

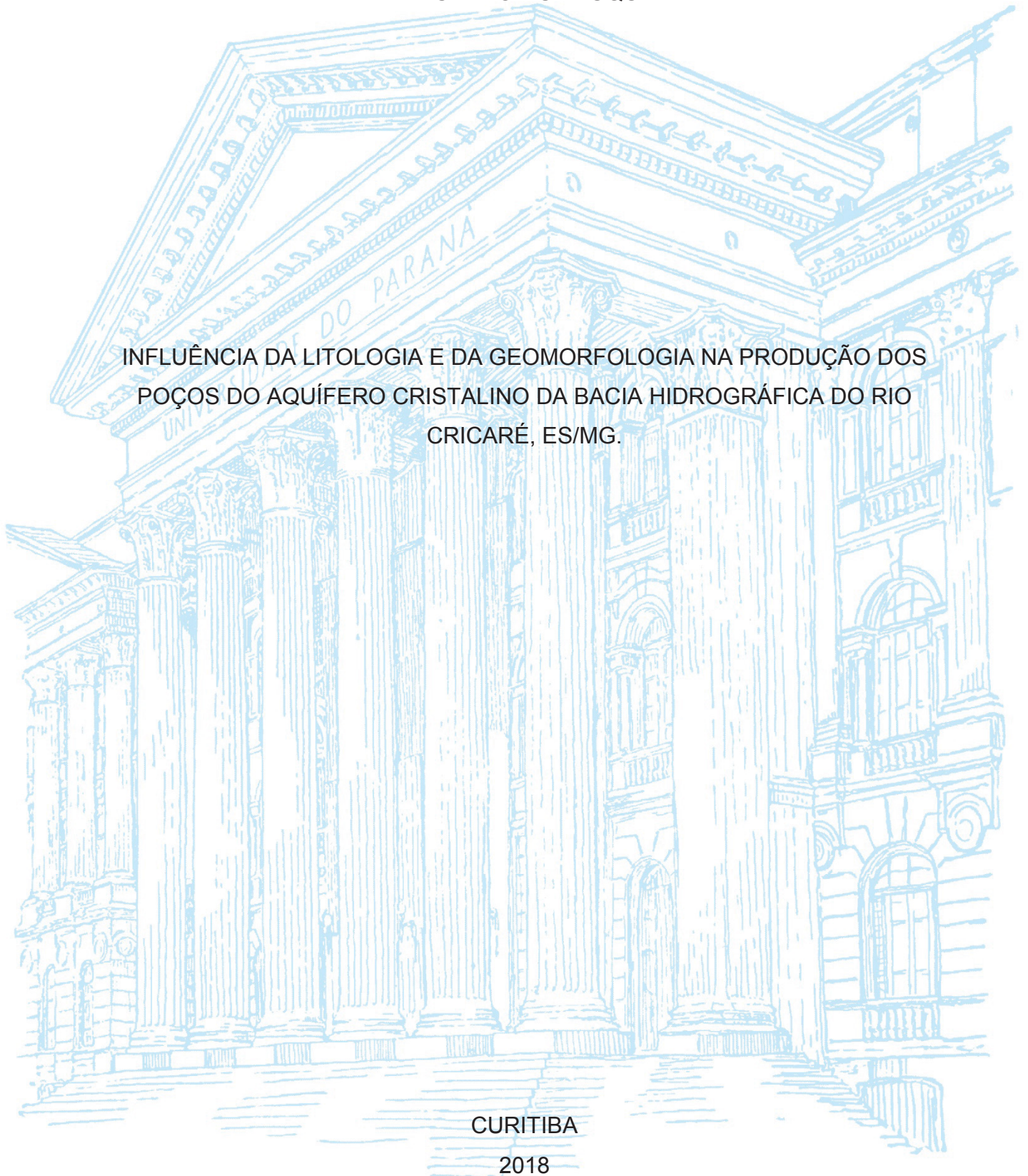
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANSELMO RUY ZUQUI

INFLUÊNCIA DA LITOLOGIA E DA GEOMORFOLOGIA NA PRODUÇÃO DOS
POÇOS DO AQUIFERO CRISTALINO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
CRICARÉ, ES/MG.

CURITIBA

2018



ANSELMO RUY ZUQUI

INFLUÊNCIA DA LITOLOGIA E DA GEOMORFOLOGIA NA PRODUÇÃO DOS
POÇOS DO AQUÍFERO CRISTALINO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
CRICARÉ, ES/MG.

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Geologia, Setor de Ciências da Terra, da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Geologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Ernani Francisco da Rosa Filho

CURITIBA

2018

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

Z95i

Zuqui, Anselmo Ruy

Influência da litologia e da geomorfologia na produção dos poços do aquífero cristalino da bacia hidrográfica do rio Cricaré, ES/MG / Anselmo Ruy Zuqui. – Curitiba, 2018.

76 p. : il. color. ; 30 cm.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geologia, 2018.

Orientador: Ernani Francisco da Rosa Filho .

Bibliografia: p. 63-69.

1. Aquíferos – Rio Cricaré – ES/MG. 2. Rio São Mateus Braço Sul (MG). 2. Águas subterrâneas. 3. Poços artesianos. I. Universidade Federal do Paraná. II. Rosa Filho, Ernani Francisco da. III. Título.

CDD: 551.49098151

Bibliotecário: Elias Barbosa da Silva CRB-9/1894



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR CIÊNCIAS DA TERRA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO GEOLOGIA

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOLOGIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **ANSELMO RUY ZUQUI** intitulada: **INFLUÊNCIA DA LITOLOGIA E DA GEOMORFOLOGIA NA PRODUÇÃO DOS POÇOS DO AQUÍFERO CRISTALINO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CRICARÉ, ES/MG**, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 02 de Abril de 2018.

ERNANI FRANCISCO DA ROSA FILHO
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

ODERSON ANTÔNIO DE SOUZA FILHO
Avaliador Externo (CPRM)

GUSTAVO BARBOSA ATHAYDE
Avaliador Externo (UFPR)

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Ernani Francisco da Rosa Filho, pela orientação, conversas e oportunidades apresentadas durante a pesquisa.

Ao programa de pós-graduação em Geologia da Universidade Federal do Paraná.

A Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN) pela concessão dos dados e ao Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus, por ter apoiado o trabalho.

Ao Laboratório de Pesquisas Hidrogeológicas e seus funcionários pela estrutura física utilizada.

A minha família, em especial aos meus pais, por todo o tipo de suporte necessário para realização da dissertação.

A Alice Lau, Camila Silveira, Liliane Maia e Rhander Taufner pelas diversas ajudas, pelos debates e por sempre deixarem um clima mais leve para se trabalhar.

A Amanda Carvalho, Erika Kiemo, Fábio Dourado, Leonardo Barão, Luis Felipe Nadalin, Malu Ferreira, Mayara Santana, Talita Gantus, Thaili Conte, Viviane Gimenez por fazerem meu período de estadia em Curitiba/UFPR muito mais alegre.

RESUMO

Localizada no sudeste brasileiro, a bacia hidrográfica do Rio Cricaré se distribui na área de 12 municípios capixabas e mineiros. A água do rio é fonte de abastecimento de parte dessas cidades, sendo que elas também fazem uso da água subterrânea para abastecimento público e irrigação. Situada sobre rochas cristalinas do Orógeno Araçuaí, seu aquífero é fissural, sendo heterogêneo e anisotrópico, o que acarreta uma dificuldade na locação de novos poços tubulares. Portanto o objetivo do trabalho é estudar condicionantes geológicos e geomorfológicos que influenciam a produtividades dos poços da região. Durante a realização do estudo foram utilizados dados de 138 poços, que tiveram sua capacidade específica correlacionada com seus dados de profundidade, entradas de água, mapa geológico, declividade do terreno, espessura do solo e com lineamentos (distância, orientação e densidade). Os resultados mostraram que as entradas de água registrada se concentram nos primeiros 60 metros de profundidade, assim como a maior quantidade de poços de maior produtividade tem profundidade inferiores a 100 metros. A declividade do terreno se for inferior a 7,5% maior tende a possuir poços com maiores produções. Os poços locados em solos mais espessos tendem a possuir maior produtividade. Em relação as litologias, quanto mais alto o grau do metamorfismo das rochas metassedimentares, menor a mediana da capacidade específica dos poços. A produtividade em rochas ígneas apresentou correlação com a granulação, onde rochas de maior produtividade possuem menor granulação. Os lineamentos também influenciam na produtividade, com poços mais produtivos com distancias inferiores a 300 metros de lineamentos, e a direção N10-20E se destaca.

PALAVRAS CHAVES: Rio São Mateus Braço Sul, recursos hídricos, aquífero fissurado.

ABSTRACT

The Rio Cricaré Watershed is distributed in 12 municipalities in the states of Espírito Santo and Minas Gerais, Brazil. The river supply water to these cities, some of them also make use of groundwater for irrigation and human consumption. Located on crystalline rocks of the Araçuaí Orogen, consequently on hardrock aquifers, heterogeneous and anisotropic, brings uncertainty to determine the location of new water wells. Therefore, this work objective is to study geological and topographic factors that control the wells productivity of the region. During the study, 138 wells had their specific capacity correlated with their depth, water entrance depths, lithology, terrain slope, soil thickness and lineaments (distance, orientation and density). The results showed that the water entrance depths concentrate in the first 55 meters, besides the largest number of wells with higher productivity has depths less than 100 meters. The terrain slope and the drainage density did have a clear correlation with the water wells production. In relation to the metasedimentary rocks, higher the metamorphic grade smaller tends to be the wells specific capacity. The water productivity in igneous rocks showed correlation with the grain size, with higher productivity rocks having smaller grain sizes. The terrain slope lower than 7,5% have higher wells productivity. Higher productivity wells tend to have thicker soils. The lineaments also influence the wells productivity, with more productive wells having smaller distances to lineaments than 300 meters, the direction N10-20E of lineaments stands out with higher water production.

Key-words: São Mateus Braço Sul River, water resources, hardrock aquifer

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização da Bacia do Rio Cricaré, na divisa dos estados do Espírito Santo e Minas Gerais. Municípios com a sede representadas no mapa: PC (Pescador), GA (Galiléia), TM (Tumiritinga), MN (Mantena), BF (Barra de São Francisco), EC (Ecoporanga), NV (Nova Venécia).	15
Figura 2: Sequência das ferramentas utilizadas para delimitação da bacia hidrográfica com uso da ferramenta <i>Arc Hydro tools</i>	17
Figura 3: Mapas com relevo sombreado com iluminação em quatro diferentes direções azimutais. A) 0°. B) 45°. C) 90°. D) 315°.	19
Figura 4: Mapa de localização dos poços, que se encontram classificados de acordo com sua produtividade.	21
Figura 5: Distribuição de rochas cristalinas nos continentes (Singhal e Gupta, 2010).	22
Figura 6: Dados de pluviosidade média, temperatura média mínima e máxima, série histórica dos últimos 30 anos dos municípios que compõem a bacia hidrográfica do Rio Cricaré. Fonte: Gráfico elaborado a partir de dados do Climatempo (2016).....	26
Figura 7: A Tectônica Quebra-Nozes como um modelo evolutivo para o Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental. Fonte: Vieira (2007).....	27
Figura 8: Mapa geológico do Orógeno Araçuaí, com a área de estudo inserida no retângulo sobressalente. Fonte: Vieira, 2007.....	29
Figura 9: Perfil dos componentes geotectônicos do Orógeno Araçuaí. Fonte: Pedrosa Soares <i>et al.</i> , 2007.	29
Figura 10: Mapa geológico da área de estudo. Fonte: Mapa elaborado pelo autor com <i>shapes</i> cedidos pela CPRM (2016).....	31
Figura 11: Mapa de Subdomínios Hidrogeológicos. Fonte: Modificado de CPRM, 2007.	36
Figura 12: Mapa hidrogeológico. Escala: 1:5.000.000. Fonte: CPRM, 2014.....	36
Figura 13: Mapa hidrogeológico da área de estudo, com produtividade classificada de acordo com a capacidade específica dos poços. Fonte: IBGE, 2012.	37

Figura 14: Mapa de lineamentos na escala de 1:50.000 na porção superior. Na porção inferior os diagramas de rosetas dos lineamentos, a esquerda leva em consideração a frequência enquanto o da direita leva em consideração a comprimento dos mesmos.	38
Figura 15: Mapa de densidade de lineamentos traçados na escala de 1:50.000.....	39
Figura 16: Mapa hipsométrico da área de estudo, com variação de elevação entre 1414 e 6 metros. Mapa elaborado pelo autor com base nos dados SRTM.....	40
Figura 17: Mapa de declividade da área de estudo, classificado em 6 classes de acordo com Embrapa, 1979.	40
Figura 18: Mapa de drenagens da área de estudo.....	41
Figura 19: Mapa de densidade de drenagem.....	42
Figura 20: Histograma de frequência e diagrama de frequência acumulada da vazão dos poços da área de estudo.	43
Figura 21: Histograma de frequência e diagrama de frequência acumulada da capacidade específica dos poços da área de estudo.....	44
Figura 22: Histograma de frequência e diagrama de frequência acumulada do nível estático dos poços da área de estudo.	44
Figura 23: Histograma de frequência e diagrama de frequência acumulada do nível dinâmico dos poços da área de estudo.....	45
Figura 24: Mapa de localização da área de estudo.....	47
Figura 25: Mapa geológico da área de estudo, escala 1:100.000. Fonte: Elaborado a partir de arquivos vetoriais do geobank(CPRM, 2016).....	48
Figura 26: Localização e produtividade dos poços presentes na área de estudo.	51
Figura 27: a) Histograma mostrando a frequência da profundidade dos poços. b) Histograma mostrando a frequência da profundidade da entrada de água dos poços.	52
Figura 28: a) Correlação da capacidade específica com a profundidade do poço. b) Correlação da capacidade específica com a profundidade da entrada de água mais profunda do poço. A linha azul representa a mediana da produtividade dos poços ($0,182 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$).....	52

Figura 29: a) Correlação da declividade do terreno com a produtividade do poço. b) Correlação da espessura do solo com a produtividade do poço. A linha azul representa a mediana da produtividade dos poços ($0,182 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$).	53
Figura 30: <i>Boxplot</i> demonstrando a variação da capacidade específica em cada litologia. O número seguinte ao # representa os poços presentes em cada litologia. G5 = Suíte G5. AT = Suíte Ataléia. CC = Suíte Carlos Chagas. GA = Suíte Galiléia. TM = Formação Tumiritinga. ST = Formação São Tomé. NV = Complexo Nova Venécia. 54	54
Figura 31: a) Lineamentos extraídos na área de estudo. Escala de 1:50.000, com ênfase no Feixe de lineamentos Colatina. b) Diagrama de roseta levando em consideração a frequência de lineamentos. c) Diagrama de roseta levando em consideração o comprimento dos lineamentos.	56
Figura 32: a) Correlação da capacidade específica dos poços com a distância do lineamento mais próximo. b) Correlação da capacidade específica dos poços com a quantidade de lineamentos em um raio de 500 metro ao redor do mesmo. A linha azul representa a mediana da produtividade dos poços ($0,182 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$).	57
Figura 33: a) Correlação da capacidade específica dos poços com a densidade de lineamentos. b) Correlação da capacidade específica dos poços com a orientação azimutal do lineamento mais próximo. A linha azul representa a mediana da produtividade dos poços ($0,182 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$).	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Critério para classificação da produtividade dos poços tubulares.	20
Tabela 2: Materiais utilizados, fonte e escala dos mesmos.	50
Tabela 3: Critério para classificação da produtividade dos poços tubulares.	51

SUMÁRIO

	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	13
1	INTRODUÇÃO	14
1.1	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	15
1.2	JUSTIFICATIVA	16
1.3	OBJETIVOS	16
2	MATERIAL E MÉTODOS	17
2.1	LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO	17
2.2	DELIMITAÇÃO DA BACIA E DENSIDADE DA DRENAGEM.....	17
2.3	ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA.....	18
2.4	MAPA GEOLÓGICO	18
2.5	LINEAMENTOS.....	19
2.6	DADOS DE POÇOS.....	20
2.7	CORRELAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS	21
3	HIDROGEOLOGIA DE AQUÍFEROS FRATURADOS	22
3.1	PROFUNDIDADE DOS POÇOS	23
3.2	INFLUÊNCIA DA LITOLOGIA	24
3.3	INFLUÊNCIA DOS LINEAMENTOS.....	24
3.4	INFLUÊNCIA DA TOPOGRAFIA.....	25
4	CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO	26
4.1	PLUVIOSIDADE E TEMPERATURA.....	26
4.2	GEOLOGIA REGIONAL	26
4.2.1	Feixe de lineamentos Colatina	30
4.3	GEOLOGIA LOCAL.....	30
4.3.1	Grupo Rio Doce.....	31
4.3.2	Granitos pré-colisionais (G1).....	32
4.3.3	Complexo Nova Venécia	32

4.3.4	Granitos Sin-colisionais (G2).....	33
4.3.5	Granitos Tardi-Colisionais (G3).....	34
4.3.6	Granitos Pós-Colisionais (G5).....	34
4.3.7	Unidades Cenozóicas.....	35
4.4	CONTEXTO HIDROGEOLOGICO	35
4.5	LINEAMENTOS.....	38
4.6	GEOMORFOLOGIA	39
5	RESULTADOS.....	43
5.1	ESTATÍSTICAS DOS DADOS HIDRODINÂMICOS DOS POÇOS	43
5.1.1	Vazão.....	43
5.1.2	Capacidade específica	43
5.1.3	Nível Estático.....	44
5.1.4	Nível Dinâmico	44
5.2	PRODUTIVIDADE DOS POÇOS TUBULARES NA BACIA DO RIO CRICARÉ: CONDICIONANTES GEOLÓGICOS E TOPOGRÁFICOS.....	46
5.2.1	Introdução	46
5.2.2	Área de estudo	47
5.2.3	Contexto geológico.....	48
5.2.4	Materiais e métodos	50
5.2.5	Resultados e discussões.....	51
5.2.5.1	Profundidade dos poços.....	52
5.2.5.2	Declividade do terreno e espessura do solo.....	53
5.2.5.3	Litologia.....	54
5.2.5.4	Lineamentos.....	55
5.2.6	Conclusões.....	58
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
	REFERÊNCIAS.....	63
	ANEXO 1: DADOS DOS 138 POÇOS ANALISADOS.	70

ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação de mestrado está estruturada de acordo com as normas do Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Paraná, na qual os resultados da pesquisa devem ser elaborados na forma de um artigo científico.

O primeiro capítulo dessa dissertação apresenta a introdução, as justificativas da pesquisa, e os objetivos gerais/ específicos. O capítulo 2 refere-se ao material e aos métodos utilizados.

No terceiro capítulo é realizada a fundamentação teórica do tema por meio de referências bibliográficas amplamente conhecidas, para a descrição de conceitos utilizados no decorrer do desenvolvimento da pesquisa.

No quarto capítulo está descrita a caracterização da área de estudos com a localização dos poços tubulares profundos, geologia e parâmetros geomorfológicos.

O quinto capítulo aborda os resultados procedentes dessa pesquisa, em formato de artigo científico. Nele serão abordados a influência da geologia e da geomorfologia na produtividade dos poços tubulares.

O sexto capítulo faz uma integração dos resultados obtidos nessa pesquisa e se sugere uma discussão para trabalhos futuros nessa área. Finaliza-se essa dissertação com as referências que foram utilizados no seu decorrer.

1 INTRODUÇÃO

A gestão de recursos hídricos tem ganhado destaque cada vez maior no cenário nacional, principalmente no sudeste brasileiro. Nos últimos anos devido à falta de planejamento e escassez de chuva, diversos municípios passaram por racionamento, como no caso da maior cidade do país, São Paulo, no ano de 2014.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2010), 64% dos municípios brasileiros fazem uso de poços tubulares, como fonte única ou alternativa, para abastecimento público de água para a população, enquanto a captação superficial é utilizada em menor proporção, sendo empregada em 56% dos municípios. A área de estudo encontra-se inserida nos estados do Espírito Santo e Minas Gerais, onde a proporção de municípios abastecidos por águas superficiais predomina em relação as subterrâneas, 82% e 59%, respectivamente. Aos poucos, essa diferença tem diminuído.

A Bacia do Rio Cricaré, também denominado de Rio São Mateus Braço Sul, teve seus valores de precipitação pluviométrica reduzidos bruscamente nos últimos cinco anos, fato este evidenciado nos dados do ano de 2015, onde segundo o Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER, 2015 e 2016) e o Sistema de Meteorologia e Recursos Hídricos de Minas Gerais (SIMGE, 2015 e 2016), apenas o mês de junho atingiu a média da série histórica das precipitações acumuladas. Os demais 11 meses atingiram valores inferiores a 75% em relação ao da série histórica, sendo que no mês de janeiro, onde era esperado valores superiores a 100 mm em toda a bacia, boa parte da mesma apresentou valores inferiores a 15 mm.

Os municípios que compõem a bacia hidrográfica do Rio Cricaré, possuem economia voltada principalmente para agricultura e a pecuária, impondo assim, uma grande demanda de água. Nos últimos 5 anos, a escassez de recursos hídricos superficiais se agravou, o que levou dezenas de municípios a decretarem situação de emergência nos dois estados, inclusive quatro municípios da referida bacia hidrográfica durante o ano de 2016 (Brasil, 2016).

Com intuito de diminuir os danos causados pela seca, a Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN) tem buscado como alternativa a perfuração de novos poços tubulares, como foi o caso dos municípios de Vila Pavão e Pinheiros no estado capixaba. Novos poços foram perfurados pelo Serviço Autônomo de Água e

Esgoto (SAAE) em Mantena, em Minas Gerais. Porém, a maior parte da bacia hidrográfica é constituída por aquíferos fraturados, e devido a sua heterogeneidade, há grande incerteza ao estimar a vazão de um poço a ser perfurado (Banks e Robins, 2002).

1.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do Rio Cricaré localiza-se no norte do Espírito Santo e leste de Minas Gerais (Figura 1). A área de estudo é um polígono retangular com vértices 220545E, 7977296N; 385870E, 7977296N; 385870E, 7899077N; e 220545E, 7899077N (Zona 24S), de forma a englobar toda a bacia e seus arredores. Com uma área de 12932 km² compreende, de forma parcial ou total, 37 municípios.

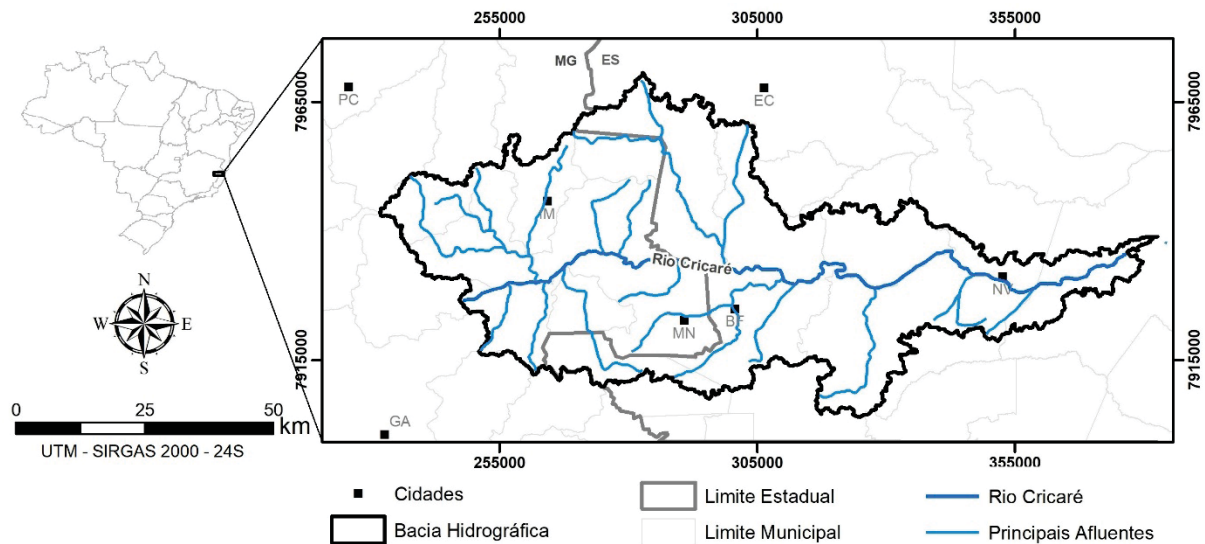


Figura 1: Mapa de localização da Bacia do Rio Cricaré, na divisa dos estados do Espírito Santo e Minas Gerais. Municípios com a sede representadas no mapa: PC (Pescador), GA (Galiléia), TM (Tumiritinga), MN (Mantena), BF (Barra de São Francisco), EC (Ecoporanga), NV (Nova Venécia).

