

Leônidas Luiz Volcato Descovi Filho

**Geomorfoestruturas e Compartimentação Tectônica do Sistema
Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral no Estado de Santa
Catarina, Brasil**

Tese submetida ao Programa de
Pós-Graduação em Geografia da
Universidade Federal de Santa
Catarina para a obtenção do Grau de
Doutor em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Fernando
Scheibe

Coorientador: Prof. Dr. Arthur Schmidt
Nanni

Florianópolis
2015

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.**

Descovi Filho, Leônidas Luiz Volcato
Geomorfoestruturas e Compartimentação Tectônica do
Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral no Estado de
Santa Catarina, Brasil / Leônidas Luiz Volcato Descovi
Filho ; orientador, Luiz Fernando Scheibe ; coorientador,
Arthur Schmidt Nanni. - Florianópolis, SC, 2015.
224 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Programa
de Pós - Graduação em Geografia.

Inclui referências

1. Geografia. 2. Geomorfologia. 3. Geotecnologias. 4.
Sistema Aquífero Guarani/Serra Geral. 5. Recursos Hídricos.
I. Scheibe, Luiz Fernando Scheibe II. Nanni, Arthur
Schmidt. III.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós
Graduação em Geografia. IV. Título.

Leônidas Luiz Volcato Descovi Filho

**Geomorfoestruturas e Compartimentação Tectônica do Sistema
Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral no Estado de Santa
Catarina, Brasil**

Esta Tese foi julgada adequada para obtenção do Título de “Doutor”, e aprovada em sua forma final pelo Programa Programa de Pós-Graduação em Geografia.

Florianópolis, 15 de Dezembro de 2015.

Prof. Aloysio Marthins de Araújo Junior, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Luiz Fernando Scheibe, Dr. Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Arthur Schmidt Nanni, Dr. Coorientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Marcelo Accioly Teixeira Oliveira, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Arí Roisenberg, Dr.
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. José Luiz Silvério da Silva, Dr.
Universidade Federal de Santa Maria

Prof.^a Maria Paula Casagrande Marimon, Dr.^a
Universidade do Estado de Santa Catarina

Prof. Juan Altamirano Flores, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

A Jandira, Leônidas e Daniele, amo
muito vocês.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a meus pais Jandira e Leônidas, que se esforçaram para educar-me e manter-me estudando. Seus exemplos de luta, humildade, trabalho e amor levarei pelos caminhos da vida;

Às Universidades Federais de Santa Maria e de Santa Catarina, pelo ensino público e gratuito, sustentado pelo trabalho de todos os brasileiros;

Aos professores orientadores Arthur, Scheibe e Silvério, pela oportunidade única de convívio e aprendizagem; em nome deles estendo meu agradecimento especial aos professores que colaboraram durante alguma etapa de minha trajetória;

Aos professores e avaliadores desta pesquisa Arí, Arthur, Scheibe, Marcelo, Juan e Paula pelas contribuições para o crescimento e correções da tese

Ao CNPq e à CAPES, pelas bolsas concedidas ao longo de minha trajetória acadêmica;

Agradeço especialmente ao amor da minha vida, Daniele, pelo companheirismo, apoio incondicional e compreensão em que convivemos neste período de pós-graduação: a tarefa ficou mais amena com tua companhia, carinho, amor e estímulos para seguir em frente;

A meus irmãos Gilson, Gerson, Jalce (Mana), Jaque e Joici; sobrinhos Vini, Lucas, Giana, Brenda, Luigi, Helena, Júlia e Augusto; cunhados Lucimari, Carla, Márcio, Gustavo e Irvandro; a Dona Zenaide e a tia-avó Alfêrides Volcato pelo carinho, amizade e estímulos;

Aos colegas e ex-colegas de LAGEOLAM/UFSM; LABHIDROGEO/UFSM e LAAM - NEPerma/UFSC: Fábio Breunig, Romário Trentin, Thiago Bazzan, Adilson Chaves; Luciano Henning, Eliane Tomás, Andréa Lopes, Harideva Egas, Geisa, Karina, Jéfferson e Marcelo Venturi agradeço pela amizade, convívio e aprendizado;

Aos Amigos do QGIS Brasil, Arthur, Narcélio de Sá, Felipe Sodrê, Sidney e outros, pelo empenho em tornar o QGIS acessível ao público de forma democrática e gratuita;

Aos meus grandes amigos e ex-colegas de Nova Palma: Guto Bajotto, Felipe Bertoldo, Ivan Santi, Tobias Zasso, Guigo Scapin, Luciana Piovesan e tantos outros.

A todos outros amigos e educadores, que estiveram presentes ou contribuíram com esta construção, meu sincero agradecimento.

“Se teus projetos forem para um ano, semeia o grão.

Se forem para dez anos, planta uma árvore.

Se forem para cem anos, instrui o povo.

Semeando uma vez o grão, colherás uma vez.

Plantando uma árvore, colherás dez vezes.

Instruindo o povo colherás cem vezes.”

(Kuan-Tzu - sábio chinês do séc VII a.C.)

“Educação não transforma o mundo, educação muda pessoas, pessoas transformam o mundo”

(Paulo Freire - Patrono da Educação Brasileira)

“O Mundo não é para nós, nós é que somos para o mundo, a fim de ajudá-lo a tornar-se melhor e mais bonito. O próprio ser humano não é para nós, nós é que somos para o ser humano, a serviço dele, a fim de encaminhá-lo para a descoberta de si mesmo e de sua dignidade”.

(César De David – Geógrafo e professor universitário)

A regra de nenhum reino é minha. [...] Mas todas as coisas de valor que correm perigo no mundo como ele agora se apresenta, essas são as minhas preocupações. E, de minha parte não terei fracassado inteiramente em minha missão, [...] se alguma coisa atravessar esta noite e ainda puder crescer bela ou gerar frutos e flores de novo nos dias vindouros. Porque também sou protetor da natureza. Você não sabia?

(John Ronald Reuel Tolkien- Escritor, professor universitário e filólogo africano)

DESCOVI FILHO, Leônidas Luiz Volcato. Geomorfoestruturas e Compartimentação Tectônica do Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral no Estado de Santa Catarina, Brasil. 2015. Tese. (Doutorado em Geografia) Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2015.

RESUMO

O Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral (SAIG/SG), constitui para a região central e oeste do Estado de Santa Catarina – Brasil, importante e estratégico recurso hídrico inserido no contexto da Bacia do Paraná. O seu uso se dá de forma indissociável, uma vez que o Sistema Aquífero Serra Geral / SASG (rochas ígneas, fraturadas), de uso imediato pela população local, é interconectado estrutural e hidráulicamente com o Sistema Aquífero Guarani / SAG (rochas sedimentares, porosas), constituindo o SAIG/SG. A presente pesquisa lança luz, através da geomorfologia, estrutural e sistemas de informações geográficas, como suporte para o entendimento hidrogeológico do SAIG/SG. Foram elaboradas 13 seções geomorfológicas para detalhar os patamares geomorfoesculturais e sugerir os limites dos blocos geomorfoestruturais. Os maiores rejeitos de falha ao longo das seções estão associados as regiões sudeste (seções 04 e 18 – blocos 01, 02 e 03) e oeste do Estado (seção 21 – bloco 11). O SASG apresentou espessuras variáveis, de oeste para leste da área de estudo, de respectivamente 1224 até 100 metros. Os blocos 10 e 11, associados as bacias dos rios Jacutinga e do Peixe, apresentaram diminuição das espessuras do SASG, sugerindo a possibilidade de maior vulnerabilidade do SAIG/SG. Os grandes alinhamentos estruturais do embasamento da bacia do Paraná influenciam na estruturação em blocos e podem servir como conexão entre o SASG e o SAG. A partir da interpretação dos patamares geomorfoesculturais, foram estabelecidos 16 blocos geomorfoestruturais em escalas 1:2.000.000, 1:1.000.000, 1:500.000 e 1:250.000, delineados com base na rede de drenagem, lineamentos que apresentam as direções preferenciais NE e NW e raster composto. Os blocos geomorfoestruturais serviram de base para definição de 14 blocos tectônicos hidrogeológicos, para os quais foram atribuídas cotas absolutas médias do topo da Formação Botucatu (SAG); estas cotas variam um total de 1851 metros (máxima no sudeste e a mínima no extremo oeste do Estado). Nestes 14 blocos, as espessuras da Formação

Serra Geral (SASG) variou desde zero (0) metro (SAG aflorante, nas regiões mais a leste), até 1132 metros (extremo oeste catarinense). Foram propostos modelos de evolução geomorfológica e, em conclusão, uma seção hidrogeológica em que se representa, de leste para oeste da área de pesquisa, a posição relativa dos blocos hidrogeológicos do SAIG/SG, permitindo a sua classificação em blocos alçados, escalonados e abatidos, bem como, suas correlações com a hidrogeologia.

Palavras-chave: Blocos geomorfoestruturais. Sistema Aquífero Integrado. QGIS. Gestão de recursos hídricos.

DESCOVI FILHO, Leônidas Luiz Volcato. Geomorpostructures and Tectonic Compartmentation of Guarani / Serra Geral Integrated Aquifer System in the State of Santa Catarina, Brazil. 2015. Thesis. (Phd in Geography) Postgraduate Program in Geography at the Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2015.

ABSTRACT

The Guarani / Serra Geral Integrated Aquifer System (SAIG/SG), is an important and strategic water resource for the central and western region of the state of Santa Catarina - Brazil,, in the context of the Paraná Basin. It is constituted by the Serra Geral Aquifer System (SASG) (fractured igneous rocks) and the Guarani Aquifer System (SAG) (porous sedimentary rock), which were put together considering that they are structurally and hydraulically interconnected and should be jointly managed. This research supports the hydrogeological understanding of the SAIG/SG, through geomorphological and structural interpretation and geographic information systems. 13 geomorphological sections were prepared to define the morphosculptural levels and to delineate the boundaries of geomorphostructural blocks. The biggest fault throws along the sections are associated with the southeast (sections 04 and 18 – blocks 01, 02 and 03) and west (section 21 – block 11) blocks. The SASG shows varying thickness, from west to east of the study area respectively 1224 to 100 meters. The blocks 10 and 11, associated with the basins of the rivers Jacutinga and do Peixe have a smaller thickness of the SASG, and may present greater SAG vulnerability . The major basement structural alignments of the Paraná Basin influenced the blocks structure and may serve as interconnection between the SASG and the SAG. From the interpretation of the geomorphological levels 16 geomorphostructural blocks were outlined, in scale 1: 2,000,000, 1: 1,000,000, 1: 500,000 and 1: 250,000, considering the drainage network, lineaments having the preferred directions NE and NW and composite raster. The geomorphostructural blocks formed the basis for the setting of 14 hydrogeological tectonic blocks, for which average absolute altitudes of the top of the Botucatu Formation (SAG) were assigned; these absolute altitudes differ 1851 meters (highest in the southeast and the minimum in the extreme west of the state). In these 14 blocks,

the thickness of the Serra Geral Formation (SASG) range from zero (0) meters (SAG outcrop, in the most eastern regions), up to 1132 meters (extreme west of Santa Catarina). Geomorphological evolution models have been proposed and, in conclusion, an hydrogeological east to west section, showing the relative position of the hydrogeological SAIG/SG blocks, allowing their classification in elevated, staggered and slaughtered blocks.

Keywords: Geomorphostructurals blocks. Integrated Aquifer System. QGIS. Water resources management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização do Estado de Santa Catarina e da área de estudo. Fonte: Elaborado pelo Autor.....	28
Figura 2 – Localização da Bacia do Paraná na América do Sul. Fonte: Elaborado pelo Autor.....	34
Figura 3 – Estrutura tectônica do substrato da Bacia do Paraná - Notar que o Cinturão Dom Feliciano (Fragoso-Cezar, 1980 apud LISBOA, 1996, p. 12) é considerado Bloco Cratônico no entendimento de Jacques et al. (2014). Estes últimos, baseiam-se na tese de Milani (1997). Fonte: modificado de Milani (1997 apud JACQUES et al., 2014, p. 42).....	37
Figura 4 – Diagrama de roseta das extensões de lineamentos na Bacia do Paraná, obtido a partir de levantamentos aeromagnetométricos. Podem ser observados dois grupos de tendências principais: NW-SE (N45o -65o O) e NE-SW (N50o -70o E). Uma terceira tendência, subordinada, alonga-se segundo E-W (N85o -95o O). Fonte: Zalán et al. (1990, p. 144).....	38
Figura 5 - Mapa do Arcabouço estrutural da Bacia do Paraná. Fonte: Zalán et al. (1990, p.139).....	39
Figura 6 – Três Grábens no Sudeste (RS, SC e PR) e outros elementos tectônicos da Bacia do Paraná. Fonte: Hasui (2010, p. 160).....	41
Figura 7 – Lineamentos geomórficos ou faixas estruturais, designados pela sua direção e um número sequencial. Fonte: Artur e Soares (2002 modificadas de Soares 1992).....	42
Figura 8 – Unidades Litoestratigráficas da Bacia do Paraná até o Cenozóico, ocorrentes no Estado de Santa Catarina. Fonte: CPRM (1986).....	44
Figura 9 – Mapa das isópacas acumuladas das Formações Botucatu + Pirambóia + Rosário do Sul (esquerda) e Mapa das isópacas da Formação Serra Geral (direita) - As linhas finas representam importantes zonas de falhas. Fonte: Zalán et al. (1990, p. 158 e 159).....	47
Figura 10 – Mapa Geológico da área de estudo. Compilado da Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo da CPRM, Folhas SG. 22 – Curitiba e SH. 22 – Porto Alegre. Fonte: Modificado de (BIZZI et al., 2003 e CPRM, 2004).....	48
Figura 11 – Definições e relações hidrogeológicas básicas. Fonte: Modificado de DAEE/USP, (1992 apud MACHADO, 2005, p.57).....	50
Figura 12 – Classificação das unidades hidroestratigráficas de acordo com suas características de porosidade e permeabilidade. Fonte: DAEE/USP (1992 apud Machado, 2005, p. 57).....	51
Figura 13 – Unidades Morfotectônicas (3) e Hidrogeológicas (8) da Formação Serra Geral e Províncias Geomorfológicas do Rio Grande do Sul. Fonte: Machado (2005, p. 37 modificado de Lisboa (1996, p. 43).....	55

