



**CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL, HIDROGEOLÓGICA E  
HIDROQUÍMICA DA ZONA DE RECARGA DO SISTEMA  
AQUIFERO GUARANI (SAG) NA REGIÃO SUDOESTE DO  
RIO GRANDE DO SUL**

Porto Alegre, 2011

**LUCAS THETINSKI MATZEMBACHER**

**CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL, HIDROGEOLÓGICA E HIDROQUÍMICA  
DA ZONA DE RECARGA DO SISTEMA AQUIFERO GUARANI (SAG) NA REGIÃO  
SUDOESTE DO RIO GRANDE DO SUL**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

**Orientador:** Prof. Dr. Ari Roisenberg

Porto Alegre, 2011

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso **“CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL, HIDROGEOLÓGICA E HIDROQUÍMICA DA ZONA DE RECARGA DO SISTEMA DO AQUÍFERO GUARANI (SAG) NA REGIÃO SUDOESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL”**, elaborado por **“LUCAS THETINSKI MATZEMBACHER”**, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

**Comissão Examinadora:**

---

Prof. Dr. Nelson Amoretti Lisboa

---

Prof. Dr. Pedro Antônio Roche Reginato

“A lógica é apenas o princípio  
da sabedoria, não o seu fim”

*Cpt. Spock, Star Trek*



## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, o maior agradecimento de todos que é para os meus pais por todo o tipo de suporte que me proporcionaram ao longo de todos estes anos de vida. Ao meu irmão pelo apoio e os momentos de descontração.

Ao meu orientador Ari pela paciência, aprendizados geológicos e de vida passados ao longo de todo o tempo de bolsa.

Ao supervisor e amigo Roberto Kirchheim, que apesar de todas correrias, sempre demonstrou disposição e vontade em ajudar.

À minha namorada Isadora pelo apoio em todos os momentos, sem medir esforços para me ajudar sempre que preciso.

A CPRM e a HIDROGEO por todas as informações cartográficas e de poços tubulares utilizados para execução deste trabalho.

Ao CNPq pelo auxílio financeiro durante todo o tempo de pesquisa.

À cambada de Camaquã pelo companheirismo.

Ao pessoal da Sala 105 do DEMIPE pelas horas de discussões e descontração sempre acompanhadas por um bom mate.

Aos colegas de curso pelas discussões geológicas, brigas e confraternizações. Sem tudo isso, o curso teria sido muito monótono.

E por fim, a escadinha, que apesar de ter sido um pouco esquecida no final de curso, sempre foi um bom lugar de encontro pra horas de papos acompanhadas, novamente, de bons mates.

## RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo caracterizar a zona de recarga do Sistema Aquífero Guarani (SAG) na região sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul. O arcabouço geológico da área compreende vastas áreas de afloramento das Formações Rio do Rasto, Pirambóia, Sanga do Cabral, Guará e Botucatu. De forma restrita às áreas com maior elevação topográfica afloram as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral (Fácies Alegrete e Gramado). Enquanto as unidades estratigráficas que conformam o SAG formam aquíferos do tipo regionais e intergranulares, sua cobertura vulcânica configura aquíferos do tipo fraturados com dinâmica de caráter local. A área é afetada por forte tectonismo rúptil, evidenciado por lineamentos com direções dominantes N0-10E e N-60-70W. Durante o desenvolvimento do projeto confeccionou-se um banco de dados com informações quantitativas e qualitativas dos poços tubulares profundos, além de dados fluviométricos e pluviométricos. Com base nestes dados pôde-se avaliar a influência da tectônica rígida na dinâmica das águas subterrâneas na região. Através do emprego de imagens sensoriais e técnicas em ambiente SIG foram estimadas as relações entre as vazões dos poços cadastrados e a direção das fraturas tectônicas, assim como com as densidades e comprimentos das mesmas. O mapa potenciométrico da região indica um fluxo regional para sudoeste. As estruturas tectônicas não mostram influência nas vazões dos poços e na compartimentação do SAG na região. As águas apresentam composições bicarbonatadas cálcicas e/ou magnesianas. De forma geral, as características físicas apontam elevada vulnerabilidade aos agentes antropogênicos, em particular aqueles ligados à atividade agrícola, base econômica da região.

**Palavras-chave:** Hidrogeologia. Densidade de lineamentos. SAG. Hidroquímica.

## ABSTRACT

The present study aims to characterize the recharge zone of Guarani Aquifer System (GAS) in the southwestern region of Rio Grande do Sul. It's geological setting includes extensive outcropping areas of the SAG Formations Rio da Rasto, Pirambóia, Sanga do Cabral, Guará and Botucatu. The volcanic package of the Serra Geral Formation (Alegrete and Gramado Facies) occurs restricted to areas with higher topographical elevation. The SAG builds a regional and granular aquifer, whereas the volcanic package builds a fractured aquifer with strong local dynamics. The area is affected by strong brittle tectonics, as evidenced by the dominant lineaments N0-10E and N-60-70W. A database was set comprising physico-chemical and lithological information of existing deep tube wells, rainfall and fluviometric data of the region. Based on this information and on GIS techniques, the influence of the rigid tectonic (attitude and density) over the water well yield was tested. The potentiometric map of the region indicates a flow towards the southwest region. The structural setting does not show a representative influence on the groundwater well discharges and in the compartmentalization of the aquifer systems in the region. The groundwater shows Ca and Mg bicarbonate composition. The region has a high vulnerability to anthropogenic agents, particularly those related to agriculture, the region's economic base.

**Key-words:** Hydrogeology. Lineaments densities. GAS. Hydrochemistry.

## ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Mapa de localização da área em estudo. ....	15
Figura 2. Mapa das bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul na região oeste e norte com destaque para a área em estudo.....	16
Figura 3. Mapa geológico da área de estudo (modificado CPRM, 2005). ....	17
Figura 4. A) Arenitos estratificados da Fm. Botucatu; B) Arenitos estratificados da Fm. Guará; C) Arenitos argilosos estratificados da Fm. Pirambóia; D) Arenitos estratificados com intraclastos argilosos da Fm. Sanga do Cabral; E) Derrames básicos da Fm. Serra Geral. ....	20
Figura 5. A e B) Unidade Geomorfológica Planalto de Uruguaiana; C) Unidade Geomorfológica Depressão Rio Ibicuí-Rio Negro; D) Unidade Geomorfológica Planície Aluvio-Coluvionar.....	22
Figura 6. Mapa hidrogeológico da área de estudo (modificado CPRM, 2005).....	25
Figura 7. Seção no município de Uruguaiana, mostrando o efeito das condições estruturais do topo do SAG sobre a produtividade dos poços (Machado, 2005). ....	27
Figura 8. Mapa hidrogeológico com poços utilizados nos estudos (modificado CPRM, 2005). ....	29
Figura 9. Intervalos de vazão e seus conjuntos populacionais. ....	30
Figura 10. Modelo numérico do terreno (MNT) transformado em relevo sombreado com a ferramenta hillshade. Ângulo de azimute a 315° e 45° de incidência de iluminação. ....	33
Figura 11. Mapa de totalidade de lineamentos traçados em relevo sombreado com ângulo de azimute a 45° e 45° de incidência de iluminação. ....	34
Figura 12. Figura mostrando o conceito do cálculo da densidade de lineamento onde C1 e C2 são as porções de comprimento dos lineamentos que inseridos da área do círculo (Oliveira et al, 2009). ....	35
Figura 13. Mapa pluviométrico da área em estudo. ....	40
Figura 14. Diagrama de Piper para área em estudo. ....	41
Figura 15. Mapa de densidade do total de lineamentos.....	42
Figura 16. Diagrama de roseta do total de lineamentos. ....	43
Figura 17. Intervalos de comprimento dos lineamentos totais e suas populações. ....	43
Figura 18. Mapa de densidade dos lineamentos de pequeno porte. ....	44
Figura 19. Diagrama de roseta dos lineamentos de pequeno porte. ....	45
Figura 20. Intervalos de comprimento dos lineamentos de pequeno porte e suas populações. ....	45
Figura 21. Mapa de densidade dos lineamentos de médio porte. ....	46
Figura 22. Diagrama de roseta dos lineamentos de médio porte.....	46
Figura 23. Intervalos de comprimento dos lineamentos de médio porte e suas populações. ....	47
Figura 24. Mapa de densidade dos lineamentos N-NE. ....	48
Figura 25. Intervalos de comprimento dos lineamentos N-NE e suas populações.....	48
Figura 26. Mapa de densidade dos lineamentos NE-E.....	49
Figura 27. Intervalos de comprimento dos lineamentos NE-E e suas populações.....	50
Figura 28. Mapa de densidade dos lineamentos N-NW. ....	51
Figura 29. Intervalos de comprimento dos lineamentos N-NW e suas populações. ....	51
Figura 30. Mapa de densidade dos lineamentos NW-W. ....	52
Figura 31. Intervalos de comprimento dos lineamentos NW-W e suas populações. ....	53
Figura 32. Mapa de densidade do total de lineamentos sobreposto com informações de vazão dos poços. ....	54

Figura 33. Mapa de densidade dos lineamentos de pequeno porte sobreposto com informações de vazão dos poços. ....	55
Figura 34. Mapa de densidade dos lineamentos de médio porte sobreposto com informações de vazão dos poços. ....	56
Figura 35. Mapa de densidade dos lineamentos N-NE sobreposto com informações de vazão dos poços. ....	57
Figura 36. Mapa de densidade dos lineamentos NE-E sobreposto com informações de vazão dos poços. ....	58
Figura 37. Mapa de densidade dos lineamentos N-NW sobreposto com informações de vazão dos poços. ....	59
Figura 38. Mapa de densidade dos lineamentos NW-W sobreposto com informações de vazão dos poços. ....	60
Figura 39. Mapa potenciométrico para área em estudo.....	61
Figura 40. Mapa potenciométrico para área em estudo com lineamentos sobrepostos.....	62

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	12
<b>3</b>	<b>ESTADO DA ARTE</b> .....	13
<b>4</b>	<b>LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO</b> .....	15
<b>5</b>	<b>CONTEXTO GEOLÓGICO DA ÁREA</b> .....	17
5.1	FORMAÇÃO RIO DO RASTRO .....	18
5.2	FORMAÇÃO PIRAMBÓIA .....	18
5.3	FORMAÇÃO SANGA DO CABRAL .....	18
5.4	FORMAÇÃO GUARÁ .....	18
5.5	FORMAÇÃO BOTUCATU .....	19
5.6	FORMAÇÃO SERRA GERAL .....	19
5.7	SEDIMENTOS QUATERNÁRIOS .....	19
<b>6</b>	<b>CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO</b> .....	21
7	CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO REGIONAL .....	23
<b>8</b>	<b>HIDROGEOLOGIA DA ÁREA EM ESTUDO</b> .....	26
<b>9</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	31
9.1	LEVANTAMENTO DE DADOS .....	31
<b>9.1.1</b>	<b>Revisão Bibliográfica</b> .....	31
<b>9.1.2</b>	<b>Elaboração do banco de dados</b> .....	31
9.2	ATIVIDADES DE GEOPROCESSAMENTO .....	32
9.2.1	Compilação dos dados .....	32
9.2.2	Elaboração e tratamento de imagens .....	32
<b>9.2.3</b>	<b>Interpretação de imagens</b> .....	33
9.2.3.1	Análise e classificação dos lineamentos .....	34
9.3	TRABALHOS DE CAMPO .....	35
9.4	TRATAMENTO DE DADOS HIDROGEOLÓGICOS, HIDROQUÍMICOS E HIDROLÓGICOS .....	36
<b>9.4.1</b>	<b>Sistematização do banco de análises hidroquímicas</b> .....	36
<b>9.4.2</b>	<b>Construção de mapas potenciométricos</b> .....	36
<b>9.4.3</b>	<b>Tratamento de dados hidrológicos</b> .....	37
9.4.3.1	Espacialização das estações pluviométricas e média de chuvas .....	37
9.4.3.2	Estações fluviométricas .....	37
<b>10</b>	<b>APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b> .....	39

10.1	ANÁLISE PLUVIOMÉTRICA .....	39
10.2	ANÁLISE HIDROQUÍMICA.....	40
10.3	ANÁLISE DE LINEAMENTOS .....	41
<b>10.3.1</b>	<b>Análise tectônica do total de lineamentos.....</b>	<b>42</b>
<b>10.3.2</b>	<b>Análise tectônica dos lineamentos de pequeno porte .....</b>	<b>43</b>
<b>10.3.3</b>	<b>Análise tectônica dos lineamentos de médio porte .....</b>	<b>45</b>
<b>10.3.4</b>	<b>Análise tectônica dos lineamentos N-NE.....</b>	<b>47</b>
<b>10.3.5</b>	<b>Análise tectônica dos lineamentos NE-E .....</b>	<b>49</b>
<b>10.3.6</b>	<b>Análise tectônica dos lineamentos N-NW.....</b>	<b>50</b>
<b>10.3.7</b>	<b>Análise tectônica dos lineamentos NW-W.....</b>	<b>52</b>
10.4	RELAÇÃO DOS LINEAMENTOS COM PRODUTIVIDADE DOS POÇOS .....	53
10.5	ANÁLISE POTENCIOMÉTRICA .....	60
<b>11</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>63</b>
<b>12</b>	<b>RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>64</b>
	REFERÊNCIAS .....	65
	ANEXOS.....	68

## **1 INTRODUÇÃO**

O consumo geral de água, tanto superficial como subterrânea vem aumentando exponencialmente nas últimas décadas. De forma concomitante, observa-se a degradação da qualidade natural dos corpos hídricos em função dos padrões modernos de uso e ocupação do solo. Este cenário afeta também os aquíferos, enquanto reservatórios de água subterrânea, uma vez que são vários os casos de contaminação dos mesmos em função de atividade agrícola e/ou industrial.

Dentre as várias unidades aquíferas no Estado do Rio Grande do Sul, O Sistema Aquífero Guarani (SAG) possui destaque em virtude de sua magnitude e aspecto transfronteiriço. O SAG se estende por quatro países da América Latina (Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai), sendo considerado um dos maiores aquíferos do mundo. A maior parte de sua ocorrência, dois terços para ser mais específico, encontra-se em território brasileiro, abrangendo oito Estados, dentre os quais o Rio Grande do Sul.

No Rio Grande do Sul, o SAG cobre aproximadamente a metade de sua área, sendo possível encontrá-lo em todas as regiões, à exceção da região sul, na qual predominam os aquíferos fraturados das rochas do embasamento e os aquíferos porosos da planície costeira. Na maior parte de sua área de ocorrência, o SAG apresenta-se confinado pelas sequências vulcânicas da Formação Serra Geral.

A área de estudo situa-se na região sudoeste do Rio Grande do Sul e caracteriza-se como sendo uma zona de recarga do SAG. Trata-se de uma região carente em informações hidrogeológicas e que possui limitado número de dados hidrogeoquímicos sistematizados. Dada sua elevada vulnerabilidade aos agentes antropogênicos relacionados à atividade agrícola/pastoril e industrial, principal atividade econômica da região, a região como um todo merece atenção especial no que diz respeito à gestão das águas subterrâneas.

## **2 OBJETIVOS**

O projeto visa a caracterização estrutural, hidrogeológica e hidroquímica da zona de recarga do SAG situada no sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul. É objetivo do presente estudo, ainda, reconhecer a influência da tectônica rígida no fluxo da água subterrânea e testar, através de análise estatística, as relações entre a vazão dos poços e as características



dos lineamentos tectônicos. Busca-se através destes resultados trazer subsídios para melhorar a gestão do recurso hídrico subterrâneo na região.

### 3 ESTADO DA ARTE

O número de trabalhos referentes ao SAG vem crescendo de forma significativa nos últimos anos, tendo-se em vista o incremento do uso de água subterrânea, tanto para o abastecimento público e sedentação de animais, como para irrigação agrícola ou uso industrial.

O SAG possui área total de 1.195.500 Km<sup>2</sup> (ANA, 2001) cobrindo áreas do Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai. É aflorante em aproximadamente 12,8% desta área (153.000 Km<sup>2</sup>), da qual 67,8% (104.000 Km<sup>2</sup>) localiza-se no Brasil, 30,1% no Paraguai e 2,1% no Uruguai. Na área restante (81,2%), ou seja, cerca de 1.000.000 Km<sup>2</sup>, o SAG é parcialmente confinado pelas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral.

Vários trabalhos recentes focam a hidrogeologia e hidrogeoquímica do SAG, em geral, de forma sintética e em escala regional, demonstrando a compartimentação do sistema aquífero com base em grandes estruturas tectônicas, que individualizam compartimentos com características hidrogeológicas e hidroquímicas bem definidos. A influência de tais estruturas sobre o fluxo hidrodinâmico são documentados em trabalhos na Bacia Chaco-Paranaense do Uruguai (Montaño *et al.*, 2002) e para o Estado do Paraná (Rosa F<sup>o</sup> *et al.*, 2003).

Soares *et al.* (2007) no desenvolvimento do estudo da compartimentação estrutural da Bacia do Paraná, seus lineamentos e a influência na distribuição do SAG concluem que esta unidade hidroestratigráfica corresponde a um conjunto de sistemas com muitas direções de circulação de fluidos, condicionados pelas estruturas tectônicas que promovem uma compartimentação química.

Ainda mais recentemente, foram divulgados os resultados finais do Projeto Aquífero Guarani, financiado pelo Banco Mundial, e que está disponível em meio digital, fornecendo um volume enorme de dados hidrogeológicos e hidroquímicos sobre este recurso hídrico subterrâneo nos quatro países participantes dos estudos.

Em nível local, a utilização de estudos hidrogeológicos e hidrogeoquímicos tem se demonstrado de grande utilidade para gestão dos recursos hídricos. Schraeder (1970), a partir de cálculos de transmissividade, porosidade, permeabilidade e coeficiente de armazenamento

no arenito Botucatu confinado do Município de Alegrete, apresenta proposta detalhada de perfuração de poços para o aproveitamento do aquífero no abastecimento da cidade.

Pessoa (1982) dedicou-se a formatar um Banco de Dados Hidrogeológicos digital, provavelmente o pioneiro no Estado, com dados confiáveis obtidos junto à CORSAN e às empresas privadas (Cia. T. Janér e Tecnipoços).

Com os dados obtidos de vazão dos poços executou o tratamento estatístico nas regiões estudadas, traçando curvas N (nº de poços) vs Q (vazão) com probabilidade de ocorrência de 90%. O aquífero que registrou as maiores vazões foi o Aquífero Botucatu, sotoposto aos basaltos à oeste, podendo ser considerado o melhor aquífero do Estado. A análise das curvas deste aquífero na região leste apresenta sensível redução do rendimento dos poços.

Lisboa (1996) apresenta amplo estudo da hidrogeoquímica e seus controladores geológicos nas Unidades Hidrogeológicas do Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul, concluindo que este sistema está condicionado por três unidades morfotectônicas: Fachada Atlântica, Abóbada Oeste e Abóbada Central. Conclui que o aumento do pH e dos sólidos totais na Unidade Hidrogeológica Efusivas Básicas da Abóbada Central Densamente Dissecada é diretamente proporcional à profundidade de entrada de água no poço, o que indica influência do Aquífero Botucatu sotoposto. Desta forma, este parâmetro físico-químico pode indicar a presença do SAG no perfil.

Reginato (2003) apresenta uma proposta de integração de dados geológicos para prospecção de água no Sistema Aquífero Serra Geral em região da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas (RS). Integrando dados em ambiente SPRING, identificou o caráter primário do sistema estrutural nas características hidrodinâmicas e o caráter secundário da litologia, relevo e solos.

Cunha (2010) testa através da sobreposição de mapas de densidade de lineamentos e capacidade específica a influência dos fraturamentos na produtividade dos poços na região do Alto Uruguai, noroeste do estado do Rio Grande do Sul, evidenciando correlação positivas para algumas porções da área em estudo.

Contudo para qualquer produção de trabalho, como o proposto, na região do SAG, exige o domínio de conhecimento do arcabouço estratigráfico que compõe a área. Em relação a texturas, estruturas e ambientes deposicionais, Machado (2005) utiliza esse conceito estratigráfico, aliado às características hidroquímicas regionais e às feições estruturais para propor a compartimentação hidroestratigráfica do SAG no Estado do Rio Grande do Sul.

#### 4 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

A região em estudo está situada na porção sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul, localizada na parte leste da Folha de Uruguiana (SH-21) em escala 1:250.000, sendo esta subdividida nas Folhas Alegrete (SH.21-X-C), Santana do Livramento (SH.21-Z-A), Santiago (SH.21-X-D) e São Gabriel (SH.21-Z-B).

A área, demarcada pelas UTM 6586560 m a 6702198 m de latitude e 630874 a 699303 de longitude, possui abrangência de aproximadamente 69 km de largura (E-W) e 116 km de comprimento (N-S), correspondendo aos municípios de Alegrete, Cacequi, Dom Pedrito, Rosário do Sul e Santana do Livramento (Figura 1). Estes municípios são banhados pelas águas das Bacias do Ibicuí e Santa Maria, pertencentes à Região Hidrográfica Rio Uruguai (Figura 2).

A região é facilmente acessada por rodovias federais e estaduais asfaltadas, tais como BR-290, BR-293, BR-158, RS-630 e RS-640.