Os municípios capixabas da área de estudo são: Água Doce do Norte, Água Branca, Alto Rio Novo, Barra de São Francisco, Boa Esperança, Ecoporanga, Jaguaré, Mantenópolis, Nova Venécia, Pancas, Pinheiros, Ponto Belo, São Gabriel da Palha, São Mateus, Sooretama, Vila Pavão e Vila Valério.

No território mineiro, as cidades inseridas na área de estudo são: Ataléia, Central de Minas, Conselheiro Pena, Cuparuque, Divino de Laranjeiras, Galiléia, Goiabeira, Governador Valadares, Itabirinha de Mantena, Jampruca, Mantena,

Mendes Pimentel, Nova Belém, Nova Módica, Pescador, São Félix de Minas, São Geraldo do Baixo, São João do Manteninha e São José do Divino.

1.2 JUSTIFICATIVA

A bacia hidrográfica do rio Cricaré abrange doze áreas urbanas de municípios, abastecendo aproximadamente duzentos mil habitantes. Com o aumento da escassez de água superficial e o crescimento do uso de água subterrânea, o conhecimento de fatores que influenciam na produtividade do aquífero é importante para seu melhor aproveitamento.

Partindo do pressuposto que as estruturas geológicas, a geomorfologia e as litologias presentes influenciam a hidrodinâmica do aquífero, o presente trabalho pretende contribuir com o conhecimento hidrogeológico da região, visto que este é escasso, assim como poderá auxiliar a locação de novos poços tubulares.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo da pesquisa é determinar os fatores geológicos e geomorfológicos que influenciam a produtividade dos poços tubulares presentes na área de estudo.

Objetivos específicos:

- Determinar a influência das diferentes litologias na capacidade específica dos poços;
- Determinar a influência dos lineamentos na capacidade específica dos poços;
- Determinar a influência da espessura do solo na capacidade específica dos poços;
- Determinar a influência da declividade do terreno na capacidade específica dos poços.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO

Durante a elaboração do trabalho foram consultados livros, relatórios, dissertações, teses e artigos em periódicos com enfoque de se compreender a geologia da área de estudo, levando em consideração principalmente aspectos litológicos, tectônicos e estruturais. Foi dada ênfase no estudo da hidrogeologia de aquíferos fraturados, permitindo uma fundamentação teórica para realização do estudo.

O banco de dados de arquivos vetoriais e *raster* da área de estudo foi montado principalmente com dados fornecidos nos *websites* do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA, 2016) e do Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN, 2016). Composto por ortofotos e arquivos que representam aspectos fisiográficos, como divisas municipais e estaduais, redes de drenagem, localidades, entre outras. Todos os mapas representados no trabalho encontram-se em projeção UTM, com datum SIRGAS 2000, na zona 24S.

2.2 DELIMITAÇÃO DA BACIA E DENSIDADE DA DRENAGEM

A bacia hidrográfica foi delimitada usando imagens *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) de 1 arco segundo, com resolução de 30 metros, disponibilizados pela NASA (2016). Por meio da ferramenta *Arc Hydro Tools*, no Software Arcgis 10.5, foram geradas as drenagens e a delimitação da bacia hidrográfica, seguindo os passos da Figura 2.

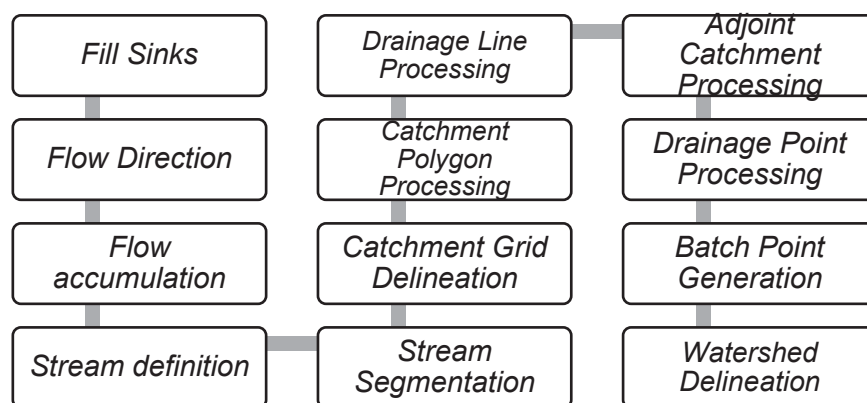


Figura 2: Sequência das ferramentas utilizadas para delimitação da bacia hidrográfica com uso da ferramenta *Arc Hydro tools*.

As drenagens geradas foram ajustadas, retirando as duplicadas, e comparadas com as drenagens das folhas geológicas, mostrando-se adequadas. Por fim foi gerado o mapa de densidade de drenagens, por meio da ferramenta *Line Density* da extensão *Spatial Analyst Tools*.

2.3 ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA

Os materiais empregados para confecção de dados geomorfológicos foram as imagens SRTM. Por meio do software Arcgis 10.5, foram corrigidos os espaços de valores nulos, por meio de uma interpolação com a ferramenta *Focal Statistics*, que usa a média das células vizinhas, sendo utilizado um raio de 15 células.

Com o *raster* do SRTM, sem espaços vazios, foi gerado o modelo digital de elevação, com a classificação dos valores do *raster* com cores frias para áreas de menores altitudes e cores mais quentes para áreas elevadas. Também foi gerado um mapa de declividade, por meio da ferramenta *slope* no Arcgis 10.5.

2.4 MAPA GEOLÓGICO

As folhas utilizadas foram cedidas pela CPRM, através do site GEOSGB (CPRM, 2016), em formato *shape*, e pdf, juntamente com seus respectivos relatórios técnicos. A escala de mapeamento é 1:100.000.

As folhas estudadas são: Itambacuri (SE.24-Y-A-I), Ataléia (SE.24-Y-A-II), Ecoporanga (SE.24-Y-A-III), Governador Valadares (SE.24-Y-A-IV), Itabirinha de Mantena (SE.24-Y-A-V), Mantena (SE.24-Y-A-VI), Montanha (SE.24-Y-B-I) e Nova Venécia (SE.24-Y-B-IV).

Foi necessária uma compilação dos dados das folhas acima citadas, devido ao fato dos mapeamentos serem realizados em duas campanhas distintas da CPRM, o Projeto Leste (Folhas SE.24-Y-A-I, II, IV e V) e o Contrato CPRM 106/PR/06. Fato este, que acarretou uma diferenciação na nomenclatura das litologias.

Devido ao foco do trabalho ser a hidrogeologia, as Suítes Carlos Chagas e Montanha, foram agrupadas, pois o único fator que as diferencia é a maior presença de biotita (10%) na segunda suíte.

2.5 LINEAMENTOS

O termo lineamento é amplamente utilizado, sendo adotada a definição de O'Leary *et al.* (1976): feição linear, mapeável, simples ou composta, em que suas partes estão alinhadas retilineamente ou levemente curvilíneo, diferenciando-se das feições adjacentes. Presumindo assim um fenômeno de subsuperfície, de fonte geológica.

Objetivando o traçado de lineamentos foram gerados quatro *rasters* de relevo sombreado a partir dos raster SRTM, por meio da ferramenta *hillshade*, com iluminação de quatro diferentes direções azimutais: 0, 45, 90, 315 (Figura 3). Com os mapas de relevo sombreado foram traçados lineamentos na escala 1:50.000.

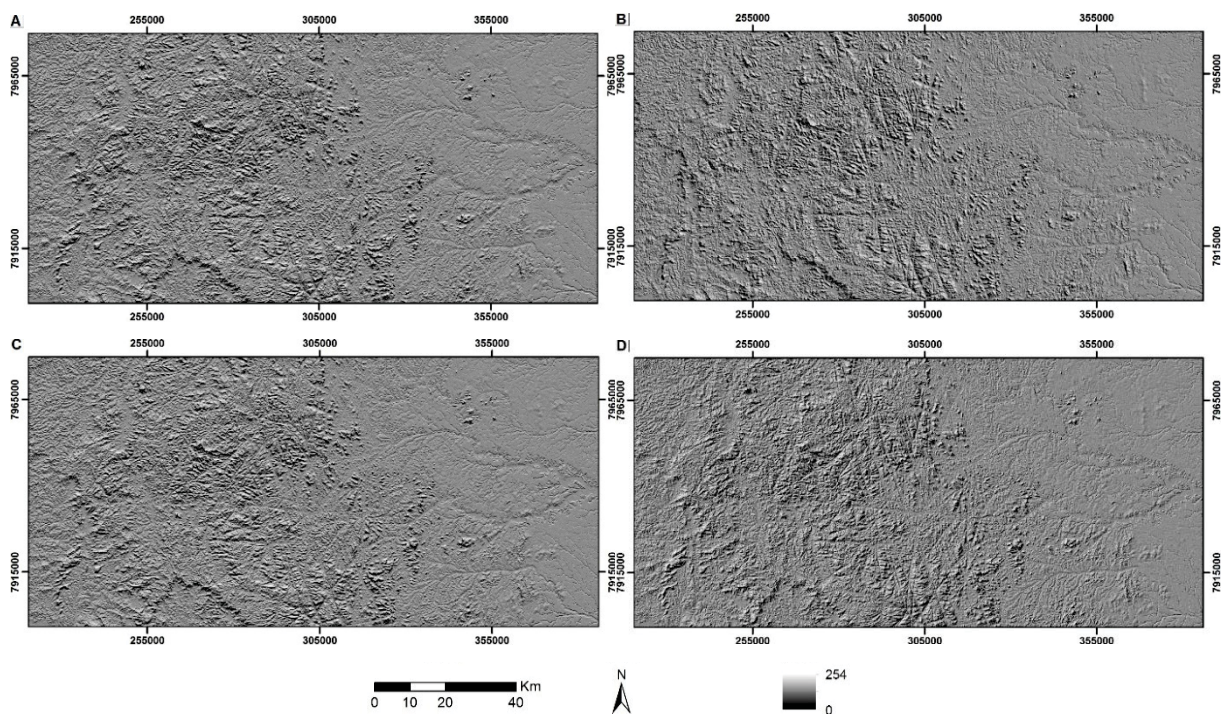


Figura 3: Mapas com relevo sombreado com iluminação em quatro diferentes direções azimutais. A) 0°. B) 45°. C) 90°. D) 315°.

Na tabela de atributos dos lineamentos foram criadas quatro novas colunas, contendo respectivamente as coordenadas N e E do ponto inicial e final das linhas. Esses dados foram exportados na extensão .DXF, para serem trabalhados no software Rockworks 15.0, onde foram criados dois diagramas de rosetas considerando: o comprimento e a frequência dos lineamentos.

Com uso da ferramenta *Line Density* da extensão *Spatial Analyst Tools*, no software ArcMap, foi criado o mapa de densidade de lineamentos. Esta ferramenta

calcula a magnitude por unidade de área de vetores de linha em um determinado raio ao redor da célula definida do *raster* final. No caso a célula teve tamanho escolhido de 50 metros, com raio de 2608 metros.

2.6 DADOS DE POÇOS

Os dados hidrogeológicos foram obtidos através de fichas construtivas de poços tubulares profundos disponibilizados no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (CPRM, 2016b) e pela CESAN. Havia no total 311 poços disponíveis, após uma análise foram mantidos os dados de 138 poços, considerados consistentes.

Poços com dados do teste de bombeamento imprecisos foram descartados, assim como poços sem revestimento, ou com filtros, antes de se atingir a rocha cristalina. Poços da Formação Barreiras também foram eliminados.

Cada poço possui os seguintes dados:

- Coordenadas;
- Data de perfuração;
- Profundidade;
- Perfis litológico e construtivo;
- Níveis estático e dinâmico;
- Duração do teste de bombeamento;
- Vazões;
- Capacidade específica.

A classificação de produtividade dos poços presentes na área de estudo foi baseada na classificação do Mapa Hidrogeológico do Sudeste (IBGE, 2012), com modificações para se adequar a distribuição dos valores de capacidade específica dos poços da área de estudo, como consta na Tabela 1.

Tabela 1: Critério para classificação da produtividade dos poços tubulares.

Produtividade	Elevada	Moderada	Fraca	Muito fraca	Seco
Q/s (m³.h⁻¹.m⁻¹)	≥ 1,6	1,6 > Q/s ≥ 0,4	0,4 > Q/s ≥ 0,12	0,12 > Q/s > 0	0
Poços (%)	10	23	37	21	19

Fonte: Modificado de IBGE, 2012.

A localização dos poços pode ser vista na Figura 4, estando classificados de acordo com a produtividade.

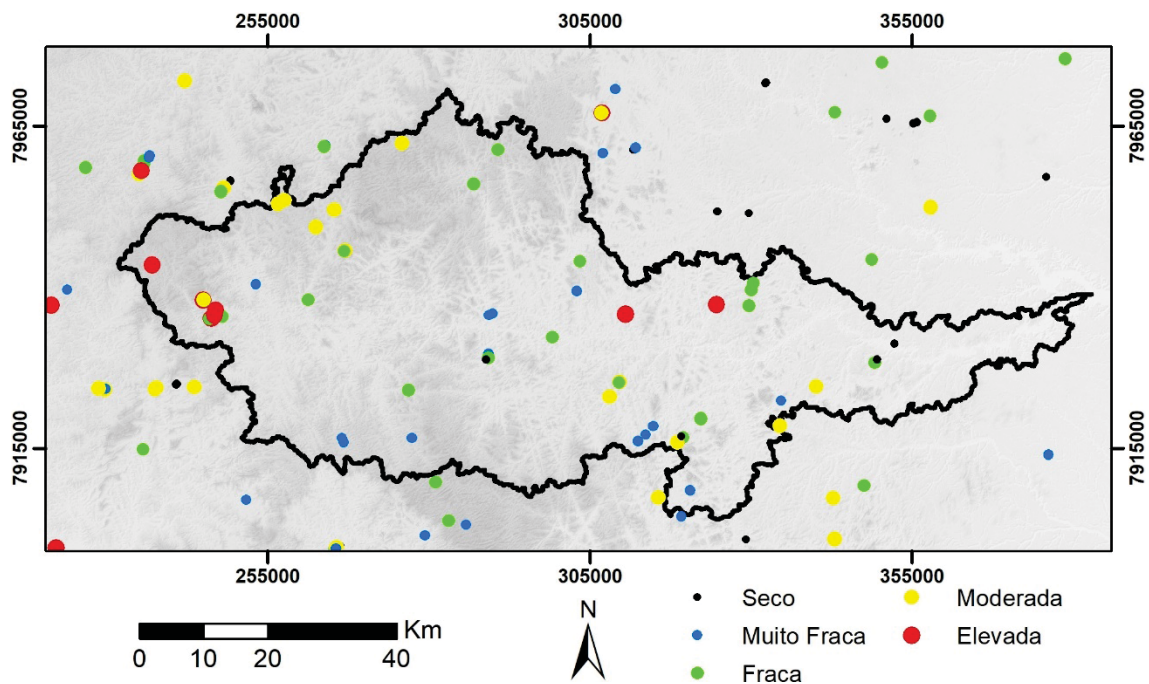


Figura 4: Mapa de localização dos poços, que se encontram classificados de acordo com sua produtividade.

2.7 CORRELAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

A correlação dos dados geológicos, geomorfológicos e de produtividade dos poços foi realizada no software ARCGIS 10.5. A ferramenta *spatial join* foi utilizada para adicionar a tabela de atributo dos pontos os valores de arquivos tipo *shape file*, como a unidade geológica, a distância e orientação do lineamento mais próximo e a quantidade de lineamentos em determinado raio.

Quando o formato do arquivo a atribuir novos valores para a tabela de atributos dos poços for *raster*, a ferramenta utilizada no arcgis foi a *extract values to points*, como foi o caso da declividade e a densidade de lineamentos e drenagens.

Possuindo a tabela com os dados a serem analisados de cada poço, os mesmos foram tratados no software Excel, sendo feita uma análise estatística e gerando gráficos para facilitar a visualização dos mesmos.

3 HIDROGEOLOGIA DE AQUÍFEROS FRATURADOS

Os continentes são compostos majoritariamente por rochas cristalinas (Figura 5), sendo que estas não possuem porosidade primária permitindo que armazenem água apenas em estruturas secundárias, formando assim aquíferos fraturados ou fissural, de acordo com Singhal e Gupta (2010). Segundo os mesmos autores, o manto de intemperismo formado sobre as rochas cristalinas também armazena água, sendo importante fonte de suprimento de água principalmente em áreas rurais em países em desenvolvimento.



Figura 5: Distribuição de rochas cristalinas nos continentes (Singhal e Gupta, 2010).

Singhal e Gupta (2010), listam cinco principais tipos de descontinuidades em rochas cristalinas que podem armazenar água, sendo elas a foliação, fraturas, juntas, falhas e zonas de cisalhamento. A abertura dessas descontinuidades possui grande influência na percolação de água no aquífero, Banks e Robins (2002) afirmam que uma fratura com 1mm de abertura pode transmitir mais água que 900 fraturas planares paralelas com 0,1 mm de abertura. Rochas com reologia mais competente, como por exemplo granitos, tendem a ter estruturas com aberturas maiores que as que possuem deformação mais plástica, como ardósias (Banks e Robins (2002).

Costa (1986) condiciona fatores endógenos e exógenos que influenciam a hidrogeologia de aquíferos fissurados. Os exógenos são representados pelo clima, relevo, hidrografia, vegetação e coberturas sedimentares. Enquanto os fatores

endógenos são, mecânica das rochas, estruturas geológicas e litologia, influenciando a produtividade dos poços.

Segundo Knopman e Hollyday (1993), Fernandes (1997) e Neves (2005), a capacidade específica é a principal propriedade a ser considerado na produtividade de um poço, pois levando em consideração que, quanto menor o rebaixamento provocado, maior a transmissividade do aquífero. A capacidade específica representa a razão da vazão sobre o rebaixamento do poço (Q/s), medido no teste de bombeamento e sendo representado neste trabalho em $m^3h^{-1}m^{-1}$.

3.1 PROFUNDIDADE DOS POÇOS

Em estudo realizado nos Estados Unidos da América, Davis e Turk (1964) afirmaram que ocorre uma diminuição da permeabilidade a medida que se aumenta a profundidade da perfuração. Segundo os autores, em média, na área estudada a profundidade do poço deve ser entre 45 e 75 metros, pois após essa profundidade há uma menor probabilidade de se encontrar uma fratura preenchida com água.

Wright e Burgess (1992) na África e Henriksen (1995) também concluíram que há uma menor probabilidade de se obter fraturas à medida que se aumenta a profundidade do poço. Banks e Robins (2002) atribuem esse fenômeno a pressão litostática, diminuindo a abertura das fraturas devido ao peso das rochas subjacentes.

Dewandel *et al.* (2006), em estudo realizado na Índia, afirma que nos primeiros 100 metros de profundidade há uma maior quantidade de fraturas, assim como as fraturas presentes tendem a estar interconectadas, aumentando a produtividade dos poços. Os autores, nesse caso associam a maior quantidade de fraturas nos primeiros metros de perfuração à ação do intemperismo.

Entretanto, segundo LeGrand (1960), a produtividade dos poços não tem influencia diretamente proporcional com a profundidade dos mesmos, pois a água não é transmitida uniformemente em rochas cristalinas. O mesmo autor afirma que com o aumento da profundidade as fraturas das rochas tendem a ser menos frequentes e mais fechadas, não necessariamente acarretando que a vazão de poços mais profundos seja maior.

Na região de Virginia nos EUA, LeGrand (1960) analisou a vazão de 369 poços, divididos de acordo com a profundidade de cada poço, os poços com mais de

150 metros foram os mais produtivos, seguidos pelos poços com profundidades entre 100 e 150 metros, e os poços mais rasos (menos de 100 m) apresentaram a menor média das vazões.

3.2 INFLUÊNCIA DA LITOLOGIA

Banks *et al.* (2010), afirma que cada tipo de litologia, em um terreno cristalino, pode ser considerado um aquífero capaz de suprir quantidade viável de água. Os autores citados também relatam que a variação de produtividade nas diferentes litologias se deve a propriedade geomecânicas e a sua susceptibilidade ao intemperismo.

Singhal e Gupta (2010) afirmam que rochas com foliação mais conspícua tendem a possuir maior produtividade, portanto é esperado que xistos sejam mais produtivos do que granitos e gnaisses.

De acordo com Fernandes (2007), xistos, filitos e rochas básicas intrusivas possuem menores capacidades produtivas que granitos, granodioritos e migmatitos, que por sua vez possuem produtividade ligeiramente maior que gnaisses. A mesma autora afirma que no estado de São Paulo, rochas metamórficas de baixo grau apresentam grande variação de capacidade específica.

Neves e Morales (2007) estudando a bacia hidrográfica do rio Jundiá obtiveram que rochas metassedimentares possuem a maior mediana de capacidade específica da área ($0,2 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$), enquanto xistos, granitos e gnaisses possuíram valores semelhantes, com mediana próxima a $0,03 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$.

3.3 INFLUÊNCIA DOS LINEAMENTOS

Segundo Sander (2007) feições lineares extraídas de imagens de sensoriamento remoto são a chave para a ocorrência de água em terrenos cristalinos. Segundo o autor, devido ao baixo custo e possibilidade de se extrair os lineamentos ir a campo justifica a ampla utilização do método, sendo que a extração de lineamentos pode ser feita de modelos digitais de elevação, imagens aerogeofísicas, mapas topográficos, entre outros.

Os lineamentos podem representar descontinuidades nas rochas cristalinas, sendo que majoritariamente representam fraturas verticais ou subverticais (Singhal e

Gupta, 2010). Segundo Chandra (2016), a escala de 1:50.000 já se pode determinar zonas de interesse. Enquanto Banks e Robins (2002) afirma que as margens de zonas de fraturas, podem ser mais permeáveis que onde o fraturamento é mais intenso, devido a possibilidade de mineralização na porção central.

Fernandes (2007) afirma que no estado de São Paulo é amplamente utilizado estudos para determinar a influência de lineamentos na produtividade dos aquíferos fraturados. Esses estudos levam em questão a proximidade, orientação, densidade e intersecção dos lineamentos.

3.4 INFLUÊNCIA DA TOPOGRAFIA

Fernandes (2007) mostra que há uma variação significativa quando analisadas as capacidades específicas de vale, encosta e topo. Poços localizados em vales tendem a possuir maior produtividade (Singhal e Gupta, 2010). Poços em áreas planas, mesmo em topos de morro tendem a possuir maiores vazões que os em encostas.

Poços com menores profundidades tendem a ser mais afetados pela localização em compartimentos topográficos (Singhal e Gupta, 2010). A maior produção em vales se deve pela localização em áreas fraturadas e possuírem uma maior espessura de solo ou cobertura sedimentar (Singhal e Gupta, 2010; Fernandes, 2007).

A declividade do terreno influencia na infiltração da água precipitada no solo, com maior taxa de recarga do aquífero em declives suaves do que terrenos de declives acentuados (Prasad *et al.*, 2008).

4 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

4.1 PLUVIOSIDADE E TEMPERATURA

A média de pluviosidade anual na série histórica dos últimos 30 anos é de 1095 milímetros (Climatempo, 2016). A característica marcante da área é de verões chuvosos, com média de 562 mm entre os meses de novembro de janeiro, que representa pouco mais de metade da média anual. Enquanto os meses de junho, julho e agosto representam menos de 10% da média anual, 79 mm (Figura 6).