Figura 14 – Subdivisão espacial do SAG no RS: Quatro (4) compartimentos estruturais e grandes estruturas que não afetam sua hidrostratigrafia. Fonte: Machado (2005).....	58
Figura 15 – Seção geológica esquemática entre o Rio Grande do Sul e Santa Catarina, notando-se a grande diferença entre as cotas do topo do SAG nos dois estados, devido à compartimentação tectônica Leste e Norte - Alto Uruguai. Fonte: Machado (2005).....	59
Figura 16 – Sistemas de falhas tectônicas e Fácies hidroquímicas: (1) Mata-Jaguari, (2) Terra de Areia-Posadas, (3) Perimbó, e (4) Leão. Alinhamentos Hidrogeológicos introduzidos (5)Fontoura Xavier–Parai e (6) Victor Graef–Barracão. (7) Limite de blocos tectônicos. Fonte: Nanni (2008, p. 62) e Nanni et al. (2008) p.8.....	63
Figura 17 – a) Falha inversa; b) Falha normal; e c) Falha transcorrente. Fonte: Press et al. (2006).....	72
Figura 18 – Escarpa de Falha, Graben e Horst. Fonte: Rossato et al. (2003).	74
Figura 19 – Classificação da rede de drenagem quanto a sua gênese / instalação nas camadas rochosas (1-consequente, 2-subsequente, 3-obsequente, 4-ressequente e 5-insequente). Fonte: Cunha e Guerra (1994 modificado por Arcanjo, 2011, p. 82).....	79
Figura 20 – Propriedades da rede de drenagem. Fonte: Modificado de Soares & Fiori (1976 apud ARCANJO, 2011, p.80).....	80
Figura 21 – Tipos de redes fluviais de acordo com sua distribuição em plano: No topo: a, dendrítico, b, paralelo, c, radial, d, anelar; Na base: e, treliça, f, retangular, g, multi-basinal, h, contorcido. Fonte: Arcanjo (2011, p. 78).....	80
Figura 22 – Classificação das formas anômalas de drenagem. Fonte: Mattos et al. 1982 Modificado por Araújo et al., 2003, p.31).....	83
Figura 23 – Esquema de traçados de morfoestruturas. Linhas indicando o sentido dos mergulhos e esquema de números representando as cotas altimétricas do relevo. Escala aproximada do desenho: 1:100.000 . Fonte: Araújo et al. (2003, p. 31).....	84
Figura 24 – Avaliação da estrutura geológica através das propriedades de relevo e drenagem em blocos diagramas. Fonte: Arcanjo (2011, p. 81).....	85
Figura 25 – Mapa conceitual da tese. Fonte: Elaborado pelo Autor.....	88
Figura 26 – Locais de registro de pontos de controle estratigráficos: Esquerda – Porto União-SC e Direita – Ponte Alta do Norte-SC. Fonte: Elaborado pelo Autor.....	95
Figura 27 – Fluxograma das etapas para definição dos pré-blocos. Fonte: Elaborado pelo Autor.....	99
Figura 28 – Redes de drenagem. Lado esquerdo Fonte: ANA (despadronizada=várias bases e escalas); Lado direito fonte:	

QGIS/GRASS/Tese (padronizada=base única, SRTM resolução espacial 90 x 90 metros). Fonte: Elaborado pelo Autor.....	101
Figura 29 – Interface gráfica do complemento Profile Tool do QGIS 2.8.1 Wien. Em cor laranja seção transversal digital referente a camada MDE/SRTM. Fonte: Elaborado pelo Autor.....	104
Figura 30 – Seções transversais (13), divididas em 04 grupos/regiões. Fonte: Elaborado pelo Autor.....	105
Figura 31 – Seção transversal digital e seus patamares geomorfoesculturais horizontais. Fonte: Elaborado pelo Autor.....	107
Figura 32 – Erosão em rochas vulcânicas e compensação isostática. Fonte: Elaborado pelo Autor.....	108
Figura 33 – Mapa Hipsométrico. Fonte: Elaborado pelo Autor.....	112
Figura 34 – Mapa de sombreamento. Fonte: Elaborado pelo Autor.....	113
Figura 35 – Mapa de declividade. Fonte: Elaborado pelo Autor.....	114
Figura 36 – Camada raster composta para melhoria do contraste entre pré-blocos geomorfoestruturais. Fonte: Elaborado pelo Autor.....	115
Figura 37 – Mapa das feições lineares. Fonte: Elaborado pelo Autor.....	116
Figura 38 – Mapa de localização das pré-blocos geomorfoestruturais. Fonte: Elaborado pelo Autor.....	117
Figura 39 – Diagrama de roseta das linhas (lados/limites) de pré-blocos. Fonte: Elaborado pelo Autor.....	117
Figura 40 – Mapa da rede de drenagem. Fonte: Elaborado pelo Autor.....	119
Figura 41 – Mapa dos lineamentos. Fonte: Elaborado pelo Autor.....	120
Figura 42 – Diagramas de roseta referente aos 2484 lineamentos apresentados na (Figura 41). Fonte: Elaborado pelo Autor.....	121
Figura 43 – Feições da rede de drenagem. Feição negativa – segmento da rede de drenagem principal. Feição positiva - paralela ao divisor de águas. Ao sul, forma um alinhamento de nascentes, perpendicular a feição. Fonte: Elaborado pelo Autor.....	122
Figura 44 – Rede de drenagem controlada pela geologia da Formação Serra Geral. Destaca-se o padrão genérico NE, que configura zona de fraturas (alta frequência de fraturas NE e aproximadamente paralelas). Fonte: Elaborado pelo Autor.....	123
Figura 45 – Modelo de evolução geomorfológica. Fonte: Elaborado pelo Autor.....	124
Figura 46 – Seção 03. Fonte: Elaborado pelo Autor.....	128
Figura 47 – Seção 04. Fonte: Elaborado pelo Autor.....	129
Figura 48 – Seção 12. Fonte: Elaborado pelo Autor.....	130
Figura 49 – Seção 18. Fonte: Elaborado pelo Autor.....	131
Figura 50 – Seção 19. Fonte: Elaborado pelo Autor.....	132
Figura 51 – Seção 11. Fonte: Elaborado pelo Autor.....	134
Figura 52 – Seção 16. Fonte: Elaborado pelo Autor.....	135

Figura 53 – Seção 17. Fonte: Elaborado pelo Autor.....	136
Figura 54 – Seção 05. Fonte: Elaborado pelo Autor.....	138
Figura 55 – Seção 07. Fonte: Elaborado pelo Autor.....	139
Figura 56 – Seção 13. Fonte: Elaborado pelo Autor.....	140
Figura 57 – Seção 01. Fonte: Elaborado pelo Autor.....	142
Figura 58 – Seção 21. Fonte: Elaborado pelo Autor.....	143
Figura 59 – Mapa geomorfoestrutural. Fonte: Elaborado pelo Autor.....	144
Figura 60 – Mapa das espessuras médias da Formação Serra Geral (SASG) por blocos tectônicos hidrogeológicos. Fonte: Elaborado pelo Autor.....	146
Figura 61 – Mapa da cota absoluta média do topo da Fm. Botucatu (SAG) “Blocos tectônicos hidrogeológicos do SAG”. Fonte: Elaborado pelo Autor.	148
Figura 62 – Bloco-diagrama das cotas absolutas médias do topo da Fm. Botucatu (SAG). Fonte: Elaborado pelo Autor.....	149
Figura 63 – Seção hidrogeológica do SAIG/SG em SC. Fonte: Elaborado pelo Autor.....	153

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Unidades litoestratigráficas da Bacia do Paraná e mais recentes ocorrentes em Santa Catarina: Idade, grupo e siglas. Fonte: DNPM (1986).	45
Tabela 2 – Classificação das Unidades Morfotectônicas e Hidrogeológicas da Formação Serra Geral. Fonte: Lisboa (1996, p. 43).	56
Tabela 3 – Aplicativos computacionais utilizados na pesquisa. Fonte: Elaborado pelo Autor.	89
Tabela 4 – Bancos de dados disponíveis na internet. Fonte: Elaborado pelo Autor.	90
Tabela 5 – Dados inseridos no SIG da Tese: fonte, tipo, resolução e aplicações. Fonte: Elaborado pelo Autor.	91
Tabela 6 – Fonte de origem e quantidade dos pontos de controle estratigráfico. Fonte: Elaborado pelo Autor.	93
Tabela 7 – Campanhas de levantamento de campo de dados de contatos geológicos. Fonte: Elaborado pelo Autor.	94
Tabela 8 – Informações referentes às camadas temáticas ou planos de informações. Fonte: Elaborado pelo Autor.	95
Tabela 9 – Contribuição e transparência das camadas raster. Fonte: Elaborado pelo Autor.	97
Tabela 10 – Geração automática da rede de drenagem no QGIS. Etapas, descrição e algoritmos. Fonte: Elaborado pelo Autor.	100
Tabela 11 – Critérios chave para estabelecimento dos patamares geomorfoesculturais e blocos geomorfoestruturais nas seções transversais. Fonte: Elaborado pelo Autor.	101
Tabela 12 – Critérios chave para interpretação e descrição do relevo nas seções transversais. Fonte: Elaborado pelo Autor.	102
Tabela 13 – Elementos e critérios chave para interpretação e descrição do relevo nos mapas geomorfoestruturais. Fonte: Elaborado pelo Autor.	103
Tabela 14 – Grupos, regiões e número das seções transversais. Fonte: Elaborado pelo Autor.	126
Tabela 15 – Características das seções pertencentes ao grupo 01 - região sudeste. Fonte: Elaborado pelo Autor.	127
Tabela 16 – Características das seções pertencentes ao grupo 02 - região Nordeste. Fonte: Elaborado pelo Autor.	133
Tabela 17 – Características das seções pertencentes ao grupo 03 - região centro. Fonte: Elaborado pelo Autor.	137
Tabela 18 – Características das seções pertencentes ao grupo 04 - região oeste. Fonte: Elaborado pelo Autor.	141

SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	21
1 INTRODUÇÃO.....	25
1.1 HIPÓTESE.....	25
1.2 JUSTIFICATIVA E LOCALIZAÇÃO.....	26
1.3 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	29
1.4 OBJETIVOS.....	30
1.4.1 Objetivo Geral.....	30
1.4.2 Objetivos Específicos.....	31
1.5 ESTRUTURA DA TESE.....	31
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	33
2.1 GEOLOGIA DA BACIA DO PARANÁ.....	33
2.1.1 Histórico, definição e localização.....	33
2.1.2 Arcabouço tectônico e estratigráfico.....	35
2.1.3 Estratigrafia da Bacia do Paraná.....	43
2.1.4 Estratigrafia de Santa Catarina.....	43
2.2 HIDROGEOLOGIA.....	48
2.2.1 Conceitos básicos em hidrogeologia.....	49
2.2.2 Estudos Hidrogeológicos na Bacia do Paraná.....	53
2.2.3 Sistema Aquífero Guarani (SAG).....	64
2.2.4 Sistema Aquífero Serra Geral (SASG).....	65
2.2.5 Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral (SAIG/SG).....	68
2.3 GEOMORFOLOGIA.....	69
2.3.1 Evolução das formas do relevo.....	70
2.3.1.1 Processos endogenéticos na formação do relevo.....	70
2.3.1.2 Processos geodinâmicos internos.....	71
2.3.1.3 Tectônica e formas estruturais associadas.....	72
2.3.1.4. Lineamento, linha e alinhamento.....	74
2.3.1.5. Geotextura, Morfoestrutura e Morfoescultura.....	76
2.3.2 Drenagem fluvial e sua relação com a morfologia.....	78
2.3.2.1 Processos fluviais e tipos de relevo.....	81
2.4 ESTRUTURAS TECTÔNICAS E REDE DE DRENAGEM.....	81

2.4.1 Interpretação morfoestrutural: estruturas tectônicas e rede de drenagem.....	82
2.4.2 Nível de base de erosão.....	86
3 METODOLOGIA DE TRABALHO.....	87
3.1 Estrutura metodológica.....	87
3.2 Levantamento de informações.....	88
3.2.1 Levantamentos em laboratório.....	88
3.2.1.1 Hardwares.....	88
3.2.1.2 Aplicativos computacionais.....	89
3.2.1.3 Levantamento bibliográfico, origem e formato dos Dados.....	90
3.2.1.4 Banco de dados hidroestratigráficos.....	93
3.2.2 Pontos de controle estratigráfico.....	94
3.3 Elaboração dos produtos cartográficos e seções transversais.....	95
3.3.1 Hipsometria.....	96
3.3.2 Sombreamento.....	97
3.3.3 Declividade.....	97
3.3.4 Composição raster.....	97
3.3.5 Feições geomorfoestruturais.....	98
3.3.5.1 Feições lineares.....	98
3.3.5.2 Pré-blocos geomorfoestruturais.....	98
3.3.6 Lineamentos.....	99
3.3.7 Rede de Drenagem.....	100
3.3.8 Critérios para interpretação de patamares e blocos das seções.....	101
3.3.9 Elaboração das seções transversais.....	103
3.3.11 Blocos geomorfoestruturais.....	108
3.3.12 Mapas geomorfoestruturais.....	109
3.3.13 Blocos tectônicos hidrogeológicos.....	109
3.3.14 Espessuras do Sistema Aquífero Serra Geral.....	109
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	111
4.1 Camadas base para definição dos blocos geomorfoestruturais.....	111
4.1.1 Hipsometria.....	111
4.1.2 Sombreamento.....	112

4.1.3 Declividade.....	113
4.1.4 Composição raster.....	114
4.2 Definição das feições geomorfoestruturais.....	115
4.2.1 Feições lineares.....	115
4.2.2. Pré-blocos geomorfoestruturais.....	116
4.3 Refinamento geomorfoestrutural.....	118
4.3.1 Rede de drenagem.....	118
4.3.2 Lineamentos.....	119
4.3.3 Feições da rede de drenagem na Formação Serra Geral.....	121
4.3.4 Evolução geomorfológica.....	123
4.3.5 Seções transversais.....	125
4.3.5.1 Grupo 01 – região Sudeste.....	126
<i>Seção 03.....</i>	<i>127</i>
<i>Seção 04.....</i>	<i>128</i>
<i>Seção 12.....</i>	<i>129</i>
<i>Seção 18.....</i>	<i>130</i>
4.3.5.2 Grupo 02 – região Nordeste.....	132
<i>Seção 11.....</i>	<i>133</i>
<i>Seção 16.....</i>	<i>134</i>
<i>Seção 17.....</i>	<i>135</i>
4.3.5.3 Grupo 03 – região Centro.....	136
<i>Seção 05.....</i>	<i>137</i>
<i>Seção 07.....</i>	<i>138</i>
<i>Seção 13.....</i>	<i>139</i>
4.3.5.4 Grupo 04 – região Oeste.....	140
<i>Seção 01.....</i>	<i>141</i>
<i>Seção 21.....</i>	<i>142</i>
4.4 Mapa geomorfoestrutural.....	143
4.5 Espessuras do SASG.....	145
4.6 Espessuras do SAG.....	146
4.7 Blocos tectônicos hidrogeológicos.....	147
5 CONCLUSÃO.....	155
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	157
APÊNDICE A – Mapa de localização das toponímias.....	171
APÊNDICE B – Seções Transversais.....	175
Grupo 01 – Região Sudeste (Seções 03, 04, 12, 18 e 19).....	177

Grupo 02 – Região Nordeste (Seções 11, 16 e 17).....	189
Grupo 03 – Região Central (Seções 05, 07 e 13).....	197
Grupo 04 – Região Oeste (Seções 01 e 21).....	205
ANEXO A – Banco de dados hidroestratigráficos.....	211

1 INTRODUÇÃO

Esta tese foi desenvolvida no âmbito do Projeto Rede Guarani/Serra Geral – (RGSG), que leva este nome por estudar as áreas de ocorrência do Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral (SAIG/SG1¹) Wolkmer [coord], (2006) nos três estados da Região Sul do Brasil.

