	1,00	3,50
125	Erval Grande	-27,3536	-52,5997	724,00	121,00	4,70	7,97	101,00	93,03	0,05
126	Erval Grande	-27,3947	-52,5672	755,00	144,00	35,29	2,70	10,20	7,50	4,71
127	Esmeralda	-27,9072	-51,3008	865,00	37,00	4,00	14,00	15,00	1,00	4,00
128	Estação	-27,9319	-52,3194	739,00	90,00	3,00	15,00	20,00	5,00	0,60
129	Estação	-27,9342	-52,2564	759,00	112,00	3,50	64,00	69,00	5,00	0,70
130	Estação	-27,9192	-52,2594	760,00	152,00	23,29	91,98	103,74	11,76	1,98
131	Estação	-27,9144	-52,2572	744,00	198,00	25,00	71,50	134,00	62,50	0,40
132	Estação	-27,9222	-52,2647	751,00	202,00	30,00	98,63	131,00	32,37	0,93
133	Estação	-27,9194	-52,2528	736,00	112,00	40,00	50,29	71,00	20,71	1,93
134	Estação	-27,9189	-52,2625	740,00	74,00	52,80	33,06	57,15	24,09	2,19

ID	Município	Latitude	Longitude	Cota (m)	Prof (m)	Q (m³/h)	NE (m)	ND (m)	Δ (m)	Q/Δ (m³/h/m)
135	Faxinalzinho	-27,3917	-52,6933	549,00	50,00	7,00	3,00	5,00	2,00	3,50
136	Faxinalzinho	-27,4072	-52,6539	702,00	33,00	10,00	0,00	5,50	5,50	1,82
137	Faxinalzinho	-27,4219	-52,6717	697,00	156,00	21,41	101,31	114,51	13,20	1,62
138	Floriano Peixoto	-27,8850	-52,1275	693,00	104,00	4,28	42,28	57,59	15,31	0,28
139	Floriano Peixoto	-27,8608	-52,0483	478,00	103,00	5,36	19,02	59,04	40,02	0,13
140	Floriano Peixoto	-27,8936	-52,0756	523,00	103,00	34,43	28,46	34,77	6,31	5,46
141	Floriano Peixoto	-27,8508	-51,9994	438,00	78,00	36,90	9,55	14,22	4,67	7,90
142	Frederico Westphalen	-27,3689	-53,4047	505,00	150,00	14,40	114,50	139,75	25,25	0,57
143	Frederico Westphalen	-27,3789	-52,3831	520,00	132,00	37,89	114,40	117,38	2,98	12,72
144	Gaurama	-27,5897	-52,1347	686,00	131,00	8,78	57,80	59,00	1,20	7,32
145	Getúlio Vargas	-27,9144	-52,1875	641,00	40,00	2,50	34,00	35,00	1,00	2,50
146	Getúlio Vargas	-27,9111	-52,1967	678,00	56,00	4,00	45,00	46,00	1,00	4,00
147	Getúlio Vargas	-27,9069	-52,2000	688,00	33,00	6,00	18,00	21,80	3,80	1,58
148	Getúlio Vargas	-27,8775	-52,2228	648,00	96,00	8,80	36,00	40,00	4,00	2,20
149	Getúlio Vargas	-27,9131	-52,2183	644,00	114,00	10,46	11,33	21,00	9,67	1,08
150	Getúlio Vargas	-27,8558	-52,2119	704,00	108,00	13,82	32,17	44,25	12,08	1,14
151	Getúlio Vargas	-27,9006	-52,2169	645,00	140,00	15,00	13,00	40,00	27,00	0,56
152	Getúlio Vargas	-27,9225	-52,4186	630,00	107,00	11,69	51,13	56,77	5,64	2,07
153	Getúlio Vargas	-27,8938	-52,2373	658,00	78,00	20,57	33,12	41,81	8,69	2,37
154	Getúlio Vargas	-27,8972	-52,2399	650,00	120,00	31,68	38,19	70,06	31,87	0,99
155	Getúlio Vargas	-27,9047	-52,4166	627,00	110,00	40,00	18,50	23,05	4,55	8,79
156	Getúlio Vargas	-27,9011	-52,4113	659,00	72,00	45,00	11,24	22,32	11,08	4,06
157	Gramado dos Loureiros	-27,4597	-52,8714	622,00	60,00	8,10	28,72	30,00	1,28	6,33
158	Gramado dos Loureiros	-27,4436	-52,8472	616,00	120,00	10,78	4,81	62,36	57,55	0,19
159	Humaita	-27,5669	-53,98091	400,00	150,00	10,59	80,97	145,32	64,35	0,16
160	Humaita	-27,5618	-53,95617	405,00	132,00	22,50	27,66	82,62	54,96	0,41
161	Ibirapuita	-27,7325	-52,5350	597,00	145,00	7,50	11,00	32,30	21,30	0,35
162	Ipiranga do Sul	-27,9664	-52,3550	701,00	120,00	3,00	59,09	90,00	30,91	0,10
163	Ipiranga do Sul	-27,8897	-52,3856	660,00	63,00	15,20	19,78	47,00	27,22	0,56
164	Ipiranga do Sul	-27,9589	-52,4150	662,00	78,00	19,40	43,98	50,50	6,52	2,98
165	Ipiranga do Sul	-27,9631	-52,3958	638,00	124,00	22,63	1,08	101,73	100,65	0,22
166	Ipiranga do Sul	-27,9339	-52,4239	634,00	124,00	22,63	1,08	101,73	100,65	0,22
167	Ipiranga do Sul	-27,9400	-52,4200	643,00	60,00	41,68	6,38	34,24	27,86	1,50
168	Ipiranga do Sul	-27,9400	-52,4200	643,00	60,00	41,68	6,38	34,24	27,86	1,50
169	Iraí	-27,2669	-53,2022	283,00	234,00	3,70	2,50	131,58	129,08	0,03
170	Iraí	-27,2367	-53,2994	209,00	102,00	6,60	7,02	73,95	66,93	0,10
171	Iraí	-27,3175	-53,2583	227,00	214,00	8,25	0,00	109,90	109,90	0,08
172	Iraí	-27,2703	-53,2744	277,00	60,00	12,10	35,40	40,00	4,60	2,63
173	Iraí	-27,2356	-53,2706	241,00	172,00	16,85	4,75	35,20	30,45	0,55
174	Iraí	-27,2822	-53,2642	310,00	101,00	19,30	20,18	21,84	1,66	11,63
175	Itatiba do Sul	-27,3206	-52,4392	452,00	120,00	3,80	4,66	30,00	25,34	0,15
176	Jacutinga	-27,7661	-52,4967	647,00	100,00	3,00	83,52	92,00	8,48	0,35
177	Jacutinga	-27,7264	-52,5456	548,00	60,00	15,00	17,00	19,00	2,00	7,50
178	Jacutinga	-27,7314	-52,5333	555,00	98,00	54,54	7,45	13,50	6,05	9,01
179	Jacutinga	-27,7325	-52,5297	550,00	104,00	90,00	6,61	10,30	3,69	24,39