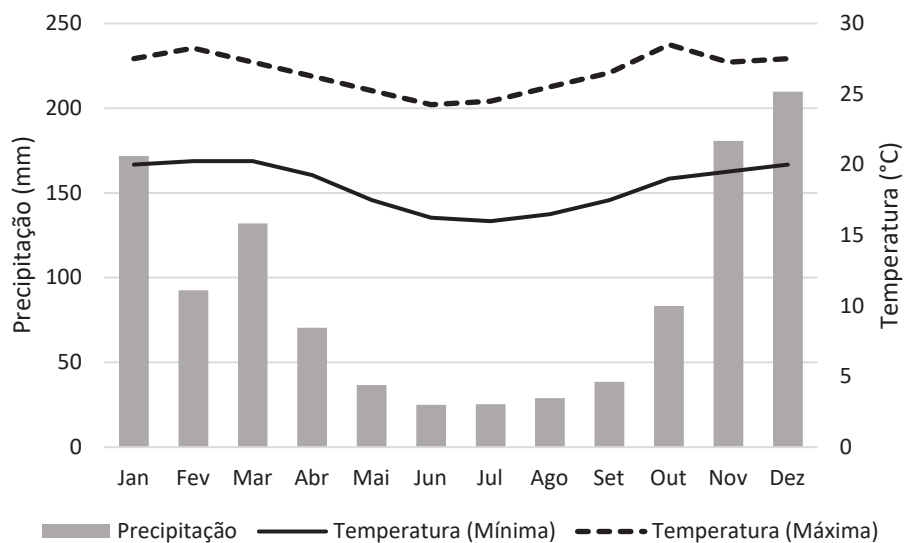


Figura 6: Dados de pluviosidade média, temperatura média mínima e máxima, série histórica dos últimos 30 anos dos municípios que compõem a bacia hidrográfica do Rio Cricaré. Fonte: Gráfico elaborado a partir de dados do Climatempo (2016).

As médias das mínimas da temperatura ficam entre 16°C nos meses de junho e julho e 20°C nos meses de dezembro, janeiro fevereiro e março (Climatempo, 2016). A média da temperatura das máximas entre 24°C no mês de julho e 28°C no mês de fevereiro.

4.2 GEOLOGIA REGIONAL

A Bacia do Rio Cricaré encontra-se no domínio interno do Orógeno Araçuaí, de idade Neoproterozóica-Cambriana (Pedrosa-Soares *et al.* 2007). O orógeno teve início com o choque da placa Rio de La Plata no sudoeste da península São Francisco, desencadeando o fechamento da Bacia Macaúbas, há 630 Ma (Alkmim *et al.*, 2006 e

2007). Esta bacia encontrava-se localizada em um braço do Oceano Adamastor, sendo bordada pelo cráton São Francisco – Congo, com abertura apenas a sul para o referido oceano (Figura 7).

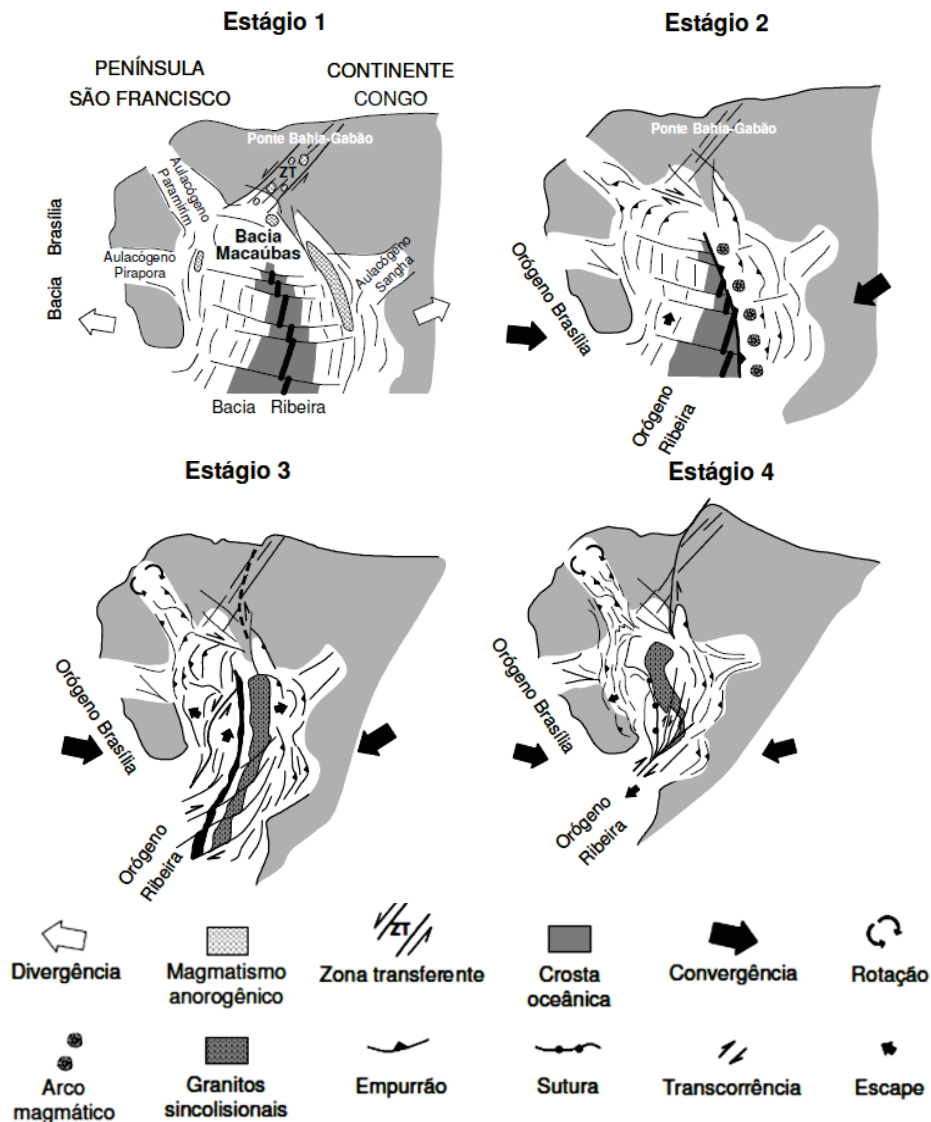


Figura 7: A Tectônica Quebra-Nozes como um modelo evolutivo para o Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental. Fonte: Vieira (2007).

Com o avançar do fechamento da bacia, iniciou-se a edificação do arco magmático de margem continental ativa, denominado Rio Doce, estágio 2 na Figura 7 (Tedeschi *et al.*, 2016). Seu desenvolvimento ocasionou o consumo da crosta oceânica, até ocorrer a interação entre as partes em colisão, há 590 Ma (Gonçalves *et al.*, 2016). Durante esta etapa, pré-colisional (630Ma – 590Ma), ocorreu a formação de rochas da suíte G1 que representam o arco magmático e a deposição de bacias de intra-arco e retro-arco, como o grupo Rio Doce.

Com o início da interação das diferentes partes em colisão ocorreu o espessamento crustal na denominada etapa sin-colisional (590Ma - 545Ma), estágio 3 na Figura 7 (Alkmim *et al.*, 2017). Gerando assim um intenso metamorfismo e uma extensa granitogênese do tipo S, a suíte G2. Do centro para as bordas do orógeno (tanto E-W quanto S-N) o metamorfismo vai gradualmente da fácies granulito à facie xisto verde. No núcleo interno do orógeno ocorreu a fusão de rochas das bacias de retro-arco, gerando complexos paragnáissicos, como o Nova Venécia (Gradim *et al.*, 2014, Richter *et al.*, 2016).

Com a diminuição da intensidade da tectônica tangencial, ocorreu o escape lateral do orógeno, na etapa tardi-colisional (545Ma – 530Ma), promovendo uma descompressão adiabática, gerando granitos tipo S, suítes G3 (De Campos *et al.*, 2015 e Pedrosa-Soares *et al.*, 2011). Por fim, ocorreu o colapso do orógeno (Estágio 4 na Figura 7), na etapa pós-colisional (530Ma - 480Ma), gerando granitos das suítes G4, tipo S, e G5, tipo I e A2.

A Figura 8 mostra o mapa geológico do orógeno Araçuaí, com a disposição geográfica das rochas do grupo Rio Doce, suítes magmáticas das diferentes etapas colisionais, e o cráton São Francisco na borda oeste. Pode-se observar um trend N-S das intrusões da Suíte G5 e do Grupo Rio Doce, além da grande área que as suítes G2 ocupam.

A Figura 9 mostra um perfil do Orógeno Araçuaí, com os diferentes componentes geotectônicos, mostrando uma variação da vergência das estruturas de oeste para leste, dependendo do posicionamento geográfico em relação aos plutonismos sin- a pós-colisionais.

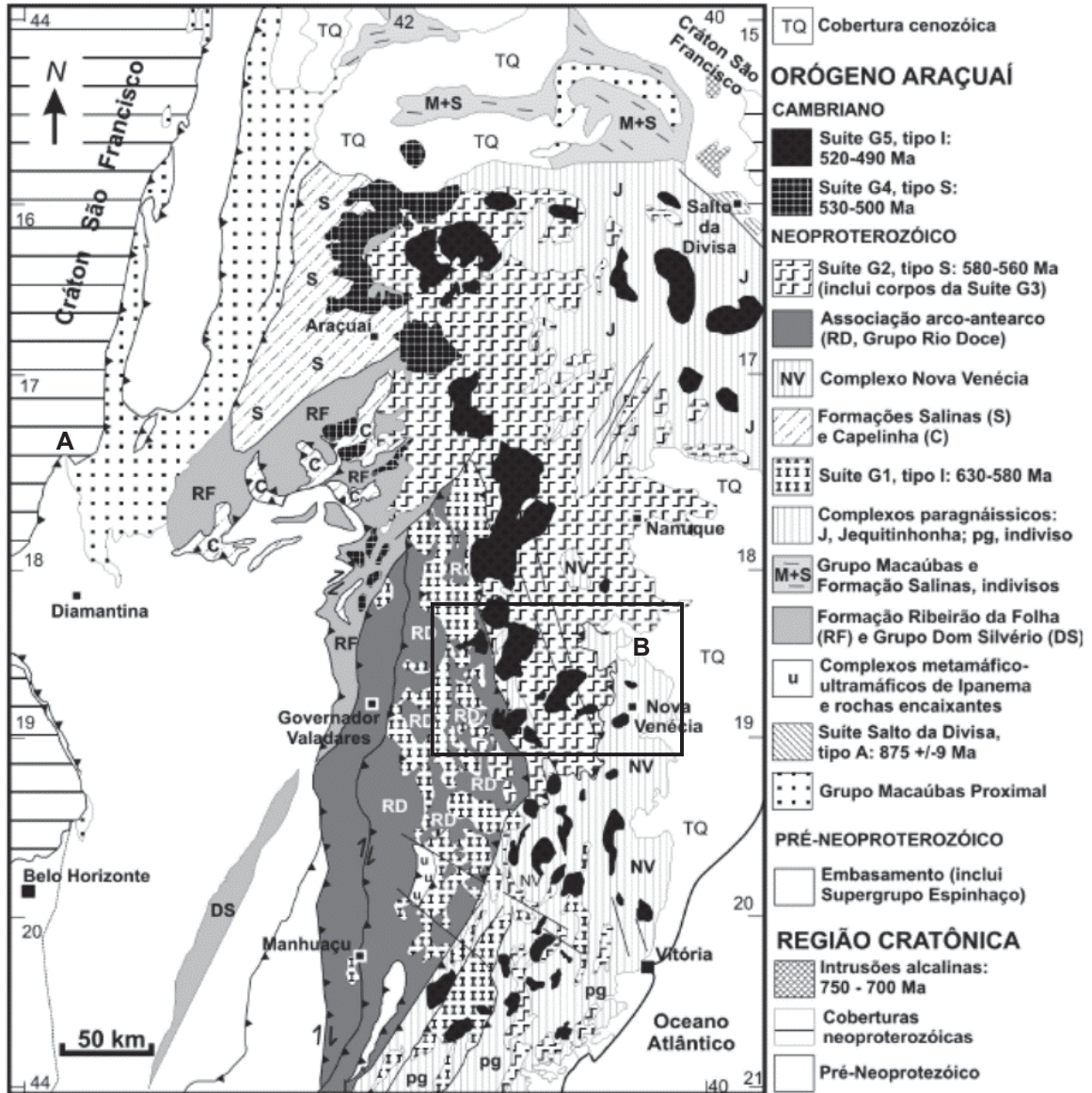


Figura 8: Mapa geológico do Orógeno Araçuaí, com a área de estudo inserida no retângulo sobressalente. Fonte: Vieira, 2007.

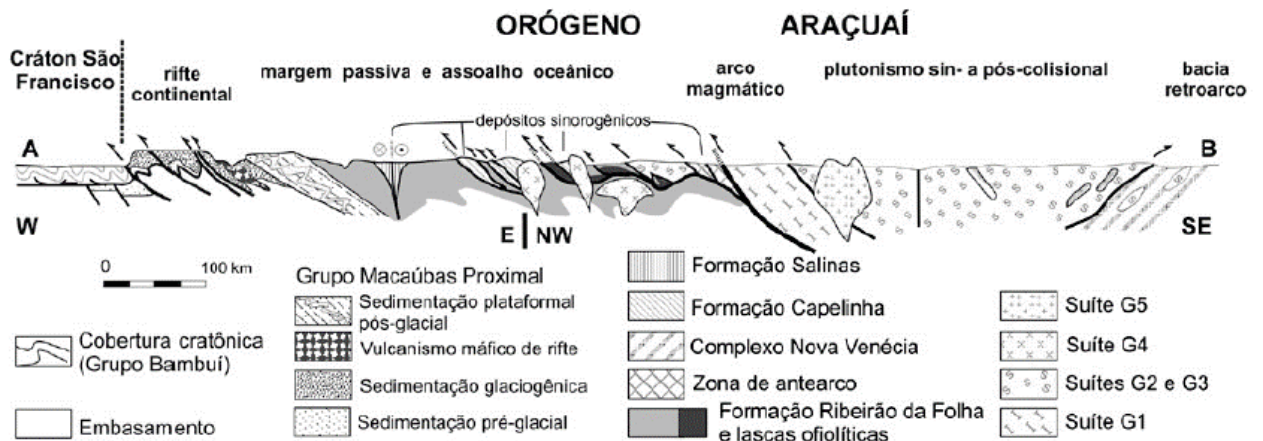


Figura 9: Perfil dos componentes geotectônicos do Orógeno Araçuaí. Fonte: Pedrosa Soares et al., 2007.

4.2.1 Feixe de lineamentos Colatina

A porção central da área de estudo é cortada pelo Feixe de Lineamentos Colatina, de direção N15W, é formado por fraturas originadas em regime distensivo (Belém *et al.*, 2015). Segundo os mesmos autores, a sul do Rio Doce, onde corta rochas principalmente do Complexo Nova Venécia e da suíte Ataléia, de granulação mais fina, possui uma maior quantidade de fraturas, enquanto na porção a norte do Rio Doce (área de estudo), corta rochas de granulação mais grossa, principalmente das Suítes Carlos Chagas e G5, há uma menor quantidade de fraturas.

Belém *et al.* (2015), afirma que apesar de em imagens de satélites o lineamento se orientar na direção NNW-SSE, nos afloramentos a orientação predominante de fraturas é NE-SW, sendo que as fraturas orientadas NNW-SSE comumente estão preenchidas por diques máficos. As análises isotópicas (U-Pb em zircão e titanita) dos diques máficos assinalam uma idade de 500 Ma, portanto, a origem do Feixe de Lineamentos Colatina é mais antiga que esta idade assinalada nos diques (Belém *et al.*, 2015).

Segundo Bricalli e Mello (2013), esse feixe de lineamentos foi reativado pela neotectônica, que é registrada no norte do Espírito Santo por três eventos. O primeiro, no Neógeno caracterizado por uma transcorrência sinistral E-W, gerando falhas normais NE-SW, falhas dextrais NNE-SSW e falhas sinistrais E-W a ENE-WSW. O segundo de idade Pleistocênica a Holocênica, sendo uma “transcorrência dextral E-W, associada a geração de falhas normais NW-SE, falhas dextrais NW-SE a E-W e falhas sinistrais NNE-SSW a NNW-SSE”. E o terceiro de idade Holocênica, uma “distensão NW-SE, associada à geração de falhas normais NE-SW a ENE-WNW”.

Segundo Mello *et al.* (2005) os lineamentos de orientação NW-SE registrados no norte do Espírito Santo são correlacionados com o campo de transcorrência dextral E-W, enquanto os lineamentos de orientação NE-SW são reflexos da reativação distensional NW-SE.

4.3 GEOLOGIA LOCAL

Na área de estudo estão presentes rochas do G1, G2, G3, G5, rochas do Grupo Rio Doce (Formações Tumiritinga e São Tomé), do Complexo Nova Venécia,

além de coberturas sedimentares cenozoicas, como pode ser visto no mapa geológico na Figura 10.

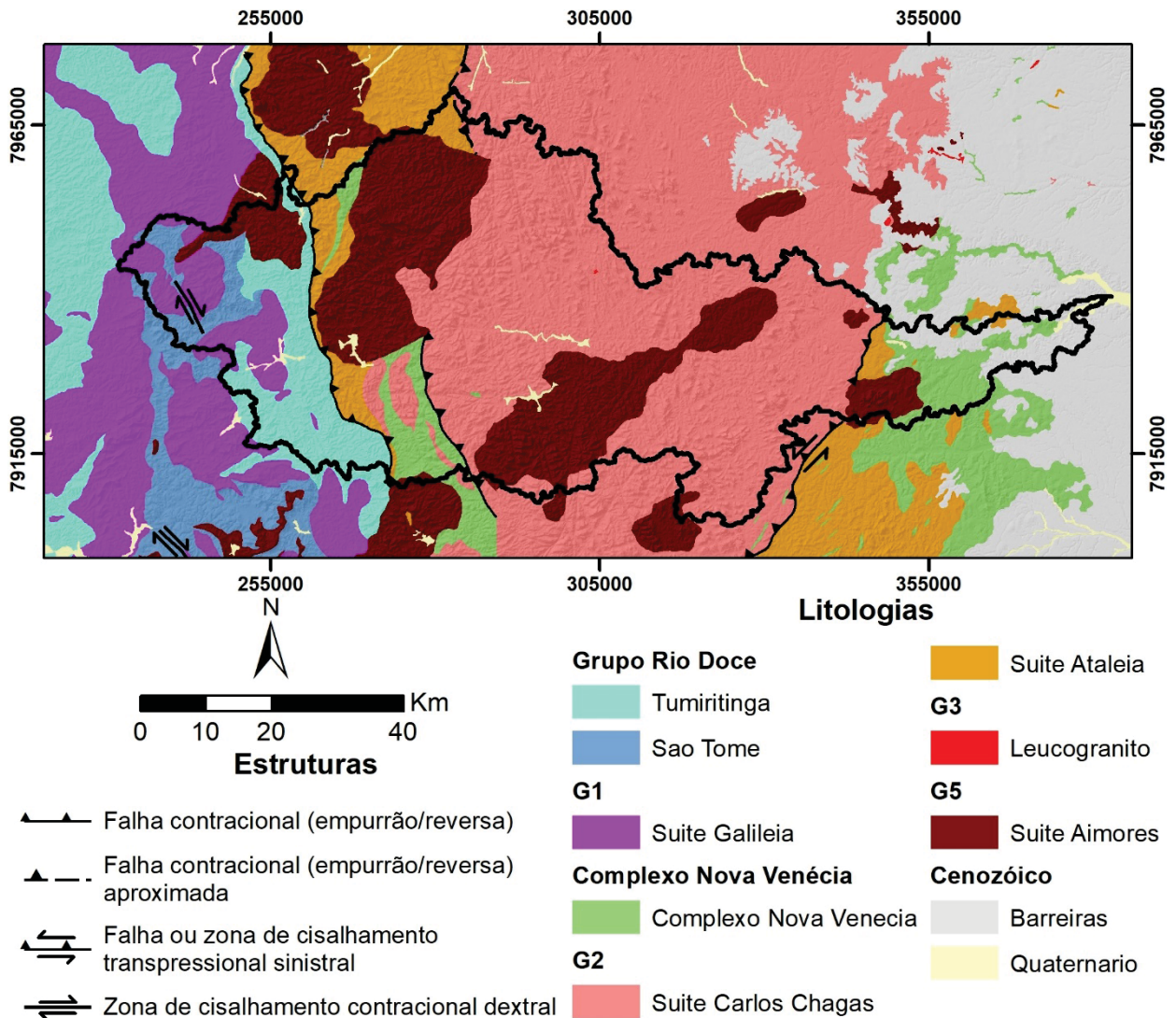


Figura 10: Mapa geológico da área de estudo. Fonte: Mapa elaborado pelo autor com *shapes* cedidos pela CPRM (2016)

4.3.1 Grupo Rio Doce

Na área de estudo, este grupo está representado pelas formações metavulcanossedimentares Tumiritinga e São Tomé (Vieira, 2007), e é relacionado ao arco magmático Rio Doce, no estágio pré-colisional, e a bacias da sua adjacência.

A formação Tumiritinga é composta por mica xistos e gnaisses, além de rochas metavulcanoclásticas. Sua granulação é média e possui foliação anastomosada. Sua paragênese sugere protólito sedimentar pelito-areno-carbonático, que foi submetido a metamorfismo na facies anfíbolito alto. Possui contato abrupto com as rochas ígneas e é representada por um biotita-silimanita gnaiss (Vieira, 1997)

A formação São Tomé é composta por quartzo-biotita xisto com granulação de fina a média. Seu contato com a formação Tumiritinga é gradacional, enquanto com as rochas graníticas é abrupto. A paragênese atual dessa rocha indica que seu protólito era pelítico e foi submetido a metamorfismo na fácies anfíbolito baixo (Vieira, 1997).

4.3.2 Granitos pré-colisionais (G1)

As rochas graníticas da suíte G1 representam a porção plutônica, pré-colisional, do arco Rio Doce, sendo este cálcio-alcálico (Gradim *et al.*, 2014). Composto em quase sua totalidade por tonalitos e granodioritos, apresenta foliação regional, por vezes milonítica (Pedrosa Soares *et al.*, 2007). Na área de estudo é representada por duas unidades da suíte Galiléia, um tonalito homônimo, outro denominado São Vitor.

O tonalito Galiléia é composto por majoritariamente por quartzo, feldspato, biotita e hornblenda, com granulação média, contendo autólitos máficos (Vieira, 1997). Estruturalmente possui foliação incipiente e contato gradual com o tonalito São Vitor, que se diferencia por conter uma grande quantidade de xenólitos das formações Tumiritinga e São Tomé, do grupo Rio Doce.

Devido à grande semelhança entre as litologias, foram unificadas no mapa geológico, sendo representados como Suíte Galiléia.

4.3.3 Complexo Nova Venécia

Representa o setor distal da bacia de retroarco do Orógeno Araçuaí (Queiroga *et al.*, 2012). Descrito por Pedrosa Soares *et al.* (2006) como paragneisses ricos em biotita, granada, cordierita e/ou sillimanita, com lentes de calcissilicáticas, além de cordierita granulitos. Possuem metamorfismo nas fácies anfíbolito e granulito, sendo considerada uma unidade homogênea (Gradim *et al.*, 2014).

Na região de estudo os paragneisses e granulitos (Queiroga *et al.*, 2012), estão migmatizados. Os primeiros possuem granulação fina a média, são bandados com mergulho médio a alto para oeste, com direção variando entre NNW-SSE e NE-SW.

Os granulitos possuem granulação média a grossa, com bandamento incipiente, sendo destacados quando há uma maior quantidade de biotita. Corpos graníticos e veios pegmatíticos são encontrados em grande quantidade (Queiroga *et al.*, 2012).

4.3.4 Granitos Sin-colisionais (G2)

Os granitos que compõem a supersuíte G2 começaram a ser formados ainda durante o estágio pré-colisional (Gradim *et al.*, 2014; Tedesch *et al.*, 2016), mas sua grande maioria no estágio sin-colisional. Originados pela fusão em larga escala de paragnaisses ricos em alumínio, ocupam uma extensa área do orógeno, possuindo um trend N-S se estendendo por mais de 350 quilômetros (Tedesch *et al.*, 2016).