O SAIG/SG representa a integração de dois sistemas aquíferos, o Sistema Aquífero Guarani (SAG) e o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), que funcionam conjuntamente apesar de possuírem características distintas, notadamente a porosidade primária² das formações geológicas que o constituem.

A presente pesquisa tem como recorte espacial as porções com ocorrência do SAIG/SG no Estado de Santa Catarina (Figura 1) e buscou evidências para a detecção de deslocamentos e definição de compartimentações espaciais do SAIG/SG, utilizando-se de enfoques geomorfológico e geológico.

O SAIG/SG representa para as regiões sudeste, central e oeste do Estado de Santa Catarina, um importante reservatório de águas subterrâneas, que serve como recurso estratégico, utilizado para o abastecimento humano e dessedentação de animais, assim como para a agricultura e indústria. Estes usos atualmente ocorrem através de poços tubulares existentes nestas regiões (FREITAS et al., 2001) e (FREITAS et al., 2004).

1.1 HIPÓTESE

A presente pesquisa parte da hipótese que o Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral (SAIG/SG – Wolkmer [coord], 2006 e Scheibe; Hirata, 2008) apresentaria grandes deslocamentos verticais e dividir-se-ia espacialmente, e de que a visualização dessa divisão seria viabilizada por interpretação de feições geomorfológicas. Essa divisão

1 - SAIG/SG – É a sigla para Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral, foi denominado pela primeira vez por Wolkmer [coord], (2006) em ocasião da proposta do projeto intitulado “Rede Guarani/Serra Geral”. Posteriormente Scheibe; Hirata (2008) realizaram uma revisão sobre os sistemas aquíferos em questão no artigo: “O contexto tectônico dos sistemas aquíferos Guarani e Serra Geral em Santa Catarina: uma revisão”.

2 - As formações geológicas e suas porosidades primárias distinguem o SAG do SASG, sendo que o primeiro apresenta porosidade nos interstícios de seus grãos e o segundo apresenta porosidade fissural.

resultaria em grandes blocos delimitados por alinhamentos tectônicos e que apresentam características geomorfológicas e geológicas específicas. Em termos gerais, pressupõe-se que, apesar disso, o Sistema Aquífero Guarani (SAG) e o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) funcionam como um único grande sistema interligado verticalmente.

1.2 JUSTIFICATIVA E LOCALIZAÇÃO

A presente pesquisa justifica-se pela aplicação do enfoque geomorfológico aos estudos hidrogeológicos, na área e escala escolhidas para o trabalho, como contribuição para o conhecimento geocientífico.

O estudo das características e dinâmicas do ambiente natural sempre foram relevantes no âmbito da Geografia, consubstanciando-se no campo de ação da Geografia Física, na sua inerente visão holística das paisagens. Os recursos naturais em geral e os recursos hídricos, em particular, são elementos essenciais da paisagem, presentes no espaço geográfico (CHRISTOFOLETTI, 1989).

A água é o líquido essencial para vida e modelagem do espaço geográfico. Os seres vivos indistintamente são constituídos por água, e dela dependem para manutenção de sua saúde e sobrevivência realizando os mais variados usos e atividades sobre este recurso natural. Dentre as atividades que demandam maiores quantidades de água, pode-se destacar as atividades agrícolas e industriais. Elas dependem de grandes quantidades de água como insumo produtivo, sendo essas conforme a UNESCO³ as grandes consumidoras de água no mundo, em torno de 70% e 22%, respectivamente (UNESCO, 2003).

Recorrentemente, em ocasião de sua escassez ou poluição das águas, percebemos o quanto toda natureza depende deste recurso natural vital. A FAO⁴ projetou para o ano de 2050 uma redução da disponibilidade de água em condições de consumo em várias regiões, especialmente em países em desenvolvimento, apontando como a principal causa desta redução o consumo realizado pelo setor agrícola que é essencialmente desenvolvido em uma escala industrial (FAO e WWC, 2015).

A presente pesquisa busca aprofundar o entendimento sobre os recursos hídricos subterrâneos do Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral (SAIG/SG), presente nas regiões sudeste, central e oeste do Estado de Santa Catarina (Figura 1). Estas regiões constituem

3 - Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura;

4 - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura.

os pilares econômicos no setor agrícola (agronegócios), bastante ativos e em franco desenvolvimento e expansão.

O Brasil, apesar de possuir grande disponibilidade de água doce em estado líquido – conforme ANA (2002) cerca de 12% das reservas mundiais – deve, através de uma real e eficaz política de gestão dos seus recursos hídricos e ambientais, educar e conscientizar a sua população sobre a importância de proteger e preservar o meio ambiente natural, utilizando-se para tanto, de instrumentos gerenciais e de ações que permitam manter os padrões de qualidade adequados às necessidades de suas gerações futuras.

O interesse em estudar o SAIG/SG justifica-se pela importância em avançar o conhecimento e fomentar diretrizes para o planejamento e gestão para o uso coerente, além de gerar bases teóricas sobre os sistemas aquíferos.

O SAIG/SG constitui o principal reservatório de águas subterrâneas para uso e reserva estratégica, nas regiões sudeste, central e oeste do Estado de Santa Catarina, norte e noroeste do Rio Grande do Sul, oeste do Paraná e São Paulo, além do Sul do Mato Grosso do Sul e parte de outros estados e países da América do Sul incluídos na Bacia Sedimentar do Paraná (Figura 2).

A área de estudo (Figura 1) apresenta problemas relacionados ao planejamento e gestão dos setores usuários de água, em especial o agronegócio (potencial poluidor e grande consumidor de recursos hídricos), e vem sofrendo com processos de estiagem e contaminação que impactam negativamente os recursos hídricos superficiais e subterrâneos (FREITAS et al., 2003).

A área da pesquisa compreende cerca de (48.320,00 km²)⁵ do Estado de Santa Catarina, estendendo-se desde a região central até o oeste, onde é limitada pelo Rio Peperi-Guaçu, divisa entre o Estado de Santa Catarina - Brasil e a República da Argentina; A sul limita-se com o Estado do Rio Grande do Sul e ao norte com o Estado do Paraná (Figura 1).

5 - Área calculada usando-se o aplicativo QGIS (<http://qgisbrasil.org/>) e o Sistema de Informações Geográficas da tese.

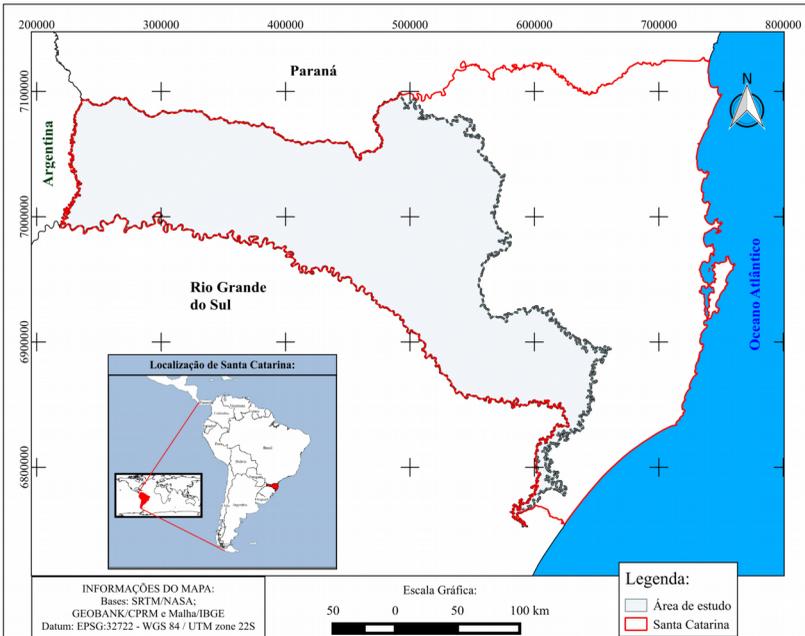


Figura 1 – Mapa de localização do Estado de Santa Catarina e da área de estudo. Fonte: Elaborado pelo Autor.

A gestão e planejamento dos recursos hídricos carece de bases teóricas e estudos específicos em escala regional para o SAIG/SG. A avaliação da vulnerabilidade intrínseca e risco à contaminações dos recursos hídricos subterrâneos inicia-se pelo entendimento do meio físico, geologia e as respostas geomorfológicas em superfície. A carência destas bases para o SAIG/SG motivou a realização desta pesquisa no âmbito do projeto Rede Guarani/Serra Geral.

As águas do SAIG/SG vêm sendo gradativamente mais explotadas, tanto por usuários privados quanto pelas companhias públicas de saneamento, especialmente através de poços tubulares. As águas subterrâneas de poços tubulares completados no SASG, representam segundo Scheibe; Hirata (2008, p. 2), para região oeste catarinense “[...] reserva de importância estratégica, não só para os usos no abastecimento público, como para dessedentação de animais, indústria e agricultura, bem como para o turismo, pelas suas características produtivas e geotermiais”. Estes autores seguem informando o quão importantes são os usos adequados e a gestão do

SASG no oeste catarinense para manter suas características naturais e microbiológicas:

[...] a proporção de aproveitamento das águas subterrâneas do SASG é muito maior do que aquela do Aquífero Guarani. É necessário, também, levar em consideração que, ao contrário do caráter quase totalmente confinado deste, as águas do Serra Geral são exploradas através de poços relativamente rasos e geralmente têm ligação direta com as águas da superfície. Isto as torna muito mais acessíveis, mas também muito mais vulneráveis aos processos de contaminação, tanto pelas próprias fraturas das rochas como, muitas vezes, devido a defeitos construtivos dos poços (SCHEIBE; HIRATA, 2008, p. 2).

A região oeste de Santa Catarina apresenta um desenvolvimento econômico dependente da disponibilidade de água subterrânea, pois boa parte dos municípios são abastecidos por águas do SASG (FREITAS et al., 2004, p. 4); dessa forma, é fundamental conhecê-la e gerenciá-la de forma planejada para as atuais e futuras gerações.

Mesmo com a reconhecida importância que o SAIG/SG possui para o Estado de Santa Catarina, até o presente momento não foi realizado nenhum estudo integrado de caracterização geológica, hidrogeológica e geomorfológica que envolva a área da presente pesquisa.

Esta lacuna de conhecimento sobre o SAIG/SG representar um fator limitante à seu planejamento e gestão adequados; concomitante com a falta de estudos integrados sobre esse sistema aquífero, existe grande carência na literatura geocientífica de dados cartográficos integrados sobre sua hidrogeologia e geomorfologia.

Os estudos e pesquisas para a caracterização e cartografia das geomorfoestruturas e compartimentos tectônicos do SAIG/SG no Estado de Santa Catarina-Brasil, apresentam caráter de ineditismo no enfoque metodológico, escala de detalhamento, abrangência e importância como base cartográfica e proporcionarão a base de referência para outros estudos e à gestão dos recursos hídricos.

1.3 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

O entendimento da distribuição espacial de sistemas aquíferos através do enfoque geomorfológico tem sido pouco relatado na

literatura, configurando uma lacuna de conhecimento geocientífico. Investir em pesquisas a fim de subsidiar e lançar luz ao entendimento destes sistemas, poderá representar um avanço no conhecimento e consequentemente servir como ferramenta para o planejamento, gestão para os devidos usos preponderantes e efetiva proteção dos recursos hídricos.

Concomitante à existência de poucos estudos sobre sistemas aquíferos, de dados geológicos, geomorfológicos e de recursos hídricos subterrâneos cartografados.

No Estado de Santa Catarina, o Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral (SAIG/SG) constitui um reservatório subterrâneo de grande importância ambiental e econômica (SCHEIBE; HIRATA, 2008).

Pesquisas realizadas sobre o Sistema Aquífero Guarani e o Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e São Paulo por Fraga (1992), Lisboa (1996), Freitas et al. (2001), Rosa Filho et al. (2003), Freitas et al. (2004), Portela Filho et al. (2005), Machado (2005), Fernandes [coord.] (2005), Soares et al. (2007), Nanni (2008), Nanni et al. (2009), Fernandes et al. (2012), em áreas semelhantes à da presente pesquisa, demonstraram que o SAG e o SASG representam reservatórios subterrâneos bastante complexos, com importantes misturas, relações e limitações estruturais, quantitativas e qualitativas das características físico-químicas de suas águas, principalmente devido a suas compartimentações estratigráficas, geométricas e tectônicas-estruturais.