ID	Município	Latitude	Longitude	Cota (m)	Prof (m)	Q (m³/h)	NE (m)	ND (m)	Δ (m)	Q/Δ (m³/h/m)
180	Lagoa Vermelha	-27,9492	-51,3864	845,00	60,00	35,60	16,38	31,67	15,29	2,33
181	Lajeado do Bugre	-27,6847	-53,1820	378,00	150,00	6,39	16,50	115,11	98,61	0,06
182	Liberato Salzano	-27,6472	-53,0858	314,00	172,00	2,47	8,70	119,75	111,05	0,02
183	Liberato Salzano	-27,4992	-53,0358	440,00	102,00	2,70	18,53	52,90	34,37	0,08
184	Liberato Salzano	-27,5906	-52,9967	375,00	89,00	3,40	4,25	70,00	65,75	0,05
185	Liberato Salzano	-27,5003	-53,1000	334,00	166,00	6,60	29,16	74,69	45,53	0,14
186	Liberato Salzano	-27,6000	-53,0700	341,00	144,00	12,41	31,45	39,66	8,21	1,51
187	Liberato Salzano	-27,5997	-53,0661	318,00	78,00	18,00	19,12	65,44	46,32	0,39
188	Liberato Salzano	-27,4889	-53,0586	392,00	80,00	18,80	25,12	37,00	11,88	1,58
189	Liberato Salzano	-27,5981	-53,0733	329,00	150,00	32,73	27,45	49,93	22,48	1,46
190	Liberato Salzano	-27,5964	-53,0761	328,00	100,00	41,86	4,58	30,62	26,04	1,61
191	Machadinho	-27,5753	-51,6703	711,00	126,00	7,20	1,70	41,00	39,30	0,18
192	Machadinho	-27,5661	-51,6678	770,00	126,00	11,25	1,70	62,42	60,72	0,19
193	Machadinho	-27,6022	-51,7292	587,00	88,00	15,20	3,20	24,00	20,80	0,73
194	Machadinho	-27,6214	-51,6428	466,00	52,00	16,50	0,88	9,00	8,12	2,03
195	Marcelino Ramos	-27,4803	-51,9869	465,00	135,00	4,30	14,00	40,00	26,00	0,17
196	Marcelino Ramos	-27,4608	-51,9197	395,00	126,00	9,73	46,24	52,38	6,14	1,58
197	Marcelino Ramos	-27,4619	-51,9094	380,00	61,00	10,00	15,00	30,00	15,00	0,67
198	Marcelino Ramos	-27,5008	-51,9033	495,00	144,00	12,57	32,84	40,07	7,23	1,74
199	Marcelino Ramos	-27,5247	-51,9328	617,00	72,00	16,10	1,99	13,11	11,12	1,45
200	Marcelino Ramos	-27,4606	-51,9050	380,00	90,00	23,23	6,75	8,48	1,73	13,43
201	Marcelino Ramos	-27,4661	-51,9014	370,00	68,00	32,73	8,47	15,77	7,30	4,48
202	Mariano Moro	-27,3503	-52,1453	466,00	90,00	1,15	2,27	60,47	58,20	0,02
203	Mariano Moro	-27,3567	-52,1453	469,00	90,00	15,23	18,90	48,99	30,09	0,51
204	Mariano Moro	-27,3544	-52,1492	472,00	60,00	21,69	11,65	52,08	40,43	0,54
205	Maximiliano de Almeida	-27,5844	-51,7772	578,00	142,00	3,40	3,26	100,00	96,74	0,04
206	Maximiliano de Almeida	-27,6250	-51,8008	467,00	47,00	7,40	7,01	14,00	6,99	1,06
207	Maximiliano de Almeida	-27,6558	-51,7847	556,00	96,00	9,70	1,92	70,00	68,08	0,14
208	Miraguai	-27,4969	-53,68957	440,00	206,00	11,54	178,79	180,99	2,20	5,25
209	Miraguai	-27,5106	-53,69173	440,00	150,00	14,52	106,40	117,77	11,37	1,28
210	Miraguai	-27,507	-53,67849	505,00	144,00	15,13	108,90	115,62	6,72	2,25
211	Nonoai	-27,3561	-52,7444	567,00	110,00	2,30	13,98	35,00	21,02	0,11
212	Nonoai	-27,4667	-52,7922	594,00	100,00	2,88	12,20	90,00	77,80	0,04
213	Nonoai	-27,3806	-52,7579	589,00	156,00	12,77	22,45	88,65	66,20	0,19
214	Nonoai	-27,3700	-52,7778	560,00	77,00	18,86	4,75	16,91	12,16	1,55
215	Nonoai	-27,3700	-52,7742	584,00	56,00	26,86	8,92	35,76	26,84	1,00
216	Nonoai	-27,3578	-52,7775	560,00	114,00	38,30	2,59	34,52	31,93	1,20
217	Nonoai	-27,3769	-52,7603	590,00	54,00	54,54	6,09	41,01	34,92	1,56
218	Nonoai	-27,3769	-52,7603	590,00	54,00	54,54	6,09	41,01	34,92	1,56
219	Nonoai	-27,3538	-52,7854	562,00	94,00	56,50	6,94	33,70	26,76	2,11
220	Nonoai	-27,3536	-52,7853	562,00	94,00	56,50	6,94	33,70	26,76	2,11
221	Nova Boa Vista	-27,9869	-52,9397	493,00	152,00	12,30	124,60	142,00	17,40	0,71
222	Paim Filho	-27,7181	-51,7631	563,00	192,00	3,20	3,64	128,77	125,13	0,03
223	Paim Filho	-27,7094	-51,8547	464,00	102,00	6,00	14,33	25,29	10,96	0,55
224	Paim Filho	-27,7053	-51,8675	444,00	96,00	8,00	13,00	65,00	52,00	0,15