Constituídos principalmente por sienogranitos, tonalitos e granodioritos, possui enclaves de rochas metassedimentares em grande quantidade (Gradim *et al.*, 2014). Possui foliação regional, por vezes bandado, em locais determinados possui estruturas ígneas preservadas.

Representadas na área por granitos das suítes Ataléia e Carlos Chagas (Queiroga *et al.*, 2012), apresentam foliação regional dúctil, porém no interior dos corpos, apresentam feições ígneas bem preservadas. A direção da foliação varia bastante, predominando três direções: N-S, mergulho médio a alto para W; NE-SW, mergulho médio para NW e NW-SE, mergulho médio para NE.

A suíte Ataléia é composta por sieno e monzo granitos granatíferos, e representa o produto da fusão dos paragnaisses do complexo Nova Venécia (Queiroga *et al.*, 2012). Este fato é demonstrado pelo contato transicional das unidades, com um aumento da intensidade de migmatização no complexo à medida que se aproxima da unidade Ataléia, o cordierita granulito é o resíduo dessa fusão.

Bolsões de granitos e diques pegmatíticos livres de foliação regional são presentes, geralmente compostos por granitos G3. Nas proximidades do contato com granitos G5 apresentam cordierita-granada-sillimanita leucogranito foliado, com granulação de média a grossa, marcando um metamorfismo de contato (Queiroga *et al.*, 2012).

A suíte Carlos Chagas é composta por leucogranitos do tipo S, de granulação muito grossa, com fenocristais de feldspato potássico. As litologias predominantes sillimanita-granada-biotita protomilonito-gnaiss e sillimanita-granada-biotita milonito-

gnaisse, por raras vezes granada ultramilonito (Pedrosa Soares *et al.*, 2006a). A foliação milonítica é anastomosada, em sua maioria.

A foliação regional nessa unidade possui ângulo de mergulho baixo a médio, geralmente entre 15° e 45°, com direção predominante para oeste, mergulhando também para as direções azimutais 260° e 340° (Castañeda *et al.*, 2006). O mesmo autor afirma que não há grande presença de estrutura rúpteis na suíte Carlos Chagas, mas as fraturas existentes pertencem a dois sistemas perpendiculares, com direção e ângulo de mergulho 130/70° e 230/50°.

4.3.5 Granitos Tardi-Colisionais (G3)

Originados pela fusão de granitos G2, que foram deformados, podendo ser autóctones ou para autóctones. A unidade é constituída por leucogranitos pobres em micas, com presença de granada e cordierita, sendo livre da foliação regional. Em determinadas localidades pode apresentar foliação incipiente, quando há uma maior concentração de materiais micáceos (Pedrosa Soares *et al.*, 2007).

Os leucogranitos dessa unidade apresentam contato gradacional com os granitos G2, estando representados no mapa em pequenas áreas na porção leste da área, mas estando presente também em forma de bolsões e diques de dimensões centimétricas a métricas nos granitos G2 e no Complexo Nova Venécia, não estando assim representados no mapa devido (Queiroga *et al.*, 2012).

4.3.6 Granitos Pós-Colisionais (G5)

Relacionados ao colapso gravitacional do orógeno, os granitos que constituem essa supersuíte não possuem foliação regional e são do tipo I. Compostos principalmente por granitos e sienogranitos, além de fácies charnockíticas e enderbíticas. As formas de seus corpos geralmente são arredondadas, perturbando a foliação regional das rochas encaixantes ao seu redor (Gradim *et al.*, 2014).

A suíte Aimorés, no sudeste da área de estudo possui zoneamento composicional, variando de biotita granito a charnockitos. Seus corpos cortam a foliação regional, com corpos geralmente alongados na direção NE, aproveitando zonas de fraquezas (Pedrosa Soares *et al.*, 2006a). Nas bordas dos corpos G5, a

foliação da encaixante é perturbada, mergulhando em direção ao centro do corpo com um alto ângulo.

O biotita granito possui granulação média a grossa, com fluxo ígneo bem marcado em determinadas porções. O charnockito possui granulação variando de média a grossa, textura isotrópica, com poucas localidades apresentando fluxo ígneo.

4.3.7 Unidades Cenozóicas

As unidades Cenozoicas presentes no mapa são representadas pelo grupo barreiras e por aluviões quaternários. A Formação Barreiras está presente na porção leste da área de estudo, recobrendo as rochas do orógeno Araçuaí, sendo composta por arenito conglomerático, argilito arenoso, arenito com lentes conglomeráticas e canga (Queiroga *et al.*, 2012).

Os aluviões são compostos por sedimentos, predominantemente arenosos, depositados principalmente nas margens de rios, com formato alongado (Queiroga *et al.*, 2012), que podem ser bem visualizados a leste-sudeste do mapa geológico

4.4 CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

Segundo o Mapa de Domínios Hidrogeológicos do Brasil (CPRM, 2007), o aquífero fissural na área de estudo é dividido em dois subdomínios, um cristalino e outro metassedimentar-metavulcânico (Figura 11). Ambos são descritos como reservatórios aleatórios, descontínuos e de pequena extensão, com produções baixas e a água acumulada se encontra salinizada na maioria dos casos.

A diferenciação de produtividade deve-se a características reológicas destes subdomínios. Estes que encontram-se, por vezes, recobertos por aluviões e depósitos tipo Barreiras, aquíferos granulares que possuem áreas reduzidas, em especial o primeiro citado (CPRM, 2007).

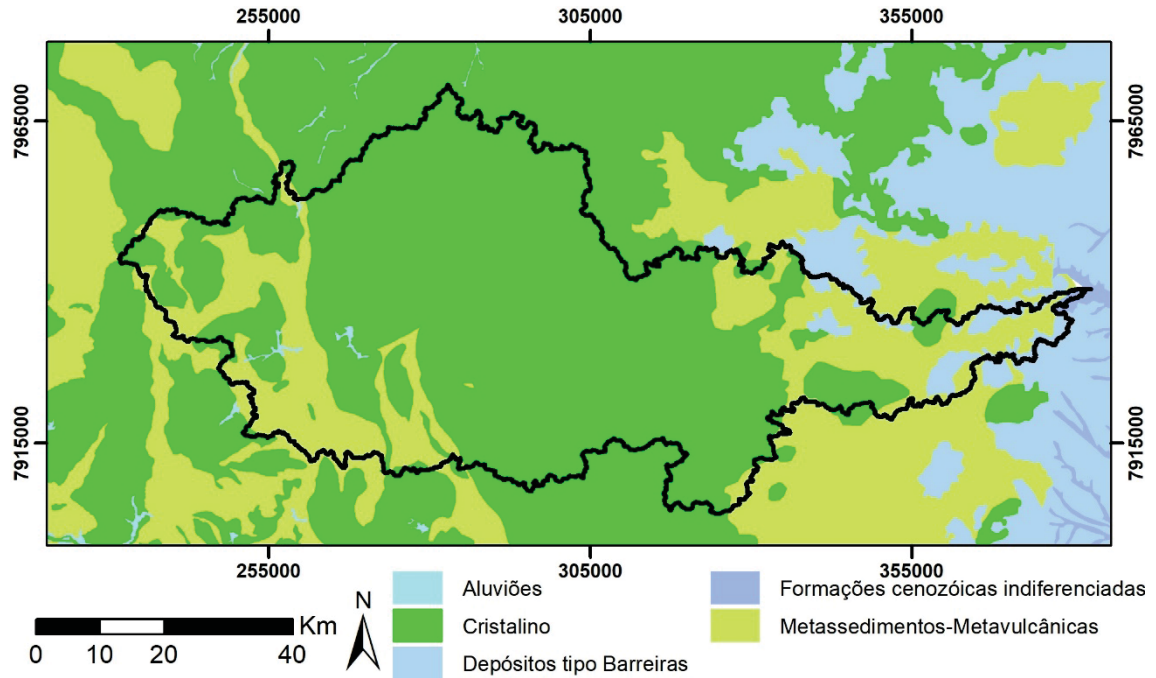


Figura 11: Mapa de Subdomínios Hidrogeológicos. Fonte: Modificado de CPRM, 2007.

No mapa hidrogeológico da área de estudo (CPRM, 2014), a porção de metassedimentos a leste da área é definida como unidade fraturada de produtividade baixa, enquanto o subdomínio cristalino, juntamente com os metassedimentos a oeste da área é classificada como unidade fraturada de produtividade muito baixa (Figura 12). Os depósitos tipo Barreiras são classificados como unidade granular de produtividade baixa ou muito baixa.

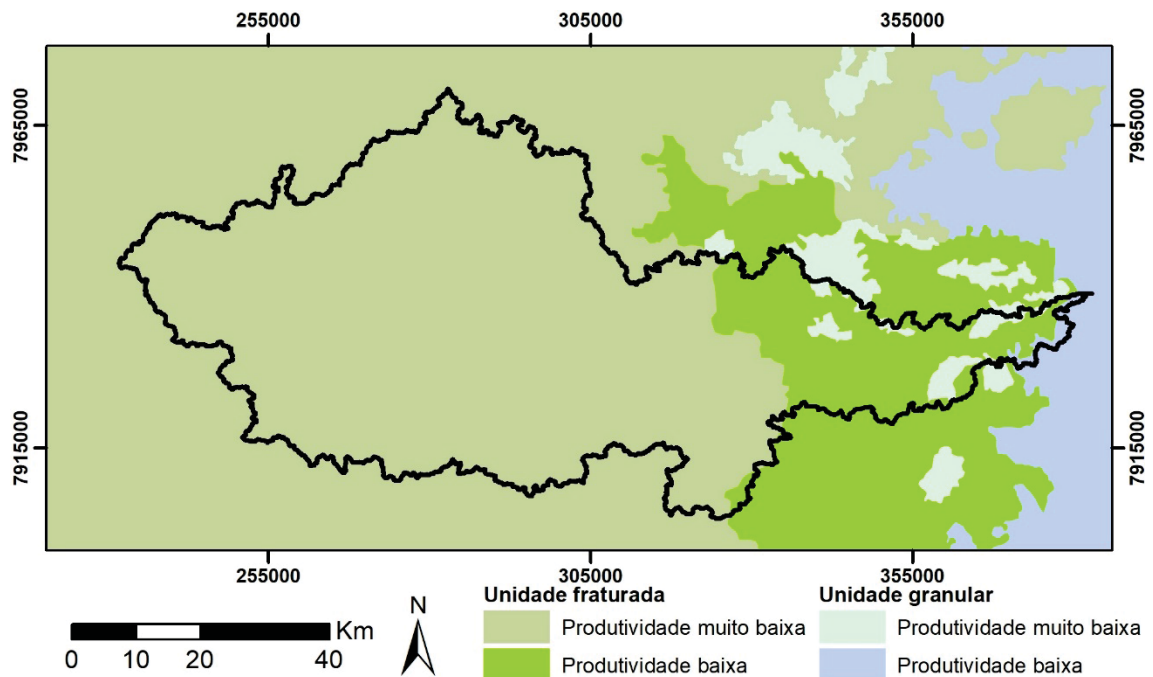


Figura 12: Mapa hidrogeológico. Escala: 1:5.000.000. Fonte: CPRM, 2014.

O mapa hidrogeológico da região sudeste (IBGE, 2012), é o mapa de maior detalhe da área de estudo, na escala 1:1.800.000 (Figura 13). O aquífero fissural é classificado na porção oeste da área como produtividade moderada ou fraca, enquanto a produtividade da porção central do mapa é classificada como muito fraca. No nordeste da área de estudo há um aquífero classificado como fissural de produtividade muito elevada.

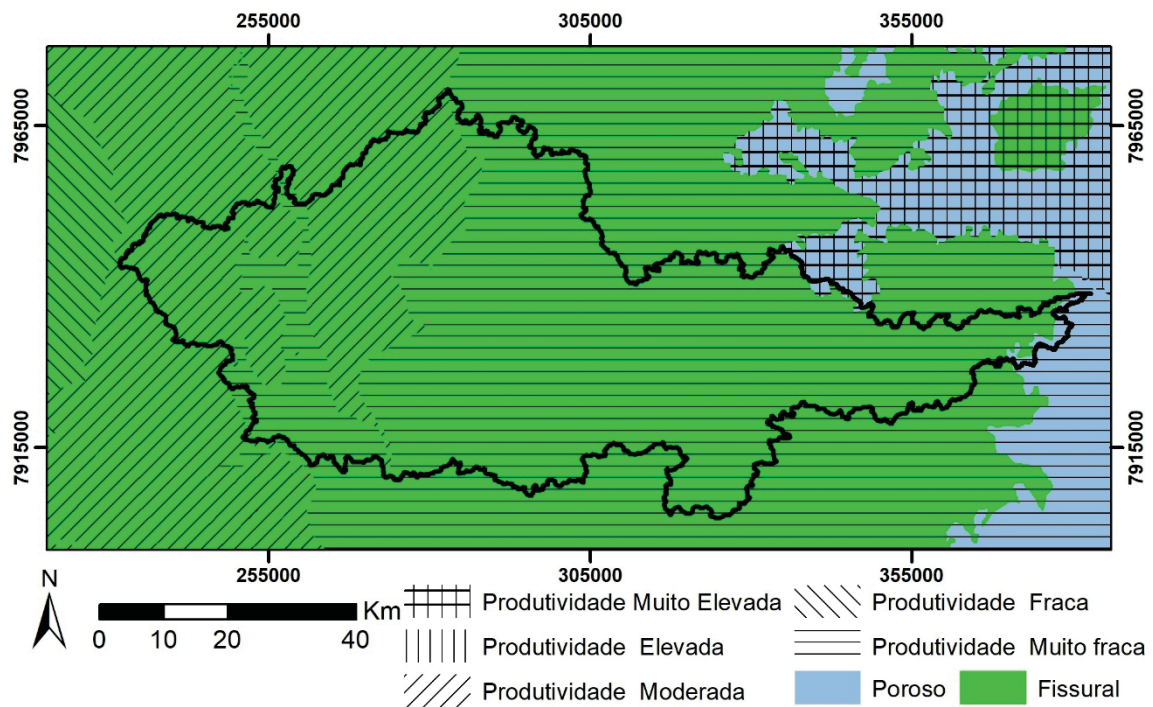


Figura 13: Mapa hidrogeológico da área de estudo, com produtividade classificada de acordo com a capacidade específica dos poços. Fonte: IBGE, 2012.

O Mapa de Domínios Hidrogeológicos do Brasil (CPRM, 2007) e o Mapa Hidrogeológico da Região Sudeste (IBGE, 2012) utilizam como base os poços do SIAGAS e Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo para delimitação de áreas com diferentes produtividades. A diferença entre eles, além de diferentes critérios para classificação de produtividade, é que o mapa da CPRM utiliza todas as unidades de área de uma determinada litologia para classificar sua produtividade, enquanto o mapa do IBGE classifica cada porção das diferentes litologias de acordo com os poços nela presente.

Mourão *et al.* (2012), em estudo hidrogeológico no norte do Espírito Santo, descreve que as estruturas de orientação N-S possuem uma maior probabilidade de fornecerem maior quantidade de água, subordinadamente estão as estruturas de direção NW que também tendem a possuir maior produtividade.

4.5 LINEAMENTOS

Utilizando a escala 1:50.000, foram traçados 2615 lineamentos na área de estudo, que podem ser observados na Figura 14. Destacam-se os lineamentos de orientação NNW-SSE na porção central da área de estudo, sendo estes bem marcados na topografia e de maior tamanho. Esses lineamentos citados representam o Feixe de Lineamentos Colatina.

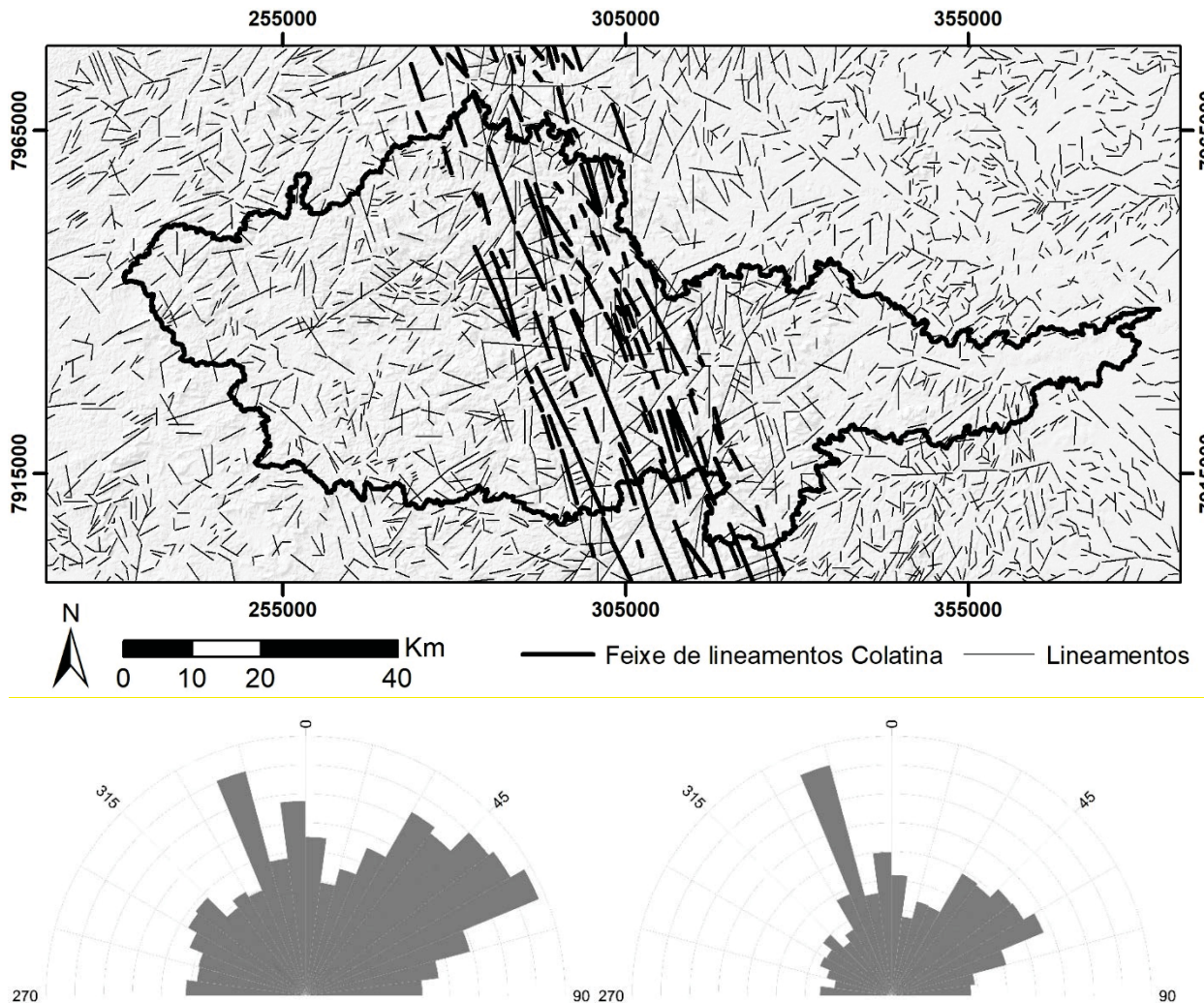


Figura 14: Mapa de lineamentos na escala de 1:50.000 na porção superior. Na porção inferior os diagramas de rosetas dos lineamentos, a esquerda leva em consideração a frequência enquanto o da direita leva em consideração a comprimento dos mesmos.

Quando é analisado o comprimento dos lineamentos, o diagrama de rosetas mostra que a direção N15-22,5W se sobressai, reflexo do Feixe de Lineamentos Colatina. Porém, quando é analisado a frequência de lineamentos, a direção que se destaca está no quadrante N45-75E.

Baseado em todos os lineamentos traçados, foi gerado o mapa de densidade de lineamentos, Figura 15. Pode ser observado que a porção central da área de estudo apresenta as maiores densidades de lineamentos, sendo também influenciado pelo Feixe de lineamentos Colatina.

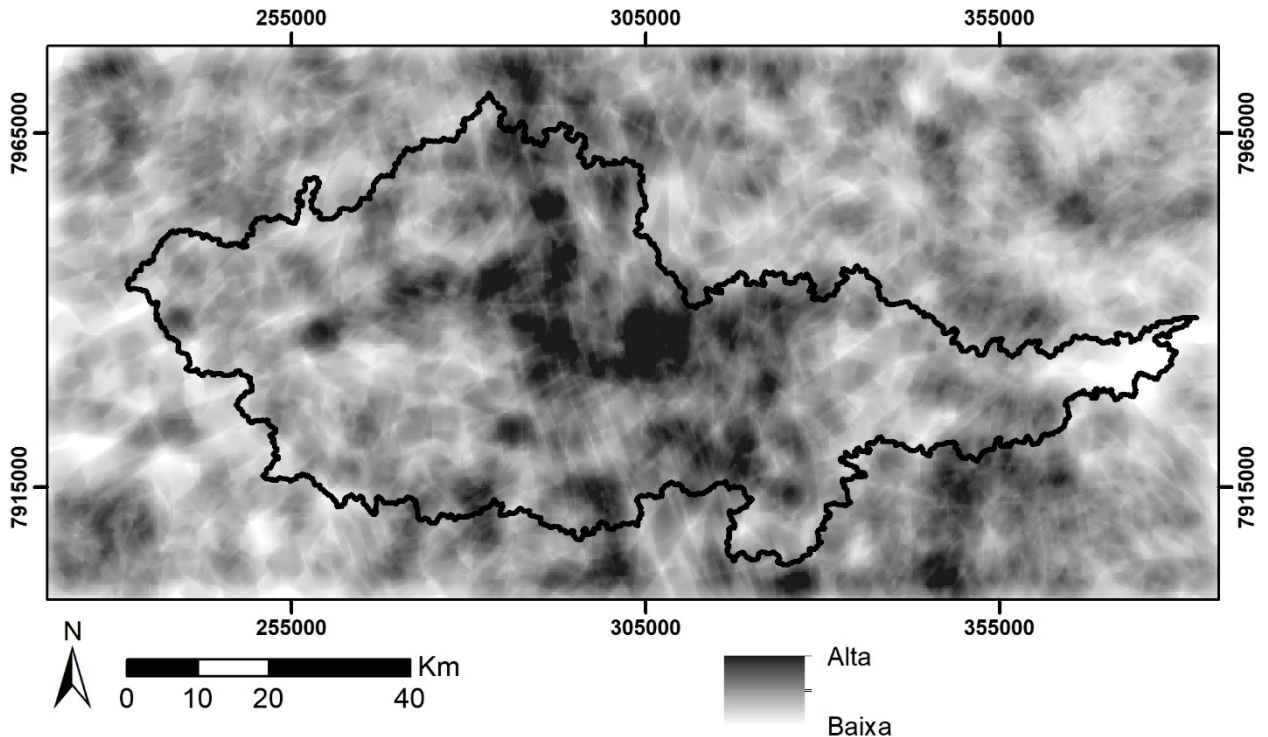


Figura 15: Mapa de densidade de lineamentos traçados na escala de 1:50.000.

Na porção noroeste da área onde as rochas do orógeno Araçuaí estão recobertas pela formação Barreiras, há uma menor quantidade de lineamentos. Nessa porção, em sua grande maioria, os lineamentos foram extraídos de trechos retilíneos de rio.

4.6 GEOMORFOLOGIA

O mapa hipsométrico da área de estudo (Figura 16) mostra uma variação de altitudes próximas ao nível do mar (6m) na porção leste da área, com vales de rios bem marcados. Enquanto na porção oeste a altitude pode alcançar 1414 metros nas bordas da bacia do rio Cricaré.