A presente pesquisa buscou entender a distribuição espacial do SAIG/SG em Santa Catarina, e através de um conjunto de perguntas formulou-se o problema da pesquisa: Qual a configuração espacial do Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral em Santa Catarina? Como o SAIG/SG distribui-se espacialmente (vertical e horizontalmente)? A geomorfologia pode ser suporte para o entendimento desta configuração espacial e hidrogeológica?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

O objetivo geral da pesquisa foi propor uma metodologia a partir de informações geomorfológicas, geológicas e uso de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) para determinar as geomorfoestruturas e a compartimentação tectônica do SAIG/SG em Santa Catarina.

1.4.2 Objetivos Específicos

Elaborar um banco de dados dos contatos litológicos entre as formações geológicas Serra Geral e Botucatu;

Criar e analisar as camadas temáticas, seções transversais, blocos geomorfoestruturais, blocos tectônicos e hidrogeológicos e de espessuras do SAG e SASG;

Elaborar modelos geomorfológicos e definir blocos geomorfoestruturais e hidrogeológicos do SAIG/SG;

Contribuir para o avanço do conhecimento criando SIG e metodologia que subsidiem a gestão e planejamento dos recursos hídricos do SAIG/SG no Estado de Santa Catarina para médio e longo prazo.

1.5 ESTRUTURA DA TESE

Dividiu-se esta tese em capítulos a fim de facilitar o entendimento de suas partes:

No capítulo 1 INTRODUÇÃO, subdividido em 1.1 HIPÓTESE, 1.2 JUSTIFICATIVA E LOCALIZAÇÃO, 1.3 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA, 1.4 OBJETIVOS e a 1.5 ESTRUTURA DA TESE.

No capítulo Erro: Origem da referência não encontrada, realizou-se revisão das principais pesquisas e trabalhos envolvendo a temática da tese: geomorfologia, geologia e recursos hídricos na Bacia do Paraná.

No capítulo 3 METODOLOGIA DE TRABALHO, foi detalhada a estrutura da tese, além das etapas de levantamento das informações e da elaboração dos produtos cartográficos e seções transversais.

No capítulo 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES, foram apresentados os resultados e discussões da pesquisa.

No capítulo 5 CONCLUSÃO, registraram-se as principais conclusões e recomendações da tese.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo, apresenta a revisão de trabalhos anteriores que envolvem o objeto desta pesquisa - recursos hídricos (geografia, geologia e geomorfologia), procurando estabelecer um referencial teórico sobre o estado da arte no tocante a: geologia, hidrogeologia e geomorfologia. Os trabalhos revisados apresentaram, em geral, a fusão destes assuntos em suas referências e aplicações, a fim de alcançarem seus objetivos geoespaciais.

O referencial teórico foi dividido em quatro partes: 2.1 GEOLOGIA DA BACIA DO PARANÁ, 2.2 HIDROGEOLOGIA, 2.3 GEOMORFOLOGIA e 2.4 ESTRUTURAS TECTÔNICAS E REDE DE DRENAGEM.

2.1 GEOLOGIA DA BACIA DO PARANÁ

2.1.1 Histórico, definição e localização

A compreensão da origem e evolução tectônica da Bacia do Paraná, assim como das bacias intracratônicas de uma maneira geral, tem representado um grande desafio à comunidade geocientífica. A Bacia do Paraná constitui uma imensa região sedimentar da América do Sul, abrigando dentro de seus limites uma sucessão sedimentar-magmática com idades de ~470 a ~70 Ma⁶, portanto, apresentando ~400 Ma em registros estratigráficos (MILANI, 2004) e (MILANI et al. 2007).

Uma definição de Bacia do Paraná é descrita por Zálan et al. (1990 p. 136) “A Bacia do Paraná stricto sensu, é uma vasta bacia intracratônica sul-americana, desenvolvida completamente sobre crosta continental, e preenchida por rochas sedimentares e vulcânicas”.

A Bacia do Paraná localiza-se no Sudeste da América do Sul, e estende-se por quatro países: Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai; No Brasil, ela ocorre em oito estados da federação: Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Paraná, São Paulo, Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso (Figura 2).

6 - Ma é a abreviação usada para Milhões de anos (tempo geológico).

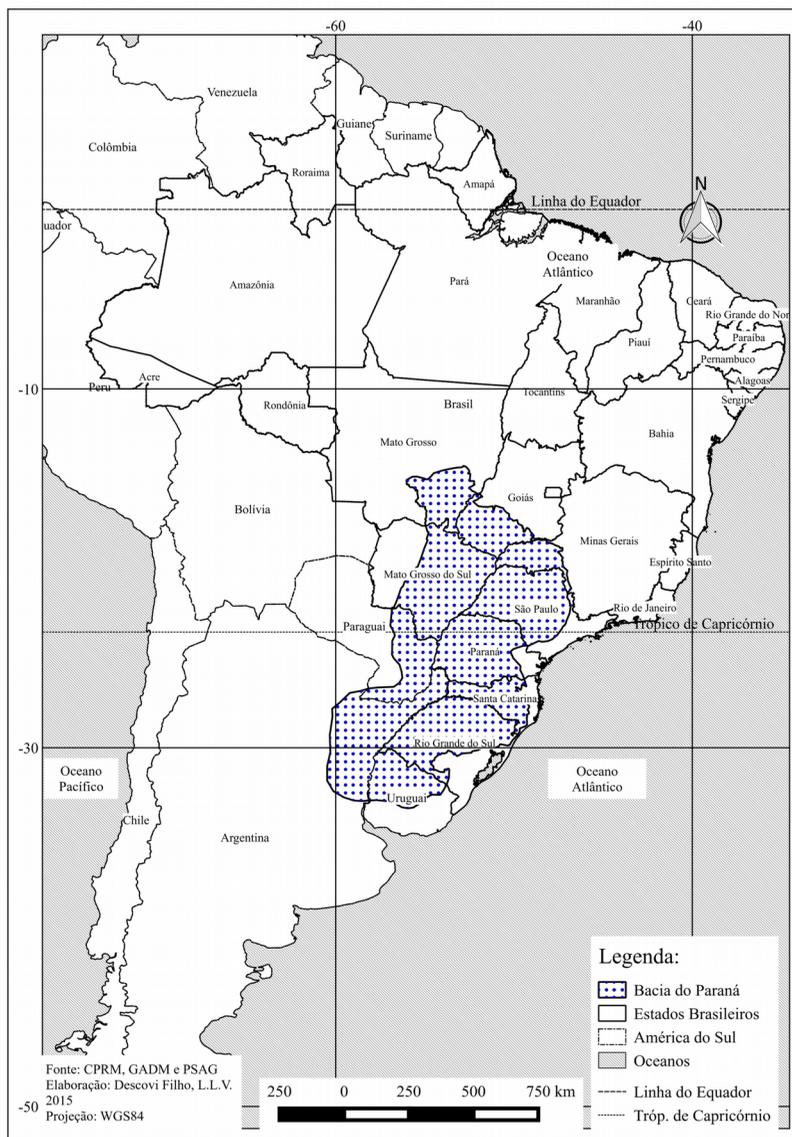


Figura 2 – Localização da Bacia do Paraná na América do Sul. Fonte: Elaborado pelo Autor.

2.1.2 Arcabouço tectônico e estratigráfico

A compreensão e revisão das principais pesquisas, trabalhos e projetos realizados sobre a bacia do Paraná é fundamental para o entendimento de sua tectônica, estratigrafia e conseqüentemente sobre sua geomorfologia.

Uma grande quantidade de trabalhos contribuiu para o entendimento do arcabouço tectônico e estratigráfico da Bacia do Paraná; destacamos aqui alguns dos principais trabalhos revisados, os quais foram realizados para área desta pesquisa: (SCHEIBE, 1986), (SCHEIBE; FURTADO, 1989), (ZALÁN, 1990), (FRASCA; LISBOA, 1993), (MILANI, 1994), (LISBOA, 1996), (MILANI; RAMOS, 1998), (ARTUR; SOARES, 2002), (MACHADO, 2005), (SCHEIBE, 2006), (MILANI et al., 2007), (SOARES et al., 2007), (SCHEIBE; HIRATA, 2008), (NANNI, 2008), (OEA, 2009), (JACQUES et al., 2010), (JACQUES et al., 2014) entre outros.

Segundo Lisboa (1996, p. 12): “O arcabouço geotectônico da bacia do Paraná, na borda sudeste do RS, está constituído por duas grandes feições geotectônicas, o Arco de Rio Grande e o Cinturão Dom Feliciano”:

1 - Arco de Rio Grande:

De acordo com Sanford & Lange (1960 apud LISBOA, 1996, p. 12) o Arco de Rio Grande “[...] representa um arqueamento crustal regional, estruturado desde o Paleozóico e transformado em sua forma atual no Mesozóico, com eixo de arqueamento na direção noroeste [...]”. Associada a este arco ocorre uma significativa faixa de fraturas noroeste descrita por Picada (1971 apud LISBOA, 1996, p. 12). O conjunto de arqueamento e fraturas recebem por Picada o nome de Sistema Arco e Falhas de Rio Grande; e

2 - Cinturão Dom Feliciano:

Definido por Fragoso-Cezar (1980 apud LISBOA, 1996, p. 13) como “um cinturão orogênico, encoberto e parcialmente exumado pela faixa leste da Bacia Sedimentar do Paraná. Associado a ele ocorrem diversas falhas de direção nordeste e Norte-Sul”.

De acordo com Fragoso-Cezar (1980 apud LISBOA, 1996, p. 13) as duas feições tectônicas apresentam continuidade sob a cobertura sedimentar da Bacia do Paraná. Estas zonas de fraqueza crustais (falhas, fraturas e arqueamentos) quando movimentadas e remobilizadas são as principais responsáveis pelo fraturamento do pacote rochoso da Bacia do Paraná.

Além das unidades tectônicas mencionadas, Lisboa (1996) reconhece para o Sudeste da Bacia outros dois controladores geotectônicos: Arco de Ponta Grossa e o Arco de Lagoa Vermelha, os quais poderiam afetar a área de estudo.

Importante contribuição recente foi realizada por Jaques et al. (2014), caracterizando a provável confirmação espacial do embasamento cristalino da Bacia do Paraná, cartografando a provável distribuição espacial dos Cinturões móveis e dos blocos cratônicos que a compõem (Figura 14).

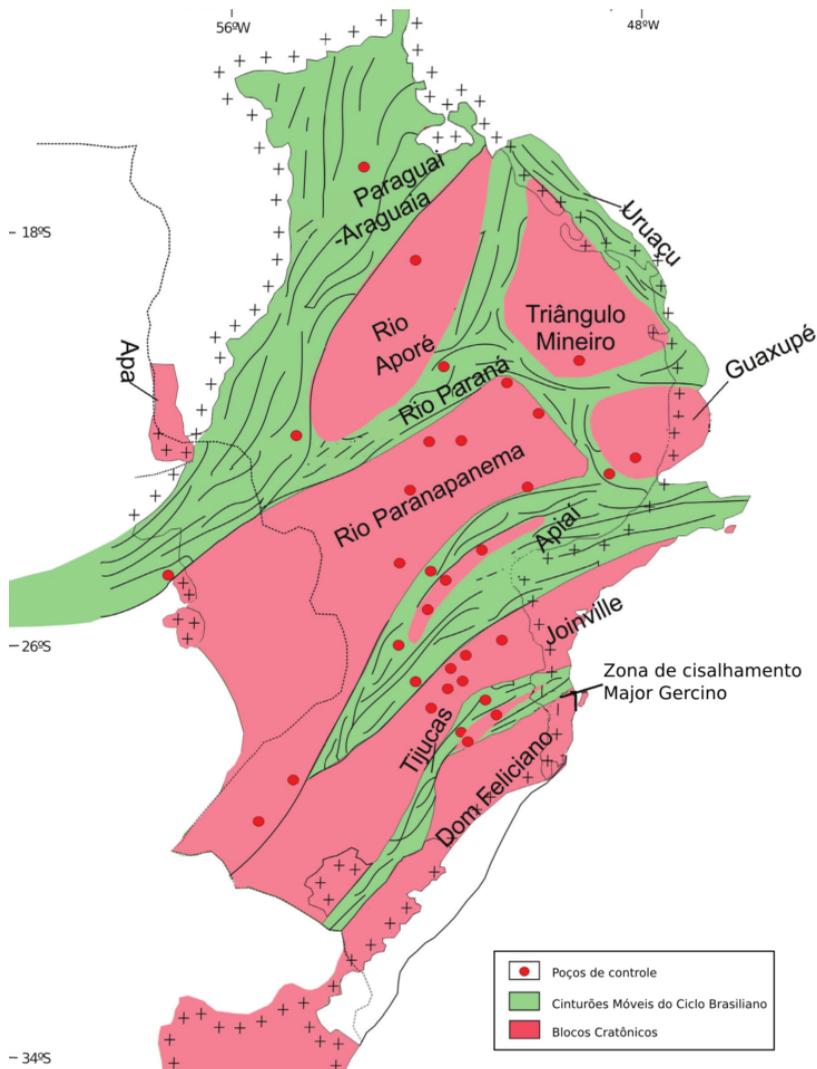


Figura 3 – Estrutura tectônica do substrato da Bacia do Paraná - Notar que o Cinturão Dom Feliciano (Fragoso-Cezar, 1980 apud LISBOA, 1996, p. 12) é considerado Bloco Cratônico no entendimento de Jacques et al. (2014). Estes últimos, baseiam-se na tese de Milani (1997). Fonte: modificado de Milani (1997 apud JACQUES et al., 2014, p. 42).

Os Cinturões Móveis do Ciclo Brasileiro, em especial o Cinturão Tijucas no extremo sudeste e o Cinturão Apiaí no centro sudeste da Bacia, estão estabelecidos na sua base, e configuram o embasamento da área de estudo. As movimentações que ocorreram no embasamento, ao longo do tempo geológico, afetaram⁷ o pacote de rochas da Bacia do Paraná de diversas maneiras, resultando em diferentes movimentos que afetam seus elementos tectônicos e estruturais (JACQUES et al., 2014).