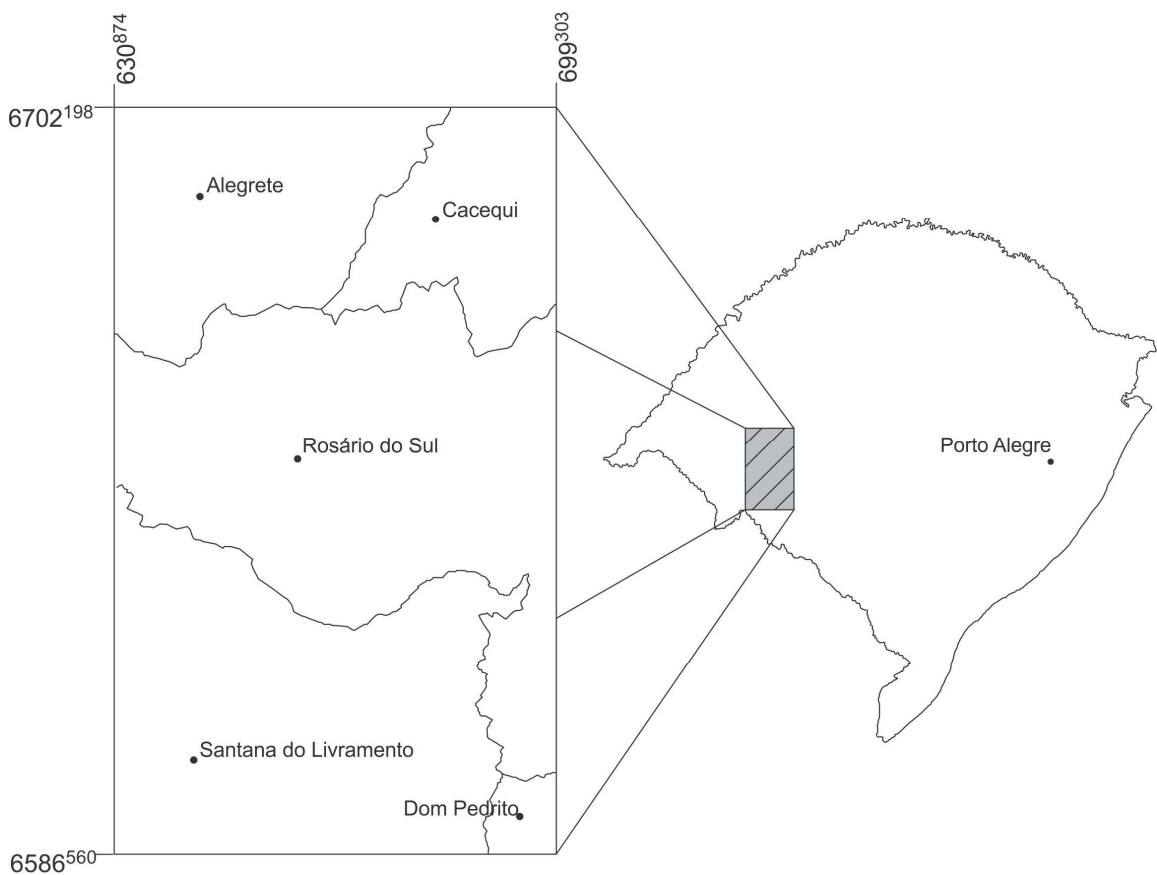


Figura 1. Mapa de localização da área em estudo.

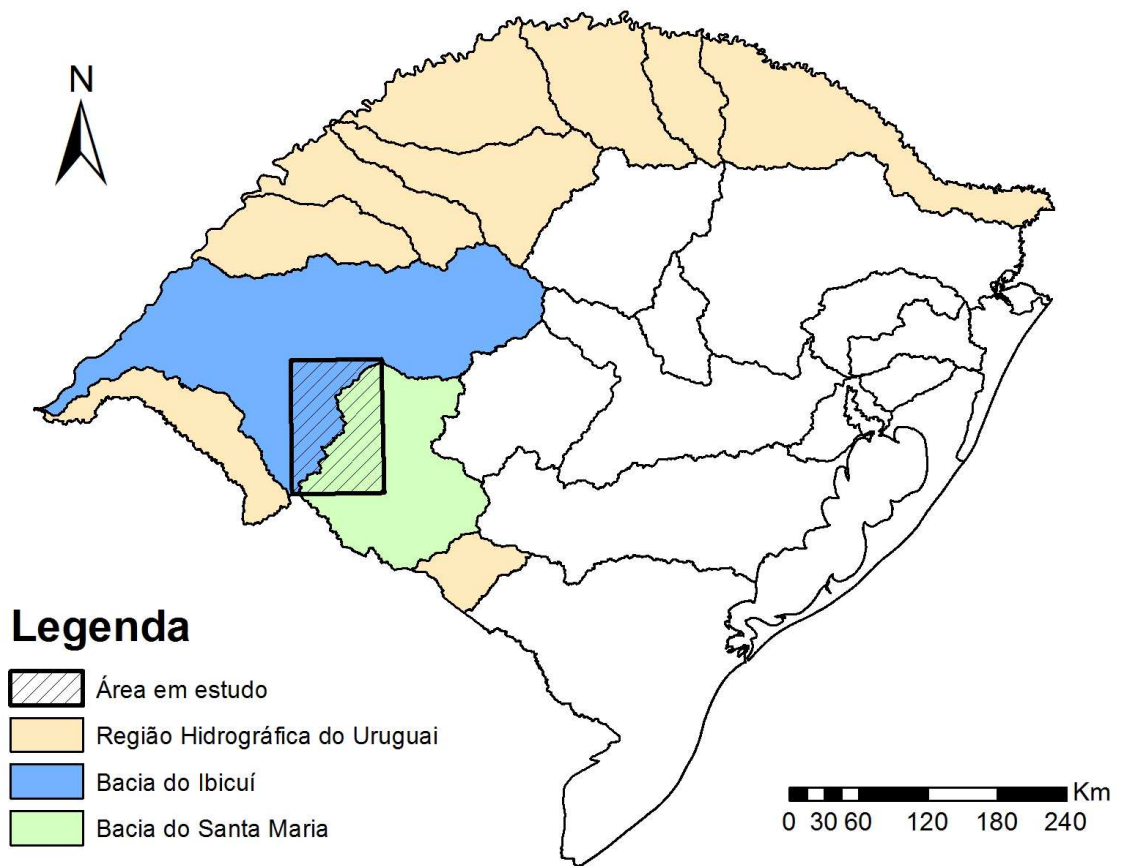


Figura 2. Mapa das bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul na região oeste e norte com destaque para a área em estudo.

## 5 CONTEXTO GEOLÓGICO DA ÁREA

A geologia da área é dominada pelo pacote sedimentar gonduânico correspondente às Formações Rio do Rasto, Pirambóia, Sanga do Cabral, Guará e Botucatu (Milani, 1997; CPRM, 2005), que são capeadas, em parte, por sequências vulcânicas da Formação Serra Geral e sedimentos aluvionares quaternários, estes distribuídos ao longo de drenagens (Figura 3).

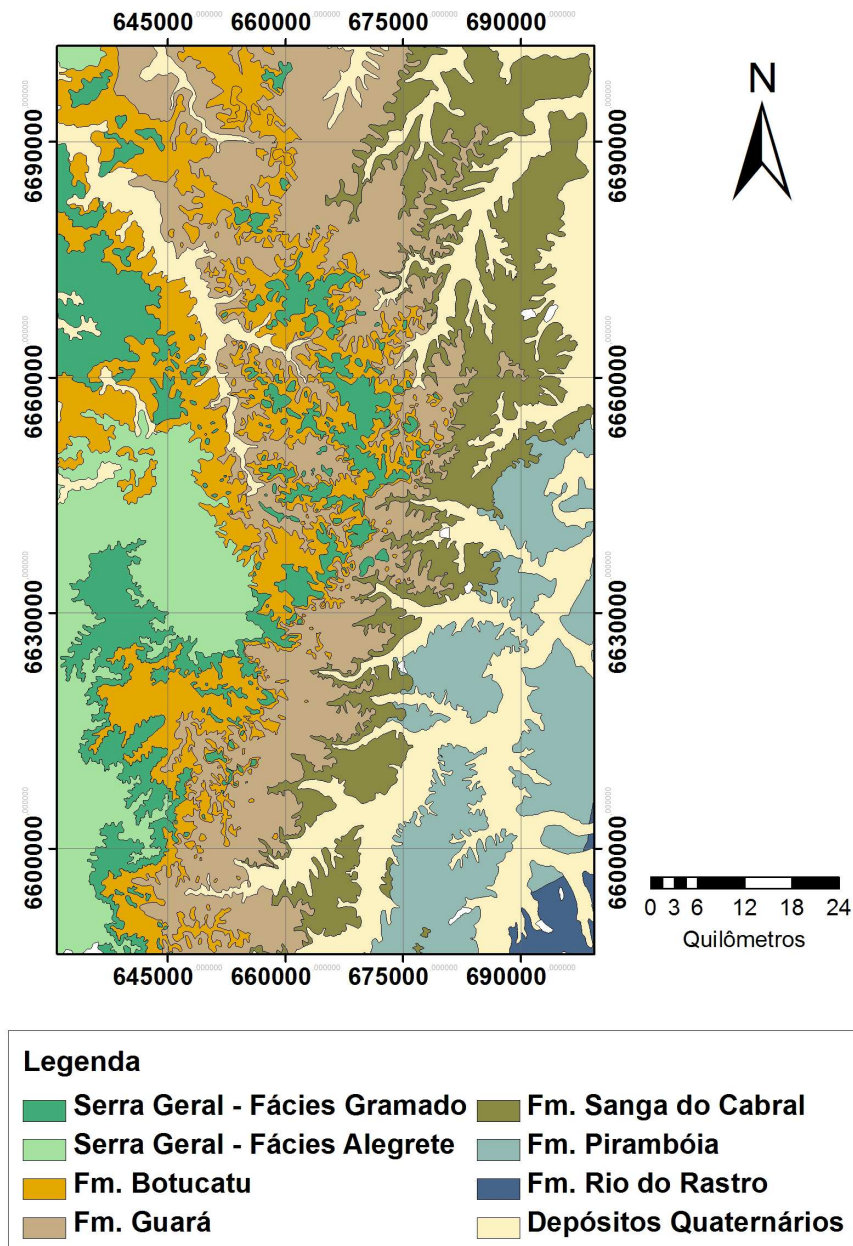


Figura 3. Mapa geológico da área de estudo (modificado CPRM, 2005).

### 5.1 FORMAÇÃO RIO DO RASTRO

A Formação Rio do Rastro é dividida em dois membros: Membro Serrinha, inferior, e Membro Morro Pelado, superior. O Membro Serrinha é constituído por arenitos finos, bem selecionados, intercalados com siltitos e argilitos cinza-esverdeados, amarronzados, bordos e avermelhados, podendo localmente conter lentes ou horizontes de calcário margoso. O Membro Morro Pelado é constituído por lentes de arenitos finos, avermelhados, intercalados em siltitos e argilitos arroxeados. A deposição sedimentar é atribuída inicialmente à ambiente marinho raso que transiciona para depósitos de planície costeira (Membro Serrinha), passando posteriormente à implantação de uma sedimentação flúvio-deltaica (Membro Morro Pelado).

### 5.2 FORMAÇÃO PIRAMBÓIA

Esta formação (Figura 4c) pode ser dividida em três associações de fácies: lençóis eólicos, depósitos de dunas e depósitos interdunas (Dias & Scherer, 2006). No conjunto é representada por arenitos e arenitos argilosos com pouca cimentação, cuja ocorrência é limitada ao sul da Bacia do Paraná.

### 5.3 FORMAÇÃO SANGA DO CABRAL

A Formação Sanga do Cabral (Figura 4d) é constituída na base por conglomerados intraformacionais e arenitos conglomeráticos, mal selecionados, com estratificação cruzada acanalada e planar de pequeno a médio porte (Scherer *et al.*, 2000). Associados com estas unidades ocorrem arenitos finos com laminação plano-paralela, cujas características sugerem um sistema fluvial entrelaçado.

### 5.4 FORMAÇÃO GUARÁ

No Estado do Rio Grande do Sul, afloramentos da Formação Guarú (Figura 4b) estão restritos à região oeste-sudoeste do Estado, marcados por orientação N-S. Segundo Scherer *et al.* (2000), ao norte do estado, a formação se caracteriza por arenitos grossos a

conglomeráticos e pelitos que foram depositados por sistema fluvial entrelaçado. Já ao sul, a formação é representada por arenitos eólicos médios a finos.

### 5.5 FORMAÇÃO BOTUCATU

Pertencente ao Grupo São Bento, a Formação Botucatu (Figura 4a) representa depósitos continentais eólicos de clima desértico, constituindo campos de paleodunas constituídos por arenitos finos a grossos de coloração avermelhada, com grãos arredondados e elevada esfericidade, com estratificações cruzadas de grande porte.

### 5.6 FORMAÇÃO SERRA GERAL

A formação Serra Geral (Figura 4e) é constituída na região em estudo pelas Fácies Gramado e Fácies Alegrete, a primeira compreendendo derrames basálticos granulares finos a médios, de cor cinza a preta, com horizontes vesiculares de topo preenchidos por zeolitas, carbonatos, apofilitas e saponita. Possuem estrutura de fluxo e estruturas tipo *pahoehoe* e intercalações de arenitos intertrapianos similares à Formação Botucatu. A Fácies Alegrete corresponde a derrames de composição intermediária e ácida, variando de andesito a riodacito com estruturas de fluxo e autobrechas no topo e na base.

### 5.7 SEDIMENTOS QUATERNÁRIOS

Os depósitos quaternários referem-se a sedimentos aluvionares com frações granulométricas cascalhosas, arenosas e argilosas, semiconsolidados e inconsolidados.



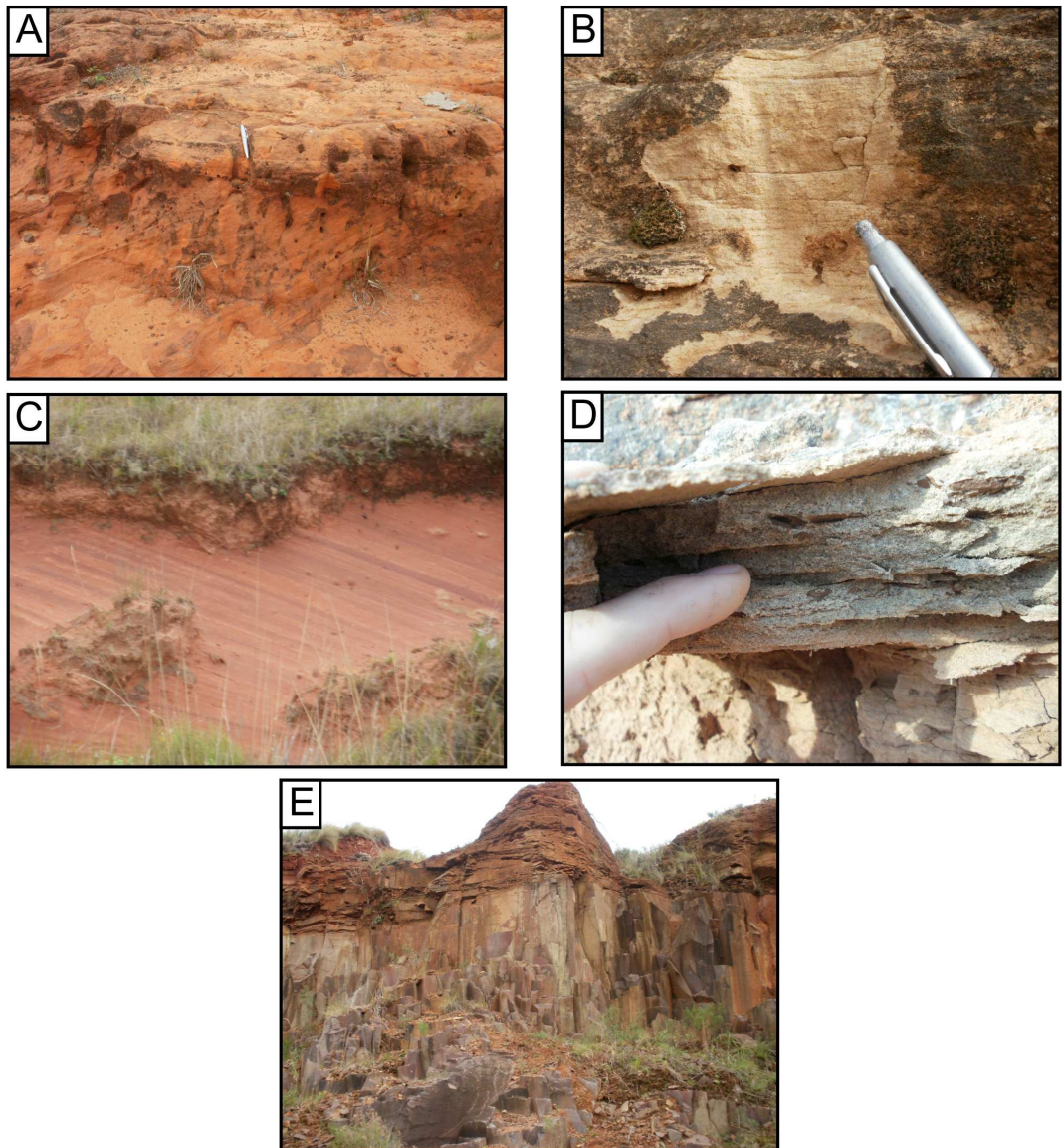


Figura 4. A) Arenitos estratificados da Fm. Botucatu; B) Arenitos estratificados da Fm. Guará; C) Arenitos argilosos estratificados da Fm. Pirambóia; D) Arenitos estratificados com intraclastos argilosos da Fm. Sanga do Cabral; E) Derrames básicos da Fm. Serra Geral.



## 6 CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO

A evolução das formas de relevo resultam de processos atuais e pretéritos ocorridos nos litotipos existentes. Os fatores que definem esta evolução podem ser exógenos ou modeladores, como o clima, a vegetação e os solos; e endógenos ou formadores de relevo, como a tectônica e a geologia (Christofolletti, 1982).

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.

De acordo com o Projeto RADAM (IBGE, 1986), a geomorfologia na região é caracterizada, predominantemente, pelo Domínio Morfoestrutural das Bacias e Coberturas Sedimentares, o qual corresponde as formações pertencentes à Bacia do Paraná. Este domínio é representado por seis regiões geomorfológicas, entretanto na área só são reconhecidas duas: o Planalto da Campanha e Depressão Central Gaúcha. Além deste, observa-se, limitado a pequenas porções, o Domínio Morfoestrutural de Depósitos Sedimentares. Este domínio é representado na área pela região geomorfológica da Planície Costeira Interna.

Na região em estudo, o Planalto da Campanha está limitado à região oeste da área e é representado pela unidade geomorfológica Planalto de Uruguaiana, subdividida em Nível Alto e Nível Baixo. Esta unidade caracteriza-se pela morfologia plana, sub-horizantalizada (Figura 5a e b), com caimento suave para oeste em direção ao Rio Uruguai. Os fenômenos de erosão e movimentos de massa são generalizados e traduzidos pela ocorrência de sulcos, ravinas e voçorocas. O risco de desertificação é expressivo, especialmente associado ao arenito da Formação Botucatu.

Já a Depressão Central Gaúcha apresenta maior expressão, com distribuição areal na parte central e leste da área em estudo. Esta região é representada pela unidade geomorfológica Depressão Rio Ibicuí-Rio Negro. Esta unidade apresenta-se dissecada em formas de topos convexos ou planos, normalmente amplos e alongados, cujas encostas caem suavemente em direção aos vales (Figura 5c).

Por fim, a região geomorfológica da Planície Costeira Interna é representada pela unidade geomorfológica da Planície Aluvio-Coluvionar. Esta unidade se encontra associada aos rios, entrecortando as outras unidades geomorfológicas citadas (Figura 5d).