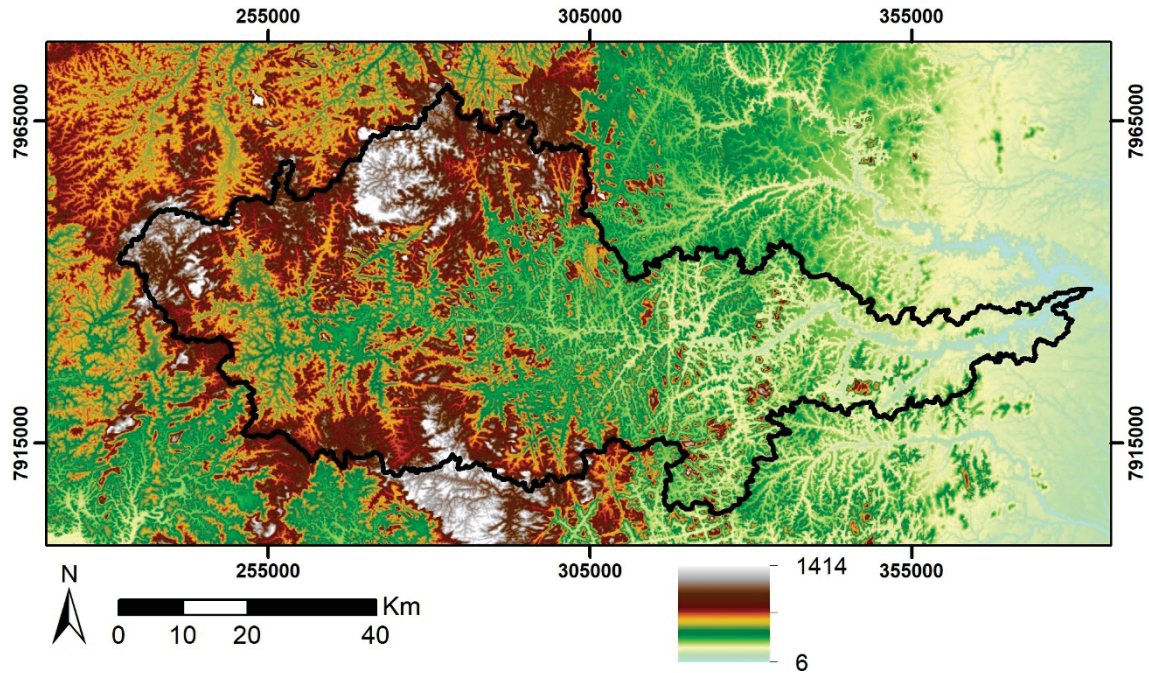


Figura 16: Mapa hipsométrico da área de estudo, com variação de elevação entre 1414 e 6 metros. Mapa elaborado pelo autor com base nos dados SRTM.

O mapa de declividade elaborado está representado na Figura 17, classificado de acordo com a EMBRAPA (1979). Pode-se observar que na porção leste da área de estudos o relevo é mais plano, devido principalmente ao recobrimento da Formação Barreiras, que é esculpida por vales de rios.

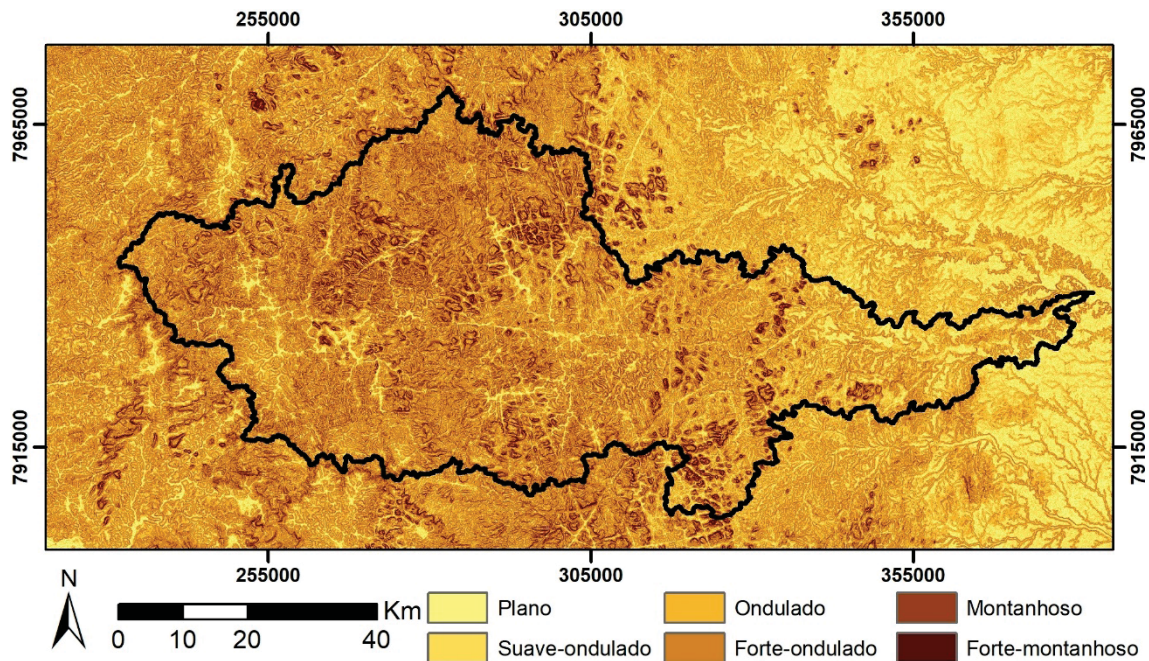


Figura 17: Mapa de declividade da área de estudo, classificado em 6 classes de acordo com Embrapa, 1979.

Na porção central e oeste o relevo é mais ondulado, chegando a ser forte-montanhoso em poucas localidades, indicando um relevo mais acidentado. Observando o mapa hipsométrico e de declividade pode-se notar vales de rios alinhados com direções principais W-E, NE-SE e NNW-SSE, sendo que fica nítido no mapa de drenagens na escala 1:100.000 da Figura 18.

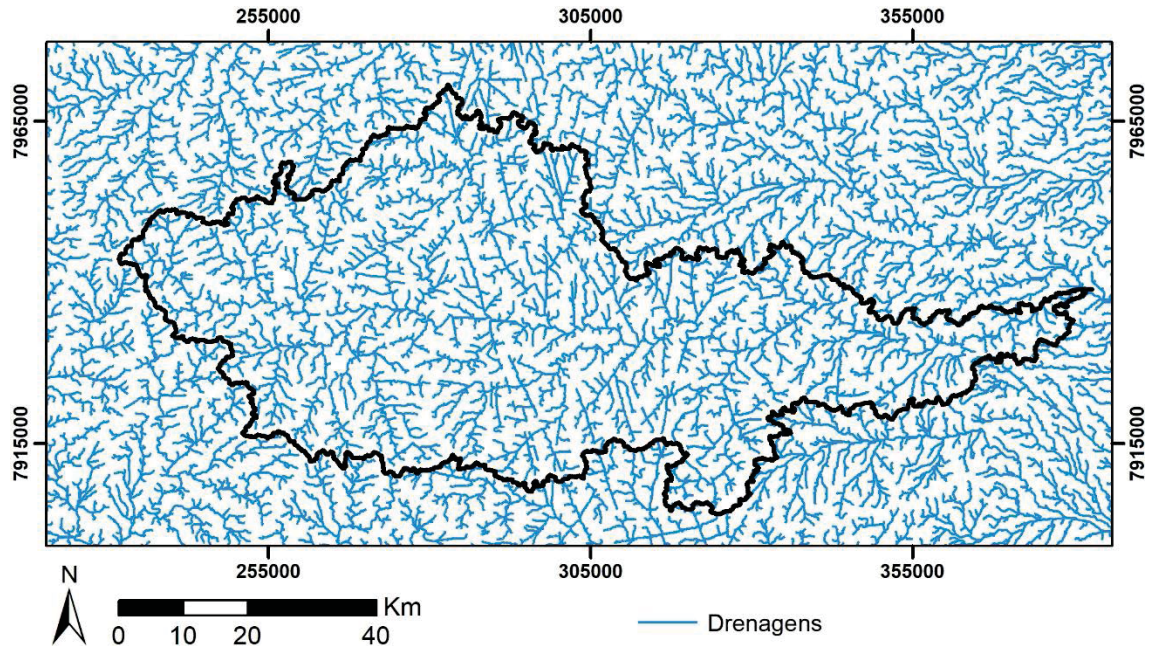


Figura 18: Mapa de drenagens da área de estudo.

O mapa de drenagens mostra que diversos rios da área de estudo são retilíneos, como o canal principal do Rio Cricaré possuindo orientação E-W, e na porção de influência do feixe de lineamentos Colatina as drenagens estão orientadas pela direção NNW-SSE. O mapa de densidade de drenagens (Figura 19) mostra maiores concentrações às margens dos rios principais.

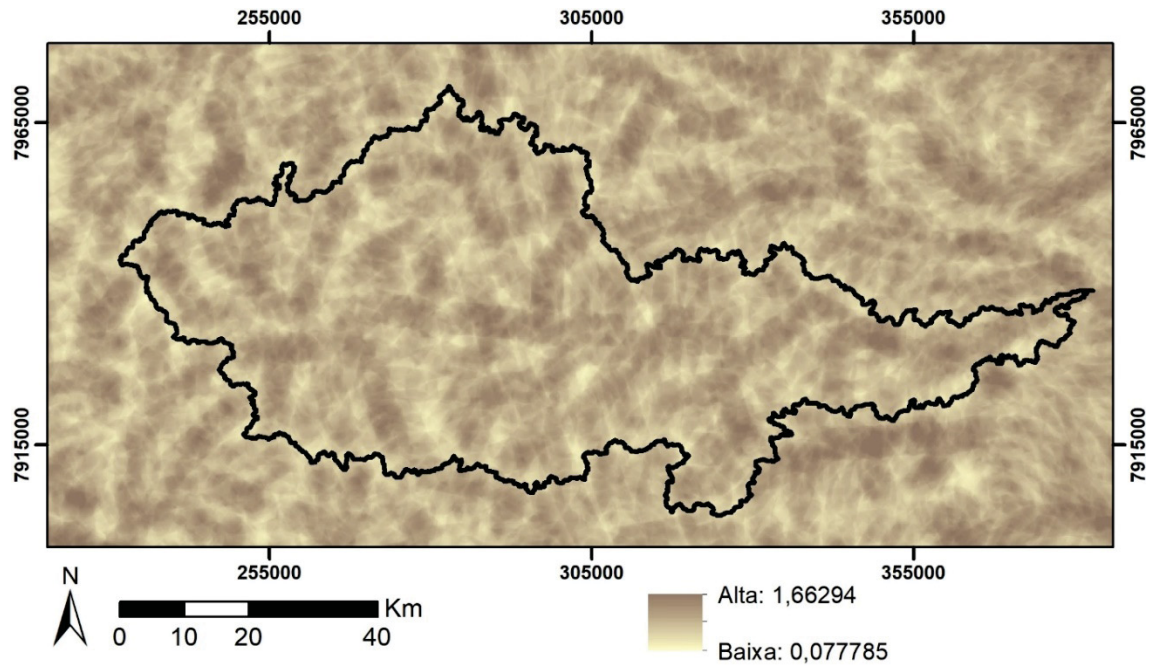


Figura 19: Mapa de densidade de drenagem.

5 RESULTADOS

5.1 ESTATÍSTICAS DOS DADOS HIDRODINÂMICOS DOS POÇOS

Dados estatísticos de vazão, capacidade específica, nível estático e do nível dinâmico dos poços tubulares presentes na área de estudo estão dispostos em sequência.

5.1.1 Vazão

Conforme os dados apresentados na Figura 20, dos 138 poços presentes na área de estudo, predominantemente (58,7%) a vazão deles se encontram entre 0 e 10 $\text{m}^3.\text{h}^{-1}$. Dentre os poços produtivos, os valores variam entre 0,504 $\text{m}^3.\text{h}^{-1}$ e 55,37 $\text{m}^3.\text{h}^{-1}$, havendo ainda 27 poços secos. A mediana da vazão é de 6,181 $\text{m}^3.\text{h}^{-1}$ e a média de 10,891 $\text{m}^3.\text{h}^{-1}$.

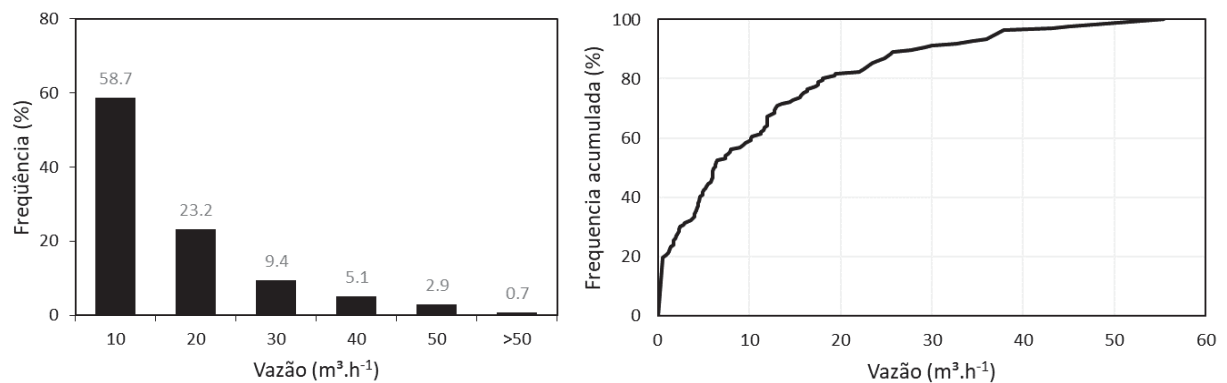


Figura 20: Histograma de frequência e diagrama de frequência acumulada da vazão dos poços da área de estudo.

5.1.2 Capacidade específica

A capacidade específica dos poços analisados mostra que 84% dos poços presentes na área de estudo possuem capacidade específica inferior a 1 $\text{m}^3.\text{h}^{-1}.\text{m}^{-1}$. Mostrando uma baixa produtividade dos poços (Figura 21). Dentre os poços produtivos o menor valor é de 0,011 $\text{m}^3.\text{h}^{-1}.\text{m}^{-1}$ e o maior de 6,460 $\text{m}^3.\text{h}^{-1}.\text{m}^{-1}$, a mediana de 0,183 $\text{m}^3.\text{h}^{-1}.\text{m}^{-1}$ e a média de 0,547 $\text{m}^3.\text{h}^{-1}.\text{m}^{-1}$.

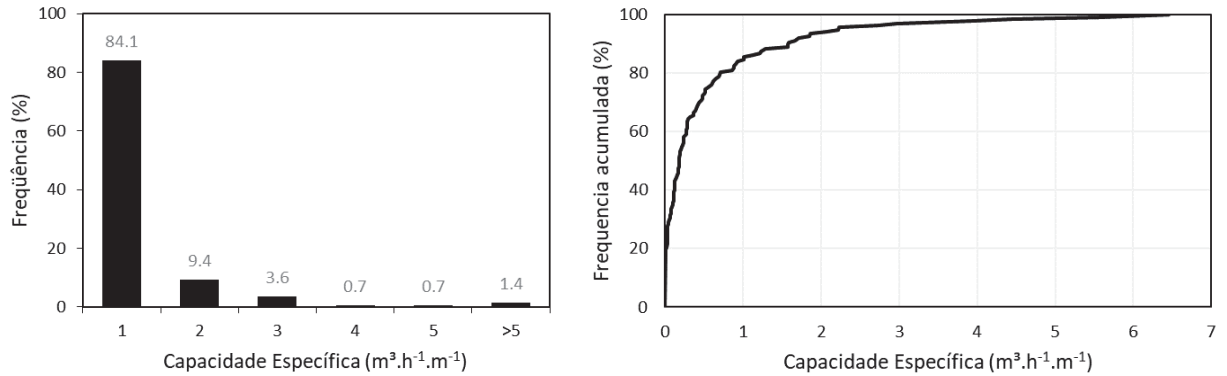


Figura 21: Histograma de frequência e diagrama de frequência acumulada da capacidade específica dos poços da área de estudo.

5.1.3 Nível Estático

Dos 138 poços, 27 são secos, portanto há os dados do nível estático dos demais 111 poços. Esses valores variam entre 0 e 39,62 metros. Sendo que a mediana é de 3,1 metros e a média de 4,9 metros. Setenta e três por cento dos poços possuem o nível estático de até 5 metros de profundidade (Figura 22).

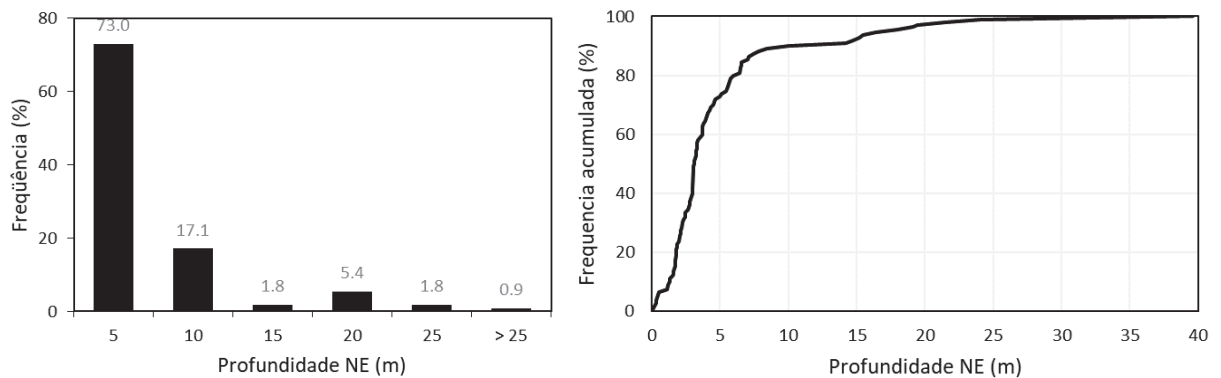


Figura 22: Histograma de frequência e diagrama de frequência acumulada do nível estático dos poços da área de estudo.

5.1.4 Nível Dinâmico

Em relação ao nível dinâmico dos poços, assim como o nível estático, existem 111 registros. Há uma variação entre 7,68 e 140 metros de profundidade, com mediana de 40 metros e mediana de 41,43 metros. Os registros mostram que há uma predominância de níveis dinâmicos nos intervalos entre 20 e 40 metros e entre 40 e 60 metros, com respectivamente 37,8% e 36% dos poços (Figura 23).

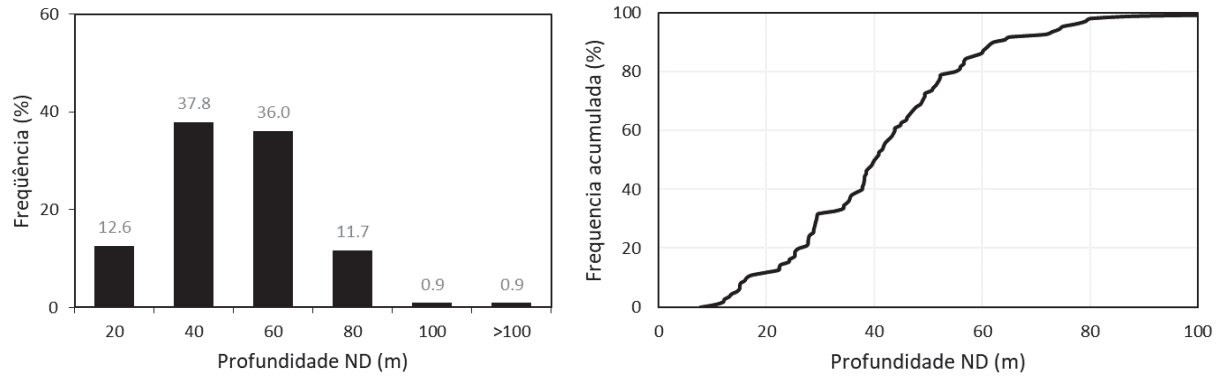


Figura 23: Histograma de frequência e diagrama de frequência acumulada do nível dinâmico dos poços da área de estudo.

5.2 PRODUTIVIDADE DOS POÇOS TUBULARES NA BACIA DO RIO CRICARÉ: CONDICIONANTES GEOLÓGICOS E TOPOGRÁFICOS.

Resumo: A bacia hidrográfica do Rio Cricaré, também denominado São Mateus Braço Sul, fica localizada no norte do Espírito Santo e na porção leste de Minas Gerais. Nos últimos anos, tem-se aumentado a perfuração de poços tubulares para suprir a demanda de recursos superficiais, porém 90% da bacia é composta por aquíferos fissurais. Devido a heterogeneidade desse tipo de aquífero, há uma dificuldade de previsão de produção dos poços. O objetivo do trabalho é determinar os fatores geológicos e geomorfológicos que controlam a produtividade dos poços presentes na bacia hidrográfica. Com esse intuito, foram utilizados dados de 138 poços tubulares que foram correlacionados com dados do mapa geológico, espessura do solo, declividade do terreno e lineamentos extraídos do relevo sombreado. Como resultado, foi observado que a partir dos 100 metros de profundidade, diminui-se a probabilidade de se encontrar fraturas preenchidas por água. As rochas metassedimentares demonstraram que quanto maior o grau de metamorfismo, menor tende a ser a produtividade dos poços. Nas rochas ígneas plutônicas houve uma relação da granulação com a produtividade dos poços, com poços em rochas de granulação fina apresentando melhor produtividade em relação aos de granulação grossa. A declividade do terreno mostrou que até 7,5% há uma maior chance de se conseguir maiores produções nos poços. Os solos mais espessos também mostraram que podem exercer influência na produtividade do aquífero fissurado. Em relação aos lineamentos em um raio de 300 metros possuem maior produção, com os lineamentos orientados em direção entre N10-20E se destacando.

Abstract: The Cricaré river, also named São Mateus Braço Sul, is located in the north of Espírito Santo State and in the eastern portion of Minas Gerais State. Recently, new of water wells has been drilled to meet the demand for surface resources, however 90% of the basin is composed of hardrock aquifers, which are heterogeneous, causing a difficulty in predicting yield. The aim of this work is to determine the geological and geomorphological factors that control the wells productivity in the watershed. For this purpose, data from 138 tubular wells were correlated with geological map, terrain slope, soil thickness and lineaments. As results, it was observed decreases the probability of finding fractures filled by water after 100 meters depth. The higher the degree of metamorphism the rock, the well productivity tends to be lower. Among the plutonic igneous rocks, the grainsize seems to influence well productivity, with wells in fine-grained rocks presenting better productivity than those of coarse granulation. The terrain slope lower than 7,5% have higher wells productivity. Higher productivity wells tend to have thicker soils. The wells with a distance of up to 300 meters of some lineament have greater production, especially those lineaments oriented in azimuthal direction between N10NW and N20NW.

5.2.1 Introdução

A gestão de recursos hídricos tem ganhado destaque cada vez maior no cenário nacional, principalmente no sudeste brasileiro. Nos últimos anos devido à falta de planejamento e escassez de chuva, diversos municípios têm passado por

acionamento, como é o caso de municípios que compõem a bacia hidrográfica do Rio Cricaré, também denominado São Mateus Braço Sul.

A bacia está situada em uma área de rochas ígneas plutônicas e metamórficas de alto grau, que a porosidade primária é nula, fazendo com que a água se armazene e mova por zonas de fraturas, formando os aquíferos denominados fraturados/fissurais (Singhal e Gupta, 2010). A dinâmica desses aquíferos é considerada complexa, devido a sua anisotropia e heterogeneidade.

Banks *et al.* (2010) afirma que é necessário o estudo do contexto geológico, tectônica e a topografia para melhor compreensão deste tipo de aquífero. Portanto, o objetivo deste trabalho é determinar os fatores geológicos e topográficos que controlam a produtividade dos poços presentes na bacia do Rio Cricaré. Visto que é uma região com raros de estudos hidrogeológicos.

5.2.2 Área de estudo

A bacia hidrográfica do Rio Cricaré está localizada nos estados brasileiros do Espírito Santo e Minas Gerais (Figura 24). A área de estudo é retangular de forma a englobar toda bacia hidrográfica, totalizando uma área de 12.932 km².