Entre os resultados desta intensa movimentação, os elementos tectônicos lineares (lineamentos⁸), são predominantes, pela quantidade nas mais variadas direções, e associada a isso, a configuração de blocos e sub-blocos que compartimentam as formações geológicas da bacia (SOARES et al., 2007).

A Bacia do Paraná é dominada por lineamentos e ou elementos tectônicos lineares que se orientam em três direções principais de acordo com Zalán et al. (2007): NW-SE, NE-SW e E-W (Figura 4).

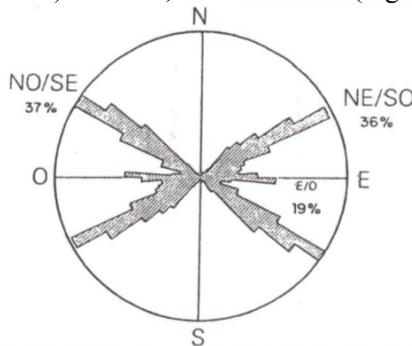


Figura 4 – Diagrama de roseta das extensões de lineamentos na Bacia do Paraná, obtido a partir de levantamentos aeromagnetométricos. Podem ser observados dois grupos de tendências principais: NW-SE (N45° -65° O) e NE-SW (N50° -70° E). Uma terceira tendência, subordinada, alonga-se segundo E-W (N85° -95° O). Fonte: Zalán et al. (1990, p. 144).

Notar que os lineamentos definidos por levantamento aeromagnetométricos para a Bacia do Paraná, apresentam influência

7 - Afetaram de várias formas sendo as principais os movimentos e rupturas das rochas constituintes da Bacia do Paraná.

8 - Para um adequado entendimento dos elementos tectônicos vale lembrar dos conceitos de lineamentos tectônicos, formas e tipos ver Capítulo 2.3.1.4. Lineamento, linha e alinhamento.

sobre o Estado de Santa Catarina (Figura 5) são os NW (8, 13 e 14); NE (20, 21, 22 e 23) e E-W (28)⁹.

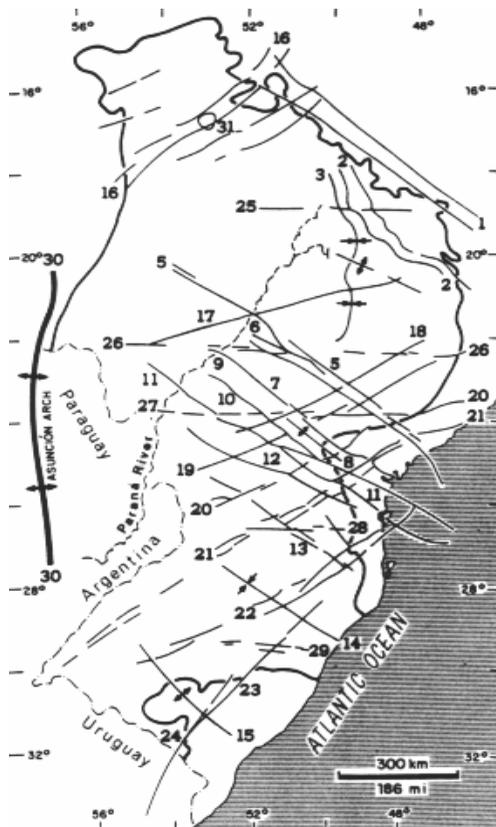


Figura 5 - Mapa do Arcabouço estrutural da Bacia do Paraná. Fonte: Zalán et al. (1990, p.139).

De acordo com Zalán et al. (1987 e 1991 apud JACQUES et al., 2010, p. 121):

9 - NW: (8 - Arco de Ponta Grossa, 13 - Zona de falha Caçador e 14 - Sinclinal de Torres); NE: (20 - Zona de falha Taxaquara, 21 - Zona de falha Lancinha-Cubatão, 22 - Zona de falha Blumenau-Soledade e 23 - Falha do Leão) e E-W: (28 - Lineamento Taquara Verde).

[...] das três direções estruturais preferenciais da bacia do Paraná: NW, NE e E-W, as orientações NW e NE são consideradas mais antigas e foram originadas a partir da reativação de zonas de fraquezas presentes em seu embasamento, recorrentemente ativas durante o Fanerozóico. Estas zonas de fraqueza influenciaram fortemente a paleogeografia, sedimentação e distribuição de fácies na bacia, bem como o desenvolvimento de estruturas tectonossedimentares. Os lineamentos E-W foram desenvolvidos durante a separação do Gondwana, ativos, portanto, a partir do Triássico, assim como muitas das falhas com orientação NW, enquanto aquelas de direção NE teriam permanecido inativas.(JACQUES et al., 2010, p. 121).

Importante aproximação ao entendimento dos alinhamentos foi realizada por Marques et al. (1993 apud MILANI, 2004, p. 270). Estes autores cartografaram elementos estruturais de orientação SW-NE relevantes, em especial no centro – sudeste de Santa Catarina e norte – nordeste do Rio Grande do Sul (Alto Três Pinheiros -Matos Costa; Baixo Tangará; Alto Marombas – Curitibaanos; Gráben Sul Marombas; Horst de Lages – Atanásio; Gráben Sul de Lages) todos de orientação SW-NE.

Hasui (2010, p. 160) definiu a ocorrência de três grábens que cortam o centro – sudeste Catarinense e nordeste – norte Gaúcho: Gráben Tangará, Gráben Sul – Marombas e Gráben Sul de Lages (Figura 6).



Figura 6 – Três Grábens no Sudeste (RS, SC e PR) e outros elementos tectônicos da Bacia do Paraná. Fonte: Hasui (2010, p. 160).

Outros autores definiram a ocorrência de estruturas tectônicas, com o Artur e Soares (2002) que afirmaram que determinados estilos estruturais contribuem decisivamente para a localização de acumulações econômicas de hidrocarbonetos, estes estilos segundo eles, estão relacionados a presença de algumas feições estruturais ou feições geomórficas (Figura 7).

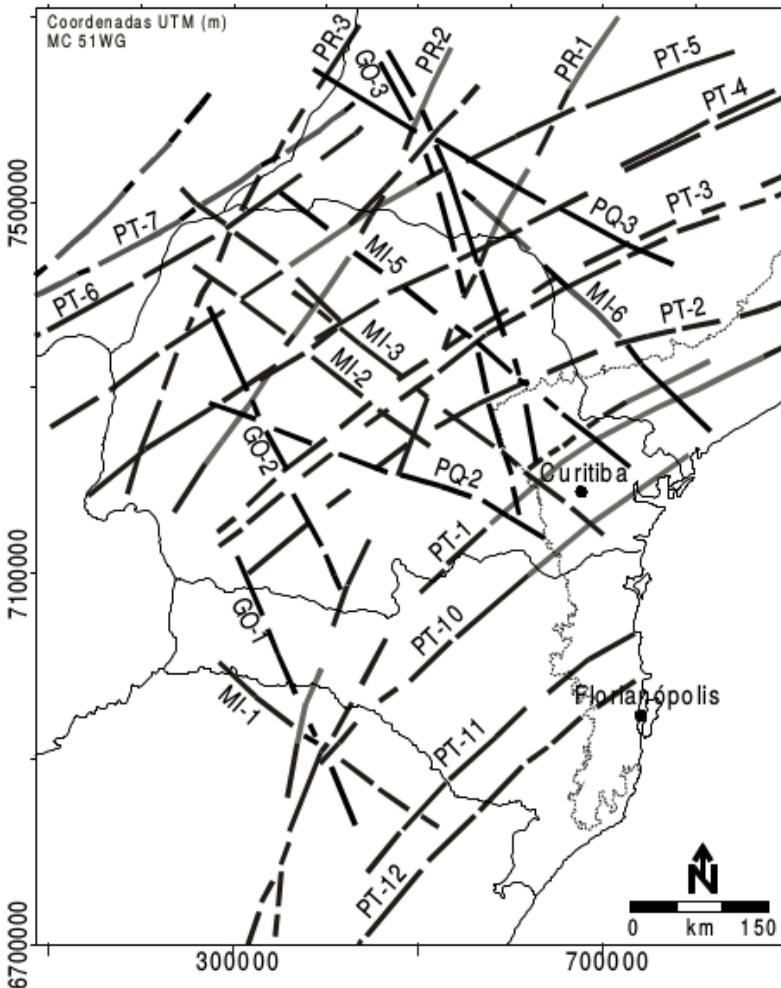


Figura 7 – Lineamentos geomórficos ou faixas estruturais, designados pela sua direção e um número sequencial. Fonte: Artur e Soares (2002 modificadas de Soares 1992).

Artur e Soares adotaram os lineamentos geomórficos e faixas estruturais já existentes e reordenaram conforme suas direções e em numeração sequencial. Nossa área de pesquisa apresentou influência de

pelo menos quatro diferentes direções/tipos de lineamentos geomórficos¹⁰: Médio Ivaí (MI-1), Goioxim (GO-1), Médio Paraná (PR-1) e Pitanga (PT-1, PT-10, PT-11 e PT-12).

Segundo estes autores estes lineamentos indicam a favorabilidade para ocorrência de acumulações de hidrocarbonetos na Bacia do Paraná.

2.1.3 Estratigrafia da Bacia do Paraná

Ismael Charles White, em 1908, com base nos afloramentos da Serra do Rio do Rastro, propôs uma coluna estratigráfica para as unidades gonduânicas da porção sudeste da Bacia do Paraná, esta que veio a ser denominada de Coluna White e que é aceita atualmente (ORLANDI FILHO, 2002).

Estudo mais recentes realizados por Vail et al. (1977 apud MILANI et al., 2007, p. 266). estabeleceram e detalharam as seis unidades de ampla escala ou Supersequências para a Bacia do Paraná: Rio Ivaí, Paraná, Gondwana I, Gondwana II, Gondwana III e Baurú.

Uma importante revisão estratigráfica da Bacia do Paraná foi realizada por Schneider et al. (1974) apud Milani et al. (2007) sintetizando e sistematizando o conhecimento estratigráfico até então existente. Posteriormente Milani et al. (op cit.) atualizaram a coluna estratigráfica da Bacia do Paraná.

2.1.4 Estratigrafia de Santa Catarina

No mapa geológico do Estado de Santa Catarina DNPM (1986), escala 1:500.000, apresenta nove unidades tectono-estruturais para a geologia do Estado: cinturão móvel; greenstone belt; núcleos graníticos; domos graníticos; granitóides; cobertura dobrada de plataforma; cobertura fanerozóica; intrusões alcalinas e cobertura costeira e Bacia de Pelotas (HORN FILHO, 2003).

Um recorte da coluna estratigráfica desde o Paleozóico até o Cenozóico apresentado no mapa do DNPM (1986) mostra 11 formações geológicas além da ocorrência de diques de diabásio, corpos alcalinos e sedimentos recentes conforme a (Figura 8 e Tabela 1).

10 - Médio Ivaí (correspondente à direção N50°±10°W; direção dos enxames de diques de diabásio.), Goioxim (N20°±10°W; lineamentos sem diques), Médio Paraná (N35°±10°E; direção de grandes estruturas do embasamento) e Pitanga (N55°±10°E; direção das grandes zonas de falhas do embasamento, frequentemente com pequenos diques na bacia).

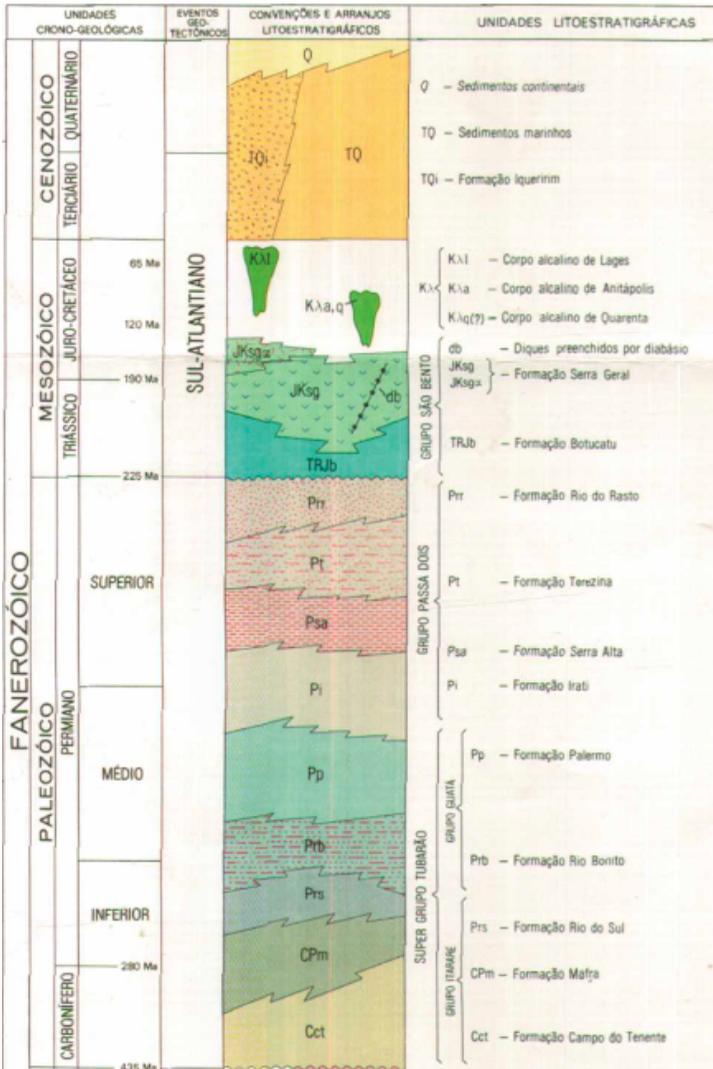


Figura 8 – Unidades Litoestratigráficas da Bacia do Paraná até o Cenozóico, ocorrentes no Estado de Santa Catarina. Fonte: CPRM (1986).

Tabela 1 – Unidades litoestratigráficas da Bacia do Paraná e mais recentes ocorrentes em Santa Catarina: Idade, grupo e siglas. Fonte: DNPM (1986).