ID	Município	Latitude	Longitude	Cota (m)	Prof (m)	Q (m³/h)	NE (m)	ND (m)	Δ (m)	Q/Δ (m³/h/m)
225	Paim Filho	-27,7597	-51,7358	572,00	108,00	8,70	2,97	79,77	76,80	0,11
226	Paim Filho	-27,7400	-51,7125	562,00	85,00	9,00	4,00	22,00	18,00	0,50
227	Paim Filho	-27,7061	-51,7611	568,00	84,00	15,00	18,00	36,00	18,00	0,83
228	Paim Filho	-27,7092	-51,8547	444,00	105,00	16,00	22,00	68,00	46,00	0,35
229	Paim Filho	-27,7128	-51,7608	630,00	70,00	24,39	32,00	43,79	11,79	2,07
230	Palmeira das Missões	-27,8511	-53,2683	578,00	121,00	17,60	49,00	62,70	13,70	1,28
231	Palmeira das Missões	-27,9075	-53,2956	560,00	117,00	11,00	0,36	38,96	38,60	0,28
232	Palmitinho	-27,3567	-53,5522	505,00	204,00	1,45	105,51	147,11	41,60	0,03
233	Palmitinho	-27,3508	-53,5642	460,00	168,00	5,37	88,48	125,64	37,16	0,14
234	Palmitinho	-27,3489	-53,5664	450,00	204,00	5,45	50,66	182,18	131,52	0,04
235	Paulo Bento	-27,6825	-52,4008	598,00	120,00	27,40	5,61	12,24	6,63	4,13
236	Pinhal da Serra	-27,9253	-51,1831	940,00	186,00	1,89	4,67	68,69	64,02	0,03
237	Pinhal da Serra	-27,8814	-51,2294	926,00	84,00	3,00	4,20	43,87	39,67	0,08
238	Pinhal da Serra	-27,8172	-51,2175	897,00	108,00	7,40	4,36	52,79	48,43	0,15
239	Pinhal da Serra	-27,8950	-51,1378	936,00	90,00	8,80	1,50	15,54	14,04	0,63
240	Pinhal da Serra	-27,8617	-51,1603	909,00	84,00	12,41	3,51	24,53	21,02	0,59
241	Pinhal da Serra	-27,7994	-51,2603	824,00	60,00	14,00	3,45	23,93	20,48	0,68
242	Pontão	-27,9864	-52,6053	653,00	198,00	11,10	61,23	71,13	9,90	1,12
243	Pontão	-27,9889	-52,7372	633,00	120,00	29,29	27,38	52,28	24,90	1,18
244	Ponte preta	-27,6444	-52,5228	650,00	339,00	18,00	120,00	123,00	3,00	6,00
245	Quatro Irmãos	-27,7878	-52,4217	689,00	178,00	13,00	63,28	99,67	36,39	0,36
246	Quatro Irmãos	-27,8281	-52,4453	678,00	118,00	30,00	48,76	65,88	17,12	1,75
247	Redentora	-27,5314	-53,5956	410,00	132,00	8,12	105,24	109,33	4,09	1,99
248	Redentora	-27,6655	-53,64722	475,00	138,00	16,22	14,67	107,06	92,39	0,18
249	Redentora	-27,6511	-53,64855	460,00	126,00	19,46	65,18	88,94	23,76	0,82
250	Rondinha	-27,7936	-52,9750	411,00	154,00	1,50	55,68	79,21	23,53	0,06
251	Rondinha	-27,8272	-52,9072	436,00	107,00	3,52	18,39	78,90	60,51	0,06
252	Rondinha	-27,8078	-52,9897	377,00	124,00	4,40	3,70	49,00	45,30	0,10
253	Rondinha	-27,8039	-52,9150	421,00	83,00	4,80	34,23	68,00	33,77	0,14
254	Rondinha	-27,8678	-52,9142	345,00	300,00	5,35	189,00	210,00	21,00	0,25
255	Rondinha	-27,8153	-52,8450	547,00	172,00	6,09	51,10	110,48	59,38	0,10
256	Rondinha	-27,7828	-52,9372	503,00	65,00	8,00	33,50	38,00	4,50	1,78
257	Rondinha	-27,8344	-52,8472	508,00	94,00	9,00	6,63	12,00	5,37	1,68
258	Rondinha	-27,8589	-52,8967	534,00	262,00	12,00	42,70	139,30	96,60	0,12
259	Rondinha	-27,8161	-52,9144	417,00	60,00	33,50	4,14	10,01	5,87	5,71
260	Rondinha	-27,8314	-52,9089	470,00	95,00	39,60	1,26	27,69	26,43	1,50
261	Sananduva	-27,8956	-51,7547	597,00	66,00	3,00	2,00	58,00	56,00	0,05
262	Sananduva	-27,8758	-51,8986	433,00	44,00	6,40	12,00	13,60	1,60	4,00
263	Sananduva	-27,9558	-51,8094	620,00	142,00	8,07	31,79	105,51	73,72	0,11
264	Sananduva	-27,9607	-51,80611	640,00	125,00	9,37	51,49	85,72	34,23	0,27
265	Sananduva	-27,9031	-51,8797	473,00	126,00	13,10	7,03	28,68	21,65	0,61
266	Santo Augusto	-27,8658	-53,7808	475,00	76,00	6,21	32,95	67,76	34,81	0,18
267	Santo Augusto	-27,8728	-53,7889	450,00	138,00	7,38	3,85	130,44	126,59	0,06
268	Santo Augusto	-27,8458	-53,7794	500,00	174,00	7,93	28,95	128,04	99,09	0,08
269	Santo Augusto	-27,8514	-53,7731	520,00	114,00	10,00	36,47	38,51	2,04	4,90

ID	Município	Latitude	Longitude	Cota (m)	Prof (m)	Q (m³/h)	NE (m)	ND (m)	Δ (m)	Q/Δ (m³/h/m)
270	Santo Augusto	-27,8483	-53,7836	476,00	150,00	15,00	21,62	60,00	38,38	0,39
271	Santo Augusto	-27,8578	-53,7817	500,00	162,00	17,65	39,02	88,68	49,66	0,36
272	Santo Augusto	-27,8453	-53,7872	480,00	156,00	18,56	20,22	85,52	65,30	0,28
273	Santo Augusto	-27,8386	-53,7694	465,00	171,00	21,18	5,51	11,30	5,79	3,66
274	Santo Augusto	-27,8639	-53,7750	510,00	100,00	24,00	61,13	80,27	19,14	1,25
275	Santo Augusto	-27,8489	-53,7806	480,00	60,00	26,40	4,10	7,30	3,20	8,25
276	Santo Augusto	-27,8561	-53,7744	520,00	88,00	27,31	1,00	7,70	6,70	4,08
277	Santo Augusto	-27,8661	-53,7808	475,00	61,00	31,03	33,40	37,81	4,41	7,04
278	Santo Augusto	-27,8422	-53,7739	502,00	154,00	33,00	19,64	46,44	26,80	1,23
279	Santo Augusto	-27,8753	-53,7708	510,00	150,00	41,68	60,02	64,53	4,51	9,24
280	Santo Augusto	-27,8686	-53,7853	455,00	161,00	69,23	13,00	34,99	21,99	3,15
281	Santo Expedito do Sul	-27,9336	-51,6378	634,00	150,00	3,50	13,84	16,34	2,50	1,40
282	Santo Expedito do Sul	-27,9056	-51,6400	614,00	118,00	4,00	0,00	90,00	90,00	0,04
283	Santo Expedito do Sul	-27,9528	-51,6517	760,00	120,00	4,04	5,00	41,00	36,00	0,11
284	Santo Expedito do Sul	-27,8850	-51,6769	658,00	114,00	5,90	12,22	49,30	37,08	0,16
285	Santo Expedito do Sul	-27,9542	-51,6675	613,00	42,00	9,40	4,50	7,93	3,43	2,74
286	Santo Expedito do Sul	-27,9542	-51,6675	615,00	66,00	10,10	8,95	26,00	17,05	0,59
287	Santo Expedito do Sul	-27,9656	-51,6739	615,00	62,00	14,40	9,58	13,00	3,42	4,21
288	Santo Expedito do Sul	-27,9581	-51,7033	579,00	36,00	34,40	2,50	23,00	20,50	1,68
289	Sao João da Urtiga	-27,8217	-51,8253	767,00	186,00	10,28	52,00	114,00	62,00	0,17
290	Sao João da Urtiga	-27,8158	-51,8319	773,00	130,00	14,30	108,00	110,00	2,00	7,15
291	Sao João da Urtiga	-27,7497	-51,8956	433,00	78,00	36,90	6,73	13,82	7,09	5,20
292	Sao João da Urtiga	-27,7839	-51,7803	575,00	138,00	38,00	2,45	73,53	71,08	0,53
293	Sao José do Ouro	-27,7314	-51,6194	673,00	29,00	3,00	5,00	19,00	14,00	0,21
294	Sao José do Ouro	-27,7475	-51,6119	631,00	150,00	3,30	0,36	37,25	36,89	0,09
295	Sao José do Ouro	-27,7475	-51,6119	691,00	116,00	8,90	4,60	90,00	85,40	0,10
296	Sao José do Ouro	-27,7800	-51,5831	771,00	138,00	10,10	49,66	114,73	65,07	0,16
297	Sao José do Ouro	-27,7194	-51,5733	762,00	72,00	12,00	32,14	59,00	26,86	0,45
298	Sao José do Ouro	-27,7775	-51,6033	800,00	118,00	1,00	10,93	99,90	88,97	0,01
299	Sao José do Ouro	-27,7805	-51,6138	720,00	94,00	21,18	1,88	37,12	35,24	0,60
300	Sao Valentim	-27,5581	-52,5367	760,00	152,00	1,27	69,65	101,80	32,15	0,04
301	Sarandi	-27,9508	-52,9011	477,00	151,00	7,00	4,50	10,00	5,50	1,27
302	Sarandi	-27,9653	-52,9097	574,00	102,00	8,98	76,45	85,59	9,14	0,98
303	Sarandi	-27,9450	-52,9300	490,00	144,00	18,86	34,11	118,52	84,41	0,22
304	Sarandi	-27,9225	-52,9328	450,00	102,00	40,91	2,88	67,48	64,60	0,63
305	Sarandi	-27,9275	-52,9275	464,00	110,00	60,92	26,60	38,00	11,40	5,34
306	Sarandi	-27,9261	-52,9300	460,00	70,00	78,26	3,98	35,18	31,20	2,51
307	Sarandi	-27,8089	-53,0344	362,00	115,00	3,00	50,00	65,00	15,00	0,20
308	Sarandi	-27,9267	-52,8808	587,00	95,00	3,00	40,00	55,00	15,00	0,20
309	Sarandi	-27,9544	-52,9469	504,00	88,00	3,50	43,00	88,00	45,00	0,08
310	Sarandi	-27,9881	-52,9069	584,00	59,00	4,50	17,00	18,00	1,00	4,50
311	Seberi	-27,4883	-53,3986	515,00	200,00	5,68	113,17	164,71	51,54	0,11
312	Seberi	-27,4803	-53,4025	545,00	109,00	6,02	21,20	63,21	42,01	0,14
313	Seberi	-27,4897	-53,3994	500,00	117,00	8,78	93,70	103,87	10,17	0,86
314	Seberi	-27,4886	-53,3986	515,00	115,00	11,82	94,34	104,98	10,64	1,11