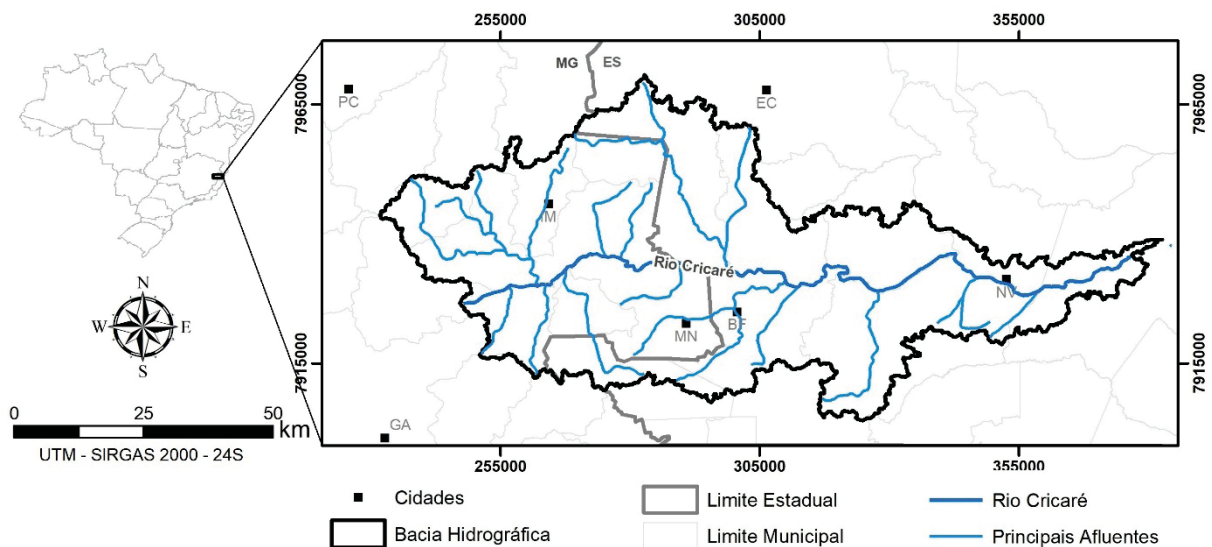


Figura 24: Mapa de localização da área de estudo.

A média de pluviosidade anual na série histórica dos últimos 30 anos é de 1095 milímetros (Climatempo, 2016). A característica marcante da área é de verões chuvosos, com média de 562 mm entre novembro e janeiro, enquanto a somatória de

junho, julho e agosto apresenta média de 79 mm. A temperatura média anual varia de 16°C no inverno a 28° no verão (Climatempo, 2016).

5.2.3 Contexto geológico

A bacia hidrográfica está localizada sobre rochas do núcleo cristalino do Orógeno Araçuai - Congo Ocidental, que é formado por rochas ígneas e metamórficas de alto grau. Segundo Alkmim *et al.* (2006 e 2017) o referido orógeno se desenvolveu durante a formação do Gondwana Ocidental entre os atuais crátons São Francisco e Congo, no Ediacariano-Cambriano. O mapa geológico da área de estudo está na Figura 25.

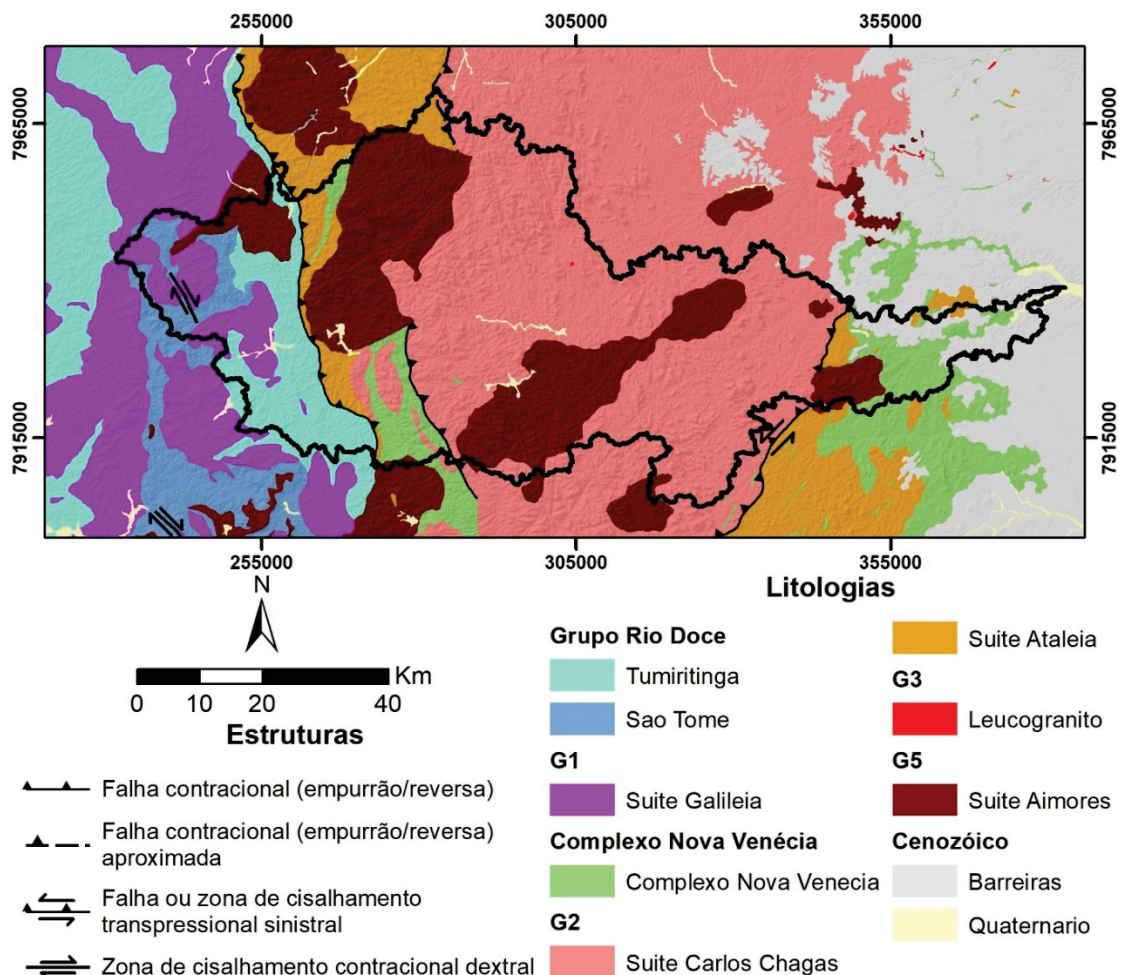


Figura 25: Mapa geológico da área de estudo, escala 1:100.000. Fonte: Elaborado a partir de arquivos vetoriais do geobank (CPRM, 2016).

O Grupo Rio Doce é representado por duas diferentes formações metavulcanossedimentares – Tumiritinga e São Tomé. A Formação São Tomé é constituída por quartzo-biotita xisto, de granulação fina a média, enquanto a Formação

Tumiritinga é formada por biotita-silimanita gnaiss, de granulação média e foliação anastomosada, ambas as formações estão na fácies metamórfica anfíbolito (Vieira, 2007). O Complexo Nova Venécia (CNV) é a terceira unidade metamórfica, composta por paragneisses migmatizadas e cordierita granulito, portanto a de mais alto grau metamórfico (Gradim *et al.*, 2014).

Segundo Gradim *et al.* (2014), a suíte G1 é a porção plutônica do arco cálcico-alcalino magmático Rio Doce, pré-colisional, representado no mapa geológico por tonalitos e granodioritos, de granulação fina a média, foliados e por vezes bandados.

A supersuíte G2 é formada por granitos sin-colisionais, sendo subdividida nas suítes Carlos Chagas e Ataléia, que apresentam foliação dúctil regional e texturas miloníticas (Queiroga *et al.*, 2012), sendo primeira é constituída por sienogranitos com granulação média a muito grossa, com textura porfirítica. Em relação a estruturas, os mesmos autores, descrevem que a rara presença de estruturas rúpteis que quando estão presentes, são esparsas e sub-verticais. A suíte Ataléia é representada por biotita granito e granada-biotita granito, de granulação fina a média, sendo produto da fusão do CNV (Queiroga *et al.*, 2012).

A suíte G3 também é sin-colisional e está presente em pequenas áreas no interior da suíte G2, sendo representada por leucogranitos de granulação média a grossa, livre de foliação (Queiroga *et al.*, 2012). Segundo a mesma autora, a suíte G5, representada pela suíte Aimorés, é formada por granitos e sienogranitos pós-colisionais, de granulação média a grossa, livres de foliação. Há presença também de sedimentos quaternários, principalmente nas calhas de rios, e da Formação Barreiras.

A porção central da área de estudo é cortada pelo Feixe de Lineamentos Colatina, de direção N15W (Belém *et al.*, 2015). Os mesmos autores afirmam que esses lineamentos são muito bem marcados em imagens de satélite, com orientação NNW-SSE, e em campo se observou diques máficos preenchem estruturas do feixe. Análises isotópicas U-Pb em zircão e titanita desses diques assinalam para uma idade de 500 Ma, portanto, o Feixe de Lineamentos Colatina foi formado anteriormente a essa idade encontrada (Belém *et al.*, 2015).

Belém *et al.* (2015) também relata que a sul do Rio Doce há uma maior quantidade de fraturas nos afloramentos em relação a porção a norte. Sendo que na porção sul, o lineamento corta principalmente as rochas do CNV e da suíte Ataléia, já na porção norte, local da área deste estudo, corta as rochas das Suítes Carlos Chagas e G5.

5.2.4 Materiais e métodos

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2016) e a Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN) disponibilizaram dados de 308 poços tubulares presentes na área de estudo. Estes dados foram filtrados restando 138 poços, descartando poços com captação de água do manto de intemperismo ou rochas sedimentares. Foram considerados poços com dados consistentes os que possuíam a profundidade, localização geográfica, espessura do solo, descrição do perfil litológico, vazão ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$), capacidade específica ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$), nível estático, nível dinâmico, duração do teste de bombeamento. Desses poços, 48 possuíam a profundidade de entradas de água.

Com a intenção de encontrar fatores geológicos e topográficos que influenciam a produtividade dos poços, a capacidade específica de cada poço foi correlacionada com a profundidade do poço e das entradas de água, declividade do terreno, espessura do solo, litologia e com lineamentos (distância, orientação e densidade). A Tabela 2 contém os dados usados com sua respectiva fonte.

Tabela 2: Materiais utilizados, fonte e escala dos mesmos.

Dado	Fonte
Mapa geológico	CPRM (2017)
Mapa hipsométrico	Elaborado a partir de dados SRTM (NASA, 2016)
Mapa de declividade	Elaborado a partir de dados SRTM (NASA, 2016)
Espessura do solo	Relatório construtivo dos poços
Relevo Sombreado	Elaborado a partir de dados SRTM (NASA, 2016)
Lineamentos	Extraídos a partir do mapa de relevo sombreado.

O termo lineamento é amplamente utilizado, e neste trabalho foi considerada a definição de O'Leary *et al.* (1976). Os lineamentos foram extraídos manualmente de imagens de relevo sombreado em nível de detalhe compatível com a escala 1:50.000, representando cristas de morros, vales, canais de rios e estruturas geológicas. As imagens SRTM utilizados possuíam resolução de 30 metros.

A produtividade dos poços foi baseada na capacidade específica, pois esta é considerada por diversos autores (Chilton e Foster 1995; Knopman e Hollyday, 1993) o parâmetro mais representativo em aquíferos fraturados. A classificação de produtividade dos poços presentes na área de estudo foi baseada na classificação do Mapa Hidrogeológico do Sudeste (IBGE, 2012), porém com modificações para se

adequar a distribuição dos valores de capacidade específica dos poços da área de estudo, como consta na Tabela 3.

Tabela 3: Critério para classificação da produtividade dos poços tubulares.

Produtividade	Elevada	Moderada	Fraca	Muito fraca	Seco
Q/s ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$)	$\geq 1,6$	$1,6 > Q/s \geq 0,4$	$0,4 > Q/s \geq 0,12$	$0,12 > Q/s > 0$	0
Poços (%)	10	23	37	21	19

Fonte: Modificado de IBGE, 2012.

Para a correlação, todos estes dados foram inseridos no ambiente de SIG, no software arcgis 10.5, sendo posteriormente gerados dados estatísticos nos softwares R e Excel.

5.2.5 Resultados e discussões

A análise dos 138 poços da área de estudo (Figura 26) mostra que a mediana da capacidade específica é de $0,184 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, com máximo valor de $6,460 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ e mínimo de $0 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$. Cerca de 19% dos poços são secos, 21% são classificados com produtividade muito fraca, 37% como fraca, 23% como moderada, 10% como elevada.

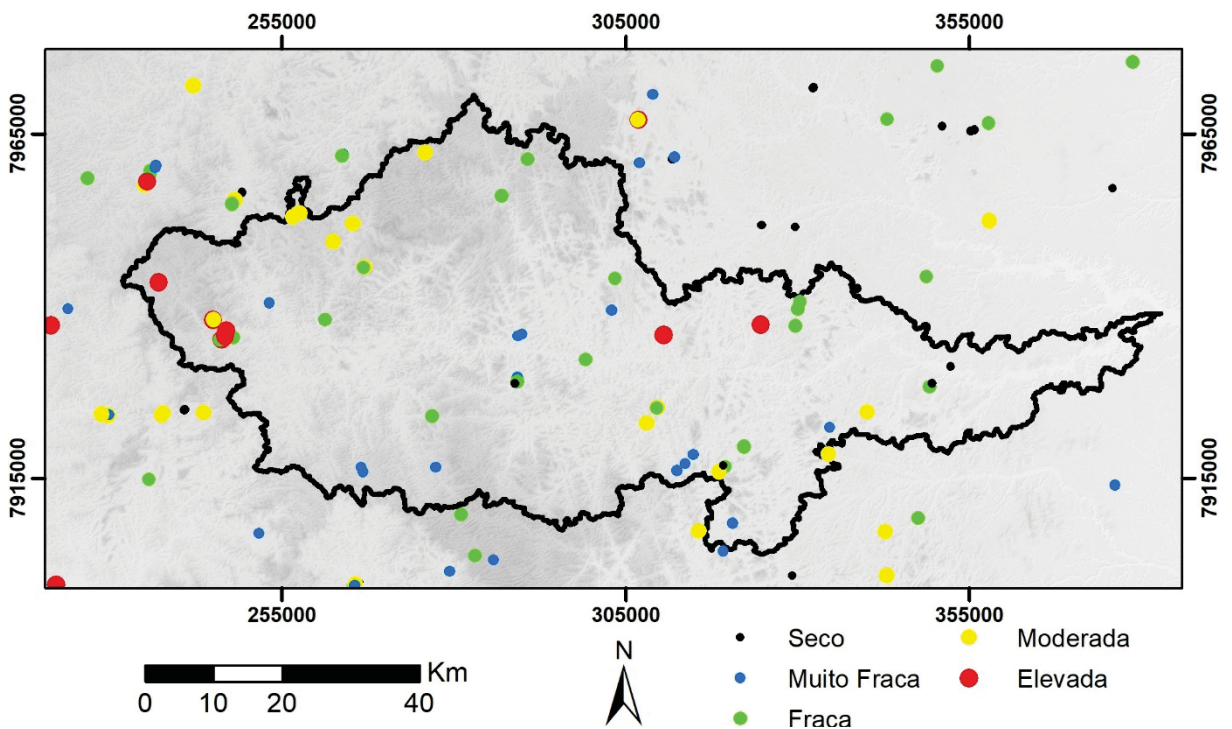


Figura 26: Localização e produtividade dos poços presentes na área de estudo.

5.2.5.1 Profundidade dos poços

A profundidade mediana dos poços é de 78 metros, o mais raso com 35m e o mais profundo com 210 m, sendo que 50% deles possuem profundidade entre 55 e 85 metros (Figura 27). De acordo com os relatórios de perfuração, 75% das entradas de água cadastradas estão até a profundidade de 55 metros, e após os 120 metros, há apenas 12% das entradas de água.

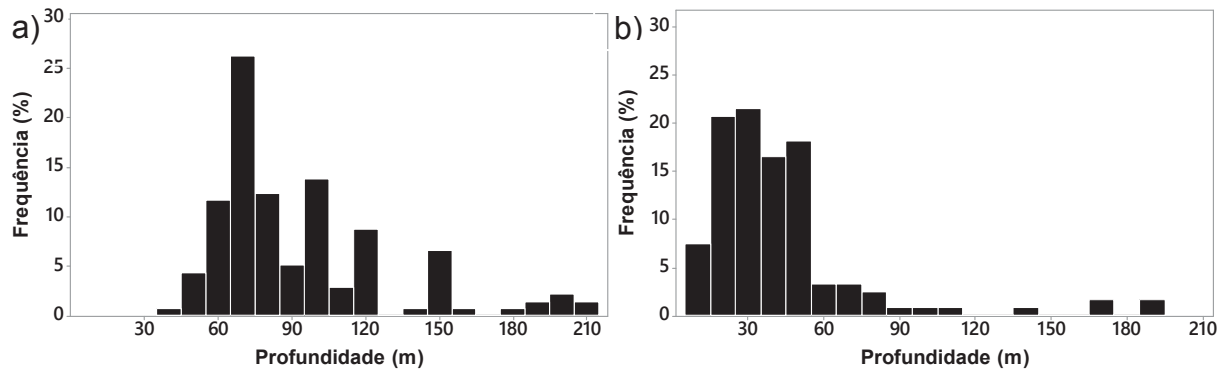


Figura 27: a) Histograma mostrando a frequência da profundidade dos poços. b) Histograma mostrando a frequência da profundidade da entrada de água dos poços.

Trabalhos de diversos autores, como Wright (1992) e Henriksen (1995), observam que há uma tendência da diminuição da produtividade com o aumento da profundidade. Banks e Robins (2002) atribuem essa constatação ao efeito da pressão litostática. Na área de estudo há uma tendência de poços mais profundos possuírem menor produtividade (Figura 28), sendo que 11 dos 13 poços de produção elevada possuem profundidade de até 100m.

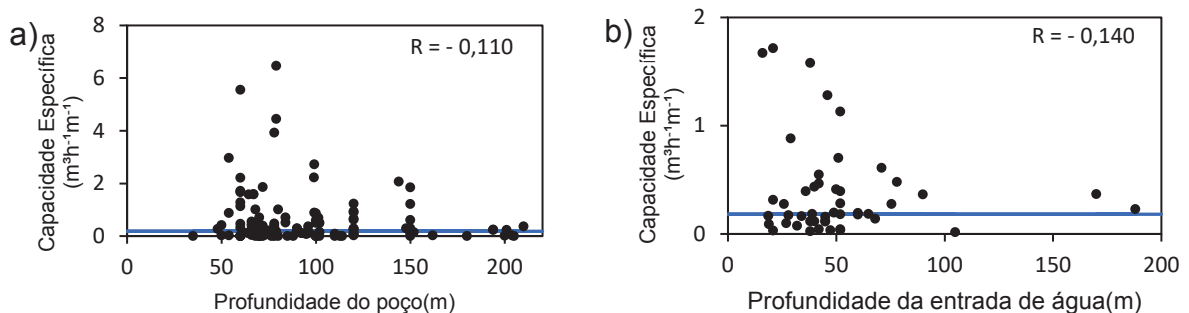


Figura 28: a) Correlação da capacidade específica com a profundidade do poço. b) Correlação da capacidade específica com a profundidade da entrada de água mais profunda do poço. A linha azul representa a mediana da produtividade dos poços ($0,182 m^3h^{-1}m^{-1}$).

A relação da produtividade com a profundidade da entrada de água mais profunda mostra semelhança com dado anterior, com uma maior concentração de poços com produtividade moderada e elevada nos primeiros 50 m. Apesar da probabilidade diminuir, há poços de produtividade elevada com entrada de água a maiores profundidades

5.2.5.2 Declividade do terreno e espessura do solo

A declividade do terreno influencia na recarga de aquíferos, ocorrendo maior recarga em relevos mais planos, portanto, Prasad *et al.* (2008) afirma que é esperado maior produtividade dos poços nessas condições. Em relação ao solo, Lachassagne *et al.* (2001) associa solos de maior espessura a uma maior recarga do aquífero fissurado subjacente, aumentando a sua produtividade.

Na área de estudo é possível observar uma correlação da declividade com a produtividade dos poços, mesmo havendo uma maior quantidade de poços com maiores produtividades quando há uma menor declividade (Figura 29, a), 10 dos 13 poços com produtividade elevada estão locados em terrenos com declividade menor que 7,5%.

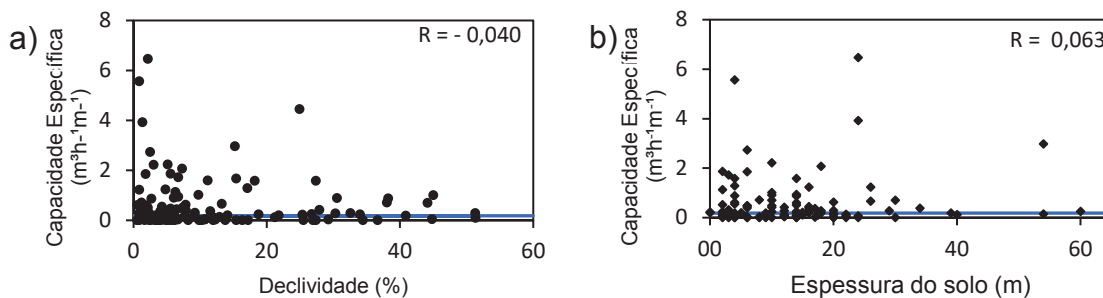


Figura 29: a) Correlação da declividade do terreno com a produtividade do poço. b) Correlação da espessura do solo com a produtividade do poço. A linha azul representa a mediana da produtividade dos poços ($0,182 m^3h^{-1}m^{-1}$).

A espessura do solo na área de estudo varia desde a sua ausência ou poucos centímetros até 60 metros. Em relação ao solo (Figura 29, b), o valor do coeficiente de correlação R mostra que há uma tendência de quanto mais espesso, maior tende a ser a produtividade do poço.

5.2.5.3 Litologia

Segundo Banks *et al.* (2010), as propriedades geomecânicas e a susceptibilidade ao intemperismo de cada litologia, faz com que elas influenciem a produtividade dos poços, sendo que rochas de maior granulação e félsicas tendem a possuir fraturas mais abertas em relação a rochas máficas de granulação fina. Singhal e Gupta (2010) afirmam que é esperado que xistos sejam mais produtivos do que granitos e gnaisses, devido ao primeiro possuir foliação mais conspícua.

A Figura 30 mostra a relação de produtividade dos poços de cada litologia da área de estudo. Dentre as rochas metassedimentares, a Formação São Tomé apresenta a maior produtividade, classificada como moderada, com mediana de $1,222\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$. A Formação Tumiritinga também pertencente ao Grupo Rio Doce, apesar de apresentar grande variação de valores de produtividade, é classificada como fraca, mediana de $0,119\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$. O CNV apresenta a produtividade classificada como muito fraca, com mediana de $0,076\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$.

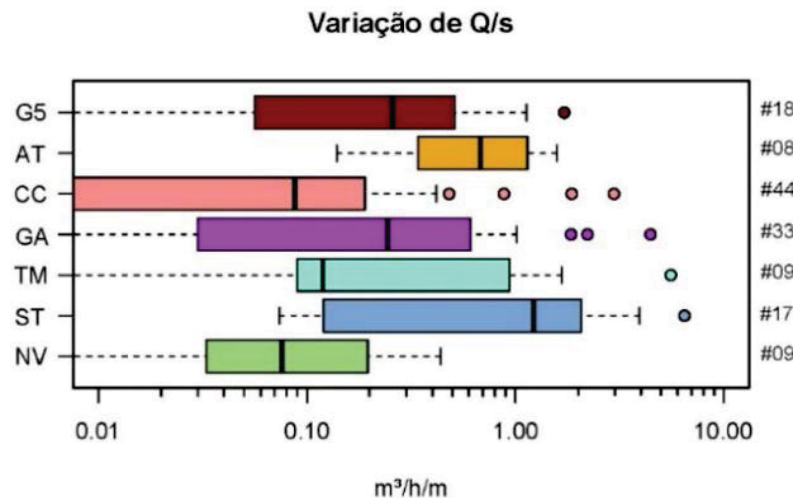


Figura 30: *Boxplot* demonstrando a variação da capacidade específica em cada litologia. O número seguinte ao # representa os poços presentes em cada litologia. G5 = Suíte G5. AT = Suíte Ataléia. CC = Suíte Carlos Chagas. GA = Suíte Galiléia. TM = Formação Tumiritinga. ST = Formação São Tomé. NV = Complexo Nova Venécia.