	Idade (em Ma)	Grupo	Sigla da unidade	Unidades Litoestratigráficas
+ R E C E N T E S	-	-	Q	Q – Sedimentos continentais
	-	-	TQ	Sedimentos marinhos
	-	-	Tqi	Formação Iqueririm
	65	-	Kλ1	Corpos alcalinos Lages
	-	-	Kλa	Corpos alcalinos Anitápolis
	-	-	Kλq(?)	Corpos alcalinos de Quarenta
B A C I A D O P A R A N Á	120	São Bento	db	Fraturas preenchidas por diques diabásio
	-	São Bento	Jksg	Formação Serra Geral (SASG)
	190	São Bento	Jksg	
	-	São Bento	TRJb	Formação Botucatu (SAG)
	225	Passa Dois	Prr	Formação Rio do Rasto
	-	Passa Dois	Pt	Formação Terezina
	-	Passa Dois	Psa	Formação Serra Alta
	-	Passa Dois	Pi	Formação Irati
	-	Super Grupo Tubarão/Grupo Guatá	Pp	Formação Palermo
	-	Super Grupo Tubarão/Grupo Guatá	Prb	Formação Rio Bonito
-	Super Grupo Tubarão/Grupo Itararé	Prs	Formação Rio do Sul	

	Idade (em Ma)	Grupo	Sigla da unidade	Unidades Litoestratigráficas
	280	Super Grupo Tubarão/Guatá	CPm	Formação Mafra
	435	Super Grupo Tubarão/Guatá	Cct	Formação Campo do Tenente

Analisando-se a (Tabela 1) apresentada anteriormente, é possível observar a ausência das Formações Pirambóia e Santa Maria na coluna litoestratigráfica de Santa Catarina. Ela faz parte do SAG no Rio Grande do Sul, e em Santa Catarina encontra-se ausente. As unidades litoestratigráficas Formação Serra Geral e a Formação Botucatu estão marcadas em **negrito**, elas compõem respectivamente o SASG e o SAG em Santa Catarina.

A geologia de Santa Catarina, pode ser dividida em cinco províncias (de leste para oeste com suas respectivas idades): (i) Província Costeira com sedimentos Quaternários, (ii) Escudo Catarinense (Arqueana, Proterozóica e Cambriana - até 550 Ma), (iii) rochas sedimentares da Bacia do Paraná (entre 440 e 140 Ma), (iv) Planalto Serra Geral com as vulcânicas da Formação Serra Geral (\pm 130 Ma) e (v) Complexo Alcalino do Domo de Lages (\pm 65-70 Ma) e Anitapólis (ZALÁN et al., 1990) e (HORN FILHO, 2003).

A presente pesquisa encontra-se inserida na Bacia do Paraná em áreas de ocorrência das rochas sedimentares da Formação Botucatu e os derrames da Formação Serra Geral.

A Formação Serra Geral, de ocorrência no Centro e Oeste de Santa Catarina, foi anteriormente pesquisada por vários autores. Entre os trabalhos mais recentes, podemos destacar os mapas hidrogeológico e geológico do Estado de Santa Catarina (CPRM, 2012 e 2014).

O projeto PROESC¹¹, abrangeu a escala regional, com detalhamentos até 1:100.000, mencionando sete unidades litoestratigráficas relacionadas ao magmatismo Serra Geral do oeste Catarinense: Basaltos Alto Uruguai; Dacitos Machadinho; Basaltos Campos Novos; Ácidas Palmas/Caxias; Ácidas Chapecó; Basaltos Cordilheira Alta; Basaltos Campo Erê.

11 - Projeto Diagnóstico dos recursos hídricos subterrâneos do Oeste do Estado de Santa Catarina - Projeto Oeste de Santa Catarina (FREITAS et al., 2003).

A espessura das isópacas acumuladas (Formações Botucatu + Pirambóia + Rosário do Sul)¹² pode chegar a mais de 400 metros no extremo oeste catarinense (Tabela 9), enquanto que a Formação Serra Geral chega a valores próximos de 1000 metros (ZALÁN et al., 1990).

A Formação Serra Geral apresenta quase ausência de níveis-guia, com características mesoscópicas distintas e de expressiva continuidade lateral, razão pela qual ainda não tenha sido até o momento subdividida formalmente, Freitas et al. (2003), já apresentam uma proposta de subdivisão da Formação Serra Geral que teve nomenclatura modificada no Mapa Geológico de Santa Catarina CPRM (2014).

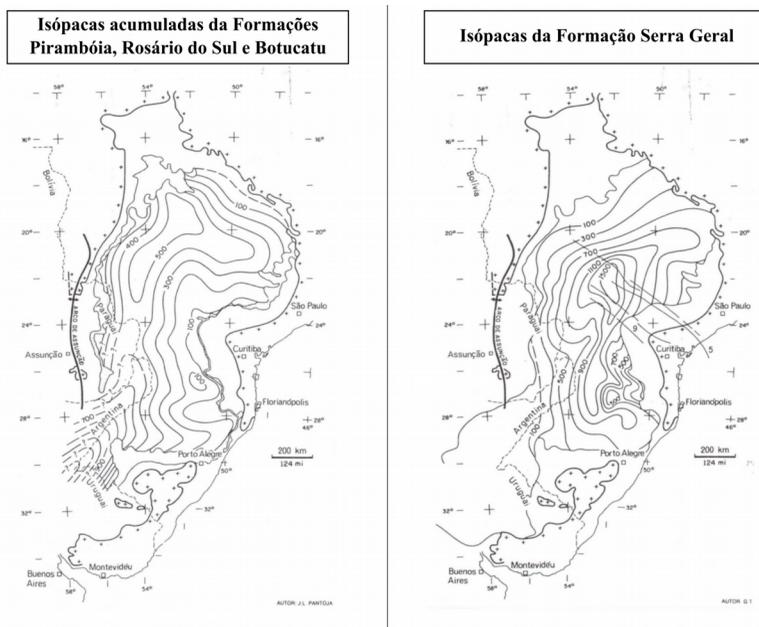


Figura 9 – Mapa das isópacas acumuladas das Formações Botucatu + Pirambóia + Rosário do Sul (esquerda) e Mapa das isópacas da Formação Serra Geral (direita) - As linhas finas representam importantes zonas de falhas. Fonte: Zalán et al. (1990, p. 158 e 159).

As Cartas Geológicas do Brasil ao Milionésimo, Folhas SG. 22 – Curitiba e SH. 22 – Porto Alegre representam também um importante

12 - O mapa geológico de Santa Catarina CPRM (2014), não registra a ocorrência das Formações Pirambóia e Rosário do Sul.

documento norteador da geologia da região em escala pequena (1:1.000.000). Em recorte realizado nesta carta geológica (Figura 10), para este de Santa Catarina, foram encontradas nove (9) unidades litoestratigráficas aflorantes: Pós-SAIG/SG (Depósitos Aluvionares); SAIG/SG (Formação Botucatu, Formação Serra Geral, Fácies Campo Erê, Fácies Caxias, Fácies Chapecó, Fácies Esmeralda, Fácies Gramado e Fácies Paranapanema) (BIZZI et al., 2003) e (CPRM, 2004).

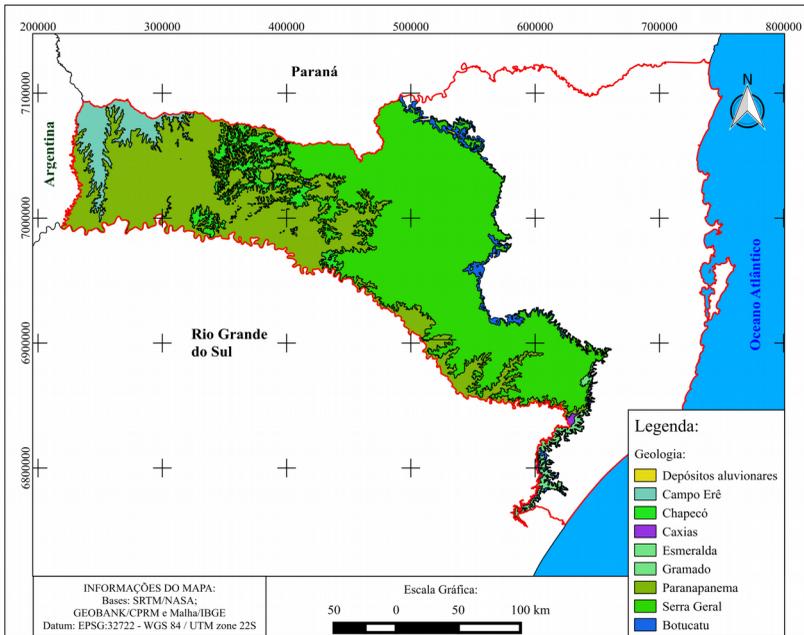


Figura 10 – Mapa Geológico da área de estudo. Compilado da Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo da CPRM, Folhas SG. 22 – Curitiba e SH. 22 – Porto Alegre. Fonte: Modificado de (BIZZI et al., 2003 e CPRM, 2004).

Este mapa geológico foi utilizado nesta pesquisa.

2.2 HIDROGEOLOGIA

Apresentaremos alguns conceitos considerados básicos em hidrogeologia, para posteriormente apresentar estudos anteriores sobre os sistemas aquíferos presentes na área desta pesquisa ou imediações.

2.2.1 Conceitos básicos em hidrogeologia

Para dar mais clareza, iniciaremos conceituando água subterrânea como aquela “água que ocupa a zona saturada do subsolo.” (UNESCO, 1992 apud ANA, 2015, p. 05).

Outros três termos básicos em hidrogeologia são os de Aquífero, Aquiclude e Aquitardo. Vários autores conceituaram esses termos, apresentaremos a conceituação de diferentes publicações, épocas e países que trazem informações em comum a respeito destes conceitos primordiais. Para Freeze e Cherry (1979):

Um aquífero é melhor definido como uma unidade geológica permeável saturada que pode transmitir quantidades significativas de água sob gradientes hidráulicos comuns. Um aquiclude é definido como uma unidade geológica saturada que é incapaz de transmitir quantidades significativas de água sob gradientes hidráulicos comuns. [...] Nos últimos anos, o termo aquitardo foi cunhado para descrever as camadas menos permeáveis em uma sequência estratigráfica. Estas camadas podem ser suficientemente permeável à água transiente em quantidades que são significativas no estudo de fluxo das águas subterrâneas regional, mas a sua permeabilidade não é suficiente para permitir a conclusão de poços de produção dentro deles (FREEZE E CHERRY, 1979, p. 46).

Para Feitosa e Manoel Filho (2000, p. 22), o termo Aquífero refere-se a: “uma formação geológica que contém água e permite que quantidades significativas dessa água se movimentem no seu interior em condições naturais.” Para exemplos de aquíferos, os autores citam formações permeáveis, como as areias e os arenitos. Aquiclude: “é uma formação que pode conter água (até mesmo em quantidades significativas), mas é incapaz de transmiti-la em condições naturais.” um exemplo de aquiclude colocado por esse autor são formações impermeáveis, como as camadas de argila¹³. Estes mesmos autores conceituam Aquitardo como:

13 - Exemplo de camada de argila é o Membro Alemoa da Formação Santa Maria ou Unidade Hidroestratigráfica Alemoa, que ocorre na região central do Rio Grande do Sul.

Uma camada ou formação semi-permeável, delimitada no topo e ou na base por camadas de permeabilidade muito maior. O aquífero tem o comportamento de uma membrana semi-permeável através da qual pode ocorrer infiltração vertical ou drenagem (FEITOSA E MANOEL FILHO, 2000, p. 22).

Algumas relações hidrogeológicas básicas entre aquífero, aquífero, a classificação da permeabilidade em metros por dia e os tipos de materiais envolvidos estão sintetizadas na (Figura 11).

Permeabilidade m/dia	10 ⁶	10 ⁵	10 ⁴	10 ³	10 ²	10 ¹	10 ⁰	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴
Classificação da Permeabilidade	Impermeável		Pouco Impermeável		Pequena Impermeabilidade		Permeável		Muito Permeável		
Classificação Hidrogeológica	Aquicludo		Aquitardo		Aquífero Pobre		Aquífero Regular a Bom		Aquífero Excelente		
Tipos de Materiais	Argilitos Ardósias Granitos		Siltito Siltito Arenoso Argilitos		Areia Fina Siltito Areia Siltito Calcário Fraturado		Areia Limpa Conglomerado Arenoso Areia Fina		Seixos Limpos		

Figura 11 – Definições e relações hidrogeológicas básicas. Fonte: Modificado de DAEE/USP, (1992 apud MACHADO, 2005, p.57).

Quando formações geológicas de rochas duras estão intensamente fraturadas, como no caso dos basaltos, elas podem constituir aquíferos fraturados. A (Figura 12) ilustra as diferentes classificações para unidades hidrogeológicas conforme variação de suas características de porosidade e condutividade hidráulica (permeabilidade).



Figura 12 – Classificação das unidades hidroestratigráficas de acordo com suas características de porosidade e permeabilidade. Fonte: DAEE/USP (1992 apud Machado, 2005, p. 57).

Laney e Davidson (1986) elaboraram importantes diretrizes para nomenclatura de aquíferos que levam em conta as classificações e relações apresentadas anteriormente (Figura 11) e (Figura 12). Para esses autores o requisito essencial para avaliar as propriedades hidrológicas dos materiais da terra in-loco é definir e mapear unidades hidrogeológicas, drenantes e confinantes, com base em sua permeabilidade relativa (LANEY; DAVIDSON, 1986).

Ao se seguir uma ordem de grandeza hidrogeológica pode-se usar três designações distintas: zonas aquíferas, aquíferos e sistemas aquíferos (LANEY; DAVIDSON, 1986).

Uma zona é usada para parte de um aquífero com características hidrogeológicas particulares. Aquífero corresponde a uma formação, grupo de formações ou uma parte de uma formação com materiais suficientemente permeáveis que fornecem água subterrânea (LANEY; DAVIDSON, 1986).

Um **sistema aquífero** foi definido originalmente por Poland e outros como:

Um corpo heterogêneo de material permeável e intercalado por pouco permeável que funciona regionalmente como uma unidade hidráulica produtora de água, que compreende duas ou mais camadas permeáveis [aquíferos] separadas pelo menos localmente por aquípardos [unidades confinantes] que impedem o movimento da água do solo, mas não afetam grandemente a continuidade hidráulica regional do sistema

(POLAND et al. 1972 apud LANEY; DAVIDSON, 1986, p. 66) .