ID	Município	Latitude	Longitude	Cota (m)	Prof (m)	Q (m³/h)	NE (m)	ND (m)	Δ (m)	Q/Δ (m³/h/m)
315	Seberi	-27,4889	-53,4081	474,00	130,00	15,23	64,00	73,28	9,28	1,64
316	Seberi	-27,4836	-53,3972	540,00	54,00	15,39	19,04	31,63	12,59	1,22
317	Seberi	-27,4808	-53,4064	510,00	144,00	16,07	20,76	96,77	76,01	0,21
318	Sede Nova	-27,6175	-53,9728	397,00	140,00	4,50	14,99	107,40	92,41	0,05
319	Sede Nova	-27,6636	-53,9553	337,00	114,00	9,00	50,00	100,00	50,00	0,18
320	Sede Nova	-27,6217	-53,9219	394,00	69,00	10,00	12,37	56,00	43,63	0,23
321	Sede Nova	-27,6222	-53,9819	354,00	53,00	14,00	0,00	42,00	42,00	0,33
322	Sede Nova	-27,6517	-53,9083	429,00	78,00	19,00	4,74	15,11	10,37	1,83
323	Sertão	-27,9758	-52,3072	662,00	118,00	2,50	21,00	80,00	59,00	0,04
324	Sertão	-27,9947	-52,3753	660,00	100,00	4,00	59,00	60,00	1,00	4,00
325	Sertão	-27,9919	-52,2283	707,00	58,00	5,00	25,00	28,00	3,00	1,67
326	Sertão	-27,9914	-52,4278	633,00	102,00	7,00	20,00	30,00	10,00	0,70
327	Severiano de Almeida	-27,4330	-52,1146	449,00	137,00	5,85	11,95	28,66	16,71	0,35
328	Severiano de Almeida	-27,4378	-52,1364	488,00	60,00	6,00	7,00	35,00	28,00	0,21
329	Severiano de Almeida	-27,4308	-52,1778	561,00	36,00	6,00	14,00	28,00	14,00	0,43
330	Severiano de Almeida	-27,3906	-52,1017	419,00	106,00	7,00	5,50	10,00	4,50	1,56
331	Severiano de Almeida	-27,4286	-52,1661	552,00	60,00	8,00	27,00	50,00	23,00	0,35
332	Severiano de Almeida	-27,4303	-52,1183	451,00	150,00	10,00	69,00	70,00	1,00	10,00
333	Severiano de Almeida	-27,4092	-52,1889	564,00	84,00	16,20	20,00	22,00	2,00	8,10
334	Severiano de Almeida	-27,4300	-52,1158	447,00	105,00	16,82	5,74	64,78	59,04	0,28
335	Severiano de Almeida	-27,4302	-52,1158	447,00	105,00	16,82	5,74	64,78	59,04	0,28
336	Severiano de Almeida	-27,4403	-52,1244	480,00	146,00	17,48	29,86	135,17	105,31	0,17
337	Severiano de Almeida	-27,4658	-52,1189	497,00	60,00	18,00	10,00	40,00	30,00	0,60
338	Severiano de Almeida	-27,4558	-52,1625	572,00	109,00	21,00	0,80	8,60	7,80	2,69
339	Severiano de Almeida	-27,4819	-52,0614	456,00	72,00	24,00	14,00	20,00	6,00	4,00
340	Severiano de Almeida	-27,4308	-52,1214	454,00	150,00	36,74	16,64	111,33	94,69	0,39
341	Tapejara	-27,9997	-52,0383	630,00	107,00	2,00	59,64	74,00	14,36	0,14
342	Tapejara	-27,9839	-52,0839	520,00	124,00	4,10	3,43	78,50	75,07	0,05
343	Taquarucu do Sul	-27,4261	-53,4675	386,00	82,00	22,00	8,00	12,00	4,00	5,50
344	Tenente Portela	-27,3458	-53,8075	450,00	47,00	6,00	12,00	35,00	23,00	0,26
345	Tenente Portela	-27,3669	-53,7447	429,00	130,00	10,78	96,15	98,69	2,54	4,24
346	Tenente Portela	-27,4414	-53,7169	465,00	145,00	11,31	30,00	32,50	2,50	4,52
347	Tenente Portela	-27,3756	-53,7594	440,00	150,00	11,82	9,91	86,68	76,77	0,15
348	Tenente Portela	-27,3708	-53,7631	440,00	192,00	12,00	135,69	136,58	0,89	13,48
349	Tenente Portela	-27,3297	-53,8925	194,00	178,00	13,20	5,50	75,00	69,50	0,19
350	Tenente Portela	-27,3794	-53,7696	420,00	94,00	14,12	87,56	91,24	3,68	3,84
351	Tenente Portela	-27,3721	-53,78015	480,00	143,00	14,67	23,42	128,52	105,10	0,14
352	Tenente Portela	-27,3608	-53,7536	438,00	174,00	15,00	114,45	154,51	40,06	0,37
353	Tenente Portela	-27,3886	-53,8808	203,00	112,00	16,10	5,03	25,88	20,85	0,77
354	Tenente Portela	-27,3706	-53,7517	452,00	180,00	20,00	125,65	135,00	9,35	2,14
355	Tenente Portela	-27,3625	-53,76066	470,00	98,00	21,35	23,77	75,49	51,72	0,41
356	Tenente Portela	-27,3639	-53,7667	466,00	67,00	23,29	25,82	36,24	10,42	2,24
357	Três Arroios	-27,4400	-52,2033	491,00	108,00	0,01	30,00	32,00	2,00	0,01
358	Três Arroios	-27,5225	-52,1658	623,00	240,00	3,00	50,00	210,00	160,00	0,02
359	Três Arroios	-27,4953	-52,1539	540,00	300,00	7,00	10,00	180,00	170,00	0,04