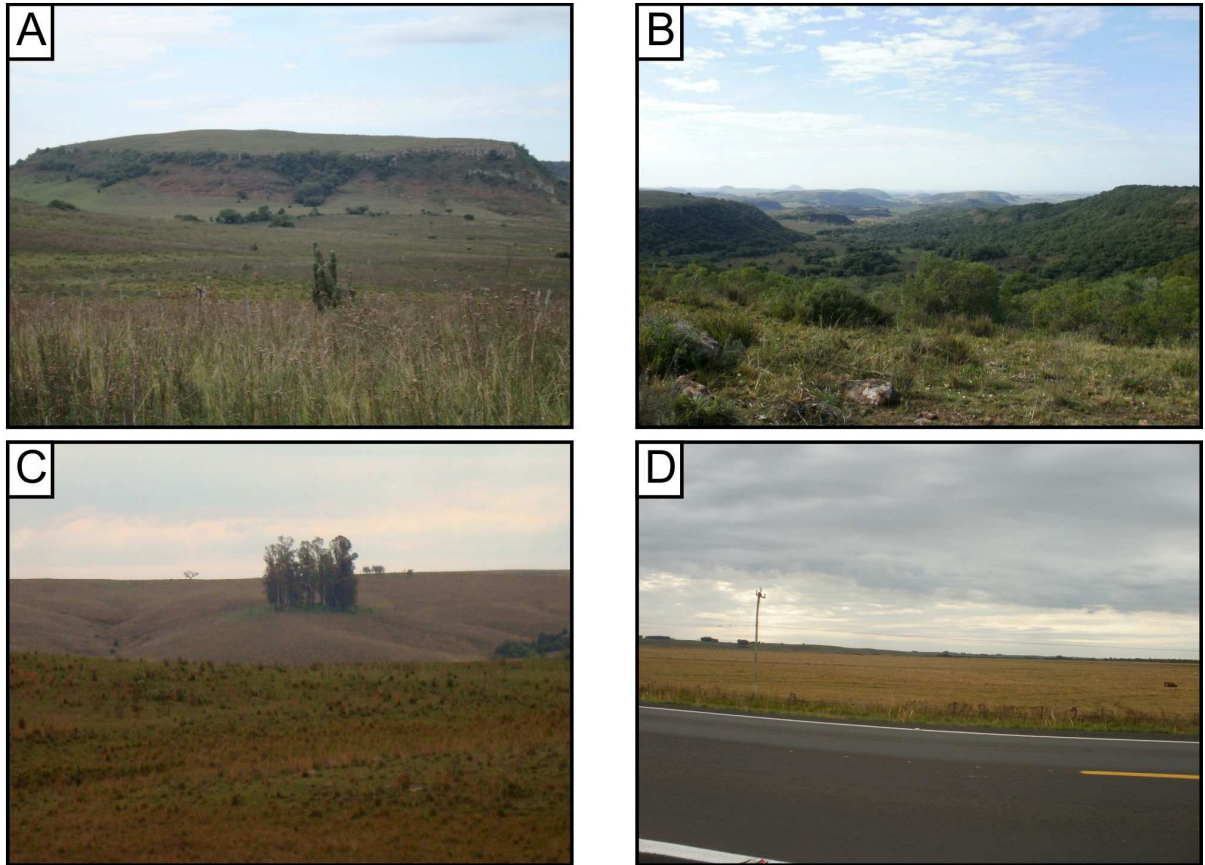


Figura 5. A e B) Unidade Geomorfológica Planalto de Uruguaiana; C) Unidade Geomorfológica Depressão Rio Ibicuí-Rio Negro; D) Unidade Geomorfológica Planície Aluvio-Coluvionar

## 7 CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO REGIONAL

O SAG constitui um sistema complexo e heterogêneo, onde os fluxos regionais e locais de águas subterrâneas são controlados por estruturas geotectônicas (arcos, falhas e diques), por condicionantes sedimentares (geometria, granulometria, grau de diagênese, estratos que o constituem e sua relação com os estratos inferiores e superiores) e por condicionantes geomorfológicas (altimetria, declividade e formas do relevo). No Rio Grande do Sul o SAG é representado pelos aquíferos relacionados às Formações Pirambóia, Sanga do Cabral, Guará e Botucatu.

As províncias hidrogeológicas do Estado do Rio Grande do Sul podem ser classificadas de acordo com seu potencial hídrico (CPRM, 2005). Na região visada neste projeto, são distinguidas cinco províncias, a saber: (1) Aquíferos com alta a média possibilidade para águas subterrâneas em rochas e sedimentos com porosidade intergranular, (2) Aquíferos com média a baixa possibilidade para águas subterrâneas em rochas e sedimentos com porosidade intergranular, (3) Aquífero com média a baixa possibilidade para águas subterrâneas em rochas com porosidade por fraturas, (4) Aquíferos limitados de baixa possibilidade para água subterrânea em rochas com porosidade intergranular ou por fraturas e (5) Aquíferos praticamente improdutivos em rochas com porosidade intergranular ou por fraturas (Figura 6).

A primeira província (Aquíferos com alta a média possibilidade para águas subterrâneas em rochas e sedimentos com porosidade intergranular) corresponde ao Sistema Aquífero Botucatu/Guará I, restrita à fronteira oeste, onde aflora entre Santana do Livramento e Jaguarí e à porção confinada pelas rochas basálticas, nos municípios de Santana do Livramento, Alegrete, Quaraí, Uruguaiana, Itaqui e São Borja. Na área aflorante, as capacidades específicas variam entre 1 e 3 m<sup>3</sup>/h/m e os sólidos dissolvidos totais raramente ultrapassam a 250 mg/l. Na área confinada as capacidades específicas ultrapassam a 4 m<sup>3</sup>/h/m, alcançando até 10 m<sup>3</sup>/h/m e os sólidos totais dissolvidos variam entre 250 e 400 mg/l. Esta província representa a área de recarga principal na área em estudo (CPRM, 2005).

A segunda província (Aquíferos com média a baixa possibilidade para águas subterrâneas em rochas e sedimentos com porosidade intergranular) é relacionada ao Sistema Aquífero Sanga do Cabral/Pirambóia, que aflora desde a fronteira do estado com o Uruguai até a região de Taquari. As capacidades específicas são muito variáveis, em geral entre 0,5 e 1,5 m<sup>3</sup>/h/m. A salinidade oscila de 100 mg/l nas áreas aflorantes a mais de 300 mg/l nas

áreas confinadas, enquanto na região central do Estado pode alcançar salinidades entre 3000 e 5000 mg/l (CPRM, 2005).

A terceira província (Aquífero com média a baixa possibilidade para águas subterrâneas em rochas com porosidade por fraturas) é referente ao Sistema Aquífero Serra Geral II, que ocupa a parte oeste do Estado, os limites das rochas vulcânicas com o Rio Uruguai e as litologias gonduânicas além da extensa área nordeste do planalto associada com os derrames da Unidade Hidroestratigráfica Serra Geral. Suas litologias são predominantemente riolitos, riodacitos e, em menor proporção, basaltos fraturados. A capacidade específica é inferior a  $0,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ , entretanto, excepcionalmente em áreas mais fraturadas ou com arenitos na base do sistema, podem ser encontrados valores superiores a  $2 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ . As salinidades apresentam valores baixos, geralmente inferiores a 250 mg/l. Valores maiores de pH, salinidade e teores de sódio podem ser encontrados nas áreas influenciadas por descargas ascendentes do Sistema Aquífero Guarani (CPRM, 2005).

A quarta província (Aquíferos limitados de baixa possibilidade para água subterrânea em rochas com porosidade intergranular ou por fraturas) corresponde aos aquíferos permianos que se localizam em uma estreita faixa na depressão periférica, circundando o embasamento cristalino, desde Candiota no sul do estado até Taquara no leste. Tratam-se de siltitos argilosos, argilitos cinza-escuros, folhelhos pirobetuminosos e pequenas camadas de margas e arenitos. Normalmente os poços que captam somente essas litologias apresentam vazões muito baixas ou são secos. As capacidades específicas são geralmente inferiores a  $0,1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$  e as águas podem ser duras, com grande quantidade de sais de cálcio e magnésio (CPRM, 2005).

A quinta província (Aquíferos praticamente improdutivos em rochas com porosidade intergranular ou por fraturas) corresponde ao Sistema Aquífero Basalto/Botucatu, que se estende na área em estudo desde a fronteira oeste até a região das missões, entre Santiago, Unistalda e São Borja. Incluem-se também nesta província áreas com morros isolados de basalto sobre arenitos da Unidade Hidroestratigráfica Botucatu, tanto na fronteira oeste quanto na porção leste do Estado. São áreas desfavoráveis ao armazenamento de água subterrânea devido a sua condição topo-estrutural e os poços são secos ou com baixas vazões (CPRM, 2005).

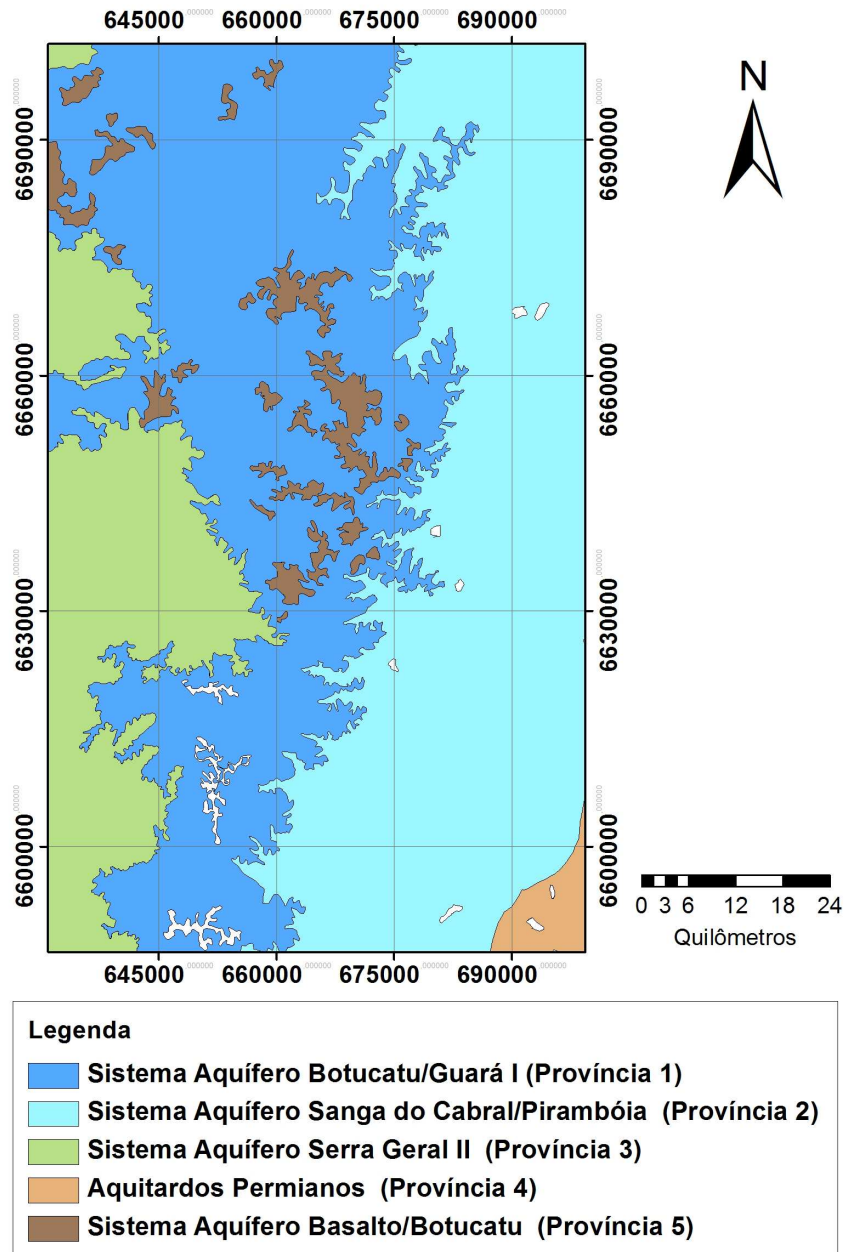


Figura 6. Mapa hidrogeológico da área de estudo (modificado CPRM, 2005).

## 8 HIDROGEOLOGIA DA ÁREA EM ESTUDO

Diversos fatores influenciam no comportamento hidrogeológico de um aquífero, desde a sua recarga até o comportamento de seu fluxo. Fatores como o tipo de solo sobreposto, declividade do terreno, permeabilidade, cobertura vegetal, além das características internas do aquífero, como porosidade primária e o grau de fraturamento, que define o comportamento do aquífero como poroso, fraturado ou misto. É importante salientar que todos estes fatores estão diretamente ligados ao tipo litológico.

Na região em estudo são identificados dois diferentes sistemas de aquíferos: o SAG e o SASG (Sistema Aquífero Serra Geral). Entre eles, o SAG aparece como dominante, abrangendo cerca de 2/3 da área, e o SASG está limitado somente à porção oeste.

No geral, o SAG apresenta características hidrodinâmicas de um aquífero poroso, entretanto, o seu comportamento hidráulico pode ser afetado por diversos fatores tectônicos desenvolvidos nas unidades aquíferas. Na região em estudo, a caracterização estrutural da tectônica rígida realizada através do traçado de lineamentos evidenciou a natureza mista do aquífero SAG, o qual mostrou possuir não somente porosidade e permeabilidade primária, mas também o caráter secundário destes fatores relacionados ao fraturamentos na região. Sendo assim, torna-se extremamente importante realizar um estudo aprofundado das condições de formação das fraturas, das principais direções e a interconexão das fraturas, de sua densidade espacial e seu comprimento. Machado (2005) utilizou dados de poços tubulares no município de Uruguaiana para construção de um perfil que evidencia o compartimentamento de aquíferos por sistemas de fraturas (Figura 7).

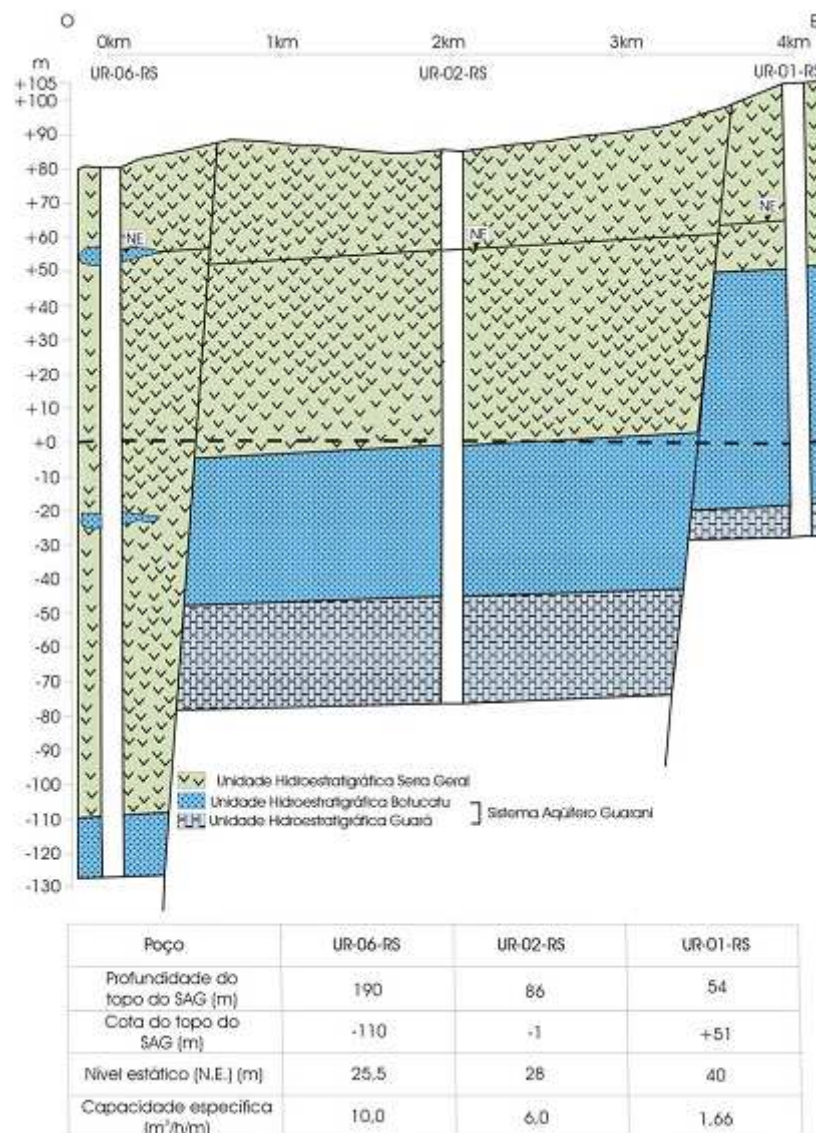


Figura 7. Seção no município de Uruguai, mostrando o efeito das condições estruturais do topo do SAG sobre a produtividade dos poços (Machado, 2005).

Desta maneira, a tectônica rígida pode determinar padrões de fluxos das águas subterrâneas e produzir modelos complexos, que caracterizam o chamado sistema aquífero. É importante ressaltar que fraturamentos profundos podem interceptar litologias distintas, podendo ocorrer interação e/ou mistura de águas de aquíferos quimicamente distintos (Betiollo, 2006).

Para caracterização hidrogeológica e hidroquímica da área em estudo foram utilizadas informações secundárias compiladas em um banco de dados. No total, foram coletadas informações sobre 105 poços, entretanto apenas 98 poços destes possuíam dados hidrogeológicos e apenas 26 dados hidroquímicos. Destes 98 poços com informações

hidrogeológicas, apenas 78 possuem informações consistentes, tais como nível estático, nível dinâmico e vazão (Figura 8). Já dos 26 poços coletados com hidroquímica, muitos apresentam análises incompletas e quando completas apresentam erros no balanço iônico, inviabilizando o uso destas. Do total de 26, apenas 16 poços com análises químicas puderam ser aproveitadas.

Dos 98 poços com dados hidrogeológicos, 85 captam água das unidades aquíferas do SAG, enquanto os outros 13 captam somente água do SASG. Nos poços que captam água do SASG, a coluna de rochas vulcânicas varia de 50 a 100m, entretanto em Santana do Livramento há a ocorrência de um poço captando somente água do SASG e que apresenta espessura litológica da ordem de 236m. Nos poços que captam água do SAG, a profundidade média dos poços é de 90m.

Para fins de contemplação da vazão média dos poços tubulares na região, as vazões foram agrupadas em menores que  $5\text{m}^3/\text{h}$ ,  $5\text{-}20\text{m}^3/\text{h}$ ,  $20\text{-}50\text{m}^3/\text{h}$  e maiores  $50\text{m}^3/\text{h}$  (Figura 9). Do total de poços, 46 apresentam vazões menores  $5\text{m}^3/\text{h}$ , 26 vazões de  $5\text{-}20\text{m}^3/\text{h}$ , 15 vazões de  $20\text{-}50\text{m}^3/\text{h}$  e apenas 8 com vazões superiores a  $50\text{m}^3/\text{h}$ . Um aspecto importante a salientar é que as maiores vazões estão relacionados a poços que captam água do SAG e estão confinados pelas rochas vulcânicas do SASG.



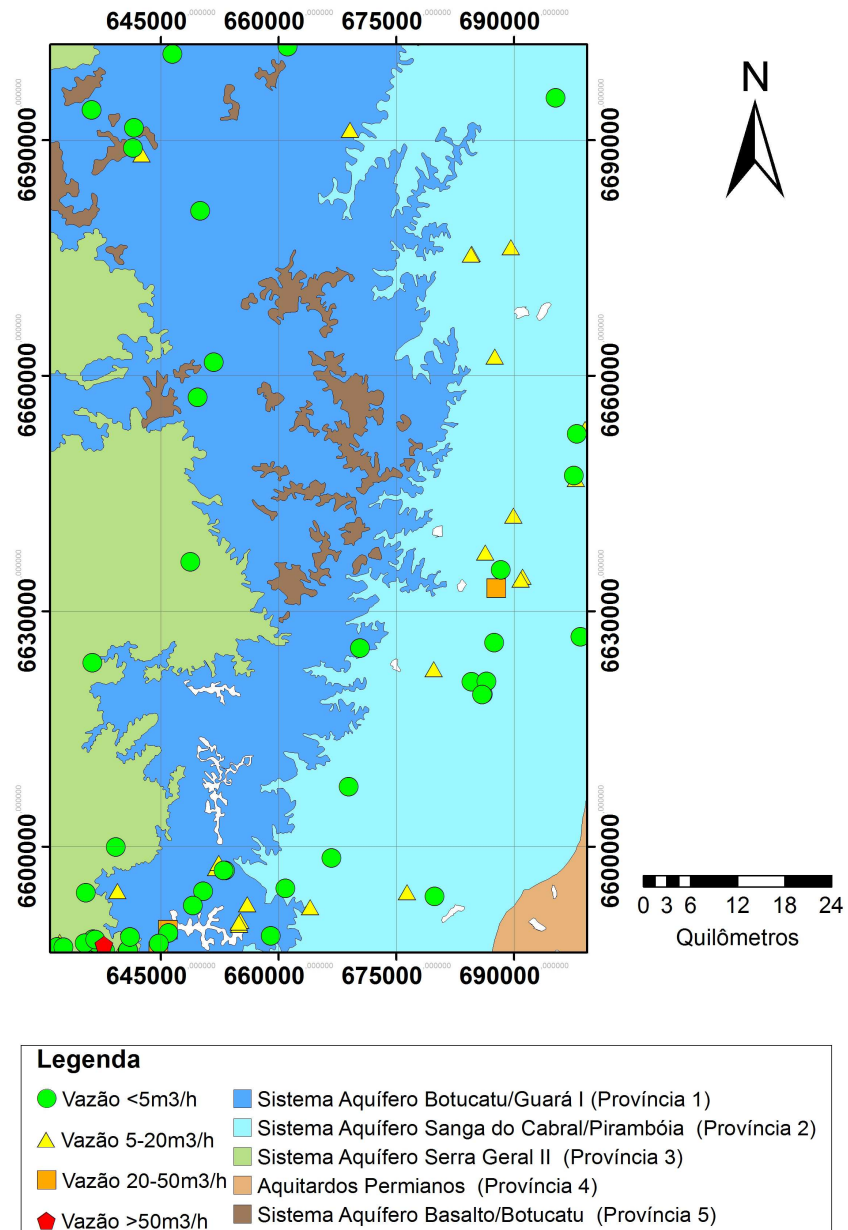


Figura 8. Mapa hidrogeológico com poços utilizados nos estudos (modificado CPRM, 2005).

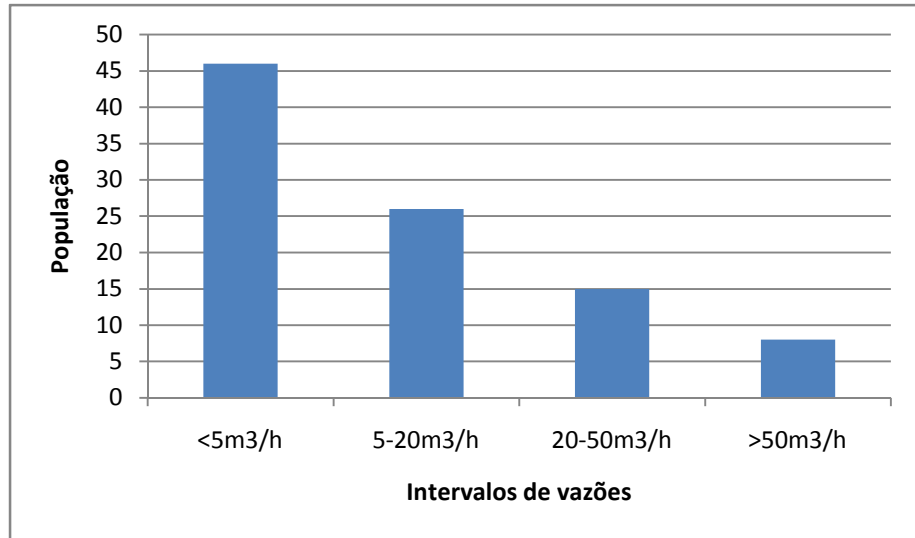


Figura 9. Intervalos de vazão e seus conjuntos populacionais.