A definição de Poland e outros seria mais geral, se o termo "aquíferos" fosse utilizado em lugar de "camadas permeáveis". "Camada" implica uma única unidade estratigráfica, ao passo que o aquífero individual poderia incluir ou atravessar muitas "camadas". "Unidades Confinantes" deve ser usada em vez de "aquitardo" porque a definição de unidade confinante é suficientemente ampla para incluir diferentes graus de "drenança." (LANEY; DAVIDSON, 1986)

A hierarquia dos nomes de aquíferos e sistema aquífero podem não ser sempre consistente na prática. Devido às diferenças em escalas de investigações, diferentes autores podem combinar aquíferos individuais em um único sistema aquífero, que pode ser apenas uma parte de outro sistema de aquífero ainda maior de uma área maior. Os autores são responsáveis por explicar claramente essas relações por meio de gráficos de comparação e descrições em texto (LANEY; DAVIDSON, 1986).

Uma abordagem integrada dos sistemas hidrológicos permite definir, com maior segurança, as relações entre sistemas aquíferos e sistemas hidrográficos e, conseqüentemente, a estimativa da potencialidade ou potencial de água subterrânea, seja em termos de sistema aquífero, seja em termos sistema/bacia hidrográfica, a unidade de planejamento e gestão dos recursos hídricos (Lei 9.433/1997) (ALBUQUERQUE; RÊGO, 2013). Albuquerque e Rêgo (op. cit., p. 2) definiram sistema aquífero como: "uma estrutura hidrogeológica organizada, bem delimitada, o qual se relaciona com o meio exterior representado pelos sistemas meteorológicos, hidrográfico e oceanográfico, todos componentes do ciclo hidrológico". Incorporam uma conceituação moderna que insere o aspecto da gestão e integração sistêmica da água.

Na presente pesquisa nos deparamos com diferentes realidades em campo com a presença de aquíferos, aquícludes e aquitardes pertencentes a duas unidades hidrogeológicas maiores: 1) Sistema Aquífero Guarani (SAG); 2) Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) e a uma unidade hidrogeológica que apresenta uma ordem de grandeza ainda maior, o Sistema Aquífero Integrado Guarani Serra Geral (SAIG/SG) (SCHEIBE; HIRATA, 2008) denominado por estes autores a

partir de uma visão integrada das unidades hidrogeológicas anteriores (1 e 2).

2.2.2 Estudos Hidrogeológicos na Bacia do Paraná

Assim como os estudos estratigráficos e tectônicos da Bacia do Paraná, seus principais sistemas aquíferos¹⁴ foram objeto de inúmeros projetos, pesquisas e trabalhos científicos. Destacaremos a seguir alguns estudos de referência sobre as unidades geotectônicas, morfotectônicas, compartimentações tectônicas-estruturais e hidroquímicas destes sistemas aquíferos.

A tese de livre docência do Prof. Aldo Cunha Rebouças apresentada em 1976 e intitulada: Recursos hídricos subterrâneos da Bacia do Paraná: análise de pré-viabilidade pode ser considerada um marco nos estudos hidrogeológicos da Bacia do Paraná. Rebouças realizou o estudo detalhado das condições hidrogeológicas das águas subterrâneas dos dois principais aquíferos segundo ele (Aquíferos Botucatu e Bauru) e das denominadas “zonas aquíferas da Formação Serra Geral”, avaliando as reservas reguladoras e permanentes dos aquíferos, recursos exploráveis e parâmetros hidrodinâmicos do então denominado Sistema Aquífero Botucatu, atual Sistema Aquífero Guarani.

O principal estudo disponível na literatura geológica com importância hidrogeológica, por definir uma sequência de lineamentos tectônicos no limite leste das Formação Serra Geral e Botucatu, portanto dos principais sistemas aquíferos do Estado de Santa Catarina foi realizado por Scheibe e Furtado (1989). Demonstraram além da importância destes alinhamentos junto as áreas de ocorrência dos afloramentos destas formações geológicas, como a “endentação ocasionada pela sobre-elevação do Domo de Lages uma das principais evidências de uma tectônica de blocos que afetaria toda a porção oriental do estado”.

Estudos realizados nos sistemas aquíferos SAG e SASG pelo Professor de Hidrogeologia Nelson Amoretti Lisboa do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, notadamente sua tese de doutorado intitulada “Fácies e estratificações hidrogeoquímicas e seus controladores geológicos em unidades hidrogeológicas do SASG, Bacia do Paraná, Rio Grande do Sul” ele considerou quatro unidades geotectônicas com as principais

14 - Sistemas Aquíferos da Bacia do Paraná com ocorrência na área de estudo (Santa Catarina).

controladoras gerais ou continentais da diferenciação hidrogeológica e hidrogeoquímica no sul da Bacia do Paraná, especialmente no Rio Grande do Sul (1- Cinturão Dom Feliciano; 2-Arco de Rio Grande; 3-Sinclinal de Torres e 4-Arco de Lagoa Vermelha). Sua influência é verificada na distribuição das unidades morfotectônicas, nas características das formas e padrões morfoestruturais e da geomorfologia estrutural de cada unidade morfotectônica individualizada (LISBOA, 1996).

O Arco de Lagoa Vermelha, influencia na distribuição geométrica do Sistema Aquífero Serra Geral e Guarani:

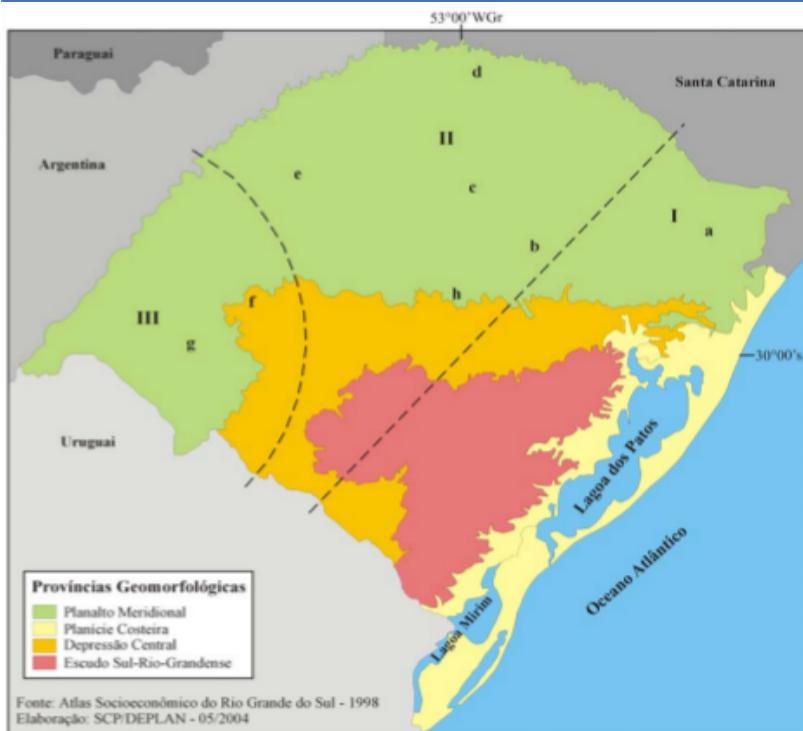
O soerguimento das duas unidades na área ocasionou a dissecação da Formação Serra Geral no eixo de arqueamento, possibilitando que os poços tubulares perfurados na região atingissem a zona de interconexão hidráulica e hidrogeoquímica dos dois sistemas (LISBOA, 1996, p.16).

Lisboa salienta ainda os fundamentos, parâmetros e estabeleceu unidades, que:

[...] leva em conta que a compartimentação hidrogeológica dos aquíferos Serra Geral e Botucatu no Rio Grande do Sul deve apoiar-se em fundamentos de ordem: Litológica; Geotectônica; Morfotectônica; Morfoestrutural e Geomorfológica, na medida que estes parâmetros controlam a: Recarga; Armazenamento; Fluxo e a Descarga aquífera dos dois sistemas. [...] A classificação regional na subdivisão dos sistemas aquíferos (termo de máxima amplitude) em unidades hidrogeológicas-geomorfológicas diferenciadas por um lado pela suas características morfotectônicas e, por outro, pelos seus aspectos litológicos, resultando oito unidades hidrogeológicas distintas (LISBOA, 1996, p. 42).

Através de duas grandes linhas (alinhamentos), Lisboa estabeleceu três unidades morfotectônicas do Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul (Fachada Atlântica, Abóbas Central e Oeste) e as oito unidades hidrogeológicas (a- ácidas aplainadas, b- ácidas dissecadas; c- básicas mamelonadas; d- básicas densamente

dissecadas, e- básicas dissecadas; f- arenitos circundenudados; g- básicas aplainadas e; h- escarpadas) definidas por Lisboa (1996) (Figura 13) e (Tabela 2).



Unidades Morfotectônicas	Unidades Hidrogeológicas	Regiões Litológicas
I - Fachada Atlântica	a - ácidas aplainadas b - ácidas dissecadas	A - Efusivas Ácidas
II - Abóbada Central	c - básicas mamelonadas d - básicas densamente dissecadas e - básicas dissecadas	B - Efusivas Básicas
III - Abóbada Oeste	f - arenitos circundenudados g - básicas aplainadas h - escarpadas	C - Efusivas Básicas - Arenitos

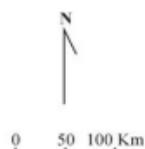


Figura 13 – Unidades Morfotectônicas (3) e Hidrogeológicas (8) da Formação Serra Geral e Províncias Geomorfológicas do Rio Grande do Sul. Fonte: Machado (2005, p. 37 modificado de Lisboa (1996, p. 43).

Tabela 2 – Classificação das Unidades Morfotectônicas e Hidrogeológicas da Formação Serra Geral. Fonte: Lisboa (1996, p. 43).

Unidades Morfotectônicas	Unidades Hidrogeológicas	Regiões Litológicas
I – Fachada Atlântica	a – ácidas aplainadas b – ácidas dissecadas	A – Efusivas Ácidas
II – Abóbada Central	c – básicas mamelonadas d – básicas densamente dissecadas e – básicas dissecadas	B – Efusivas Básicas
III – Abóbada Oeste	f – arenitos circundesnudados g – básicas aplainadas	C – Efusivas Básicas - Arenitos
	h - escarpadas	

Outro importante estudo hidrogeológico realizado em Santa Catarina, foi o Projeto Oeste de Santa Catarina – PROESC (FREITAS et al., 2003). Neste trabalho foram cadastradas¹⁵ e analisadas as águas de poços do “Aquífero Fraturado Serra Geral”, detectando que estas águas permitem o abastecimento múltiplo em comunidades rurais, pequenas sedes urbanas e até áreas industriais (FREITAS et al., 2003).

Segundo Freitas et al. (2003), o termalismo e a hidroquímica são diagnósticos da interligação entre o Aquífero Fraturado Serra Geral e os aquíferos subjacentes (Guarani). O termalismo ocorrendo no aquífero fraturado e águas típicas de área de recarga (bicarbonatadas) ocorrendo no Aquífero Guarani confinado, são indicativos de misturas de águas e interligação entre estes aquíferos já detectadas por estes autores.

Machado (2005) realizou em sua tese de doutorado uma importante contribuição para o estudo da hidrogeologia do Rio Grande do Sul, nela ele considera a influência que os grandes Sistemas de Falhas no estado, produzem na estruturação espacial e hidroestratigráfica do SAG, admitindo a compartimentação do SAG, em especial de seu topo (Formação Botucatu). O entendimento deste autor, pode ser estendido a outros setores da Bacia do Paraná.

15 - Nesse projeto foram cadastrados cerca de 2836 pontos de captação de água; sendo 12 poços escavados, 101 fontes e 2723 poços tubulares.

Para tanto, Machado (op. cit.) estabeleceu quatro compartimentos para o SAG no Rio Grande do Sul: 1- Leste; 2- Oeste; 3- Central – Missões e; 4- Norte – Alto Uruguai. Separados por três Sistemas de Falhas: a) Dorsal Canguçu, b) Terra de Areia-Posadas e; c) Jaguari-Mata.

Entre os compartimentos definidos por Machado, os quais apresentam maior importância para nosso estudo são: 1- Leste e o 4- Norte – Alto Uruguai, devido sua vizinhança com Santa Catarina. Já o Sistema de Falha Dorsal Canguçu (SFDC) (Figura 14) é o que apresenta maior importância, pois segue a mesma direção do Cinturão Dom Feliciano, adentrando o Estado Santa Catarina em direção Nordeste próximo a Lages, sendo localmente representado pela Falha Leão (SFDC).

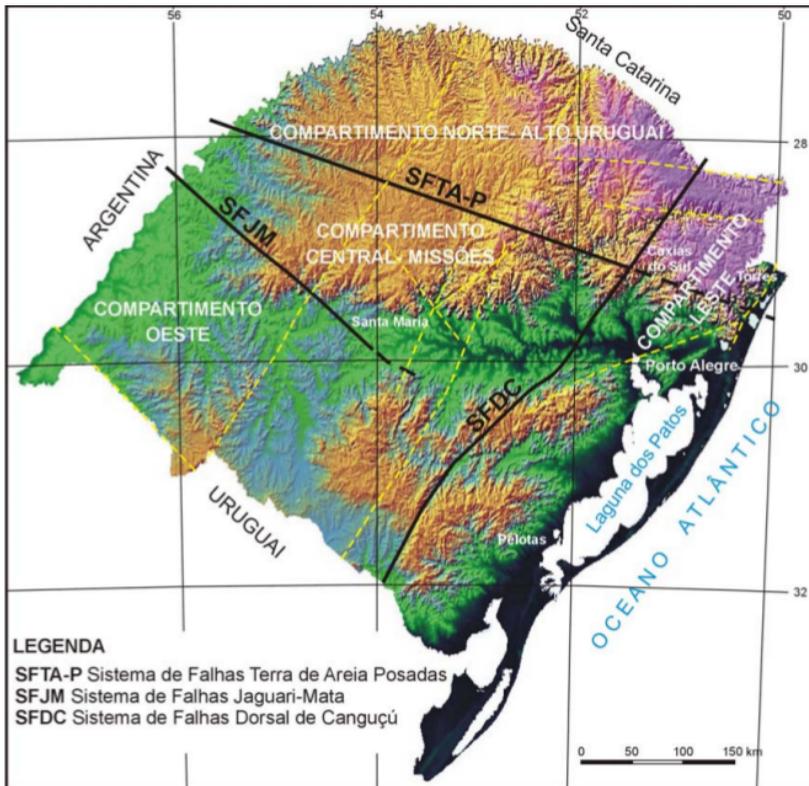


Figura 14 – Subdivisão espacial do SAG no RS: Quatro (4) compartimentos estruturais e grandes estruturas que não afetam sua hidrostratigrafia. Fonte: Machado (2005).