ID	Município	Latitude	Longitude	Cota (m)	Prof (m)	Q (m³/h)	NE (m)	ND (m)	Δ (m)	Q/Δ (m³/h/m)
360	Três Arroios	-27,5042	-52,1539	550,00	48,00	10,00	13,00	17,00	4,00	2,50
361	Três Arroios	-27,4972	-52,1500	539,00	160,00	10,00	3,00	60,00	57,00	0,18
362	Três Arroios	-27,5414	-52,2061	789,00	137,00	22,00	56,00	100,00	44,00	0,50
363	Três Arroios	-27,4908	-52,1772	553,00	60,00	25,00	10,00	40,00	30,00	0,83
364	Três Arroios	-27,5000	-52,1456	551,00	232,00	44,00	15,00	80,00	65,00	0,68
365	Três Palmeiras	-27,6000	-52,8783	506,00	72,00	15,00	18,00	60,00	42,00	0,36
366	Trindade do Sul	-27,4914	-52,9042	645,00	96,00	4,00	24,00	72,00	48,00	0,08
367	Trindade do Sul	-27,4783	-52,8861	596,00	43,00	8,00	5,00	8,00	3,00	2,67
368	Trindade do Sul	-27,4767	-52,9258	511,00	66,00	8,30	18,68	19,42	0,74	11,22
369	Trindade do Sul	-27,5186	-52,8925	639,00	144,00	14,40	21,06	96,30	75,24	0,19
370	Trindade do Sul	-27,4825	-52,9944	388,00	120,00	16,16	11,04	60,42	49,38	0,33
371	Trindade do Sul	-27,5386	-52,9603	436,00	54,00	16,80	11,99	25,00	13,01	1,29
372	Trindade do Sul	-27,5056	-52,9794	440,00	120,00	18,80	24,25	35,03	10,78	1,74
373	Trindade do Sul	-27,5181	-53,0217	382,00	96,00	19,80	6,57	45,37	38,80	0,51
374	Tupanci do Sul	-27,9486	-51,5972	714,00	162,00	4,00	11,44	90,00	78,56	0,05
375	Tupanci do Sul	-27,8997	-51,5747	761,00	70,00	9,20	8,41	30,02	21,61	0,43
376	Tupanci do Sul	-27,9606	-51,5444	811,00	78,00	30,80	34,41	48,93	14,52	2,12
377	Viadutos	-27,5411	-52,0078	481,00	130,00	2,88	4,00	60,00	56,00	0,05
378	Viadutos	-27,5208	-52,0439	527,00	130,00	4,24	5,00	7,00	2,00	2,12
379	Viadutos	-27,6314	-51,9350	424,00	100,00	10,00	6,00	11,30	5,30	1,89
380	Viadutos	-27,5192	-51,9733	432,00	70,00	25,00	5,00	28,00	23,00	1,09
381	Vicente Dutra	-27,1786	-53,4000	240,00	48,00	17,22	1,04	40,74	39,70	0,43
382	Vicente Dutra	-27,1644	-53,4072	215,00	150,00	4,00	10,71	110,00	99,29	0,04
383	Vicente Dutra	-27,1642	-53,4186	235,00	90,00	15,00	0,00	83,00	83,00	0,18

Legenda:

Prof: Profundidade do poço tubular;

Q: Vazão;

NE: Nível estático;

ND: Nível Dinâmico;

Δ: Rebaixamento;

Q/Δ: Capacidade específica.

ANEXO 2

Dados hidrogeoquímicos dos poços tubulares do SASG

ID	Município	Latitude	Longitude	pH	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Na (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	Cl (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)	CO ₃ (mg/l)	F (mg/l)	Fe (mg/l)	Dureza (mg/l)	STD (mg/l)	Fácies
1	Aratiba	-27,3956	-52,2969	8,2	6,10	1,00	20,00	47,00	13,50	10,00	157,40	1,21	0,70	0,90	75,00	138,10	1
2	Aratiba	-27,3936	-52,2969	9,3	0,70	1,00	2,80	74,00	1,20	5,00	115,90	27,60	0,00	2,30	9,00	240,90	2
3	Aratiba	-27,3933	-52,3028	9,6	0,20	0,40	2,00	80,00	34,90	13,00	73,20	38,40	1,20	0,70	5,00	270,00	3
4	Aratiba	-27,3963	-52,3025	9,8	0,50	0,20	1,20	81,00	45,70	2,00	90,30	24,00	1,20	0,10	5,00	262,70	3
5	Aratiba	-27,3450	-52,2391	7,4	1,75	0,00	12,50	93,00	76,00	32,20	144,82	0,18	1,34	0,11	38,00	2,56	4
6	Áurea	-27,7271	-52,0382	6,8	4,88	0,50	15,12	8,00	4,00	6,13	76,38	0,02	0,19	2,45	58,70	78,00	2
7	Áurea	-27,6816	-52,0301	8,3	0,57	1,00	11,73	27,00	8,00	10,88	78,10	0,77	0,23	0,29	31,28	98,20	5
8	Barão de Cotegipe	-27,7025	-52,3707	7,1	9,50	0,70	24,40	7,00	7,20	8,00	131,80	0,08	0,30	0,10	101,00	254,80	1
9	Barão de Cotegipe	-27,6178	-52,3748	6,6	1,82	0,50	17,52	24,00	0,00	9,28	103,33	0,02	0,19	0,00	51,55	98,20	5
10	Barra do Guarita	-27,1906	-53,7089	8,4	0,40	0,00	12,00	43,00	0,00	2,00	121,00	6,00	0,00	0,00	33,00	187,00	3
11	Barra do Rio Azul	-27,4092	-52,4144	8,4	8,60	0,90	38,20	10,00	6,90	5,00	152,00	4,00	0,20	0,00	132,00	151,20	1
12	Barracão	-27,6758	-51,4611	6,9	1,70	0,80	12,80	17,00	0,90	2,00	90,30	0,04	0,30	0,70	38,00	126,30	5
13	Bom Progresso	-27,5430	-53,8602	7,1	4,00	0,80	11,00	4,00	12,00	1,00	52,00	0,03	0,10	0,00	44,00	101,70	5
14	Braga	-27,6158	-53,7336	8,1	4,60	0,70	16,00	16,00	1,20	4,00	114,70	0,70	0,30	0,20	58,00	139,30	1
15	Braga	-27,6158	-53,7369	6,6	5,00	3,10	14,20	3,00	2,50	1,00	78,10	0,02	0,20	3,90	56,00	129,60	2
16	Campinas do Sul	-27,7144	-52,6239	7,4	4,60	0,70	16,80	20,00	1,60	1,00	109,80	0,14	0,30	0,10	60,00	159,60	1
17	Campinas do sul	-27,7133	-52,6281	7,3	5,60	1,00	30,50	8,00	7,50	2,00	140,30	2,00	0,10	0,10	95,00	152,50	1
18	Campinas do sul	-27,7183	-52,6231	6,1	2,40	0,00	8,00	2,00	0,90	1,70	30,50	0,00	0,00	0,90	39,00	51,20	5
19	Campinas do Sul	-27,7200	-52,6092	6,9	6,50	1,70	10,80	12,00	1,20	4,00	92,70	0,04	0,20	0,30	54,00	105,30	5
20	Campo Novo	-27,6738	-53,7992	7,9	0,20	0,30	2,00	71,00	1,80	5,00	133,00	8,40	0,00	0,30	7,00	207,10	3
21	Campo Novo	-27,6789	-53,8106	7,9	2,20	0,10	8,00	17,00	0,20	2,00	84,20	0,33	0,00	0,40	30,00	104,00	5
22	Charrua	-27,9525	-52,0277	8,5	0,70	0,20	7,00	28,00	1,40	0,00	93,42	1,46	0,30	0,10	21,00	126,00	3
23	Charrua	-27,9502	-51,9726	6,3	4,70	1,50	14,85	12,00	14,73	12,13	74,36	0,01	0,19	0,06	57,25	55,00	5
24	Chiapeta	-27,9226	-53,9340	9,8	0,20	0,40	0,80	79,00	1,10	1,00	68,00	76,00	0,10	0,00	3,00	270,00	3
25	Chiapetta	-27,9244	-53,9364	7,6	1,20	0,70	7,20	28,00	0,70	3,00	98,80	0,19	0,00	0,00	23,00	140,90	5
26	Constantina	-27,7358	-53,0022	8,6	1,50	0,20	3,20	25,00	2,20	4,00	72,00	3,60	0,30	0,10	13,00	170,30	3
27	Constantina	-27,7306	-52,9936	9,5	0,20	0,10	0,00	49,00	1,10	3,00	40,30	31,20	0,00	0,10	1,00	162,30	3