Dentre as rochas ígneas, a suíte Ataléia possui produtividade classificada como moderada, com mediana de $0,678\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$. As Suítes G5 e Galiléia são classificadas com produtividade fraca, com medianas de $0,258\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$ e $0,244\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$, respectivamente. A Suíte Carlos Chagas é classificada como muito fraca, com mediana de $0,088\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$.

Na área de estudo, foi observado que dentre as rochas metassedimentares quanto mais intenso o metamorfismo menor a produtividade dos poços presentes. A Formação São Tomé que apresenta xistosidade e localmente possui porções areníticas pouco metamorfizadas, possui a mais alta taxa de produtividade, enquanto o complexo Nova Venécia que se encontra migmatizado, mostra baixa produtividade.

Dentre as rochas ígneas, pode se observar que quanto mais fina a granulação, maior tende a ser a produtividade. Fato este pode ser corroborado também pela afirmação de Belém *et al.* (2015), o qual constatou que o lineamento Colatina possui maior densidade de fraturamento nas rochas de granulação mais fina. Queiroga *et al.* (2012), também havia constatado que suíte Carlos Chagas apresenta raras e esparsas estruturas rúpteis, justificando sua baixa produtividade.

5.2.5.4 Lineamentos

A utilização da presença, orientação e densidade de lineamentos é amplamente utilizada na prospecção de água subterrânea (Fernandes, 2007; Sander, 2007). Os lineamentos podem representar discontinuidades nas rochas cristalinas, majoritariamente representam fraturas verticais ou subverticais (Singhal e Gupta, 2010).

Os lineamentos extraídos estão concentrados em sua grande maioria na porção central da área de estudo, onde está o feixe de lineamentos Colatina (Figura 31). Esses lineamentos estão orientados na direção NNW-SSE, direção essa que se destaca no diagrama de rosetas baseado no tamanho dos lineamentos. Entretanto a direção N60–67,5E é a que possui maior número de lineamentos.

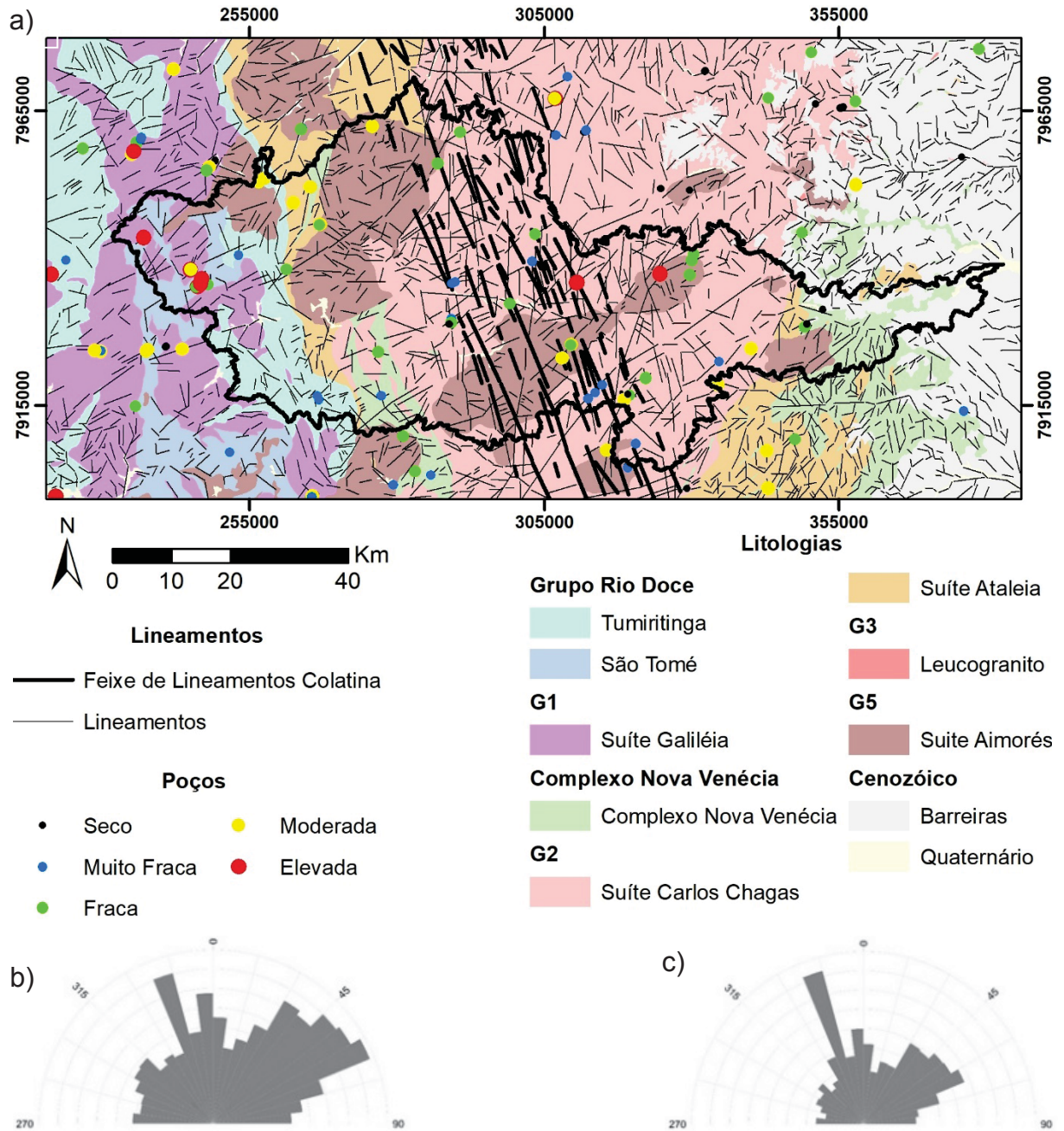


Figura 31: a) Lineamentos extraídos na área de estudo. Escala de 1:50.000, com ênfase no Feixe de lineamentos Colatina. b) Diagrama de roseta levando em consideração a frequência de lineamentos. c) Diagrama de roseta levando em consideração o comprimento dos lineamentos.

A correlação da capacidade específica dos poços com a distância dos lineamentos está expressa na Figura 32, mostrando que dos 13 poços de produtividade elevada, 11 (84,6%) estão a uma distância menor de 300 metros de um lineamento. Porém o coeficiente de correlação R mostra que no geral, tende a aumentar a produção quando se aumenta a distância do lineamento.

Quando analisado a quantidade de lineamentos presentes em um raio de 500m de cada poço (Figura 32), a menor mediana de capacidade específica ocorre quando não há lineamentos nesse raio. Onde há 1 lineamento, ocorre a maior mediana e maior quantidade de poços com produtividade elevada (7). Embora apenas 3 poços possuam 3 lineamentos nas proximidades, a produtividade deles é classificada como muito baixa.

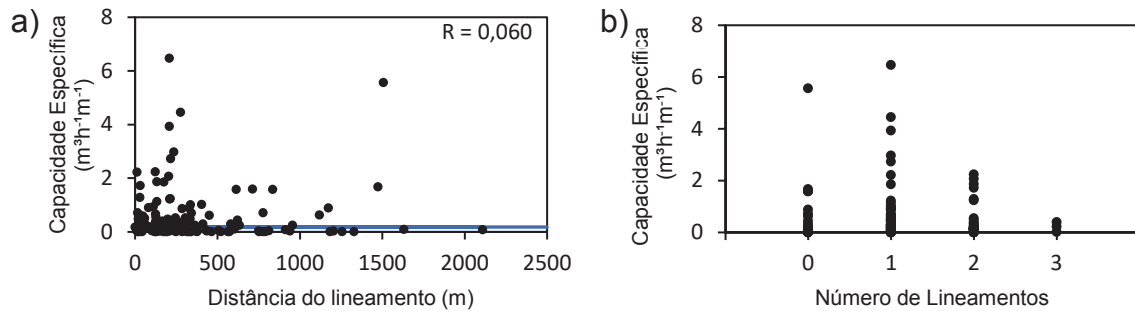


Figura 32: a) Correlação da capacidade específica dos poços com a distância do lineamento mais próximo. b) Correlação da capacidade específica dos poços com a quantidade de lineamentos em um raio de 500 metro ao redor do mesmo. A linha azul representa a mediana da produtividade dos poços ($0,182 m^3h^{-1}m^{-1}$).

A correlação da produtividade dos poços com a densidade de lineamentos não demonstra uma relação direta (Figura 33), os poços mais produtivos se encontram em valores medianos da densidade. Em relação à orientação do lineamento mais próximo do poço, 6 dos 13 poços com produtividade elevada estão próximos de lineamentos de orientação entre N10-20E. A direção entre N40-60E possui a maior concentração de poços, porém há apenas 3 poços de produção elevada e a maioria apresenta produção muito fraca.

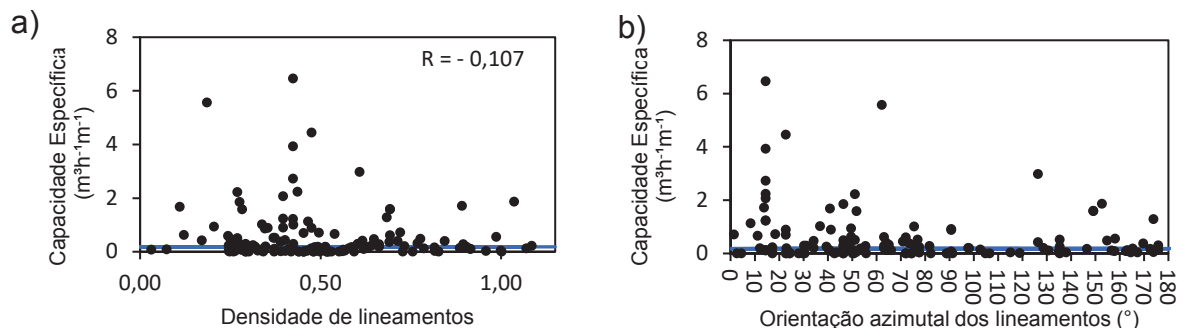


Figura 33: a) Correlação da capacidade específica dos poços com a densidade de lineamentos. b) Correlação da capacidade específica dos poços com a orientação azimutal do lineamento mais próximo. A linha azul representa a mediana da produtividade dos poços ($0,182 m^3h^{-1}m^{-1}$).

Os dados mostram que poços distantes até 300 metros de um lineamento tendem a possuir uma maior produtividade. A direção N10- 20E apresenta as maiores produtividades da área, fato este que pode ser explicado por lineamentos com essa orientação serem correlacionados por Mello *et al.* (2005) com uma reativação distensionial holocênica.

Em relação a densidade de lineamentos, não ocorreu uma relação direta com a produtividade, fato este que foi ocasionado pelo fato de a área com maior densidade de lineamentos ser influenciada pelo Feixe de Lineamentos Colatina, onde parte das estruturas rúpteis são preenchidas por diques máficos, ocasionando em baixa produção dos poços.

5.2.6 Conclusões

A partir dos dados apresentados pode-se concluir que à medida que se aumenta a profundidade dos poços tubulares, diminui a probabilidade de se encontrar fraturas com alta produtividade. Fato este evidenciado por 75% das entradas de água registradas estarem até 55 metros de profundidade, que a literatura pode atribuir a pressão litostática ou a maior ação do intemperismo a profundidades mais rasas.

A correlação da declividade do terreno e a produção dos poços mostra que poços locados em terrenos com declividade de até 7,5% tendem a possuir maiores produtividades. Enquanto a espessura do solo a relação é que quanto mais profundo ele for, maior tende a ser a produção do poço.

Em relação às litologias, os poços presentes nas rochas metassedimentares mostram que quanto menor o grau de metamorfismo, maior tende a ser a produtividade do poço, se destacando a Formação São Tomé. Dentre às rochas ígneas plutônicas, coincidiu de rochas de granulação mais grossa possuírem menores produtividades, em relação as rochas de granulação mais fina, se destacando a suíte Ataléia. Podendo isso ser causado pelas diferentes respostas dessas rochas a eventos tectônicos e/ou ao intemperismo.

Em relação aos lineamentos, pode-se concluir que o fator que mais influência na produção do poço é sua orientação, se destacando a direção N10-20E. A densidade de lineamentos não apresenta uma relação clara com produtividade dos poços, assim como a distância do poço até um lineamento, que apesar de poços com distância de até 300 metros possuírem maiores capacidades específicas, o coeficiente

de correlação R indica que se aumentar essa distância tende a aumentar a produtividade. Vale ressaltar que os lineamentos de direção NE-SW do norte do Espírito Santo são correlacionados por Mello *et al.* (2005) com um evento holocênico distensivo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos dados apresentados no trabalho foi observado que tanto a geologia da região quanto os aspectos topográficos estudados exercem influência na produtividade dos poços.

Na área de estudo, menos de 5% dos poços apresentam profundidade final inferior a 55 metros. Entretanto, avaliando a profundidade das entradas de água relatadas nos relatórios de perfuração, 75% delas estão a profundidades inferiores a 55 metros. A relação da produtividade com a profundidade do poço mostra que 11 dos 13 poços de produtividade elevada possuem profundidade de até 100 m, havendo assim uma diminuição da probabilidade de se encontrar poços com maiores produtividades após a referida profundidade.

A diminuição da produtividade dos poços a medida que se aumenta a profundidade dos poços é correlacionada a pressão litostática por Banks e Robins (2002), que faz com que a maiores profundidades as fraturas sejam mais fechadas. Dewandel *et al.* (2006), afirma que a menores profundidades há uma maior ação de agentes intempéricos, fazendo com que fraturas a menores profundidades sejam mais frequentes e interconectadas, aumentando produtividade dos poços.

A correlação da declividade do terreno e a produção dos poços, mostra que 10 dos 13 poços de produtividade elevada estão localizados em terrenos com declividade inferior a 7,5%, e o coeficiente de correlação R de “- 0,040” também mostra que a medida que se aumenta a declividade do terreno diminui a probabilidade de se encontrar maiores produtividades. Fato este que pode ser correlacionado com a infiltração de água no terreno, aumentando a produtividade dos poços.

Em relação a espessura do solo, quanto mais profundo ele for, maior tende a ser a produção do poço, dado mostrado pelo coeficiente de correlação (R = 0,063). Fato este que pode estar correlacionado com uma maior recarga dos aquíferos cristalinos que estão recobertos por solos mais espessos.

Dentre as litologias estudadas, as rochas metassedimentares tiveram sua produtividade relacionadas com o grau de metamorfismo, sendo que quanto mais intenso o metamorfismo, menor a produtividade. Singhal e Gupta (2010) afirmam que rochas xistosas, como é o caso da Formação São Tomé, por apresentarem foliação mais conspícua tendem a ser mais produtivas que gnaisses, caso da Formação Tumiritinga e do Complexo Nova Venécia. Sendo que o complexo ainda se encontra

migmatizado em diversas localidades, não preservando o bandamento composicional nessas porções.

A correlação da produtividade dos poços com as rochas ígneas mostrou uma coincidência com a granulação. As rochas da Suíte Carlos Chagas apresentam a maior granulação e a menor produtividade, enquanto a Suíte Ataléia, de granulação fina, é a mais produtiva. Essa correlação da granulação com fraturamento na área de estudo é corroborada com dois estudos pré-existent. Um é o relatório técnico do mapeamento geológico da CPRM, de autoria de Queiroga *et al.* (2012), outro o relatório sobre o Feixe de Lineamentos Colatina, de autoria de Belém *et al.* (2015).

No trabalho de Queiroga *et al.*, (2012) ela relata que em campo a Suíte Carlos Chagas apresenta poucas fraturas, que quando presentes são espaçadas, sub-verticais a verticais. Belém *et al.* (2015) em estudo do Feixe de Lineamentos, descreveu que em campo na porção central do Espírito Santo, onde estão presentes rochas da Suíte Ataléia e do Complexo Nova Venécia, há uma frequência maior de fraturas, enquanto o mesmo lineamento no norte do estado capixaba, onde corta rochas da Suíte Carlos Chagas, apresenta uma quantidade muito menor de fraturas nos afloramentos.

O distanciamento do poço com o lineamento mais próximo mostra que 11 dos 13 poços de produtividade elevada estão há uma distância inferior a 300 metros. Os 2 outros poços com essa produtividade estão a cerca de 1500 metros de distância de algum lineamento, mostrando que apesar de haver uma maior probabilidade de se atingir maiores vazões em locais próximos a lineamentos, não é um fator preponderante.

A densidade de lineamentos não apresentou uma correlação com produtividade dos poços, pois os mais produtivos estão localizados em áreas com valores medianos de densidade de lineamentos. A explicação se dá, pelo fato de as áreas com maiores densidades de lineamentos estarem localizados na área de influência do Feixe de Lineamentos Colatina, que segundo Belém *et al.* (2015) estão em grande parte preenchidas por diques máficos.

Dentre as diferentes orientações de lineamentos, a direção N10-20E se destaca em relação aos poços próximos a ela. Em um trabalho no norte do Espírito Santo, Mello *et al.* (2005) afirmam que os lineamentos de direção NE-SW são correlacionados com um evento neógeno distensivo, que podem explicar o fato dessas fraturas serem mais produtivas.

Como sugestões para futuros trabalhos seria a realização de um campo para coleta de dados estruturais para se compreender melhor as estruturas rúpteis presentes na região. Aplicação de métodos geofísicos na área de estudo também é recomendado, como dados aerogeofísicos (magnetometria e gamaespectrometria) e também por meio de perfis de eletrorresistividade, que podem detectar descontinuidades nas rochas em subsuperfície.

REFERÊNCIAS

- ALKMIM, F.F., MARSHAK, S., PEDROSA-SOARES, A.C., PERES, G.G., CRUZ, S.C.P., WHITTINGTON, A. 2006. Kinematic evolution of the Araçuaí–West Congo orogen in Brazil and Africa: Nutcracker tectonics during the Neoproterozoic assembly of Gondwana. *Precambrian Research*, 149: 43-63.
- ALKMIM, F.F., PEDROSA-SOARES, A.C., NOCE, C.M., CRUZ, S.C.P. 2007. Sobre a evolução tectônica do Orógeno Araçuaí- Congo Ocidental. *Geonomos*, v. 15, n. 1, p. 25-43.
- ALKMIM, F.F., KUCHENBECKER, M., REIS, H.L.S., PEDROSA-SOARES, A.C. 2017. The Araçuaí Belt. In: HEILBRON, M.; CORDANI, U. G.; ALKMIM, F. F. São Francisco Craton, *Tectonic Genealogy of a Miniature Continent*. P. 255-276.
- BANKS, D.; ROBINS, N. 2002. An Introduction to Groundwater in Crystalline Bedrock. *Norges geologiske undersøkelse*. Trondheim: Geological Survey of Norway. 64 p.
- BANKS, D., GUNDERSEN, P., GUSTAFSON, G., MÄKELÄ, J., MORLAND, G. 2010. Regional similarities in the distributions of well yield from crystalline rocks in Fennoscandia. *Norges geologiske undersøkelse Bulletin*, v. 450, p. 33–47.
- BELÉM, J., RONCATO, J., GRADIM, C., VOLL, E., PEDROSA-SOARES, A.C., ALKMIM, F.F, DUSSIN, I. 2015. Caracterização Morfoestrutural e Geológica do Feixe de Lineamentos Colatina. Relatório final. Projeto da Rede de Estudos Geotectônicos.
- BRASIL. 2016. Reconhecimentos realizados em 2016. Situação de emergência ou estado de calamidade pública. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Disponível em: <http://www.mi.gov.br/web/guest/reconhecimentos-realizados>. Acessado em 16 de agosto de 2016.
- BRICALLI, L.L.; MELLO, C.L. 2013. Padrões de Lineamentos Relacionados à Litoestrutura e ao fraturamento Neotectônico (Estado do Espírito Santo, SE do Brasil). *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 14, No. 3, p. 301-31.

CASTAÑEDA, C., PEDROSA-SOARES, A.C., BELÉM, J., GRADIM, D., DIAS, P.H.A., MEDEIROS, S.R., OLIVEIRA, L. 2006. Nota Explicativa da Folha Ecoporanga, 1:100.000. Programa Geologia do Brasil, Contrato CPRM-UFMG.

CHANDRA, P.C. 2016. Groundwater Geophysics in Hard Rock. 366p.

CHILTON, P.J., FOSTER, S.S.D. 1995. Hydrological characterization and water-supply potential of basement aquifers in tropical Africa. *Hydrogeol J*, v. 3, p.36–49.

CLIMATEMPO, 2016. Climatologia. Disponível em: <http://www.climatempo.com.br/>. Acessado em 05 de agosto de 2016.

COSTA, W.D. 1986. Análise dos Fatores que atuam no Aquífero Fissural: área piloto dos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte. Tese de Doutorado. Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 225p.

COSTA, W. D. e SILVA, A. B. 2000. Hidrogeologia dos Meios Anisotrópicos. In: FEITOSA, F. A. C. & FILHO J. M. Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. Fortaleza: CPRM, ii, p. 133-174.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 2007. Mapa de Domínios e Subdomínios Hidrogeológicos do Brasil. Escala: 1:2.500.000.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 2014. Mapa Hidrogeológico do Brasil ao Milionésimo. Escala: 1:5.000.000.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 2016. Geobank. Disponível em: <http://geobank.cprm.gov.br/>. Acessado em 18 de dezembro de 2016.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 2016b. SIAGAS - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>. Acessado em 18 de dezembro de 2016.

DAVIS, S.N.; TURK, L.J. 1964. Optimum depth of wells in crystalline rocks. *Ground Water*, v. 22, p 6–11

DE CAMPOS, C. P.; DE MEDEIROS, S. R.; MENDES, J. C.; PEDROSA-SOARES, A.C. DUSSIN, I., LUDKA, I. P. DANTAS, E. L. 2015. Cambro-Ordovician magmatism

in the Araçuaí Belt (SE Brazil): Snapshots from a post-collisional event. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 68, p. 248–268.

DEWANDEL, B., LACHASSAGNE, P., WYNS, R., MARÉCHAL, J.C., KRISHNAMURTHY, N.S. 2006. A generalized hydrogeological conceptual model of granite aquifers controlled by single or multiphase weathering. *Journal of Hydrology*, v. 330, p. 260–284.

EMBRAPA. 1979. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Levantamento de reconhecimento detalhado e aptidão agrícola dos solos da área do Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte, Mato Grosso do Sul. Rio de Janeiro.

FERNANDES, A.J. 1997. Tectônica Cenozóica na Porção Média da Bacia do Rio Piracicaba e sua Aplicação à Hidrogeologia. 1997. 244f. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

FERNANDES A. J., 2007. Aquíferos fraturados: Uma revisão dos condicionantes geológicos e dos métodos de investigação. *Revista do Instituto Geológico, São Paulo*, 29 (1/2), 49-72.

GONÇALVES, L.; ALKMIM, F. F.; PEDROSA-SOARES, A. C., DUSSIN, I. A., VALERIANO, C. M. LANA, C., TEDESCHI, M. 2016. Granites of the intracontinental termination of a magmatic arc: an example from the Ediacaran Araçuaí orogen, southeastern Brazil. *Gondwana Research*, v. 36, p. 439–458.

GRADIM, C., RONCATO, J. PEDROSA-SOARES, A.C., CORDANI, U.G., DUSSIN, I. A., ALKMIM, F.F., QUEIROGA, G., JACOBSON, T., SILVA, L.C., BABINSKI, M., 2014. The hot back-arc zone of the Araçuaí orogen, Eastern Brazil: from sedimentation to granite generation. *Brazilian Journal of Geology*, 44, 155–180.