## 9 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste estudo foram utilizadas diversas técnicas que envolvem o conhecimento de geologia estrutural, sensoriamento remoto, hidrogeologia, *softwares* específicos e geomorfologia.

### 9.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

Etapa reservada para revisão bibliográfica e elaboração do banco de dados.

#### 9.1.1 Revisão Bibliográfica

Revisão dos conceitos básicos e de trabalhos publicados sobre geologia da região e o SAG, com ênfase nos trabalhos que referem à influência da tectônica rígida no comportamento hidrogeológico e hidroquímico de aquíferos. Para isto, foram utilizados livros e artigos disponíveis na Biblioteca do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), no Portal de Periódicos da CAPES, *SciELO* e *ScienceDirect*, além de relatórios de planos de bacias junto à SEMA-DRH.

#### 9.1.2 Elaboração do banco de dados

- **Dados pluviométricos e fluviométricos:** Foram coletados dados das estações fluviométricas e pluviométricas que constam da plataforma HidroWeb da ANA (Agência Nacional de Águas).

- **Dados de poços tubulares:** Realizou-se busca e coleta de dados hidrogeológicos e hidroquímicos disponibilizados pela CPRM, na plataforma SIAGAS, e na empresa privada HidroGeo Perfurações.

- **Mapas e imagens base:** Foram pesquisados e obtidos mapas geológicos, hidrogeológicos, imagens de satélite e bases cartográficas, contendo limites municipais, áreas urbanas e bacias hidrográficas em formato digital para processamento no *Software ArcGIS*. Os mapas e imagens foram pesquisados a partir de bibliotecas virtuais da CPRM e FEPAM e na plataforma *Earth Explorer* da *USGS*.

## 9.2 ATIVIDADES DE GEOPROCESSAMENTO

Etapa reservada para compilação dos dados obtidos, elaboração e tratamento de imagens e interpretação de imagens.

### 9.2.1 Compilação dos dados

Por se tratar de um *software* SIG (Sistema de Informações Geográficas), os dados coletados na etapa de elaboração de banco de dados foram compilados em ambiente *ArcGIS*. O processamento dos dados neste ambiente proporciona maior eficácia no geoprocessamento e interatividade para compreensão e correlações entre os dados.

### 9.2.2 Elaboração e tratamento de imagens

Com uso de ferramentas que integram o *ArcGIS*, foram realizados tratamentos nas imagens já existentes a fim de ressaltar as principais feições morfológicas da geologia, e, principalmente, as estruturas geradas pela tectônica rígida. Desta forma, atenção especial foi dedicada à transformação das imagens MNT (Modelo Numérico do Terreno) em relevo sombreado. Para isso, foram utilizadas as MNT do trabalho publicado por WEBER, E. et al, (2004), o qual agrupou e gerou modelos digitais de elevação em formato *Geotiff* e arquivo vetorial *Shape File* para cada estado da federação brasileira através de MNT fornecidas pelo projeto *Shuttle Radar Topography Mission – SRTM (USGS)*.

- **Relevo sombreado:** imagens de relevo sombreado são frutos da associação de dados altimétricos com ângulos hipotéticos de incidência de iluminação, desta forma, produzindo imagens sombreadas que destacam a morfologia do terreno. Com o uso da ferramenta *Hillshade* disponível no *ArcGIS*, atribui-se como base de dados altimétricos o modelo numérico do terreno (MNT), onde os valores de cotas do terreno são representados por variações nos níveis de cinza, associado com azimutes e ângulos de iluminação hipotéticos. Os valores adotados de azimute foram 45°, 135°, 225° e 315° com ângulo de incidência de iluminação a 45° - valor utilizado por melhor ressaltar as feições geradas pela tectônica rígida (Figura 10).

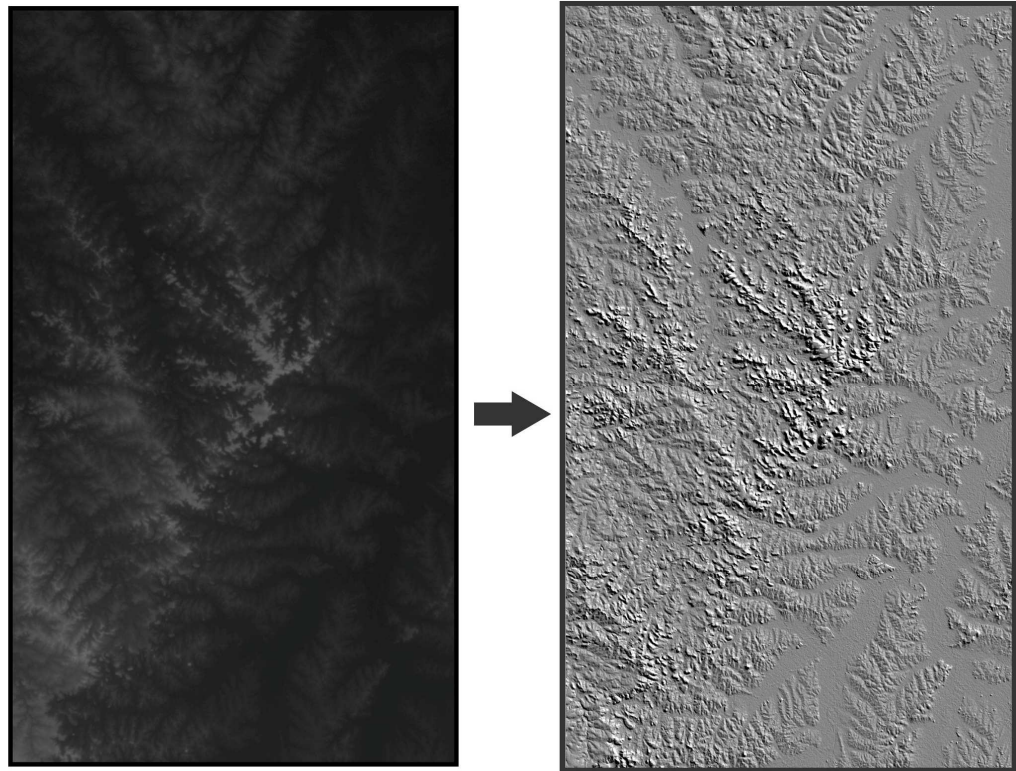


Figura 10. Modelo numérico do terreno (MNT) transformado em relevo sombreado com a ferramenta hillshade. Ângulo de azimute a  $315^{\circ}$  e  $45^{\circ}$  de incidência de iluminação.

### 9.2.3 Interpretação de imagens

Nesta etapa, em primeiro momento, realizou-se o reconhecimento geológico e hidrográfico da região a partir do geoprocessamento de imagens LANDSAT-7 +ETM disponibilizadas na plataforma *Earth Explorer*, correlacionando-se as informações obtidas com dados fornecidos por mapas existentes. Em segundo momento, as imagens elaboradas e tratadas na etapa anterior, juntamente com outras presentes no banco de dados, foram analisadas e interpretadas na forma de traçados de lineamentos (Figura 11), de modo que cada linha representa uma feição consequência da tectônica rígida. A escala utilizada para realização dos traçados foi de 1:250.000, o que permitiu traçar estruturas em escala regional.

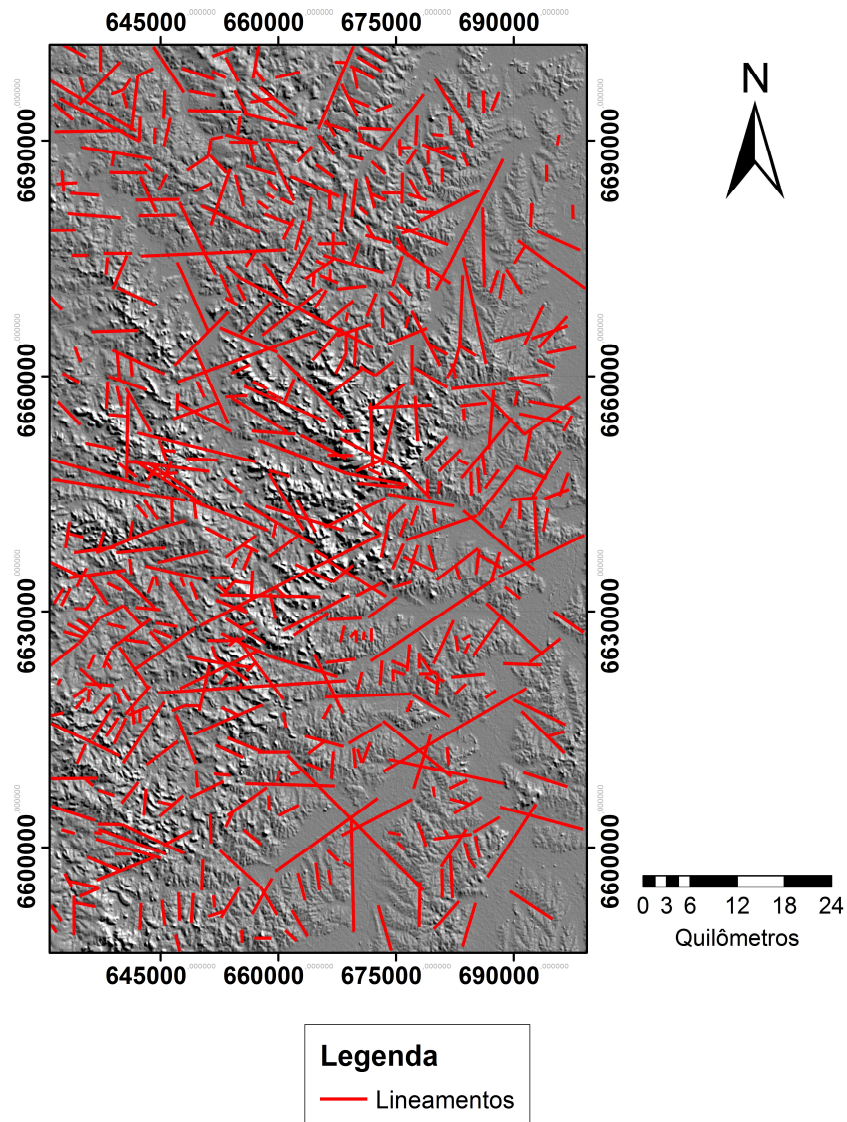


Figura 11. Mapa de totalidade de lineamentos traçados em relevo sombreado com ângulo de azimute a 45° e 45° de incidência de iluminação.

### 9.2.3.1 Análise e classificação dos lineamentos

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

Em ambiente em *ArcGIS*, com o uso da ferramenta *Calculate Geometry*, pertencente à extensão *Tools for Graphics and Shapes*, os lineamentos traçados tiveram azimutes (0° a 360°) e comprimento atribuídos ao seu arquivo de dados.

Os arquivos contendo as informações de azimutes foram levados ao software *Rockworks* para construção de diagramas de Roseta. Os diagramas foram construídos com o auxílio da ferramenta *Rose Diagram – From Bearings*.

Com as informações de comprimento, os lineamentos foram classificados e separados em 3 classes: de pequeno porte (<10km), médio porte (10-100km) e grande porte (>100km)

Ainda nesta etapa, com o auxílio da ferramenta *Line Density* no *ArcGIS*, foram gerados mapas de densidades de lineamentos. 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 (m/m<sup>2</sup>).

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 (Figura 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, que são avaliados em função dos poços cadastrados anteriormente.

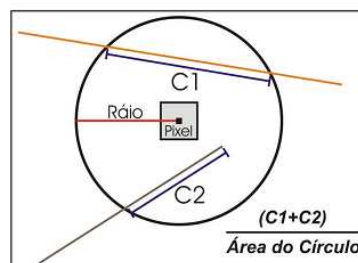


Figura 12. Figura mostrando o conceito do cálculo da densidade de lineamento onde C1 e C2 são as porções de comprimento dos lineamentos que inseridos da área do círculo (Oliveira et al, 2009).

### 9.3 TRABALHOS DE CAMPO

Esta etapa teve por objetivo certificar as informações obtidas na etapa de geoprocessamento, referentes ao meio físico, dando-se ênfase à geologia aflorante, assim como na coleta de novos dados hidroquímicos e hidrogeológicos de poços tubulares. A atividade constou de quatro dias de trabalho (1<sup>o</sup> a 4 de julho de 2011), com realização de



perfis que interseccionam as principais litologias da área em estudo. Buscou-se, além disso, percorrer setores em que a densidade de poços tubulares registrados no banco de dados é menor, na tentativa de aquisição de novos dados. Com as informações obtidas no trabalho de campo, o banco de dados foi complementado e organizado para sistematização do processo de interpretação dos dados obtidos.

## 9.4 TRATAMENTO DE DADOS HIDROGEOLÓGICOS, HIDROQUÍMICOS E HIDROLÓGICOS

Etapa reservada para sistematização do banco de análises hidroquímicas, construção de mapas potenciométricos e tratamento de dados hidrológicos.

### 9.4.1 Sistematização do banco de análises hidroquímicas

As informações hidroquímicas contidas no banco de dados foram submetidas à balanços iônicos e plotadas no diagrama de classificação de Piper (Piper, A.M, 1953). Como parâmetro de consistência das análises, admitiu-se erro no balanço de cargas de até 10%. Para os processos descritos foi utilizado o *software Rockworks*.

### 9.4.2 Construção de mapas potenciométricos

O mapa potenciométrico é gerado conhecendo-se a cota do nível d'água, que é materializada por uma superfície equipotencial, traçada segundo uma equidistância adaptada às condições de escoamento. O mapa será resultado da reunião de curvas equipotenciais traçadas sobre um mapa topográfico (EPA, 1994).

A partir das informações de nível estático dos poços coletados, com a ferramenta *Calculate Geometry*, disponível na *Attribute Table* no *software ArcGIS*, calculou-se o nível potenciométrico subtraindo o valor da cota do terreno da cota do nível estático de cada poço. Os valores obtidos foram submetidos a diversos métodos de interpolação no *software ArcGIS*, a fim de se definir o mais adequado para as condições existentes de distribuição dos poços. Entre os métodos utilizados, o que mais se mostrou adequado foi o de *IDW (Inverse Distance Weighted)*.



O método de interpolação por *IDW* estima os valores das células pela média dos valores de pontos de dados de amostra na vizinhança de cada célula de processamento. Quanto mais próximo um ponto é do centro da célula que está sendo estimado, mais influência, ou peso, tem no processo de cálculo da média.

Desta maneira, foi construído um mapa potenciométrico para testar a interferência dos lineamentos no comportamento hidráulico do aquífero, assim como tendências de fluxo das águas subterrâneas, geometria do fluxo e inter-relações entre aquíferos.

### **9.4.3 Tratamento de dados hidrológicos**

Etapa designada ao tratamento dos dados hidrológicos referentes à pluviometria e fluviometria da região em estudo.

#### 9.4.3.1 Espacialização das estações pluviométricas e média de chuvas

A área em estudo consta de 5 estações pluviométricas em toda sua extensão, sendo elas as estações BR-293, SAICA, São Carlos, São João e Santa Rita. A cada estação pluviométrica foi atribuída uma área abrangência das chuvas com raio de 20 km. Utilizando-se desse parâmetro, pode-se aproveitar 4 estações que estão localizadas fora da área em estudo, mas que seu raio de influência estão dentro da área.

Destas estações foram selecionadas séries históricas de 5 anos e realizada a média aritmética para cada estação. Utilizou-se a série histórica do ano de 2000 a 2005 pelo fato de todas as estações, com exceção da estação São João, possuírem informações destes anos.

Devido ao fato da estação São João não possuir a série histórica completa, e somente o ano de 2005, realizou-se a média aritmética através das médias aritméticas das estações vizinhas. Este procedimento foi adotado pelo fato das estações pluviométricas na região possuírem níveis anuais de chuva semelhantes.

#### 9.4.3.2 Estações fluviométricas

A área em estudo consta apenas da estação fluviométrica Passo do Osório, a qual está localizada na porção noroeste da área. Para fins de estimativa de recarga dos aquíferos na

região, a utilização desta não é aconselhada devido às dimensões da área e sua representatividade local em estudo.

## **10 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

Apresentação e discussão das informações coletadas através das etapas metodológicas propostas.

### **10.1 ANÁLISE PLUVIOMÉTRICA**

A análise pluviométrica realizada através média histórica de 5 anos, demonstrou nas estações pluviométricas que cobrem região registros semelhantes evidenciando uma cobertura relativamente homogênea em chuvas em toda a extensão da área(Figura 13).

Este resultado indica que a recarga pluviométrica do aquífero não é condicionada por diferenças de pluviometria em cada setor, mas condicionada pelas características litológicas, estruturais e morfológicas do terreno.

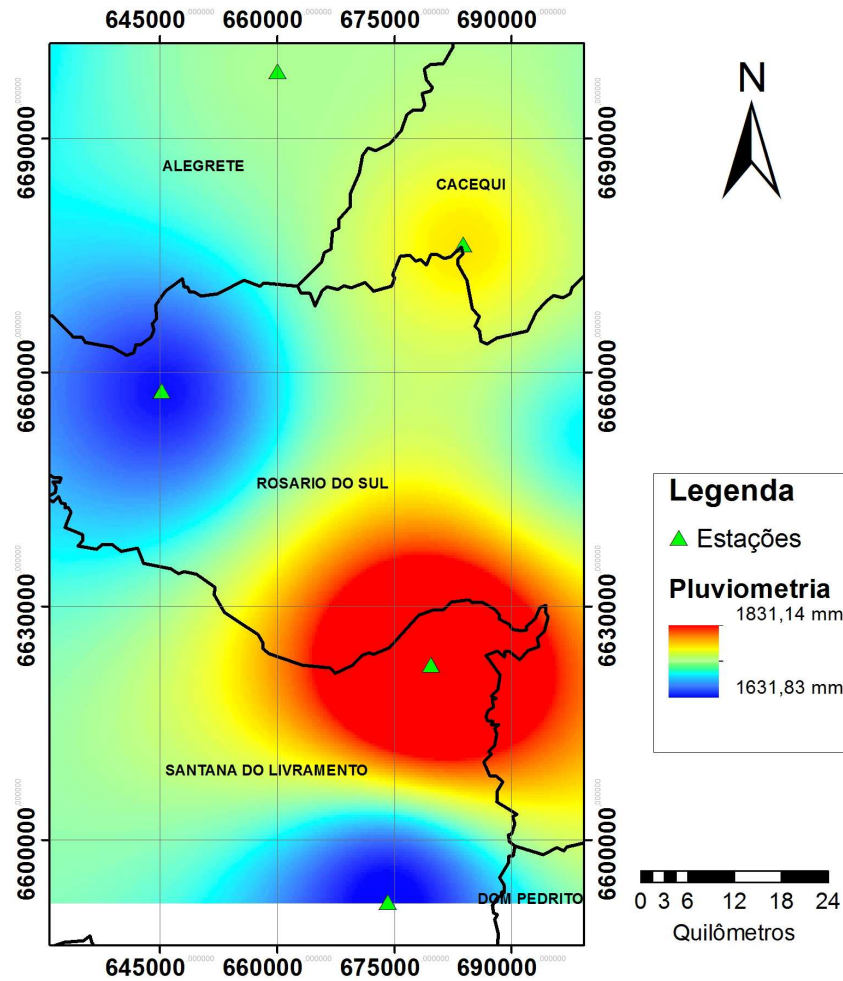


Figura 13. Mapa pluviométrico da área em estudo.

## 10.2 ANÁLISE HIDROQUÍMICA

A área em estudo apresenta carência de poços tubulares com análises químicas consistentes. Além disto, a distribuição areal não é homogênea, o que torna imprecisa e pouco robusta a regionalização hidroquímica do SAG.

Com o total de 26 poços contendo informações hidroquímicas, apenas 16 possuem valor menor que 10% de erro no balanço iônico. A análise destes 16 poços, plotados em diagrama de Piper, evidenciam o caráter bicarbonatado cálcico e/ou magnésiano das águas (Figura 14).

O pH das águas varia entre 5,1 e 9,0, com média aritmética de 6,8. Poços mais alcalinos provavelmente evidenciam misturas com água de aquíferos mais profundos com cimentação carbonática.