ID	Município	Latitude	Longitude	pH	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Na (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	Cl (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)	CO ₃ (mg/l)	F (mg/l)	Fe (mg/l)	Dureza (mg/l)	STD (mg/l)	Fácies
28	Coronel Bicaco	-27,7206	-53,7078	7,9	3,90	0,50	15,20	17,00	7,60	3,00	108,60	0,42	0,00	0,20	55,00	122,40	5
29	Coronel Bicaco	-27,7188	-53,7127	6,7	3,40	0,50	7,00	20,00	4,40	3,00	85,40	0,02	0,30	0,10	31,00	118,90	5
30	Coronel Bicaco	-27,7119	-53,7014	8,2	1,90	1,00	8,40	30,00	4,00	2,00	102,50	0,79	0,10	0,30	27,00	116,00	5
31	Coronel Bicaco	-27,7133	-53,6964	7,2	2,70	0,50	6,40	2,00	0,50	3,00	36,60	0,03	0,00	0,10	26,00	52,90	5
32	Derrubadas	-27,2706	-53,8738	9,8	0,40	0,00	0,60	46,00	0,00	0,00	45,00	38,00	0,20	0,00	3,00	150,00	3
33	Entre Rios do Sul	-27,4767	-52,7433	8,9	3,20	0,90	10,80	25,00	2,70	8,00	97,18	4,10	0,00	0,10	40,00	133,50	5
34	Erebango	-27,8550	-52,3020	7,1	6,50	0,00	29,00	5,00	8,70	10,40	109,80	0,07	0,00	0,09	113,00	177,60	1
35	Erebango	-27,8514	-52,3007	6,7	5,60	2,50	13,20	2,00	7,60	8,00	68,29	0,02	0,15	0,10	53,00	94,90	5
36	Erechim	-27,6278	-52,2517	7,7	4,00	0,00	11,00	23,00	0,63	3,70	103,70	0,00	0,05	0,00	46,00	158,00	1
37	Erechim	-27,6528	-52,2878	7,3	7,00	0,00	21,00	9,00	0,18	2,20	100,04	0,00	0,05	0,00	83,00	115,00	1
38	Erechim	-27,6756	-52,2378	8,9	2,00	0,00	5,00	50,00	0,70	1,00	148,84	0,00	0,18	0,00	21,00	182,00	3
39	Erechim	-27,6403	-52,2942	7,1	2,00	0,00	3,00	37,00	0,54	1,60	107,36	0,00	0,16	0,00	15,00	146,00	3
40	Erval Grande	-27,3899	-52,5657	7,3	4,00	1,80	12,00	6,00	1,50	0,00	77,00	0,08	0,50	0,00	48,00	100,00	5
41	Esperança do Sul	-27,6786	-53,8106	7,5	6,30	0,40	20,00	15,00	5,80	6,00	102,50	0,00	0,00	0,00	77,00	174,50	1
42	Esperança do Sul	-27,3325	-53,9755	9,5	0,40	0,00	1,00	50,00	1,50	1,00	99,12	15,45	0,19	0,27	3,80	192,00	3
43	Esperança do Sul	-27,6736	-53,7992	9,6	0,70	0,30	2,00	72,00	9,60	0,00	88,00	43,00	0,40	0,90	8,00	228,00	3
44	Estação	-27,9192	-52,2594	7,6	6,90	0,90	23,80	7,00	0,70	5,00	112,40	0,22	0,00	0,10	88,00	146,50	1
45	Estação	-27,9189	-52,2625	7,3	6,80	1,30	21,60	4,00	0,30	4,00	92,70	0,09	0,20	0,10	79,00	106,40	1
46	Estação	-27,9222	-52,2647	6,6	9,00	0,00	27,00	0,00	0,67	6,20	102,48	0,00	0,07	0,00	105,00	165,00	1
47	Estação	-27,9194	-52,2528	7,9	9,00	0,00	27,00	5,00	0,30	1,20	124,44	0,00	0,05	0,00	104,00	125,00	1
48	Faxinalzinho	-27,4219	-52,6717	7,4	3,20	0,40	8,00	24,00	0,30	7,00	103,70	0,13	0,00	0,20	33,00	145,70	5
49	Faxinalzinho	-27,4246	-52,6747	7,0	5,00	1,40	13,00	12,00	3,50	13,00	78,00	0,04	0,20	0,40	50,00	3,20	5
50	Floriano Peixoto	-27,8288	-52,0333	8,0	1,90	0,00	18,40	19,00	17,80	4,90	82,50	0,00	0,60	0,03	54,00	145,00	5
51	Frederico Wesphalen	-27,3828	-53,4337	8,1	5,80	0,30	15,20	17,00	3,10	3,00	117,10	0,72	0,30	0,10	62,00	141,90	1
52	Frederico Wesphalen	-27,3894	-53,4199	8,3	3,60	0,00	11,20	28,00	7,10	5,00	109,00	1,06	0,00	0,10	43,00	150,00	1
53	Frederico Wesphalen	-27,3888	-53,4219	8,7	2,90	0,00	2,90	45,00	4,00	2,00	122,00	8,00	0,30	0,10	35,00	163,60	3
54	Frederico westphalen	-27,3789	-52,3831	8,5	0,70	0,50	4,80	48,00	1,10	6,00	117,10	1,95	0,20	0,10	16,00	188,50	3