HENRIKSEN, H. 1995. Relation between topography and well yield in boreholes in crystalline rocks, Sogn og Fjordane, Norway. *Ground Water*, v. 33, p. 635–643.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Rio de Janeiro.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2012. Mapa hidrogeológico da Região Sudeste. Escala 1:1.800.000. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Mato Grosso.

IEMA - Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. 2016. I3Geo. Disponível em: <http://www.meioambiente.es.gov.br>. Acesso em: 10 de agosto de 2016.

IJSN – Instituto Jones dos Santos Neves. 2016. Mapas. Disponível em: <http://www.ijsn.es.gov.br/mapas/>. Acessado em: 18 de julho de 2016.

INCAPER - Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. 2015. Boletim Climatológico Trimestral do Espírito Santo. Incaper, v.1, n.1, 2 e 3.

INCAPER - Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. 2016. Boletim Climatológico Trimestral do Espírito Santo. Incaper, v.1, n.4.

KNOPMAN, D.S.; HOLLYDAY, E.F. 1993. Variation in specific capacity in fractured rocks, Pennsylvania. *Ground Water*, v. 31, n. 1, p. 135-145.

LACHASSAGNE, P.; WYNS, R.; BÉRARD, P.; BRUEL, T.; CHÉRY, L.; COUTAND, T.; DESPRATS, J.F.; LE STRAT, P. 2001. Exploitation of high yields in hard-rock aquifers: downscaling methodology combining GIS and multicriteria analysis to delineate field prospecting zones. *Ground Water*, v.39, n. 4, p. 568–581

LEGRAND, H.E. 1960. Geology and ground-water resources of Pittsylvania and Halifax Counties. Virginia Division of Mineral Resources, Bulletin 75, 86 p.

MELLO, C. L.; RODRIGUES, H. B.; HATUSHIKA, R. S. 2005. Reativações tectônicas cenozóicas na Faixa de Lineamentos Colatina (ES). In: Simpósio nacional de estudos tectônicos. Curitiba. p. 186-188.

MOURÃO, M. A. A.; Lima, J. E. S., Monteiro, E. A., 2002. Os Sistemas Aquíferos do Norte do Estado do Espírito Santo: Potencial de Exploração e Diagnóstico Atual de Aproveitamento. In XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.

NASA – National Aeronautics and Space Administration. 2016. Shuttle Radar Topographic Mission - SRTM. Disponível em: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>. Acesso em 19 de julho de 2016.

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

NEVES, M. A., MORALES, N. C. 2007. Well productivity controlling factors in crystalline terrains of south eastern Brazil. *Hydrogeology J.* 15: 471–482.

O'LEARY, D.W., FRIEDMAN, J.D., POHN, H.A. 1976. Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. *The Geological Society of America Bulletin*, 87(10):1463-1469.

PEDROSA-SOARES A.C., QUEIROGA G.N., GRADIM C.T., RONCATO J.G., NOVO T.A., JACOBSON T., SILVA K.L. 2006a. Nota Explicativa da Folha Mantena, 1:100.000. Programa Geologia do Brasil, CPRM–UFMG.

PEDROSA-SOARES, A.C., NOCE, C.M., ALKMIM, F.F., SILVA, L.C., BABINSKI, M., CORDANI, U.G., CASTAÑEDA, C. 2007. Orógeno Araçuaí: síntese do conhecimento 30 anos após Almeida 1977. *Geonomos*, v. 15, n. 1, p. 1-16.

PEDROSA-SOARES, A.C., DE CAMPOS, C.P., NOCE, C.M., SILVA, L.C., NOVO, T., RONCATO, J., MEDEIROS, S., CASTAÑEDA, C., QUEIROGA, G., DANTAS, E., DUSSIN, I., ALKMIM F.F., 2011. Late Neoproterozoic-Cambrian Granitic Magmatism in the Araçuaí Orogen (Brazil), the Eastern Brazilian Pegmatite Province and Related Mineral Resources. In: Sial, A.N., Bettencourt, J.S., De Campos, C.P., Ferreira, V.P. (Eds.), *Granite-Related Ore Deposits*. Geological Society, London, Special Publications, 350, pp. 25–51.

PRASAD, R.K., MONDAL, N.C., BANERJEE, P., NANDAKUMAR M.V., SINGH, V. S. 2008. Deciphering potential groundwater zone in hard rock through the application of GIS. *Environ Geol* 55(3):467–475

QUEIROGA G.N., PEDROSA-SOARES A.C., RONCATO J.G, DIAS P.H.A, GUIMARÃES H.A., COUTINHO M.O.G, FREITAS N.C., GRADIM C.T., BRAGA

F.C.S., NOVO T.A. 2012. Mapa geológico e nota explicativa da Folha Nova Venécia, 1:100.000. Programa Geologia do Brasil, CPRM–UFMG.

RICHTER, F., LAN, C., STEVENS, G., BUIK, I., PEDROSA-SOARES, A.C., ALKMIM, F.F., CUTTS, K. 2016. Sedimentation, metamorphism and granite generation in a back-arc region: Records from the Ediacaran Nova Venécia Complex (Araçuaí Orogen, Southeastern Brazil). *Precambrian Research*, 272, 78–100.

SANDER, P. 2007. Lineaments in groundwater exploration: a review of applications and limitations. *Hydrogeology Journal*, v. 15, p. 71–74.

SIMGE - Sistema de Meteorologia e Recursos Hídricos de Minas Gerais. 2015. Relatório de Acompanhamento Trimestral. Instituto Mineiro de Gestão das Águas, v. 1, 2 e 3.

SIMGE - Sistema de Meteorologia e Recursos Hídricos de Minas Gerais. 2016. Relatório de Acompanhamento Trimestral. Instituto Mineiro de Gestão das Águas, v. 4.

SINGHAL, B. B. S., GUPTA, R. P. 2010. *Applied hydrogeology of fractured rocks*, 2nd ed. 408p.

SIQUEIRA, L. 1963. contribuição da geologia à pesquisa de água subterrânea. Recife: Sudene.

TEDESCHI, M., NOVO T., PEDROSA-SOARES, A.C., DUSSIN, I.A. TASSINARI, C.G.T., SILVA, L.C., GONÇALVES, L., ALKMIM, F.F., LANA C., FIGUEIREDO, C., DANTAS, E., MEDEIROS, S., CAMPOS, C., CORRALES, F., HEILBRON, M. 2016. The Ediacaran Rio Doce magmatic arc revisited (Araçuaí-Ribeira orogenic system, SE Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, 68, 186–187.

VIEIRA, V.S. 1997. Projeto Leste: Folha Itabirinha de Mantena – SE.24-Y-A-V. SEME/COMIG/CPRM. 63 p.

VIEIRA, V.S. 2007. Significado do Grupo Rio Doce no Contexto do Orógeno Araçuaí. Tese de Doutorado. Pós-graduação em geologia, instituto de geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 117p.

WRIGHT, E.P., BURGESS, W.G. 1992. Geological Society of London. The hydrogeology of crystalline basement aquifers in Africa. Wright EP, Burgess WG (eds). Geological Society: London.

ANEXO 1: DADOS DOS 138 POÇOS ANALISADOS.

Legenda: Coordenada em UTM (Sirgas 200, 24S). Prof. = profundidade do poço. Solo = espessura do solo. Q = Vazão. Q/s = Capacidade Específica. NE = Nível estático. ND = Nível Dinâmico. EA = Entrada de água mais profunda.

Coordenadas (UTM)		Prof.	Solo	Q	Q/s	Unidade Litológica	Declividade	Altitude	NE	ND	EA
N	E	(m)	(m)	(m ³ .h ⁻¹)	(m ³ .h ⁻¹ .m ⁻¹)		(%)	(m)	(m)	(m)	(m)
7903125	285720	70	12	1.94	0.042	Complexo Nova Venécia	26.13924789	719	3.0	48.9	90
7914002	376108	73	22	1.695	0.033	Complexo Nova Venécia	1.949817061	44	0.0	50.9	
7944259	348711	70.35	14	7.668	0.242	Complexo Nova Venécia	2.242882013	102	2.6	34.3	
7975444	378637	70	16	5.497	0.196	Complexo Nova Venécia	7.296889305	82	15.2	43.2	19
7952399	357825	70	16	17.217	0.437	Complexo Nova Venécia	1.057724953	120	0.0	39.4	16
7928215	349100	79	-	4	0.182	Complexo Nova Venécia	2.006299734	173	18.0	40.0	38
7931256	352209	78	-	0	0	Complexo Nova Venécia	6.660238743	99			45
7928768	349500	35	-	0	0	Complexo Nova Venécia	1.337836862	167			
7916564	277331	72	12	3.6	0.076	Complexo Nova Venécia	1.003457427	430	1.8	49.4	
7925039	240812	112.7	6	0	0	Suíte Galiléia	17.77783012	322			
7924946	240755	76.5	-	0	0	Suíte Galiléia	5.37812233	331			
7924208	229863	120	14	2.37	0.064	Suíte Galiléia	2.140976191	221	0.5	37.8	
7924114	229776	100	14	23.5	0.866	Suíte Galiléia	1.949817061	217	1.7	28.9	
7914815	235681	102	-	6	0.128	Suíte Galiléia	6.11761713	211	0.0	46.9	
7914783	235623	90	-	10.22	0.296	Suíte Galiléia	5.27427721	206	7.0	41.5	
7938017	245032	99.25	-	27.68	0.889	Suíte Galiléia	6.86329031	571	6.6	37.7	
7937986	245004	70	30	0	0	Suíte Galiléia	1.949817061	572			
7938016	244974	79	-	43.16	4.445	Suíte Galiléia	13.82670879	564	5.4	15.2	

Coordenadas (UTM)		Prof.	Solo	Q	Q/s	Unidade Litológica	Declividade	Altitude	NE	ND	EA
N	E	(m)	(m)	(m ³ .h ⁻¹)	(m ³ .h ⁻¹ .m ⁻¹)		(%)	(m)	(m)	(m)	(m)
7937986	245033	101.5	30	36	0.692	Suite Galiléia	16.16856003	568	5.0	57.0	
7959117	235854	194	-	12	0.239	Suite Galiléia	10.33710194	319	1.1	51.4	
7959087	235825	110	-	0	0	Suite Galiléia	18.9539814	330			
7959057	235883	205	-	0	0	Suite Galiléia	2.855772972	316			
7959087	235854	147.8	-	14.79	0.29	Suite Galiléia	10.91041279	320	39.6	90.6	
7956528	249187	100	-	0	0	Suite Galiléia	17.77783012	374			
7956498	249188	85	-	0	0	Suite Galiléia	18.28770828	364			
7899904	266153	60	-	0	0	Suite Galiléia	1.705220461	169			
7924493	243592	100	14	16.31	0.591	Suite Galiléia	1.67212522	255	2.0	29.6	
7943381	237083	100	-	15.59	0.502	Suite Galiléia	1.49567914	531	4.3	35.3	
7943481	237093	60	10	29.16	2.216	Suite Galiléia	1.378995061	530	1.8	15.0	
7959641	235847	194	2	11.99	0.238	Suite Galiléia	4.454059601	322	1.1	51.4	
7960448	236612	204	8	2.05	0.03	Suite Galiléia	0.946079493	305	6.4	74.3	
7960172	236583	162	-	2.05	0.03	Suite Galiléia	1.057724953	308	6.4	73.0	
7958029	235396	150	6	22.5	1.847	Suite Galiléia	1.057724953	315	3.7	15.9	
7957495	235066	102	6	11.99	0.483	Suite Galiléia	2.756394386	319	2.9	27.7	
7972031	242080	68	10	24.8	1.014	Suite Galiléia	6.338689804	282	1.8	22.7	
7899300	265400	120	60	11.23	0.244	Suite Galiléia	10.27993393	189	14.2	60.2	
7899600	265650	102	14	19.44	0.51	Suite Galiléia	2.875234127	181	3.8	41.9	
7899441	265547	120	24	4.61	0.061	Suite Galiléia	2.242882013	181	1.6	77.5	38
7924331	228760	120	10	36	0.902	Suite Galiléia	3.895128489	216	3.9	43.8	38
7954796	247735	150	4	12.852	0.186	Suite Galiléia	0.946079493	322	6.0	74.9	52
7955389	248114	150	4	29.988	0.609	Suite Galiléia	2.242882013	317	1.3	50.6	52

Coordenadas (UTM)		Prof.	Solo	Q	Q/s	Unidade Litológica	Declividade	Altitude	NE	ND	EA
N	E	(m)	(m)	(m ³ .h ⁻¹)	(m ³ .h ⁻¹ .m ⁻¹)		(%)	(m)	(m)	(m)	(m)
7954891	247676	120	12	15.984	0.275	Suite Galiléia	2.364071131	321	1.8	59.9	52
7949317	262486	64.4	4	36	1.58	Suite Ataléia	12.22872639	556	2.4	25.2	42
7945681	266931	80	-	24.8	1.005	Suite Ataléia	11.9453125	499	24.0	28.7	40
7945588	266873	90	-	12	0.286	Suite Ataléia	26.8439045	534	1.9	43.8	42
7900907	342861	60	4	16.38	1.282	Suite Ataléia	15.23504829	133	1.8	14.5	42
7907269	342747	70	10	13.104	0.703	Suite Ataléia	0.473071992	145	3.7	22.4	
7909194	347478	72	16	10.296	0.394	Suite Ataléia	0.747967005	110	3.0	29.1	
7952007	265275	120	26	25.7	0.653	Suite Ataléia	13.02562046	371	7.1	46.5	
7938034	261257	120	54	7.42	0.139	Suite Ataléia	1.003457427	245	3.3	56.6	
7940664	330353	96	17	11.65	0.365	Suite Carlos Chagas	8.964363098	174	3.0	34.9	47.3
7940883	330149	88	14	0	0	Suite Carlos Chagas	6.668483734	169			
7957106	375737	114	2	0	0	Suite Carlos Chagas	10.30596161	51			52
7961300	290720	48	18	6.01	0.272	Suite Carlos Chagas	14.27107716	481	3.2	25.3	52
7935650	289249	72	2	1.26	0.026	Suite Carlos Chagas	16.65664864	193	3.0	52.2	29
7935932	289902	72	2	4.5	0.117	Suite Carlos Chagas	2.545951605	177	2.0	40.4	
7939397	302858	66	2	1.69	0.043	Suite Carlos Chagas	2.006299734	182	1.6	40.8	
7916147	312370	70	2	4.428	0.116	Suite Carlos Chagas	1.891643405	181	4.6	42.7	32
7965644	355604	70	22	0	0	Suite Carlos Chagas	12.89262199	168			60
7965402	355151	80	8	0	0	Suite Carlos Chagas	6.126617908	157			49
7966130	350963	68	10	0	0	Suite Carlos Chagas	2.433877468	149			52
7960750	306924	70	8	0.504	0.011	Suite Carlos Chagas	2.756394386	205	5.7	52.3	
7924590	340097	54	4	13.572	0.881	Suite Carlos Chagas	21.08466911	169	1.8	17.2	60
7918465	334451	66.08	10	9.612	0.418	Suite Carlos Chagas	13.94953442	172	2.3	25.3	

Coordenadas (UTM)		Prof.	Solo	Q	Q/s	Unidade Litológica	Declividade	Altitude	NE	ND	EA
N	E	(m)	(m)	(m ³ .h ⁻¹)	(m ³ .h ⁻¹ .m ⁻¹)		(%)	(m)	(m)	(m)	(m)
7908459	320493	70.66	14	2.81	0.074	Suite Carlos Chagas	1.705220461	158	3.0	40.9	46
7966566	357720	70	0	6.102	0.194	Suite Carlos Chagas	16.71046638	125	10.0	41.5	51
7974864	350271	70	16	12.774	0.283	Suite Carlos Chagas	3.291016102	160	2.1	42.2	
7971632	332209	70	14	0	0	Suite Carlos Chagas	1.49567914	154			
7967070	342969	70	39	4.372	0.179	Suite Carlos Chagas	1.205950975	194	21.5	45.9	28
7900815	329173	60	4	0	0	Suite Carlos Chagas	2.364071131	136			
7951757	324670	60	6	0	0	Suite Carlos Chagas	1.80085218	149			
7935785	310450	72	2	17.568	1.861	Suite Carlos Chagas	0.747967005	156	5.6	15.0	
7932238	299095	66	0	5.18	0.218	Suite Carlos Chagas	14.58084869	175	14.7	38.5	34
7943960	303462	75	5	4.5	0.164	Suite Carlos Chagas	2.033951044	187	1.5	29.0	40
7966991	306872	54	54	17.57	2.968	Suite Carlos Chagas	4.72012043	223	4.5	10.4	
7967033	306796	50	12	4.06	0.413	Suite Carlos Chagas	9.382782936	226	19.5	29.3	50
7961331	311712	100	3	0	0	Suite Carlos Chagas	3.407425404	186			
7961325	311831	60	-	0	0	Suite Carlos Chagas	1.80085218	185			
7961682	312050	100	9	1.15	0.017	Suite Carlos Chagas	2.006299734	184	2.1	71.7	
7970732	308918	50	6	0.972	0.031	Suite Carlos Chagas	3.808495998	208	3.1	34.3	21
7922392	334606	120	6	2.27	0.03	Suite Carlos Chagas	3.73474884	141	4.0	80.0	27
7918427	314801	72	15	4.1	0.101	Suite Carlos Chagas	1.705220461	151	3.0	43.5	
7917100	313665	78	3	1.47	0.027	Suite Carlos Chagas	4.672891617	172	1.7	55.8	
7919653	322189	72	5	6.48	0.186	Suite Carlos Chagas	0.669009626	144	3.7	38.5	
7919549	322185	90	5	4.97	0.168	Suite Carlos Chagas	1.67212522	146	15.5	45.0	
7916627	319416	66	9	6.37	0.185	Suite Carlos Chagas	3.598153353	163	1.3	35.8	18.7
7915988	318582	78	10	11.98	0.481	Suite Carlos Chagas	2.836177588	177	3.1	28.0	39

Coordenadas (UTM)		Prof.	Solo	Q	Q/s	Unidade Litológica	Declividade	Altitude	NE	ND	EA
N	E	(m)	(m)	(m ³ .h ⁻¹)	(m ³ .h ⁻¹ .m ⁻¹)		(%)	(m)	(m)	(m)	(m)
7916811	319124	102	9	0	0	Suite Carlos Chagas	9.422960281	167			78
7942602	338666	72	-	0	0	Suite Carlos Chagas	3.407425404	184			
7971801	332274	70.01	20	0	0	Suite Carlos Chagas	19.36773682	152			
7929673	289225	150	20	6.26	0.113	Suite Carlos Chagas	4.637149334	191	3.1	58.5	
7929027	289174	102	20	6.33	0.159	Suite Carlos Chagas	2.114729643	194	0.3	39.7	
7928825	288812	150	20	0	0	Suite Carlos Chagas	12.08577061	200			
7924048	276803	152	-	7.416	0.144	Suite Carlos Chagas	9.491410255	354	3.4	54.9	
7962192	263999	100	-	0	0	Suite Aimorés	15.91446686	327			36
7962388	275859	84	2	11.27	0.513	Suite Aimorés	8.330516815	588	7.4	29.4	21
7904468	319200	70	12	1.73	0.037	Suite Aimorés	6.660238743	150	2.8	49.1	21
7907320	315540	60	2	15.66	1.129	Suite Aimorés	4.454059601	156	2.4	16.3	
7923019	308008	66	4	11.99	0.547	Suite Aimorés	1.057724953	153	2.3	24.3	
7925225	309571	60	6	10.152	0.465	Suite Aimorés	1.949817061	149	4.1	26.0	
7909688	281041	78	6	11.62	0.394	Suite Aimorés	0.747967005	646	3.2	32.7	
7903776	283070	70	18	6.01	0.182	Suite Aimorés	24.34365082	680	5.7	28.7	
7951466	329650	60	4	0	0	Suite Aimorés	18.53595352	158			
7937148	329640	70	14	6.012	0.173	Suite Aimorés	2.756394386	186	3.3	38.2	
7925164	309515	75	15	9.36	0.204	Suite Aimorés	1.205950975	148	3.4	49.4	
7939623	329944	60	3	7.99	0.315	Suite Aimorés	4.021537304	172	2.4	27.8	
7937307	324599	60	3	18	1.714	Suite Aimorés	2.140976191	131	3.0	13.5	
7952952	256554	120	20	23.98	0.622	Suite Aimorés	6.660238743	545	0.3	38.9	
7962001	263899	54	-	1.3	0.031	Suite Aimorés	3.081148624	311	2.7	44.8	
7901480	279302	76	-	2.88	0.056	Suite Aimorés	2.610876083	230	5.1	56.6	

Coordenadas (UTM)		Prof.	Solo	Q	Q/s	Unidade Litológica	Declividade	Altitude	NE	ND	EA
N	E	(m)	(m)	(m ³ .h ⁻¹)	(m ³ .h ⁻¹ .m ⁻¹)		(%)	(m)	(m)	(m)	(m)
7956016	286918	150	20	21.996	0.288	Suíte Aimorés	5.736059189	373	2.9	79.2	
7961854	263689	201	10	9	0.228	Suíte Aimorés	2.694997311	312	7.8	47.3	
7935204	246302	64	-	4.28	0.12	São Tomé	5.210954189	294	3.0	38.0	
7935111	246216	99	-	45	2.23	São Tomé	7.47470665	288	2.1	22.3	
7935078	246099	92.6	40	5.83	0.11	São Tomé	3.341406822	290	6.6	60.8	
7935076	245982	96.7	22	7.88	0.127	São Tomé	3.341406822	295	3.0	65.0	
7924349	237657	67	14	37.87	1.579	São Tomé	15.24839401	335	3.7	27.7	
7924256	237599	67	-	34.48	1.591	São Tomé	15.73588085	303	5.7	27.4	
7924194	237542	84	8	23.22	0.712	São Tomé	14.21324539	305	4.0	36.6	
7906975	251661	95	-	3.81	0.074	São Tomé	8.145534515	217	4.2	56.0	
7935940	246605	64	-	4.18	0.119	São Tomé	26.8975811	310	3.0	38.0	
7935740	246805	92.6	22	5.87	0.108	São Tomé	4.223712921	288	6.5	60.8	
7935640	246705	99.25	6	45	2.726	São Tomé	2.364071131	288	3.2	19.7	
7935680	246708	79	24	14.47	6.46	São Tomé	1.49567914	288	5.4	7.7	105
7935693	246710	78	24	18.04	3.922	São Tomé	2.114729643	286	8.5	13.1	45
7936496	246926	120	16	25.56	1.228	São Tomé	3.73474884	283	3.3	24.1	45
7935683	246710	150	26	36	1.222	São Tomé	2.114729643	286	19.1	48.6	
7936442	246901	144	18	45	2.066	São Tomé	2.674216509	283	16.4	38.2	170
7935441	247912	210	34	22.5	0.369	São Tomé	2.140976191	276	3.3	64.2	188
7939565	223894	110	-	4.9	0.09	Tumiritinga	22.28060722	362	4.6	62.0	75.5
7937222	221435	60	-	19.3	1.67	Tumiritinga	3.291016102	283	0.4	12.0	
7899511	222142	60	4	55.37	5.56	Tumiritinga	0.946079493	138	2.2	12.2	
7916538	266504	78	12	5.33	0.119	Tumiritinga	4.353211403	454	1.2	46.1	65

Coordenadas (UTM)		Prof.	Solo	Q	Q/s	Unidade Litológica	Declividade	Altitude	NE	ND	EA
N	E	(m)	(m)	(m ³ .h ⁻¹)	(m ³ .h ⁻¹ .m ⁻¹)		(%)	(m)	(m)	(m)	(m)
7915950	266780	70	17.5	4.93	0.099	Tumiritinga	3.341406822	456	2.2	52.0	71
7953500	257564	120	14	32.72	0.934	Tumiritinga	9.649102211	532	0.4	35.5	26
7940437	253139	200	17	2.304	0.017	Tumiritinga	3.73474884	263	2.8	140.0	68
7958601	226684	120	29	12.74	0.276	Tumiritinga	4.249933243	353	1.6	47.8	
7957168	257365	180	24	0	0	Tumiritinga	6.407771587	570			52