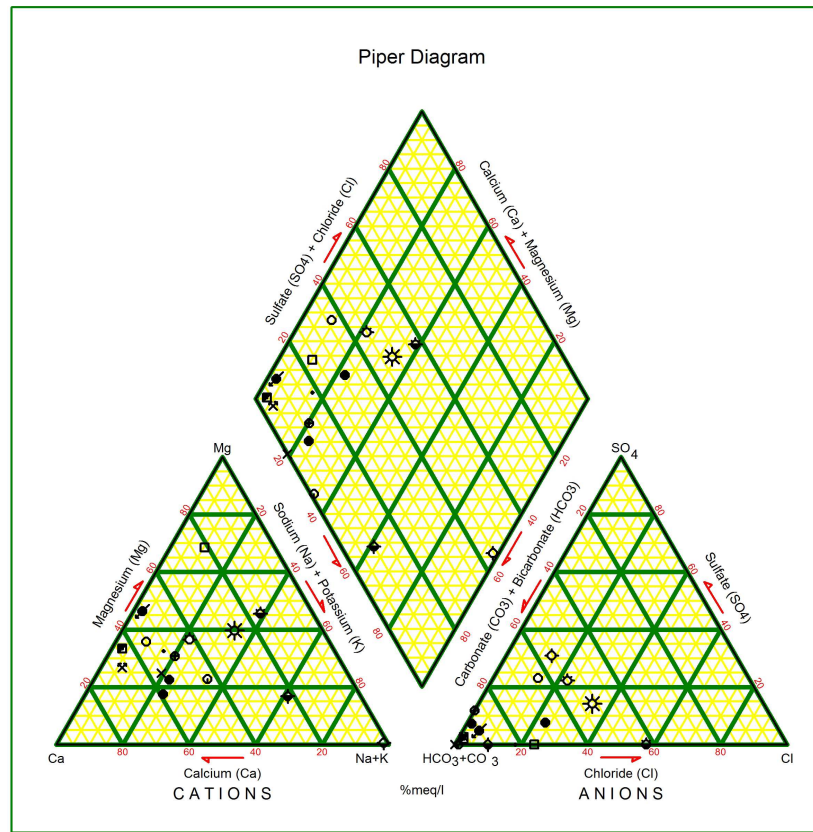


Figura 14. Diagrama de Piper para área em estudo.

### 10.3 ANÁLISE DE LINEAMENTOS

Sobre as imagens de relevo sombreado confeccionadas para a área em estudo foram traçados 587 lineamentos tectônicos. Estes traçados resultaram em um arquivo vetorial, onde cada lineamento possui informações de coordenadas UTM em seus pontos extremos  $\{(x_1, y_1); (x_2, y_2)\}$ , dando suporte para a determinação da densidade dos fraturamentos. Como auxílio para interpretação dos dados obtidos foram realizadas filtragens de direção e comprimentos dos lineamentos, sendo confeccionados diagramas de rosetas e mapas de densidade para cada filtragem feita. Estas informações foram elaboradas a fim de servir de suporte para o teste de influência dos lineamentos sobre as características hidrogeológicas na área.

### 10.3.1 Análise tectônica do total de lineamentos

O mapa de densidade da total de lineamentos na área, gerado com 587 traçados, apresenta concentração maior de densidades na porção central da área (Figura 15). Estes mesmos lineamentos, quando dispostos em diagramas de roseta, apresentam direções preferenciais N60-70W e N0-10E (Figura 16).

Em relação aos comprimentos dos traçados, os lineamentos de 2 a 4km são os mais expressivos em toda a área (Figura 17).

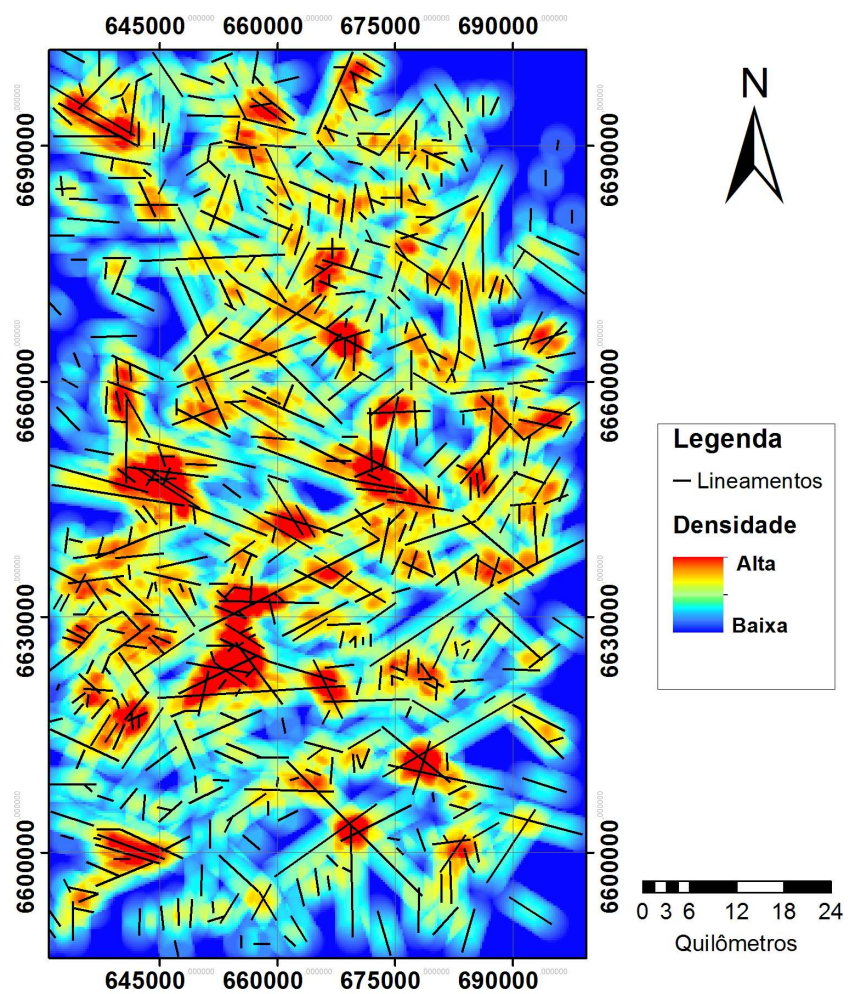


Figura 15. Mapa de densidade do total de lineamentos.

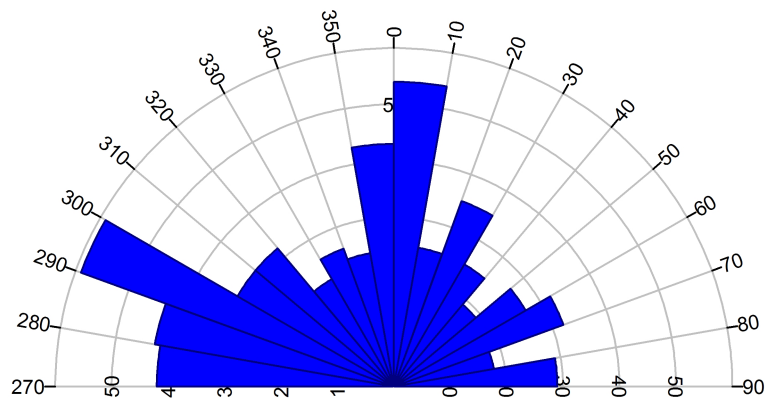


Figura 16. Diagrama de roseta do total de lineamentos.

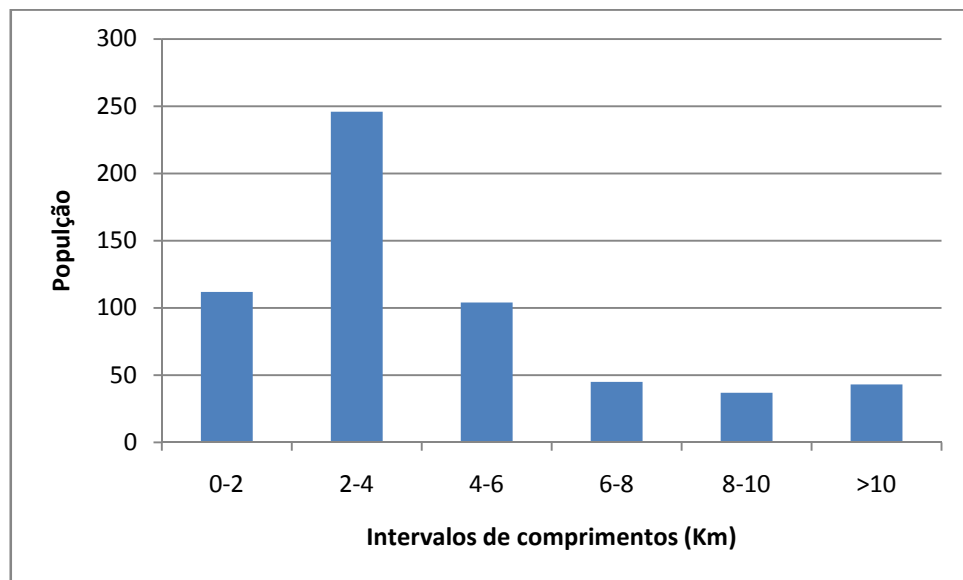


Figura 17. Intervalos de comprimento dos lineamentos totais e suas populações.

### 10.3.2 Análise tectônica dos lineamentos de pequeno porte

Os lineamentos de pequeno são os que apresentam maior expressão na área em estudo, totalizando 544 traçados. Sua distribuição não demonstra padrão marcante e apenas possui leve tendência à concentração nas regiões oeste, sudoeste e centro-norte (Figura 18). No diagrama de rosetas os lineamentos apresentam direções preferenciais N60-70W e N0-10E (Figura 19). Pela sua maior representatividade numérica, a semelhança com o diagrama de roseta total do total lineamentos é evidente.



Em relação aos comprimentos dos traçados, os lineamentos de 2 a 4km são os mais expressivos em toda a área (Figura 20).

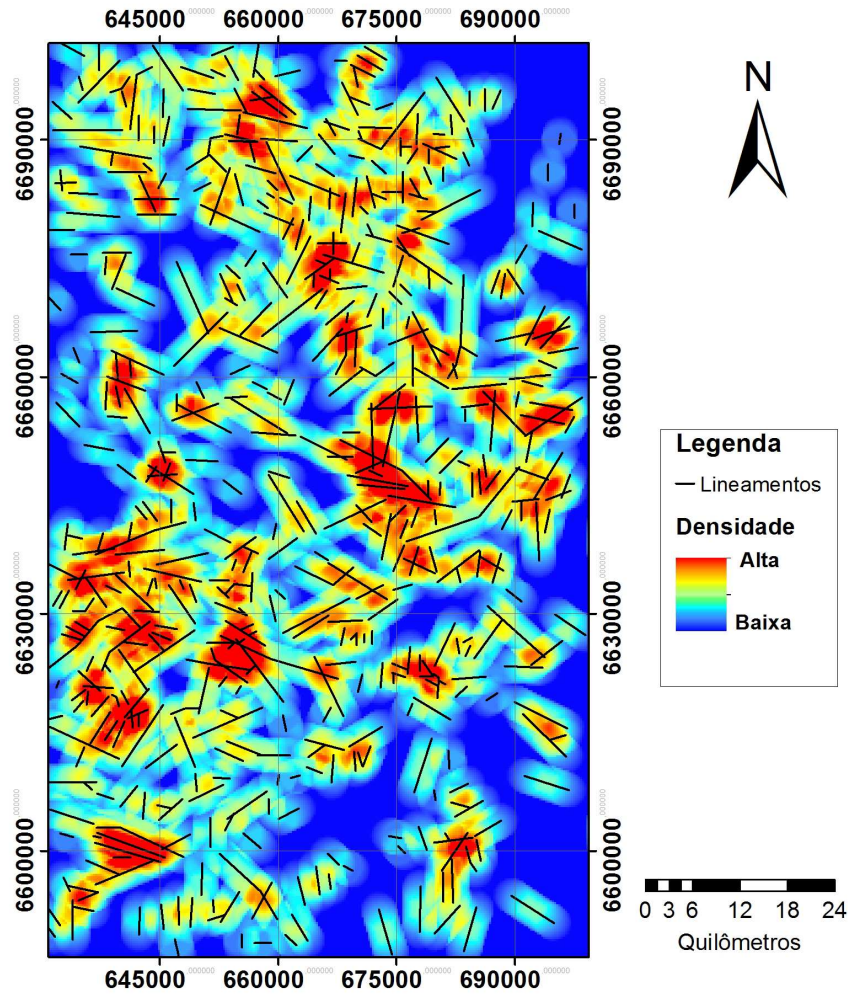


Figura 18. Mapa de densidade dos lineamentos de pequeno porte.



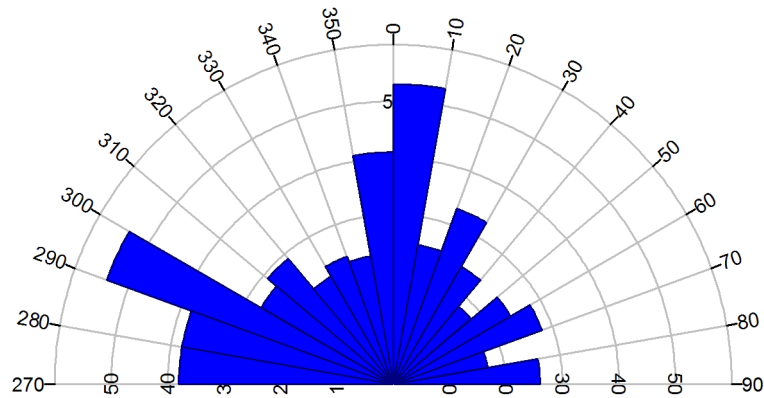


Figura 19. Diagrama de roseta dos lineamentos de pequeno porte.

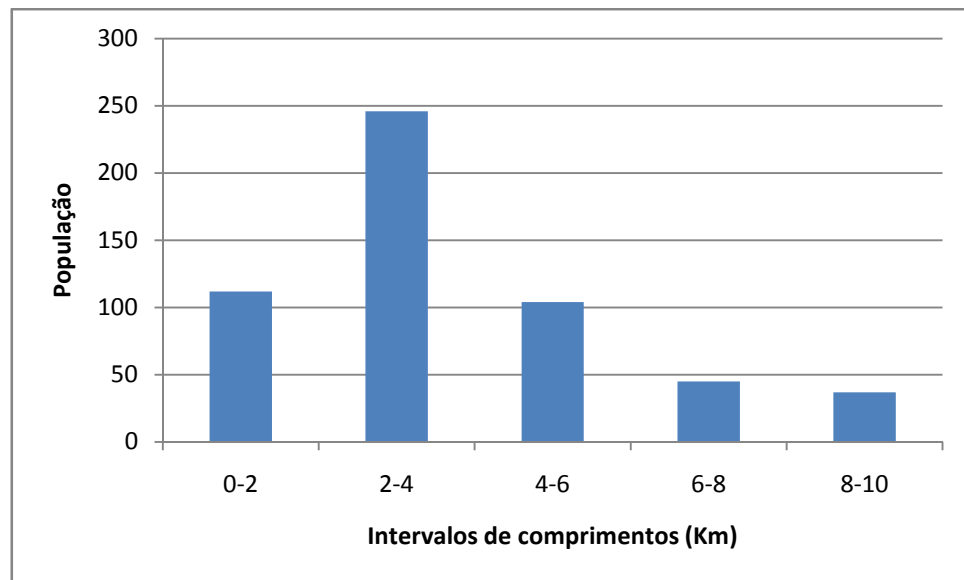


Figura 20. Intervalos de comprimento dos lineamentos de pequeno porte e suas populações.

### 10.3.3 Análise tectônica dos lineamentos de médio porte

Os lineamentos de médio porte são pouco representativos, sendo representados por um 44 traçados dentre aqueles considerados no presente estudo. A distribuição das densidades não apresenta padrão marcante, entretanto é visível uma maior concentração na porção centro-sul da área (Figura 21). Dispostos em diagramas de roseta apresentam direções preferenciais N50-80W (Figura 22).

Em relação ao comprimento dos traçados, lineamentos com 10 a 12km são os mais expressivos em toda a área (Figura 23).

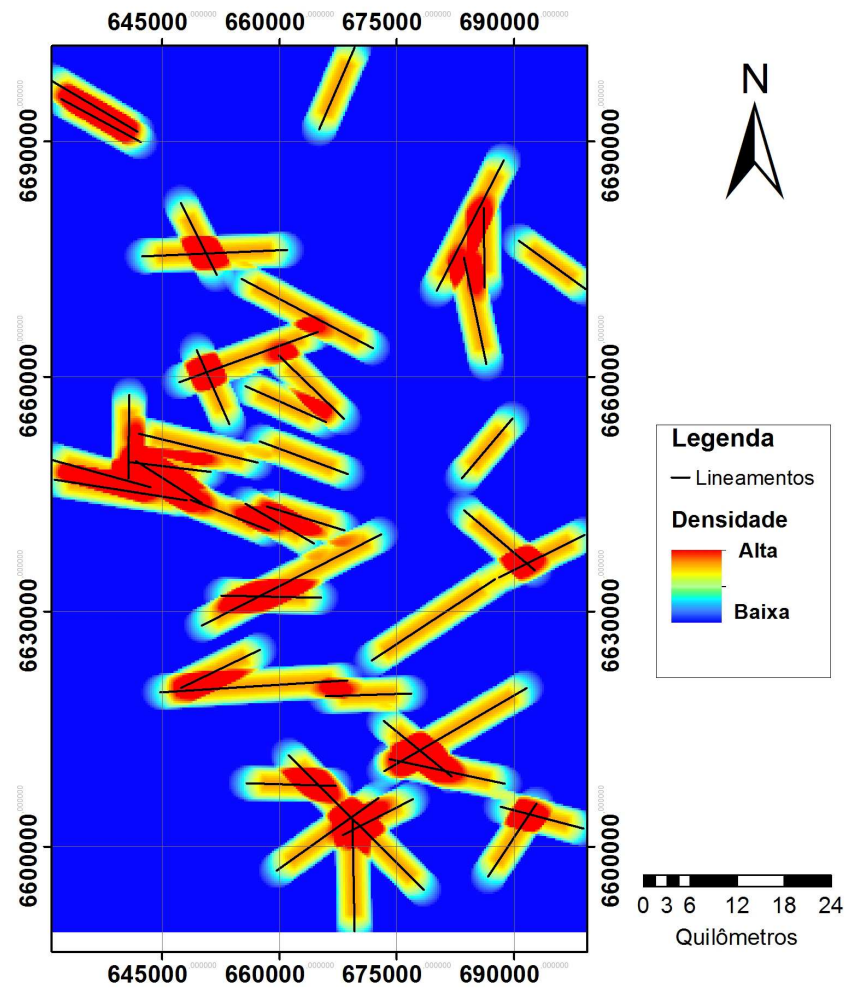


Figura 21. Mapa de densidade dos lineamentos de médio porte.

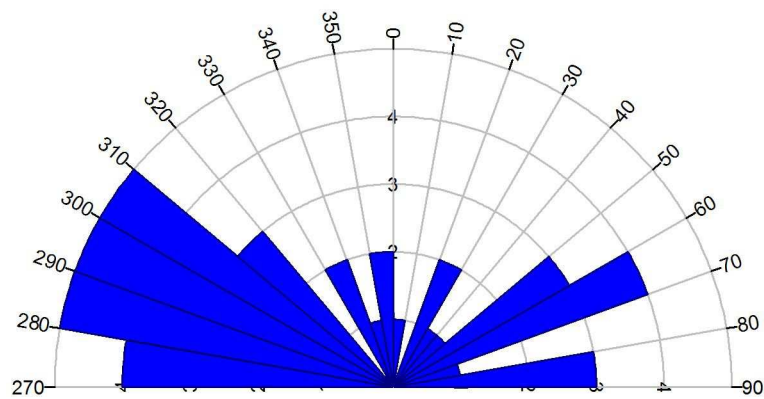


Figura 22. Diagrama de roseta dos lineamentos de médio porte.

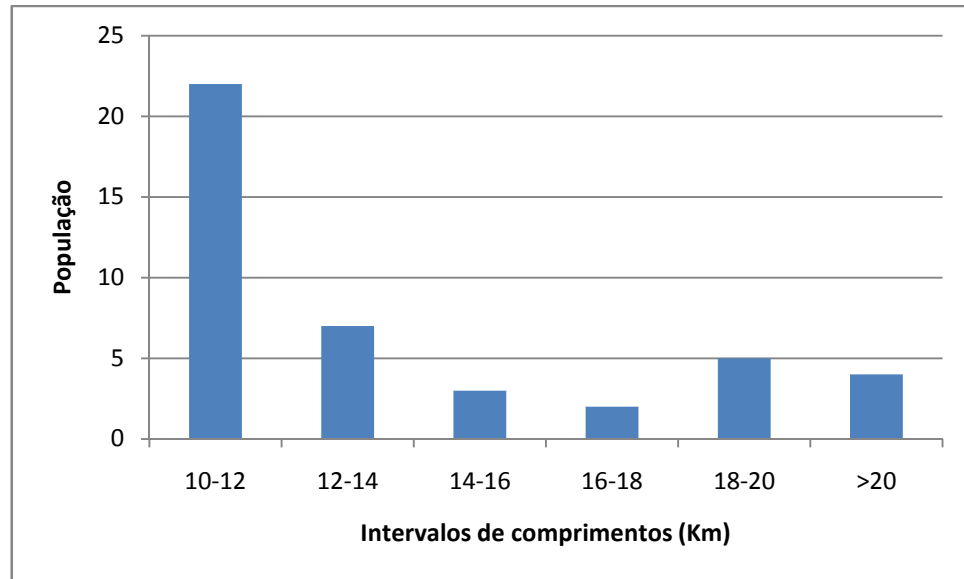


Figura 23. Intervalos de comprimento dos lineamentos de médio porte e suas populações.

#### 10.3.4 Análise tectônica dos lineamentos N-NE

Os lineamentos N-NE são representados por um total de 149 lineamentos que se distribuem em toda área estudada, estando concentrados na região centro-norte (Figura 24), predominando amplamente (cerca de 50%) aqueles com 2 a 4km de comprimento (Figura 25).