ID	Município	Latitude	Longitude	pH	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Na (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	Cl (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)	CO ₃ (mg/l)	F (mg/l)	Fe (mg/l)	Dureza (mg/l)	STD (mg/l)	Fácies
55	Getúlio Vargas	-27,8938	-52,2373	7,4	4,90	0,60	22,00	6,00	1,70	3,00	106,10	0,13	0,00	0,10	74,00	119,20	1
56	Getúlio Vargas	-27,9011	-52,4113	7,4	8,90	0,60	21,20	4,00	2,30	1,00	123,20	0,15	0,00	0,10	89,00	99,20	1
57	Getúlio Vargas	-27,8972	-52,2399	7,3	6,90	0,40	23,40	4,00	10,00	3,00	108,60	0,11	0,30	0,10	85,00	229,60	1
58	Getúlio Vargas	-27,9047	-52,4166	6,9	8,80	0,30	24,80	5,00	3,20	3,00	122,00	0,05	0,30	0,10	98,00	209,30	1
59	Getúlio Vargas	-27,9225	-52,4186	7,0	10,20	2,00	20,80	10,00	4,90	9,00	100,00	0,05	0,15	0,30	94,00	158,00	2
60	Humaita	-27,5618	-53,9562	7,2	4,00	0,60	25,00	9,00	2,20	6,00	97,60	0,33	0,10	0,00	80,00	124,30	1
61	Humaita	-27,5669	-53,9809	8,8	2,20	0,40	6,40	58,00	2,60	3,00	125,70	22,80	0,40	0,00	23,00	244,00	3
62	Ipiranga do Sul	-27,9631	-52,3958	8,3	5,30	0,10	14,40	22,00	3,20	2,00	120,80	1,16	0,00	0,10	56,00	147,10	1
63	Ipiranga do Sul	-27,9400	-52,4200	7,4	6,10	0,10	19,20	5,00	3,80	2,00	93,90	0,12	0,00	0,00	71,00	129,30	1
64	Lajeado do Bugre	-27,6876	-53,1816	7,5	5,00	2,60	16,00	25,00	6,50	2,00	152,00	0,24	0,00	0,40	59,00	180,00	2
65	Lajeado do Bugre	-27,6905	-53,1825	9,5	0,10	0,30	0,00	81,00	6,00	3,00	120,00	26,00	0,80	0,40	1,00	262,00	3
66	Lajeado do Bugre	-27,6847	-53,1820	9,3	0,50	0,50	1,30	94,00	3,50	7,00	140,00	31,00	0,70	0,70	4,00	293,70	3
67	Liberato Salzano	-27,5984	-53,0732	9,7	0,20	0,10	1,60	78,00	12,40	5,00	70,80	50,40	0,70	0,20	4,00	255,40	3
68	Machadinho	-27,5661	-51,6678	6,5	2,90	1,00	11,60	12,00	1,90	3,00	75,60	0,01	0,00	1,30	39,00	143,80	5
69	Marcelino ramos	-27,5008	-51,9033	7,8	5,00	0,20	35,00	15,00	1,50	7,00	130,00	0,40	0,30	0,00	108,00	251,00	1
70	Marcelino ramos	-27,4708	-51,9086	7,1	5,00	0,20	30,00	14,00	0,00	6,00	163,00	0,00	0,20	0,00	96,00	169,00	1
71	Marcelino ramos	-27,4661	-51,9014	7,0	2,40	0,10	17,20	11,00	0,90	5,00	74,40	0,04	0,00	0,10	55,00	131,50	5
72	Marcelino ramos	-27,4608	-51,9197	6,9	1,10	0,10	11,00	11,00	4,20	4,00	54,90	0,02	0,00	0,10	32,00	96,00	5
73	Marcelino ramos	-27,4661	-51,9014	7,1	0,10	2,00	20,00	11,00	11,90	9,00	54,00	0,03	0,30	0,10	45,00	111,10	5
74	Maximiliano de Almeida	-27,6245	-51,8136	7,8	10,00	0,00	30,00	9,00	2,30	6,80	130,00	0,40	0,07	0,00	118,00	162,00	1
75	Miraguaí	-27,4969	-53,6896	10,0	1,20	0,20	2,80	65,00	2,50	2,00	41,50	58,80	1,40	0,00	12,00	237,00	3
76	Miraguaí	-27,5106	-53,6917	7,1	2,40	0,70	13,60	13,00	2,00	2,00	73,20	0,19	0,00	0,00	45,00	114,10	5
77	Nonoai	-27,3538	-52,7854	6,3	0,40	0,90	3,00	3,00	0,20	2,00	16,00	0,00	0,00	0,00	9,00	54,30	5
78	Nonoai	-27,3769	-52,7603	7,4	1,40	1,20	10,80	13,00	1,90	5,00	74,40	0,09	0,00	0,20	31,00	130,80	5
79	Nonoai	-27,3578	-52,7775	7,6	3,90	1,50	12,40	3,00	1,10	5,00	65,90	0,13	0,20	0,10	47,00	103,70	5
80	Nonoai	-27,3806	-52,7579	7,2	1,10	1,80	12,20	14,00	0,40	7,00	80,50	0,06	0,20	0,20	36,00	114,40	5
81	Paim filho	-27,7128	-51,7608	6,9	9,00	0,20	32,90	13,00	1,40	6,00	153,70	0,06	0,30	0,10	120,00	179,90	1

ID	Município	Latitude	Longitude	pH	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Na (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	Cl (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)	CO ₃ (mg/l)	F (mg/l)	Fe (mg/l)	Dureza (mg/l)	STD (mg/l)	Fácies
82	Palmeiras das Missoes	-27,8495	-53,3730	7,3	4,00	0,90	11,00	2,00	0,35	0,00	62,00	0,06	0,00	0,00	43,00	93,00	5
83	Palmeiras das Missões	-27,9064	-53,2286	8,1	6,00	0,60	27,00	16,00	0,00	1,00	144,00	0,00	0,20	0,00	92,00	152,00	1
84	Palmeiras das Missões	-27,8956	-53,1950	7,4	6,00	0,60	16,00	12,00	0,00	2,00	99,00	0,00	0,20	0,00	65,00	127,00	1
85	Palmeiras das Missões	-27,8897	-53,2281	7,6	5,00	0,60	20,00	10,00	0,00	2,00	110,00	0,00	0,30	0,00	71,00	120,00	1
86	Palmitinho	-27,3489	-53,5664	8,4	0,20	0,20	2,00	63,00	2,10	4,00	136,60	18,00	0,70	0,10	7,00	217,10	3
87	Palmitinho	-27,3508	-53,5642	8,8	0,50	0,20	3,60	60,00	3,60	4,00	133,00	18,00	0,60	0,10	11,00	205,00	3
88	Pinhal da Serra	-27,8453	-51,1734	6,8	0,58	2,00	12,00	4,00	0,00	0,50	50,40	0,00	0,00	0,02	31,40	87,00	5
89	Pinheirinho do Vale	-27,2120	-53,6139	9,4	0,70	0,10	5,00	34,00	0,00	1,00	51,00	26,00	1,70	1,00	15,00	161,00	3
90	Pinheirinho do Vale	-27,2225	-53,6341	8,7	0,50	0,30	15,90	102,00	50,60	39,00	166,00	14,00	0,90	0,20	42,00	386,50	4
91	Redentora	-27,6655	-53,6472	6,5	4,70	0,80	12,20	2,00	0,80	2,00	70,80	0,03	0,40	0,00	49,00	98,90	5
92	Rio dos Indios	-27,3112	-52,8157	9,3	0,90	0,00	4,00	36,00	0,50	0,00	56,00	26,00	0,08	0,00	13,00	147,00	3
93	Rodeio Bonito	-27,4734	-53,1774	7,4	6,30	0,40	17,60	8,00	6,80	1,00	91,50	0,11	0,30	0,10	70,00	128,20	1
94	Rodeio Bonito	-27,4739	-53,1728	6,9	2,40	0,70	20,00	23,00	0,40	7,00	107,40	0,04	0,10	0,20	59,00	136,50	5
95	Ronda Alta	-27,7811	-52,8062	6,9	7,30	0,30	18,40	4,00	0,90	5,00	85,40	0,03	0,30	0,10	75,00	126,00	1
96	Ronda Alta	-27,7905	-52,8016	7,6	4,40	0,70	15,20	17,00	3,30	2,00	92,70	0,18	0,20	0,00	54,00	87,50	5
97	Rondinha	-27,8350	-52,9035	10,2	0,50	0,00	0,40	93,00	7,00	3,00	11,00	98,00	0,30	0,00	4,00	281,10	3
98	Rondinha	-27,8324	-52,9080	9,3	0,80	0,00	3,00	76,00	3,20	5,50	102,00	50,00	0,40	0,00	11,00	257,00	3
99	Sananduva	-27,9446	-51,7896	8,0	5,83	0,00	29,70	8,00	0,00	3,50	120,70	0,00	0,00	0,02	98,00	130,00	1
100	Santo augusto	-27,8458	-53,7794	6,8	5,60	0,80	25,70	6,00	1,50	5,00	103,70	0,00	0,00	0,20	88,00	147,20	1
101	Santo augusto	-27,8453	-53,7872	7,2	2,40	0,80	6,40	73,00	51,20	4,00	128,10	0,00	2,00	0,10	27,00	239,40	3
102	Santo augusto	-27,8578	-53,7817	8,3	3,90	0,70	8,40	35,00	7,30	2,00	133,00	1,28	0,30	0,10	38,00	154,00	3
103	Santo augusto	-27,8422	-53,7739	6,0	3,00	3,20	6,20	3,00	1,70	3,00	34,20	0,00	0,00	0,40	28,00	63,20	5
104	Santo augusto	-27,8514	-53,7731	7,9	2,40	1,00	13,60	7,00	2,90	0,60	70,76	0,00	0,05	0,10	43,00	100,70	5
105	Santo augusto	-27,8728	-53,7889	7,3	4,60	0,60	11,60	12,00	2,50	3,00	76,90	0,00	0,00	0,10	46,00	125,90	5
106	Santo augusto	-27,8661	-53,7808	7,0	5,40	0,70	14,80	4,00	1,10	14,00	73,20	0,04	0,00	0,00	57,00	86,70	5
107	Santo augusto	-27,8489	-53,7806	6,1	2,30	0,00	6,60	4,00	1,10	1,70	30,50	0,00	0,20	0,00	25,00	63,40	5
108	Santo Expedito do Sul	-27,9056	-51,6400	8,0	7,00	0,70	26,00	13,00	0,00	1,00	149,00	10,00	0,20	0,50	92,00	168,00	1