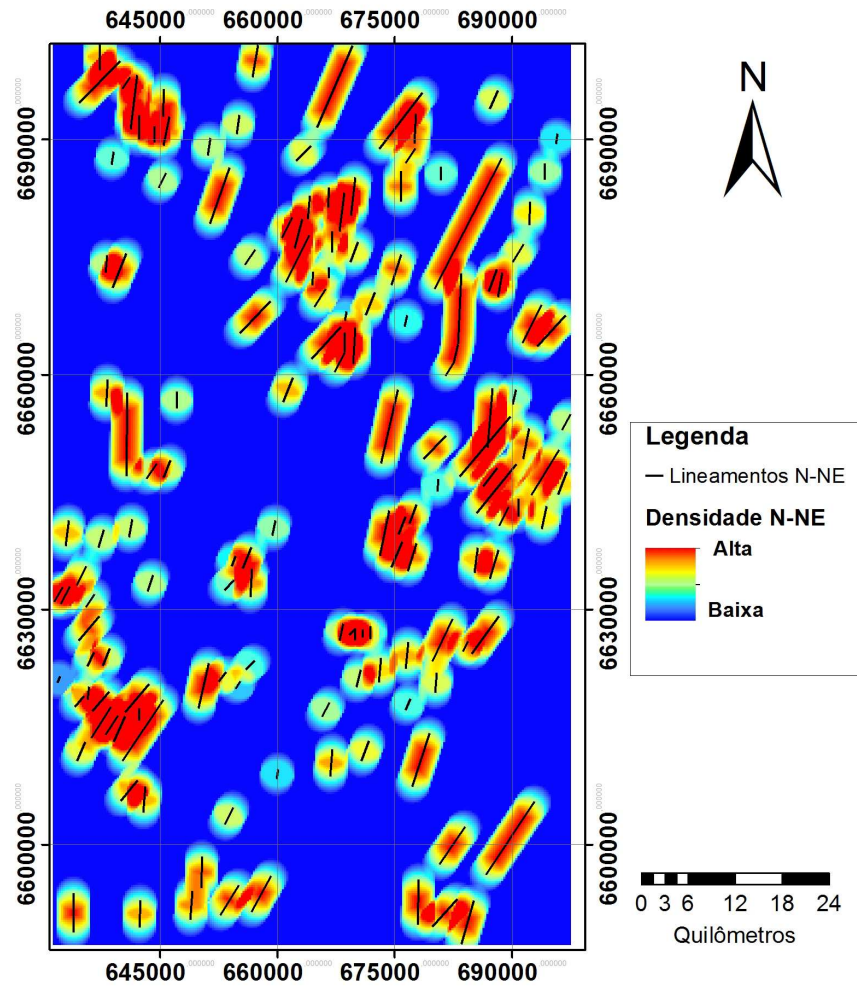


Figura 24. Mapa de densidade dos lineamentos N-NE.

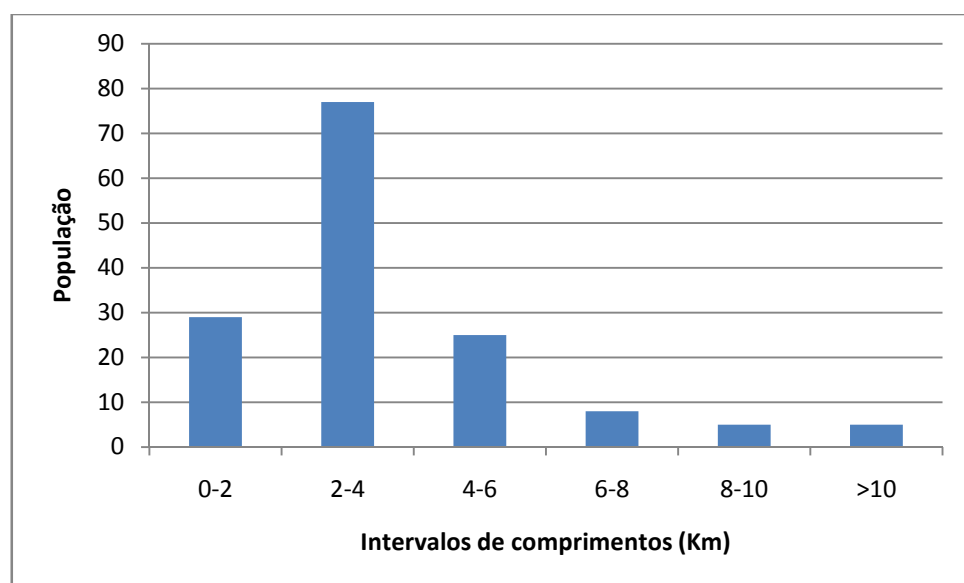


Figura 25. Intervalos de comprimento dos lineamentos N-NE e suas populações.

### 10.3.5 Análise tectônica dos lineamentos NE-E

Os lineamentos NE-E são representados por um total de 120 lineamentos que se concentram na porção centro-sul da área, com pouca expressão no norte (Figura 26). Predominam população com 2 a 4km de comprimento (cerca de 35%), embora também sejam expressivos (25%) os lineamentos com 4 a 6km (Figura 27).

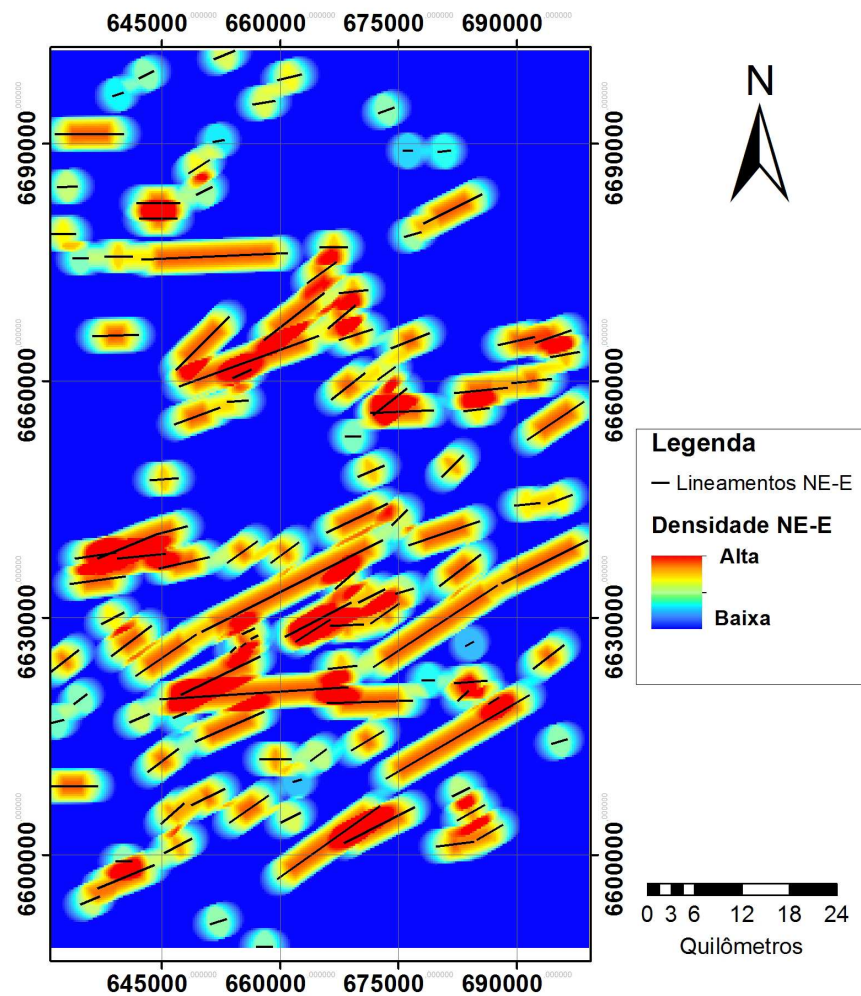


Figura 26. Mapa de densidade dos lineamentos NE-E.

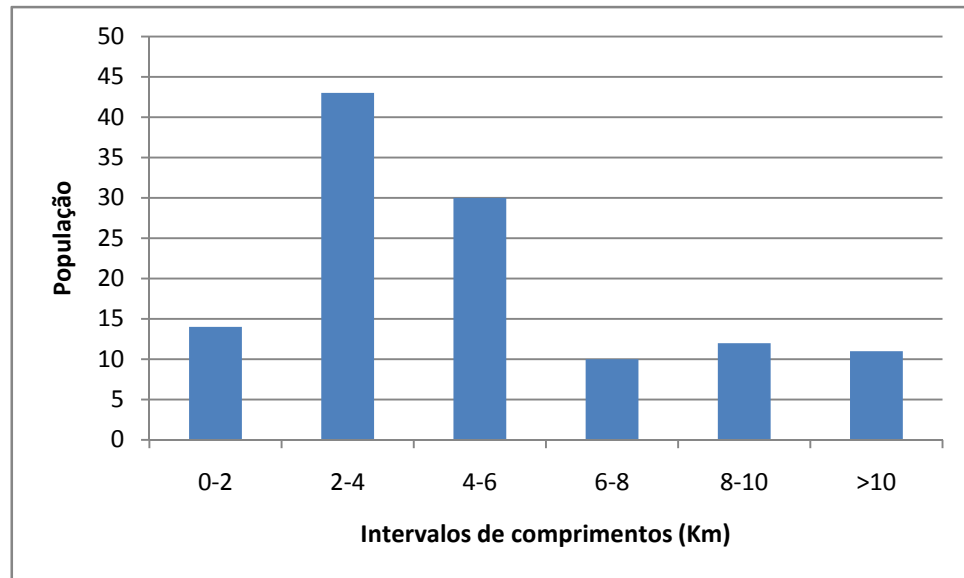


Figura 27. Intervalos de comprimento dos lineamentos NE-E e suas populações.

### 10.3.6 Análise tectônica dos lineamentos N-NW

Os lineamentos N-NW são representados por um total de 126 lineamentos. A distribuição das densidades deste não demonstra padrão marcante, apenas leve tendência a concentração destes na porção norte da área (Figura 28). Predomina população com 2 a 4km de comprimento (48%), enquanto lineamentos menores com até 2km são relativamente freqüentes (26%) (Figura 29).

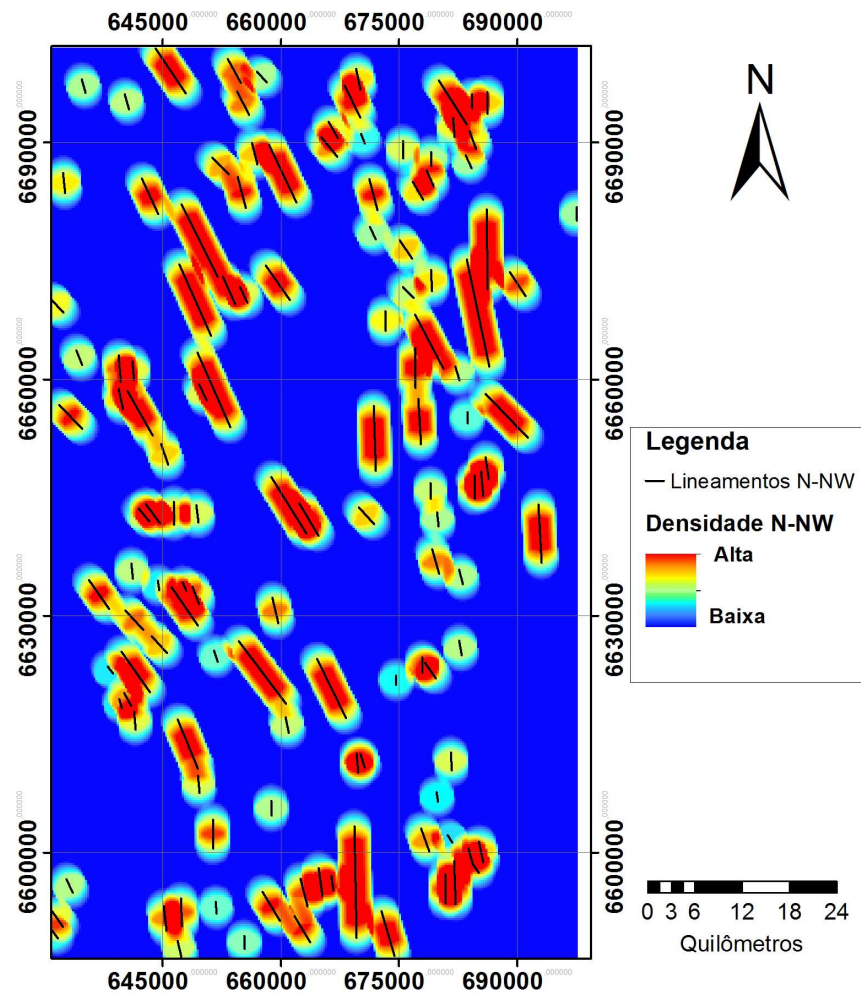


Figura 28. Mapa de densidade dos lineamentos N-NW.

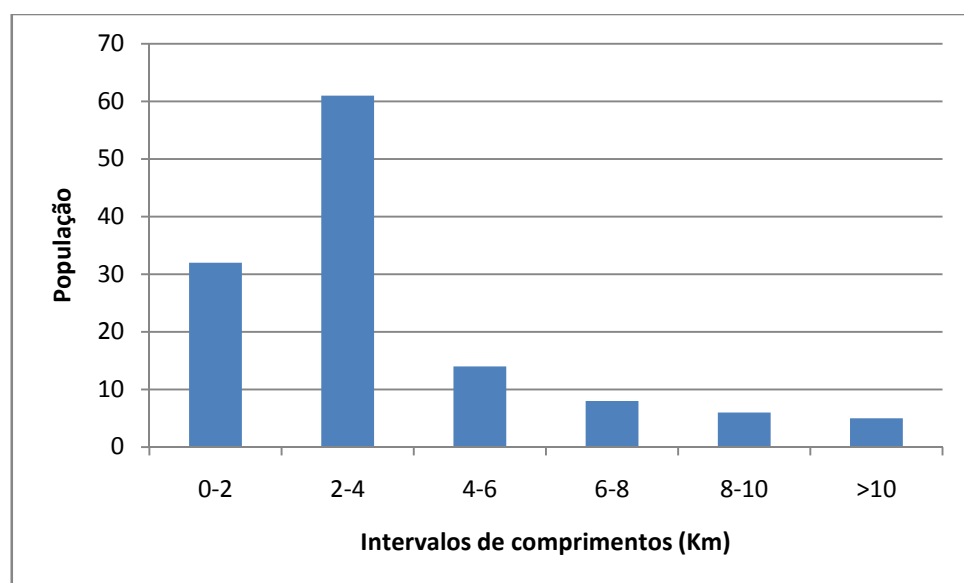


Figura 29. Intervalos de comprimento dos lineamentos N-NW e suas populações.



### 10.3.7 Análise tectônica dos lineamentos NW-W

Os lineamentos NW-W são representados por um total de 192 traçados distribuídos em toda área estudada, embora concentrados na região central e centro-oeste (Figura 30). A distribuição de comprimentos se faz em várias populações, com maior frequência (33%) dos lineamentos com 2 a 4km (Figura 31).

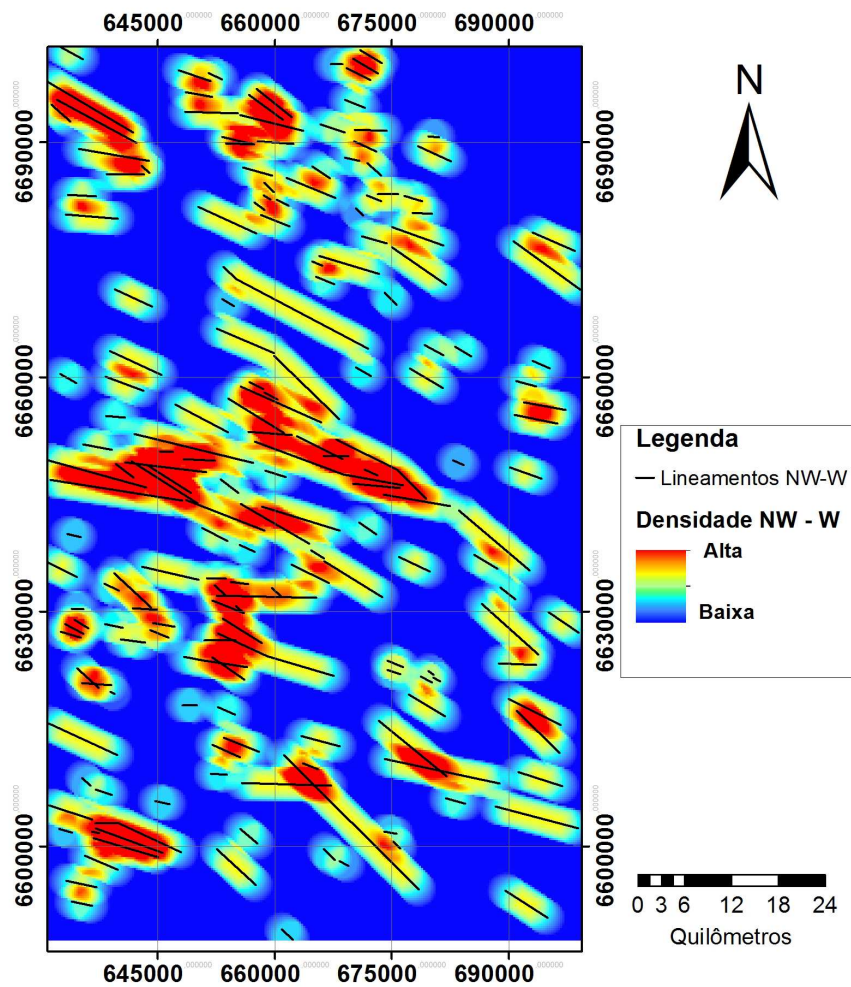


Figura 30. Mapa de densidade dos lineamentos NW-W.



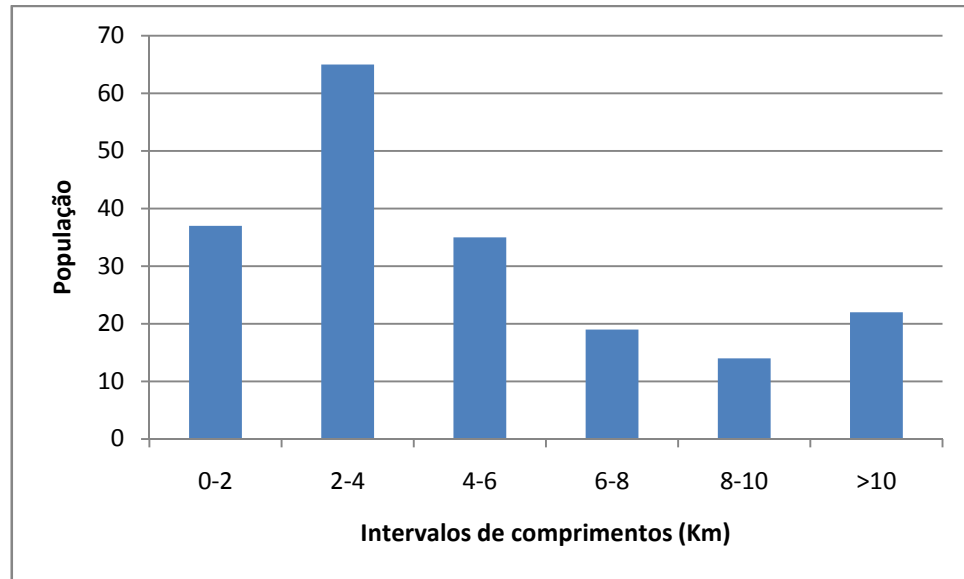


Figura 31. Intervalos de comprimento dos lineamentos NW-W e suas populações.

#### 10.4 RELAÇÃO DOS LINEAMENTOS COM PRODUTIVIDADE DOS POÇOS

Mapas de densidade de lineamentos foram sobrepostos por arquivos vetoriais com localização dos poços e suas referentes características, como vazão, capacidade específica, nível estático e nível dinâmico, com a finalidade de correlacionar fraturas com produtividade dos poços. Informações de capacidade específica não foram utilizadas em razão de parte dos poços não possuírem informações suficientes.

Quando sobreposto o mapa de densidade total com as informações de vazão dos poços disponíveis neste estudo, não são visualizadas correlações evidentes entre a vazão e a densidade de lineamentos (Figura 32). Para confirmar esta conclusão, os mapas de densidade foram sobrepostos pelo arquivo vetorial contendo informações de vazões dos poços (Figura 33, Figura 34, Figura 35, Figura 36, Figura 37, Figura 38).

O uso desta técnica resultou na inferência de uma possível relação dos lineamentos na área leste com a produtividade dos poços, entretanto a quantidade de dados é defasada, o que não permite fazer uma correlação robusta. Ainda é importante lembrar que os lineamentos foram traçados através de imagens de satélite e, desta forma, não há informação sobre a profundidades e, por conseqüência, da abrangência total nas vazões dos poços.

É importante salientar que tal assertiva pode ser modificada com estudos que utilizem um maior número de poços tubulares com melhor distribuição areal.