ID	Município	Latitude	Longitude	pH	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Na (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	Cl (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)	CO ₃ (mg/l)	F (mg/l)	Fe (mg/l)	Dureza (mg/l)	STD (mg/l)	Fácies
109	Santo Expedito do Sul	-27,9045	-51,6398	7,9	4,93	0,00	25,70	11,00	0,00	3,00	129,30	0,00	0,17	0,02	84,30	161,00	1
110	São José do Ouro	-27,7775	-51,6033	8,1	5,00	0,90	18,00	48,00	2,80	6,00	193,00	1,18	0,20	0,00	66,00	219,00	1
111	São José do Ouro	-27,7807	-51,6083	9,6	1,90	0,00	5,30	50,00	4,20	6,00	135,00	19,68	1,10	0,50	8,00	180,60	3
112	São Valentim	-27,5606	-52,5231	9,2	1,00	0,00	6,00	55,00	1,40	0,00	131,00	31,00	0,50	0,00	19,00	280,00	3
113	Sarandi	-27,9450	-52,9300	7,6	6,10	0,70	18,40	35,00	2,40	2,00	144,00	0,28	2,00	0,10	71,00	208,30	1
114	Sarandi	-27,9261	-52,9300	7,1	7,00	0,20	23,60	18,00	2,30	5,00	148,80	0,09	0,20	0,10	88,00	153,70	1
115	Sarandi	-27,9225	-52,9328	7,8	1,90	0,20	9,20	35,00	2,80	4,00	139,10	0,43	0,70	0,20	30,00	161,50	3
116	Seberi	-27,4808	-53,4064	7,1	7,10	0,10	22,40	6,00	0,30	5,00	108,60	0,07	0,30	0,10	85,00	157,80	1
117	Seberi	-27,4897	-53,3994	8,3	2,20	0,40	12,80	35,00	1,10	10,00	107,40	1,04	0,10	0,10	39,00	165,10	3
118	Seberi	-27,4883	-53,3986	9,4	1,20	0,00	4,90	55,00	5,60	2,00	87,80	24,00	0,60	0,30	5,00	179,50	3
119	Seberi	-27,4886	-53,3986	9,0	0,70	0,30	2,80	37,00	0,70	3,00	100,00	8,40	0,40	0,00	9,00	151,90	3
120	Severiano de Almeida	-27,4330	-52,1146	8,0	8,00	1,60	7,00	58,00	8,80	18,00	176,00	0,86	0,10	0,20	47,00	241,00	1
121	Severiano de Almeida	-27,4302	-52,1158	9,5	0,50	2,00	0,80	90,00	14,90	7,00	144,00	37,00	1,10	0,90	5,00	286,20	2
122	Severiano de almeida	-27,4403	-52,1244	9,7	0,20	0,30	2,00	55,00	4,00	2,00	65,90	44,40	0,40	0,10	7,00	184,40	3
123	Taquaruçu do Sul	-27,4262	-53,4675	7,7	9,30	0,00	25,38	7,00	4,10	10,39	146,75	0,35	0,11	0,11	103,30	158,23	1
124	Tenente Portela	-27,3635	-53,7607	7,3	6,00	0,50	46,50	0,50	6,20	8,00	187,00	0,26	0,20	0,00	159,00	262,10	1
125	Tenente Portela	-27,3639	-53,7667	7,0	7,00	0,00	20,00	4,00	0,00	5,00	82,00	0,00	1,20	0,00	78,00	104,00	1
126	Tenente Portela	-27,3756	-53,7594	6,7	7,30	2,40	24,40	1,00	3,90	9,00	109,80	0,00	0,20	3,60	92,00	182,60	2
127	Tenente portela	-27,3708	-53,7631	6,5	2,20	0,30	4,00	61,00	1,90	7,00	170,80	0,00	0,00	0,00	19,00	250,30	3
128	Tenente Portela	-27,3709	-53,7628	9,2	2,20	0,30	4,00	61,00	1,90	7,00	109,80	30,00	0,00	0,00	19,00	250,30	3
129	Tenente Portela	-27,3608	-53,7536	9,1	0,40	0,30	2,00	68,00	2,60	1,00	119,60	21,60	0,20	0,10	6,00	194,10	3
130	Tenente Portela	-27,3794	-53,7696	9,4	0,10	0,20	0,60	74,00	1,70	3,00	118,30	37,20	0,20	0,00	2,00	241,80	3
131	Tenente Portela	-27,3731	-53,7802	7,2	4,10	0,80	16,80	13,00	0,40	1,00	90,30	0,26	0,30	0,00	60,00	119,00	5
132	Três Arroios	-27,4959	-52,1543	9,0	3,47	0,00	10,30	42,00	5,20	9,80	119,50	10,70	0,18	0,00	40,00	185,00	3
133	Três Passos	-27,4562	-53,9330	6,6	4,10	0,80	8,80	3,00	1,70	6,00	37,80	0,01	0,00	0,20	38,00	80,30	5
134	Trindade do Sul	-27,5162	-52,9040	7,4	3,40	0,50	19,30	10,00	1,00	0,00	107,40	3,60	0,20	0,00	61,00	148,00	1
135	Vicente Dutra	-27,1760	-53,4032	8,0	10,20	0,50	26,80	12,00	1,40	0,00	147,60	0,73	0,20	0,10	109,00	196,60	1

ID	Município	Latitude	Longitude	pH	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Na (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	Cl (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)	CO ₃ (mg/l)	F (mg/l)	Fe (mg/l)	Dureza (mg/l)	STD (mg/l)	Fácies
136	Vicente Dutra	-27,1705	-53,3987	7,4	9,00	0,30	22,80	5,00	1,50	0,00	114,70	0,14	0,40	0,10	95,00	169,50	1
137	Vicente Dutra	-27,1644	-53,4072	7,6	13,00	0,00	26,00	16,00	2,20	2,00	200,00	0,00	0,60	0,10	120,00	185,00	1
138	Vicente Dutra	-27,1634	-53,4069	7,9	14,00	0,30	36,00	20,00	1,30	6,00	218,00	0,85	0,40	0,10	149,00	0,64	1
139	Vicente Dutra	-27,1658	-53,4024	8,0	7,22	0,00	16,70	45,00	17,20	8,90	182,20	0,00	0,81	0,03	71,30	239,00	1
140	Vista Alegre	-27,3685	-53,4918	9,9	0,20	0,20	1,00	93,00	8,80	1,00	60,00	72,00	0,80	0,00	3,00	277,00	3
141	Vista Gaúcha	-27,2898	-53,7014	7,5	7,00	0,90	29,00	15,00	11,30	11,00	129,00	0,00	0,30	2,60	103,00	174,00	2
142	Vista Gaúcha	-27,2938	-53,7100	9,5	1,00	0,00	3,00	78,00	18,00	2,00	96,00	50,00	2,10	0,00	12,00	257,00	3