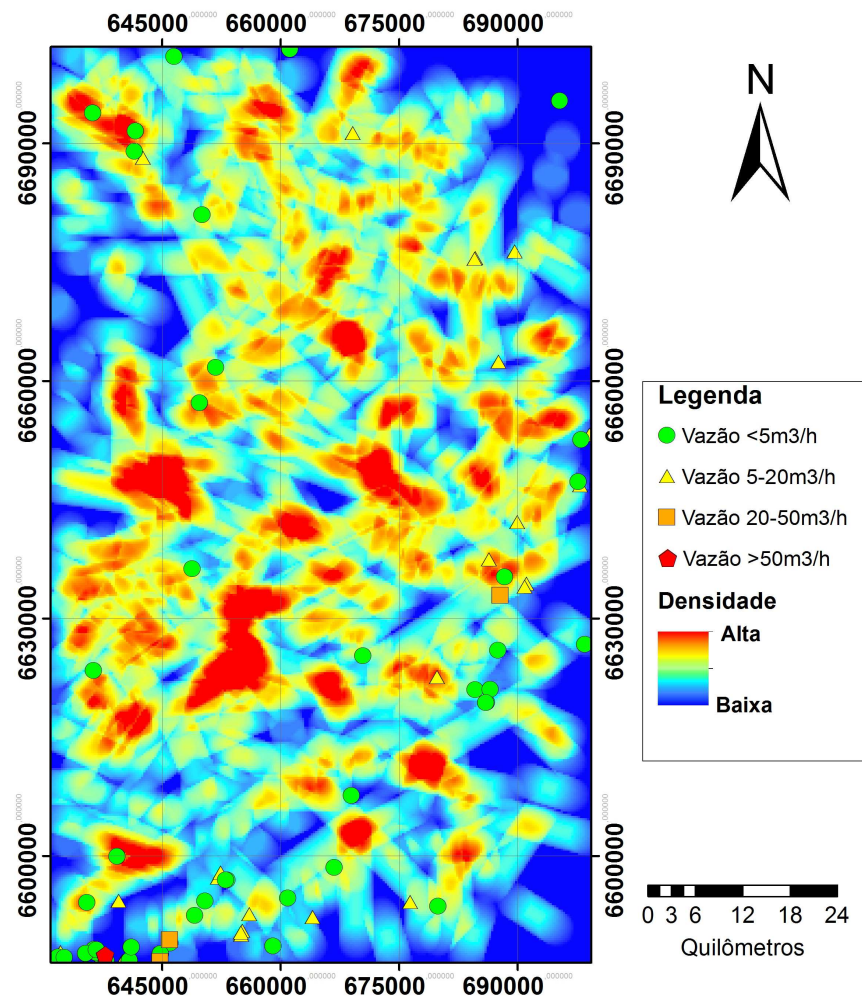


Figura 32. Mapa de densidade do total de lineamentos sobreposto com informações de vazão dos poços.

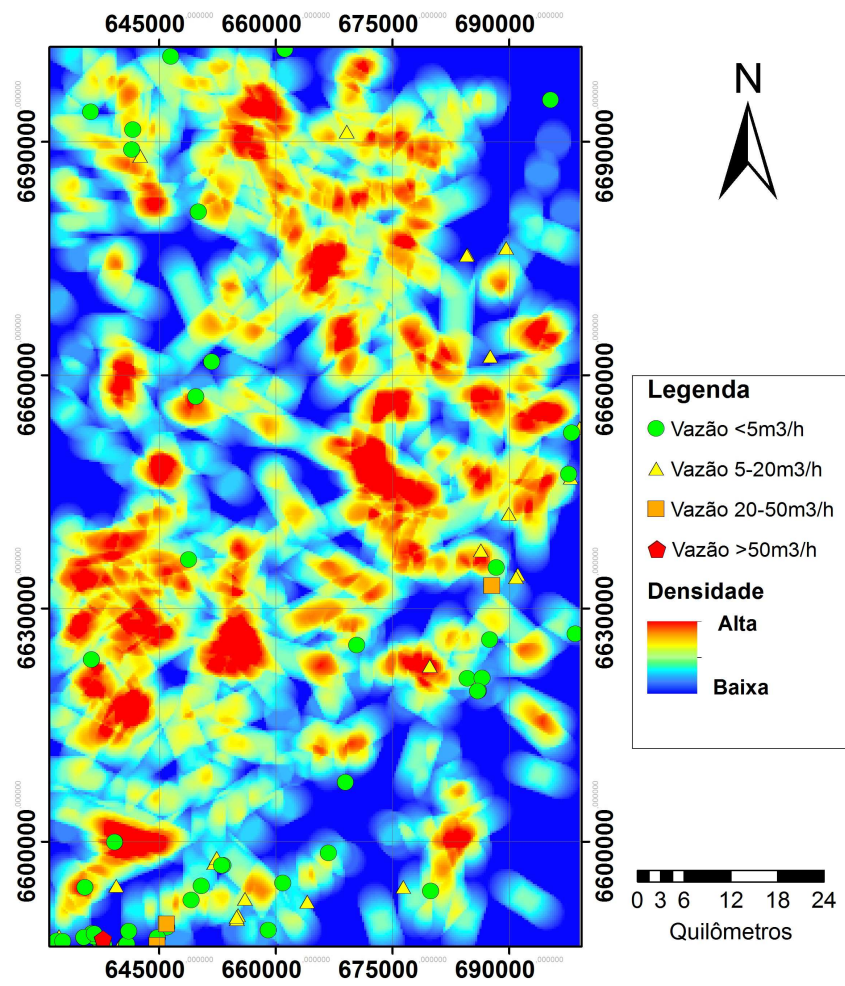


Figura 33. Mapa de densidade dos lineamentos de pequeno porte sobreposto com informações de vazão dos poços.

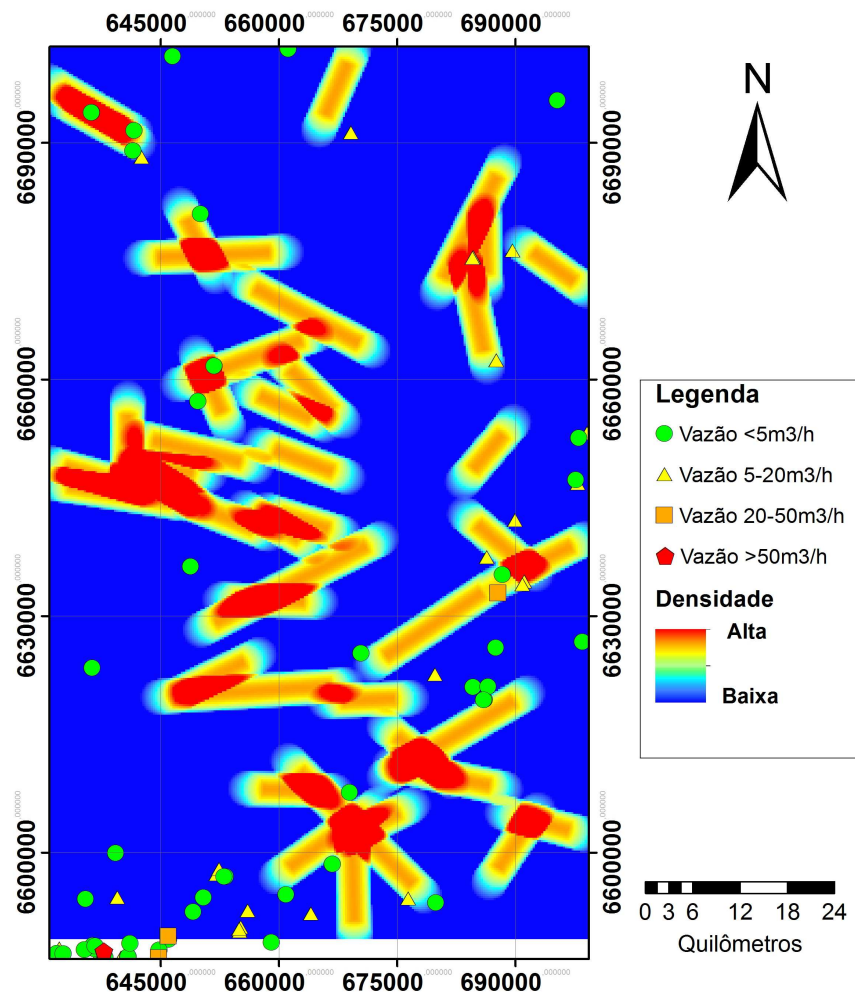


Figura 34. Mapa de densidade dos lineamentos de médio porte sobreposto com informações de vazão dos poços.

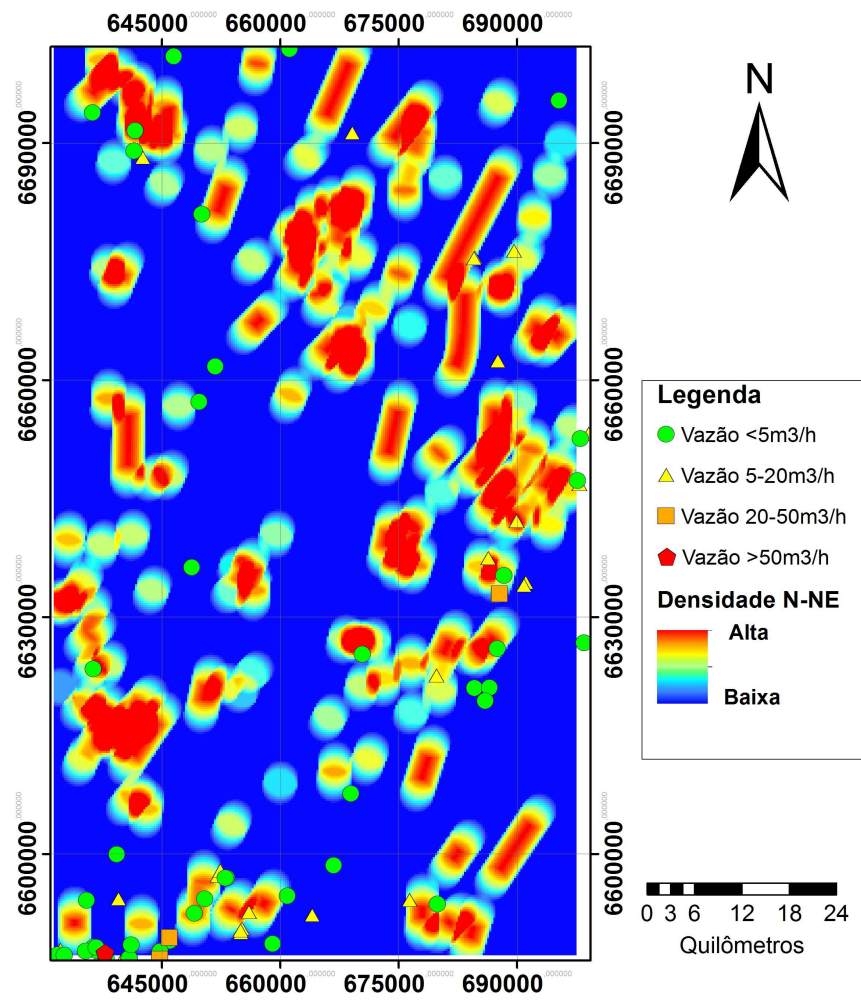


Figura 35. Mapa de densidade dos lineamentos N-NE sobreposto com informações de vazão dos poços.



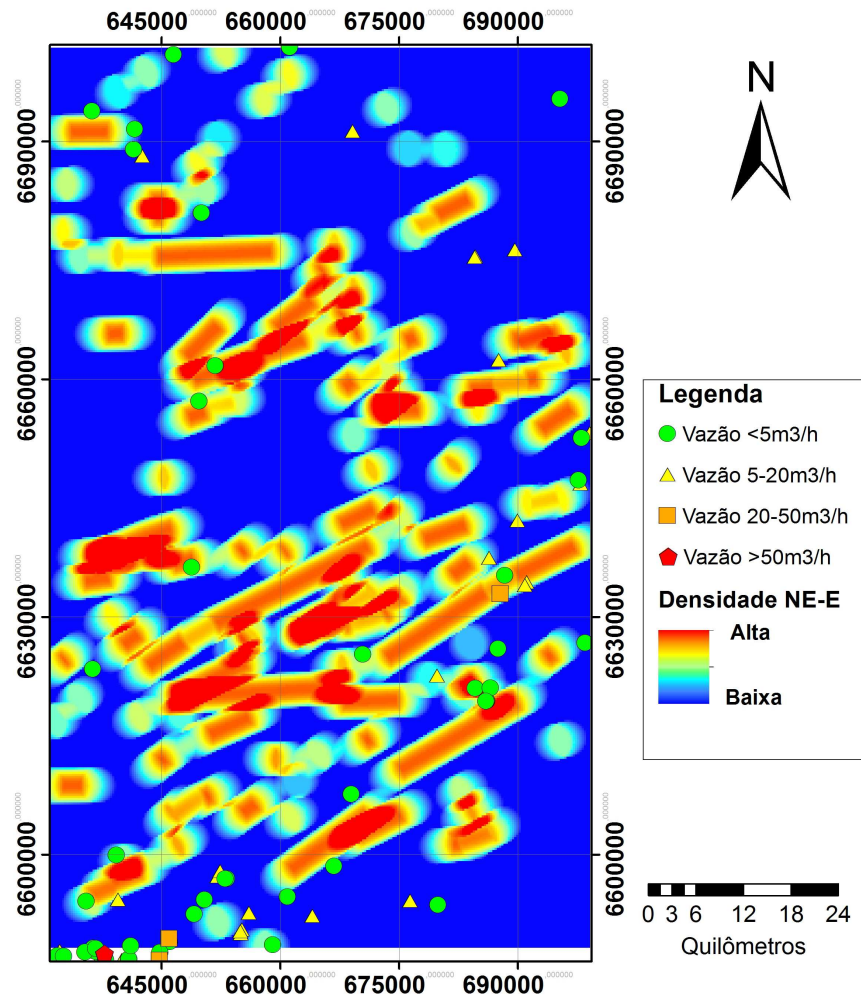


Figura 36. Mapa de densidade dos lineamentos NE-E sobreposto com informações de vazão dos poços.

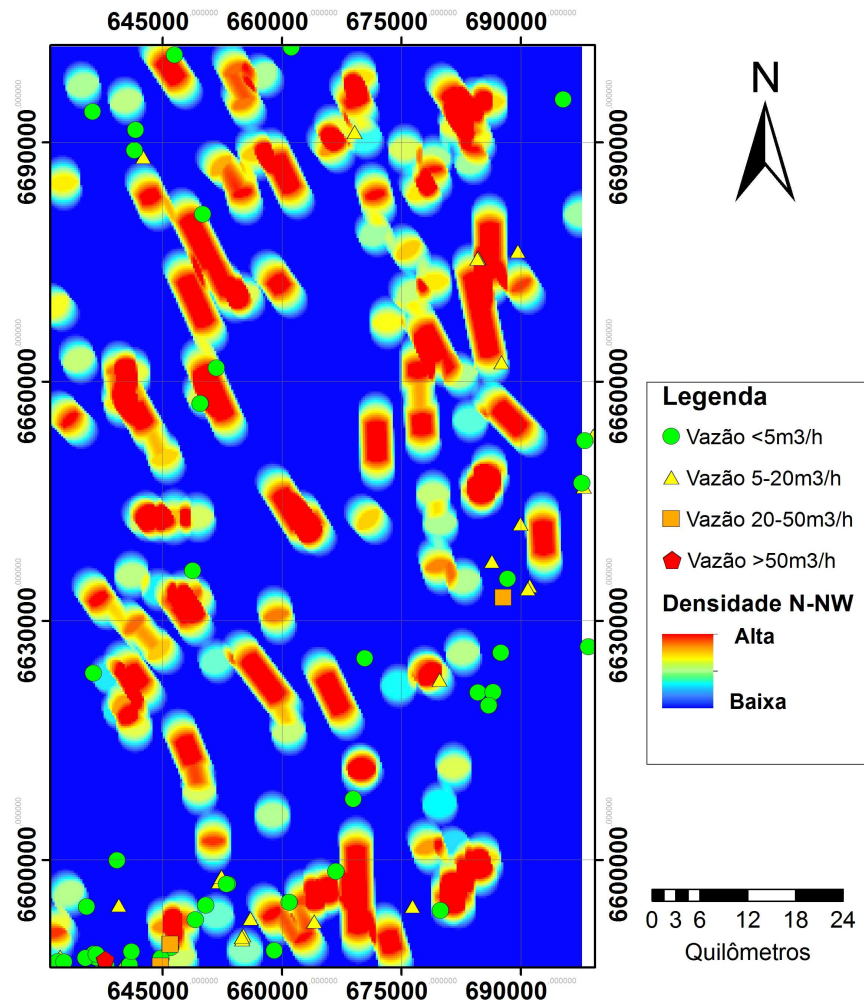


Figura 37. Mapa de densidade dos lineamentos N-NW sobreposto com informações de vazão dos poços.

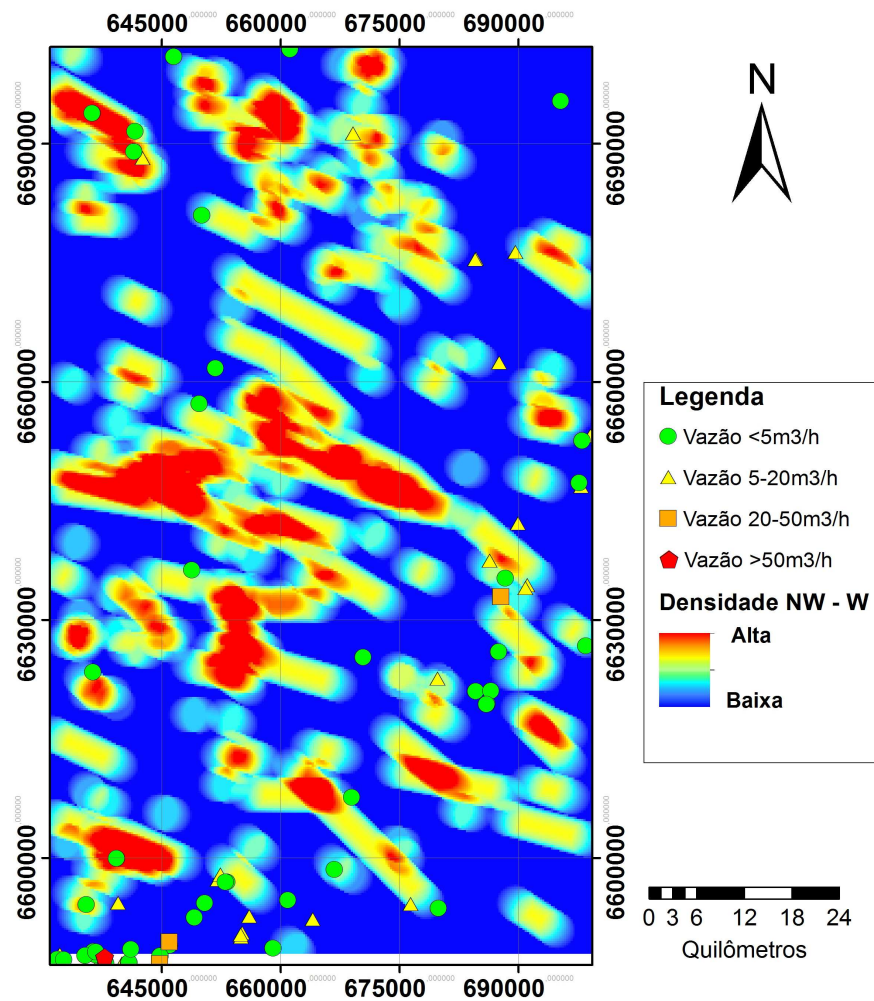


Figura 38. Mapa de densidade dos lineamentos NW-W sobreposto com informações de vazão dos poços.

## 10.5 ANÁLISE POTENCIOMÉTRICA

Através do cálculo da diferença entre a cota do terreno e o nível estático foram delimitadas as cotas potenciométricas para cada poço. Estas informações geraram um mapa potenciométrico, que evidenciam o fluxo das águas do SAG para nordeste (Figura 39), diferenciando das conclusões apresentadas por Machado (2005), o qual descreve o fluxo na região para sudoeste e oeste. Esta diferença pode ser explicada pela escala de maior detalhe abordada e pelo maior número de poços tubulares utilizados neste estudo para caracterização do regime de fluxo.



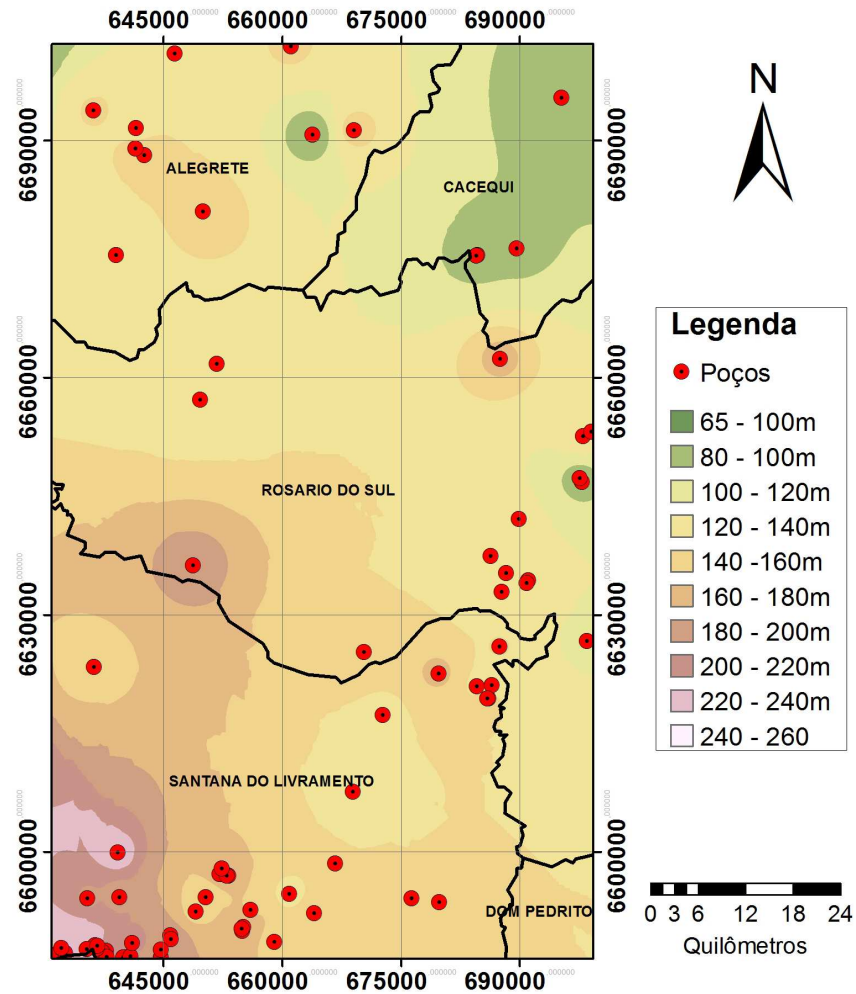


Figura 39. Mapa potenciométrico para área em estudo.

Por outro lado, a sobreposição dos lineamentos sobre as cotas potenciométricas não demonstram evidentes correlações com a compartimentação tectônica (Figura 40), o que pode ser reflexo da distribuição dos poços tubulares utilizados para construção do mapa potenciométrico. No entanto, são vistas pequenas compartimentações evidenciadas pela diferença de cota potenciométrica de poços dispostos lateralmente e em cotas topográficas semelhantes.

No entanto, é possível que exista compartimentação entre os aquíferos, mas como se tratam de aquíferos porosos com potenciais não tão distintos, o fluxo de água pode não ser interrompido, ocorrendo apenas uma variação da formação correlata lateralmente.

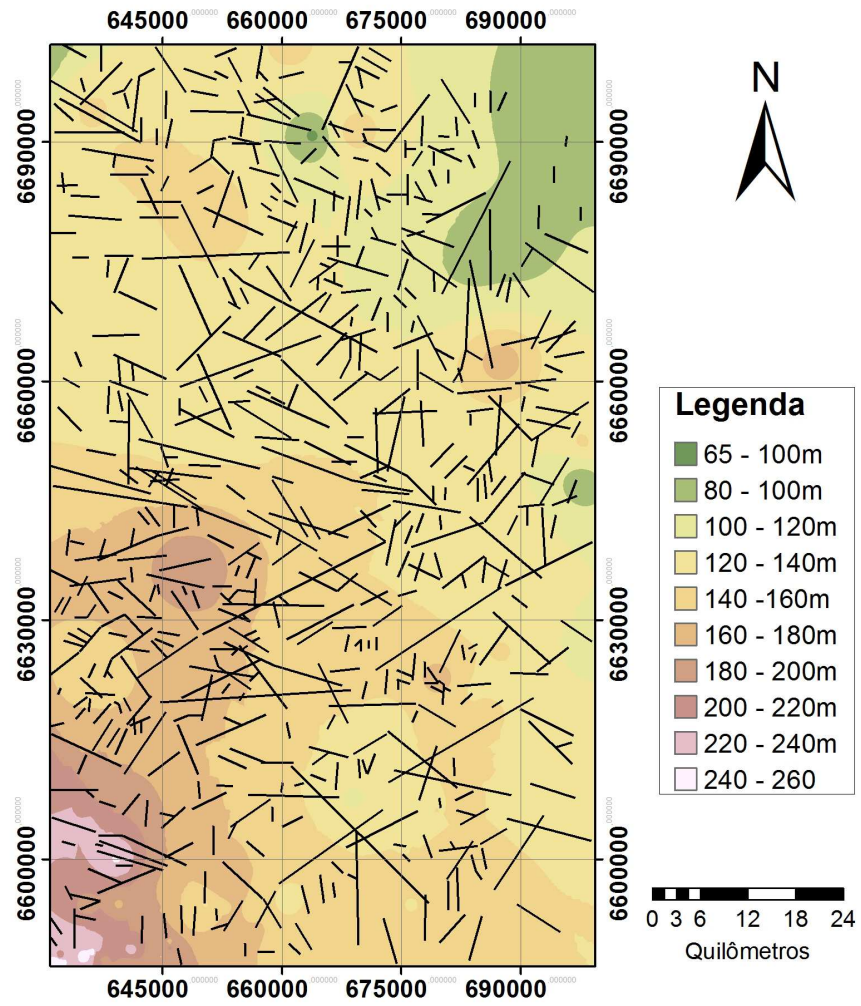


Figura 40. Mapa potenciométrico para área em estudo com lineamentos sobrepostos.

## 11 CONCLUSÕES

Com base nas informações coletadas e seu posterior retrabalhamento analítico, conforme exposto, uma série de conclusões puderam ser traçadas, entre elas as mais destacadas são:

- A utilização do *ArcGIS* mostrou importante papel para estudos de caracterização da tectônica rígida e gerenciamento de informações, dando versatilidade para correlacionar e trabalhar os dados, além de diversas ferramentas para processamento e filtragem dos mesmos.
- A distribuição dos poços cadastrados, com suas respectivas faixas de vazões, apresentou uma tendência, muito mais associada ao regime de confinamento da unidade aquífera envolvida, no caso o SAG, do que ao padrão de fraturamento.
- De maneira geral, os fraturamentos não apresentam relações diretas com a produtividade dos poços em sistemas aquíferos porosos dominantes, com exceção da área centro-leste, onde esta relação mostrou incipiente relevância.
- Os lineamentos de pequeno porte, com comprimentos entre 2-4 km e direção NE-SW, são os que apresentam maior expressão na área, gerando porções isoladas de elevada densidade de fraturamento. Ainda assim, não há evidência de vazões incrementais por conta desta densidade.
- As maiores vazões estão associadas ao SAG em regime confinado, evidenciando a importância dos seus lentos fluxos regionais. Salienta-se que a dinâmica de fluxo do SAG é fortemente controlada por sua componente de armazenamento.
- A partir da distribuição das cotas potenciométricas, se determina uma direção de fluxo regional das águas subterrâneas para nordeste, tendo áreas de recarga a sudoeste.
- A média pluviométrica é semelhante para toda área, demonstrando que a recarga é condicionada pelas variáveis do arcabouço geológico, tais como: litologia, estruturas e morfologia do terreno.
- As análises hidroquímicas apontam para águas com composições bicarbonatadas cálcicas e/ou magnesianas.

## 12 RECOMENDAÇÕES

Este estudo teve como ênfase a confecção de banco de dados e a determinação de correlações entre dados de vazão e as estruturas das rochas aflorantes de uma determinada região. Trata-se de uma contribuição importante, porém não definitiva para a completa compreensão da dinâmica de água subterrânea na região. Neste sentido, algumas abordagens teóricas poderiam complementar este estudo, entre elas:

- O uso de ferramentas estatísticas para quantificar as correlações entre variáveis, minimizando o fator subjetivo da análise.
- A determinação de uma rede de fluxo a partir do mapa potenciométrico com geração de vetores de velocidade de água subterrânea e a correlação com a distribuição dos aquíferos e suas respectivas vazões.
- O estudo mais aprofundado da hidráulica dos poços do SAG com relação ao seu regime de confinamento e a correção dos respectivos dados de vazão dos poços com as isópacas do SAG e espessura de cobertura Pós-SAG (derrames vulcânicos).

## REFERÊNCIAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Inventário de Recursos Hídricos. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 23/10/2010.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Relatório de Gestão 2001. Brasília: ANA, 2002. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 23/10/2010.

Betiollo, L. M. 2006. **Caracterização estrutural, hidrogeológica e hidroquímica 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.

CONSORCIO GUARANÍ – 2009 . **Síntesis Sobre la Geología del Sistema Acuífero Guarani. Informe Final. Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible Del Sistema Acuífero Guarani.** Montevideo.

CPRM. 2005. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul.** Rio de Janeiro, CPRM. Escala 1:750.000.

CPRM. 2005. **Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul.** Escala 1:750.000.

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

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. 87 f. Monografia (Graduação) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

DIAS & SCHERER, 2006. Cross-bedding set thickness and stratigraphic evolution of wet aeolian systems: an example from the upper permian Pirambóia formation (Paraná Basin). **Journal of the South American Earth Sciences.** v. 25, Issue 3, Maio 2008, p. 405-415.

EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 1994. Ground Water and Wellhead Protection. Disponível em: <<http://www.epa.gov/nscep/index.html>>. Acesso em: 02/11/2011

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Banco de dados. Disponível em < <http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acessado em: 24/10/2010.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Catálogo de Imagens. Disponível em < <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acessado em 21/03/2011.

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.

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 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, Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, RS.

MILANI, E. J. 1997. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana Sul-Occidental**. 2 v. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

MONTAÑO, J.; ROSA Fº, 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.

OLIVEIRA, D.B.; MORENO, R.S.; MIRANDA, D.J. ; RIBEIRO, C. S.; SEOANE, J.C.S ; MELLO, 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: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2009, NATAL - RN. **ANAIS**, 2009. p. 4157-4163.

PESSOA M. S. 1982. **Banco de Dados Hidrogeológicos e Análise Estatística da Vazão dos Poços no Estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação de Mestrado, Instituto de pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1 v.

PIPER, A.M.. A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analysis. 1953. **Washington D.C.: United States Geological Survey**.

REGINATO, P. A. R 2003. **Integração de Dados para Prospecção de Aquíferos Fraturados na Região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul**. 2003. 254 f. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e dos Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS.

ROSA Fº, 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.

SCHERER, C. M. S.; FACCINI, U. F.; LAVINA E. L., 2000. Arcabouço estratigráfico do Mesozóico da Bacia do Paraná. In: HOLZ, M. & DE ROS, L. F. (Eds.). **Geologia do Rio Grande do Sul**. UFRGS-CIGO. p. 335-354.

SCHRAEDER, G. 1970. **Estudo Hidrogeológico para a instalação de captação de águas subterrâneas no arenito Botucatu, município de Alegrete (RS)**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1 v.

SOARES, A. P.; SOARES, P. C.; BETTU, D. F.; HOLZ, M. 2007. Compartimentação estrutural da Bacia do Paraná: A questão dos lineamentos e sua influência na distribuição do Sistema Aquífero Guarani. **Geociências** v.26 (4), p. 297-311.

WEBER, E.; HASENACK, H.; FERREIRA, C.J.S. 2004. Adaptação do modelo digital de elevação do SRTM para o sistema de referência oficial brasileiro e recorte por unidade da federação. Porto Alegre, UFRGS Centro de Ecologia. ISBN 978-85-63843-02-9. Disponível em <http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>.

## **ANEXOS**



## ANEXO 1

Totalidade de poços tubulares coletados com informações hidrogeológicas

ponto	municipio	utme	utmn	cota (m)	prof. (m)	ND (m)	NE (m)	vazao_esp (m3/h/m)	vazao (m3/h)
HG-1	Santana do livramento	645937	6589444	216	100	45	26	1,579	30
HG-2	Santana do livramento	646000	6589000	220	30	28	22		3
HG-3	Santana do livramento	635458	6594142	274	94	87	81,1	0,763	4,5
HG-4	Santana do livramento	637785	6587482	216	28	25	15	11	110
HG-5	Santana do livramento	631800	6587250	280	84	74,67	65,22	0,233	2,2
HG-6	Santana do livramento	632600	6587200	278	236	90	80	0,4	4
HG-7	Santana do livramento	636500	6588000	282	55	35	34	3	3
HG-8	Santana do livramento	637337	6587347	226	58	26	22,71	1,368	4,5
HG-9	Santana do livramento	637900	6586740	195	20		7		2
HG-10	Santana do livramento	644700	6586700	200	96	41,46	19,4	1,972	43,5
HG-11	Santana do livramento	636613	6587820	292	101		82		1,6
HG-12	Santana do livramento	636399	6588227	299	107	10,5	10	2	1
HG-13	Santana do livramento	655021	6590047	193	80	35,55	9,12	0,588	15,53
HG-14	Santana do livramento	679800	6622600	165	98	42	7	0,42	14,7
HG-15	Santana do livramento	653215	6596984	228	52		30		3,7
HG-16	Santana do livramento	686053	6619438	172	45	18	15	0,667	2
HG-17	Santana do livramento	684600	6621000	130	30	14	10	0,75	3
HG-18	Santana do livramento	687485	6626009	177	30	26	22	0,5	2
HG-19	Santana do livramento	639500	6594300	200	42		30		6
HG-20	Santana do livramento	640800	6586800	332	70	38	33	0,6	3
HG-21	Santana do livramento	664043	6592257	172	33	12	10,5	6	9
HG-22	Santana do livramento	660897	6594710	123	46	37	23	0,143	2
HG-23	Santana do livramento	652097	6597237	213	122	43,5	34	1,263	12
HG-24	Santana do livramento	653000	6597000	185	60		26		4
HG-25	Santana do livramento	652400	6597900		36	28	18	0,5	5
HG-26	Santana do livramento	650400	6594300		32		12		1
HG-27	Santana do livramento	649100	6592500		25		20		1,3
HG-28	Santana do livramento	636274	6623439	215	68		50		3
HG-29	Cacequi	684650	6675500	122	116,5	56,3	28,1	0,35	10
HG-30	Cacequi	689644	6676342	141	120	78	54		6,6
HG-31	Santana do livramento	640500	6586600	192	61	26	21		5
HG-32	Santana do livramento	659039	6588624	159	51	24	20	0,75	3
HG-33	Alegrete	661148	6701927	192	86,5	60	48	0,208	2,5
HG-34	Alegrete	646490	6700993	156	40	37	20	0,176	3
HG-35	Alegrete	636175	6693843	170	30	24	22	1	2
HG-36	Alegrete	642589	6688178	170	72	30	10	0,25	5

HG-37	Alegrete	669112	6691318	153	49	3,01	3	500	5
HG-38	Alegrete	650052	6681019	202	51	40,01	40	400	4
HG-39	Alegrete	641595	6691585	175	50	36	32	1	4
HG-40	Alegrete	641478	6689027	160	23	10,01	10	300	3
HG-41	Cacequi	684557	6675438	117	116,5	56,3	28,1	0,284	8
HG-42	Cacequi	695314	6695417	117	66	35	25	0,15	1,5
HG-43	Rosario do sul	697999	6652580	159	25	15	10	0,4	2
HG-44	Rosario do sul	687569	6662422	215	60	25	21	1,35	5,4
HG-45	Rosario do sul	689935	6642138	165	40	30	10	0,25	5
HG-46	Rosario do sul	691127	6634381	167	71	20,3	11	1,216	11,31
HG-47	Rosario do sul	688339	6635258	143	60,5	24	13	0,182	2
HG-48	Rosario do sul	699075	6653202	136	80	30	9	0,238	5
HG-49	Rosario do sul	697898	6646815	113	70		18		8
HG-50	Rosario do sul	698490	6626728	132	70		30		2,5
HG-51	Rosario do sul	648791	6636288	207	27		11		4
HG-52	Rosario do sul	651743	6661739	154	37,5		30		0,7
HG-53	Rosario do sul	649686	6657253		46		35		2
HG-54	Rosario do sul	670379	6625276	204	40		25		2,4
HG-55	Santana do livramento	679881	6593691	178	43		22		3
HG-56	Santana do livramento	632155	6587827	327	172	124,1	121	4,903	15,2
HG-57	Santana do livramento	644751	6587665	203	70	20	15	0,8	4
HG-58	Santana do livramento	686486	6621081	134	55	10	8	2	4
HG-59	Santana do livramento	685951	6619405	176	64	30	20	0,3	3
HG-60	Santana do livramento	635334	6587690	282	42	23	20	1	3
HG-61	Santana do livramento	636674	6588170	274	90		82		3
HG-62	Santana do livramento	639972	6586674	205	10	6	4	3	6
HG-63	Santana do livramento	666751	6598552	146	39	29	10	0,158	3
HG-64	Santana do livramento	668947	6607627	145	38	35	33	2	4
HG-65	Santana do livramento	640856	6586812	262	70,5	38	33	0,6	3
HG-66	Rosario do sul	687756	6632922		110	75,65	6,35	0,3361	23,29
HG-67	Rosario do sul	686383	6637468		110	41,7	23,5	0,5813	10,58
HG-68	Santana do livramento	676386	6594177		102	78,8	19,78	0,2033	12
HG-69	Santana do livramento	656057	6592650		85	52,35	49,85	3	7,5
HG-70	Santana do livramento	655154	6590541	198,00	90,00	62,14	19,1	0,315	13,55
HG-71	Santana do livramento	639255	6599959	240,00	42,00		3,6		2
HG-72	Santana do livramento	672710	6617336	149,00	21,00		8		
HG-73	Rosario do sul	690861	6634002	140,00	85,00	35	20		6
HG-74	Rosario do sul	697616	6647280	115,00	55,00	50	27,5		1,60
HG-75	Alegrete	663865	6690766	150,00	97,00		70		
HG-76	Alegrete	639073	6675525	148,00	40,00		36		
HG-77	Santana do livramento	641086	6588511	265,00	100,00	48	19	0,155	4,50
HG-78	Santana do livramento	654949	6590299		90,00	62,14	19,1	0,307	13,20
HG-79	Alegrete	614353	6700855	114,00	120	59,65	33,44	1,949	51,10
HG-80	Cacequi	710792	6694178	120,00	104	44,94	23,99	1,560	32,73
HG-81	Cacequi	710453	6693791	114,00	222	51,9	33,65	1,460	26,69

HG-82	Alegrete	618832	6703925	96.00	147	27,65	24,23	14,030	48
HG-83	Alegrete	615184	6701783	99.00	98	33,38	19,29	3	42,30
HG-84	Alegrete	615265	6701783	96.00	118	43,06	19,06	1,108	26,60
HG-85	Alegrete	616341	6703810	92.00	137	43,66	27,54	7,971	128,50
HG-86	Alegrete	618824	6703984	83.00	162.30	54,01	21,71	1,702	55
HG-87	Alegrete	616080	6703753	110	120	52,41	40,24	1,737	21,10
HG-88	Alegrete	618832	6704035	83	138	41,33	21,96	2,323	45
HG-89	Alegrete	621517	6702402	108	126	38,35	14,56	1,261	30
HG-90	Alegrete	620729	6701768	116	135	40,35	23,39	2,016	34,20
HG-91	Alegrete	614638	6701050	123	66	29,31	20,35	1,171	10,50
HG-92	Alegrete	616080	6703764	110	174	59,81	44,91	1,932	28,80
HG-93	Alegrete	618984	6702401	113	134	48,66	25,45	2,068	48
HG-94	Alegrete	620867	6702508	110	174	45,58	18,3	2,016	55
HG-95	Alegrete	617424	6705933	81	264	87,38	19,14	1,894	68,09
HG-96	Alegrete	620059	6703137	96	195	38,87	20,47	2,173	40
HG-97	Alegrete	615868	6702499	113	360	52,39	26	13,70	361,80
HG-98	Alegrete	618735	6703918	83	148	29,45	17,05	5,362	66,50

## ANEXO 2

Totalidade de poços tubulares coletados com informações hidroquímicas.

ponto	município	pH	Ca	Mg	Na	K	Cl	HCO3	SO4
HQ-1	Santana do livramento	6.20	5.53		5	5	7.18		0
HQ-2	Santana do livramento	6.60	12	4.6	4.1	0.3	7.1	54.9	
HQ-3	Santana do livramento	6.70	7.1	2.8	1	0.6	3.6	29.3	8.4
HQ-4	Santana do livramento	6.10	3.2	2.9	3.5	2	7.1	18.4	4
HQ-5	Rosario do sul	6.30	3.2	1.7	1.1	1.4	3.1	12.9	4.1
HQ-6	Rosario do sul	8.20	4.8	1.2	1.7	1	3.6	18.3	1.6
HQ-7	Alegrete	5.70	3.2	6.3	1.2	1	7.1	39	
HQ-8	Alegrete	5.90	1.6	3.5	1.3	2.3	13.6	14.6	8
HQ-9	Santana do livramento	8.21	2.9	1	291		59.47	415.4	182.8
HQ-10	Santana do livramento	7.44		3.25	5	5	7.18		
HQ-11	Rosario do sul	6.75	16.04	7.44	49	4	6.6	103.25	0
HQ-12	Santana do livramento	5.1	1.49	2.6	3	2	11.1	14.08	
HQ-13	Alegrete	7.7	25.8						0.2
HQ-14	Alegrete	7.7	35.7	19.7	13	1.5	6	191	8
HQ-15	Alegrete	7.7	40	10.2	30	1.5	8		1.1
HQ-16	Alegrete	7.3	50.5	16	18	1.4	15	219.6	8.9
HQ-17	Alegrete	7.4	47.7	15.2	20	1.2	22	220.8	3.5
HQ-18	Alegrete	6.9	23.4	5.7	16	1.7	1	133	0.3
HQ-19	Alegrete	6.7	13.4	4.6	7	2.2	1	85	0.2
HQ-20	Alegrete	6.7	13	5.3	6	1.5	3	75.6	1.3
HQ-21	Alegrete	7.3	26	7	9	2		131	
HQ-22	Alegrete	7.9	28	9	16	1.6	1	163	
HQ-23	Alegrete	7.6	50	9	15	1.3	2	223	1.4
HQ-24	Alegrete	7.4	21	8	10		<2	142	1.5
HQ-25	Alegrete	7.3	17	9	10	2.3	1.3	96	1.21
HQ-26	Alegrete	7.5	42	10	6	1.2	4	201	1.20