Notar na (Figura 14) que o autor coloca na legenda original “grandes estruturas que **não** afetam sua hidrostratigrafia”, colocação com a qual discordamos. Na chamada área de influência do Sistema de falhas Dorsal Canguçu (SFDC) Machado definiu uma seção geológica esquemática entre o Rio Grande do Sul e Santa Catarina, nesta seção é possível notar a grande diferença entre as cotas do topo do SAG nos dois estados, marcada pela Falha do Leão que compartimenta em dois o perfil 1- Leste (direita) e o perfil 2 - Norte - Alto Uruguai (esquerda) (Figura 15).

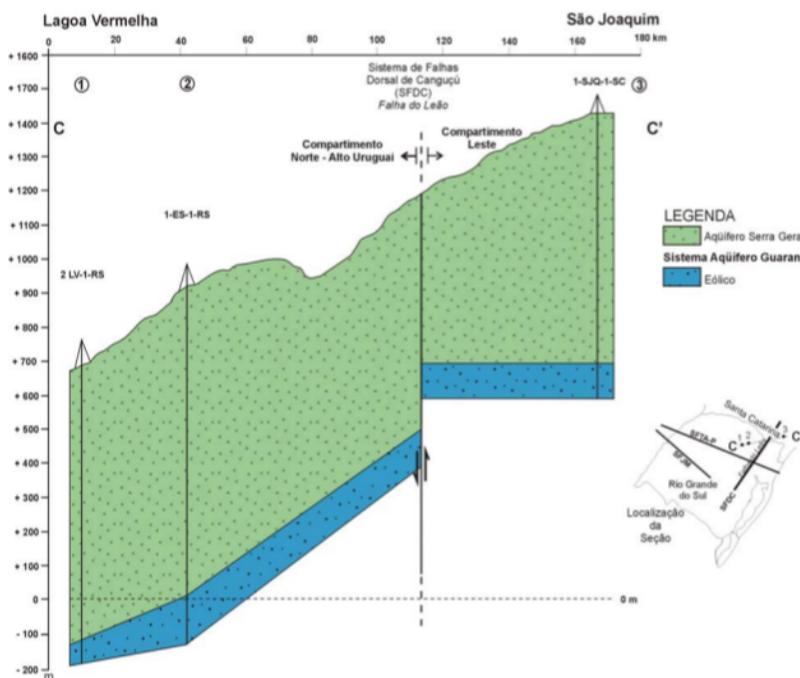


Figura 15 – Seção geológica esquemática entre o Rio Grande do Sul e Santa Catarina, notando-se a grande diferença entre as cotas do topo do SAG nos dois estados, devido à compartimentação tectônica Leste e Norte - Alto Uruguai. Fonte: Machado (2005).

Percebe-se através da seção geológica a plotagem de apenas uma falha (SFDC – falha do Leão) entre Lagoa Vermelha e São Joaquim em 180 km com rejeito referente da ordem de 150 metros, que desconecta o Sistema Aquífero Guarani. No entanto, a luz do entendimento estrutural sabe-se da existência de (n) falhas normais que fragmentam de forma horizontalizada o SAG, refutando o esquema de inclinação do SAG proposto nesta seção.

Outro importante marco para hidrogeologia de Santa Catarina foi o trabalho realizado por Scheibe e Hirata (2008). Estes autores revisam alguns dos principais trabalhos sobre os sistemas aquíferos Guarani e Serra Geral e áreas contíguas, entre eles Scheibe e Furtado (1989), PROESC (2003), Rosa Filho et al. (2003), Machado (2005), Portela

Filho (2005), Wolkmer [coord] (2006), Nanni (2008), Nanni et al. (2008) e OEA (2009), destacaram principalmente aspectos tectônicos e hidroquímicos que sugerem ligações entre os Sistemas Aquíferos Guarani e Serra Geral. Com vistas a estes aspectos tectônicos, hidroquímica e gestão integrada das águas superficiais e subterrâneas Scheibe e Hirata (op. cit.) sugerem a nomenclatura de Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral (SAIG/SG).

Em se tratando de tectônica, as estruturas geológicas apresentadas nos estudos revisados, possuem potencial de causar descontinuidades horizontais e verticais nas mais variadas ordens, nos pacotes rochosos, podendo em alguns casos, serem percebidas na superfície terrestre através de feições do relevo e passíveis de mapeamento. Estas descontinuidades são capazes de formar células, blocos tectônicos, dos mais variados tamanhos (de micro a mega escalas).

Na tentativa de detecção e delimitação de blocos tectônicos, Soares et al. (2007) definiram mais de uma dezena de grandes blocos para Bacia do Paraná, com posições altimétricas variando de altos e baixos limitados por falhas, causa em muitos casos a descontinuidade lateral do SAG, formando grandes blocos com circulação restrita, ou seja, fragmentando em sub-sistemas com muitas direções principais de fluxo (SOARES et al., op. cit.).

Os trabalhos de Soares et al. (op cit.) elaboraram perfis geológicos com a disposição dos rejeitos (verticais) e definiram 17 sítios estruturalmente diferenciados. Nestes perfis, os blocos mais rebaixados das unidades aquíferas estão em contato lateral com o aquíclode representado pela Formação Rio do Rasto, formando células isoladas delimitadas por falhas, onde se dá a restrição do fluxo. As direções estruturais principais encontradas foram NE (embasamento) e NW (diques de diabásio relacionados à ruptura continental) as mesmas já bem conhecidas no registro da evolução da Bacia do Paraná (SOARES et al., op. cit.).

Análise (estratigrafia) das fraturas nos derrames vulcânicos do Aquífero Serra Geral e o potencial de recarga do Sistema Aquífero Guarani na região de Ribeirão Preto – SP e a investigação da existência de recarga do Sistema Aquífero Guarani (SAG) através das rochas vulcânicas do denominado Aquífero Serra Geral (ASG), foi objetivo do projeto FRATASG (FERNANDES [COORD.], 2005) e (FERNANDES, 2012).

Por outro lado, foram vários estudos que apontaram a hipótese de algum tipo de ligação entre o SAG e o SASG. Estudos

hidrogeoquímicos realizados na porção Brasileira destes Sistemas Aquíferos sugerem a ocorrência de conexão hidráulica entre suas águas subterrâneas (LISBOA; MENEGOTTO, 1997 apud NANNI, 2008, p. 38), (REGINATO, 2003), (ROSA FILHO et al., 2003), (PORTELA FILHO et al., 2005), (NANNI, 2008).

As características hidrogeoquímicas das águas subterrâneas do SASG estão condicionadas pela litogeoquímica das rochas percoladas e secundariamente por controles tectônicos e morfoestruturais responsáveis pela comunicação entre diferentes sistemas aquíferos e as consequentes misturas das águas subterrâneas. O padrão de estruturas deformacionais (zonas de fratura e especial os lineamentos do tipo 2 - representados por fraturas, zonas de fraturas, veios e diques) é o condicionante de maior importância (REGINATO, 2003).

Rosa Filho et al. (2003) estudando o SAG, realizaram “Considerações preliminares sobre a influência do Arco de Ponta Grossa no fluxo das águas subterrâneas” neste trabalho eles ressaltaram a importância da Formação Serra Geral que devido sua potenciometria pode funcionar como reservatório situado no topo do SAG (reservatório sedimentar) e, por suas características hidráulicas pode atuar como barreira.

Os autores seguem considerando os reservatórios fraturados e granulares como pertencentes a um mesmo sistema hidrogeológico:

[...] pelo menos parcialmente, os aquíferos fraturados nos basaltos devem ser considerados como componentes do mesmo sistema hidrogeológico, consoante à provável conexão com o aquífero granular e o caráter de similaridade quanto a alguns padrões de fluxo (ROSA FILHO et al. 2003, p.96-97).

Com relação aos dados hidroquímicos dos poços localizados na Formação Serra Geral, Portela Filho et al. (2005) detectaram composições não esperadas, para estas rochas e apontaram tal fato as misturas de águas de aquíferos distintos:

[...] sugerindo que o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), além de seu caráter de barreira hidráulica do Sistema Aquífero Guarani (SAG), deva ser tratado em conjunto com o SASG, em conformidade à provável conexão hidráulica e ao caráter de similaridade de alguns padrões de

fluxo. Visando contribuir para o entendimento dos mecanismos que atuam na dinâmica de fluxo do SASG, que engloba as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, Bacia do Paraná, e o seu relacionamento com os sistemas aquíferos sotopostos (principalmente o SAG)[...] (PORTELA FILHO et al., 2005 p. 369).

Portela Filho et al. (2005, p. 375) sugerem que a conexão entre os aquíferos através das estruturas tectônicas combinadas com a potenciometria “Localmente, onde há condições potenciométricas e estruturais favoráveis, pode ocorrer recarga ascendente a partir do SAG. A tipologia das águas do SASG é bicarbonatada cálcica, decorrente da ação intempérica dos basaltos típicos”.

Nanni (2008) realizou importantes estudos sobre as águas subterrâneas do SASG, partindo da análise fatorial de componentes principais e seguidos da interpretação e análise da tectônica, hidroquímica das águas subterrâneas e isótopos estáveis de poços profundos, interpretados com uso de sistema de informações geográficas.

A análise tectônica (Figura 16) mostrou a relação entre as fácies hidroquímicas identificadas e o controle regional de fraturas (Nanni, 2008, p. 62). Estudo isotópico de O e H amostrados do SASG foram comparadas com resultados de isótopos estáveis de águas do SAG e de águas meteóricas, confirmando-se o complexo processo de mistura de águas entre o SASG e o SAG que ocorre através “dos processos de recarga ascendente e sua relação com águas de recarga meteórica” (NANNI, 2008, p. 5).

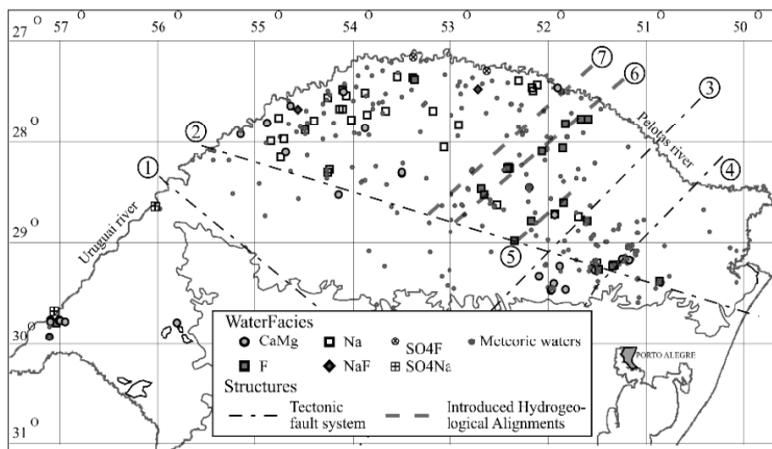


Figura 16 – Sistemas de falhas tectônicas e Fácies hidroquímicas: (1) Mata-Jaguari, (2) Terra de Areia-Posadas, (3) Perimbó, e (4) Leão. Alinhamentos Hidrogeológicos introduzidos (5)Fontoura Xavier–Parai e (6) Victor Graef–Barracão. (7) Limite de blocos tectônicos. Fonte: Nanni (2008, p. 62) e Nanni et al. (2008) p.8.

Esta metodologia permitiu não só a compreensão dos mecanismos de enriquecimento de fluoreto no SASG, como a ligação deste com o SAG através dos registros isotópicos nas amostras das águas subterrâneas. Segundo Nanni (2008, p.5) estas compreensões acerca destes aquíferos “auxiliam como guias para decisões futuras de gerenciamento do SASG”.

O estudo de maior abrangência e impacto realizado sobre do SAG foi o “Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani (PSAG)” (OEA, 2009, p. 52).

A importância do SAG como indutor do desenvolvimento socioeconômico foi inicialmente aludida por um conjunto de universidades da região¹⁶ inclusive com trabalhos como o caso do projeto da UFPR¹⁷. A necessidade de gestão compartilhada, a heterogeneidade e a dispersão das informações sobre o aquífero entre

16 - Universidade Federal do Paraná(UFPR), Universidade da República Oriental do Uruguai, Universidade de Buenos Aires, Universidade Nacional do Litoral, Universidade Nacional de Assunção e (Universidade Federal de Santa Maria - Silvério da Silva [Coord.], 2004).

17 - UFPR desenvolveu o projeto intitulado “Proteção Ambiental e Gerenciamento Sustentável Integrado do Sistema Aquífero Guarani”.

outras questões levaram à proposição do PSAG, que teve execução iniciada em março de 2003 e foi concluído em 31 de janeiro de 2009, tendo como participantes os governos sul-americanos dos países que compartilham o SAG, Brasil, Uruguai, Paraguai e Argentina, assim como do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BIRD) e da Organização dos Estados Americanos (OEA) e do Global Environmental Facility (GEF). Os governos envolvidos segundo a OEA (2009, p. 53) “identificaram o SAG como um recurso estratégico para o desenvolvimento e concordaram em trabalhar juntos para protegê-lo”. Este projeto teve o propósito de criar um marco científico, legal e institucional entre estes países.

O objetivo geral do Plano Estratégico de Ação (PEA) do PSAG foi:

[...] consolidar o processo para a gestão coordenada e sustentável do SAG nos países, base original do PSAG, mediante a definição de um conjunto coerente de ações estratégicas de consenso em âmbito nacional e regional entre os quatro países. Estas ações visam prevenir, remediar e/ou resolver as causas dos problemas atuais e potenciais que incidem sobre o SAG, bem como fortalecer a cooperação e a coordenação entre os países (OEA 2009, p. 52).

O PSAG foi finalizado em 2009, registrando seus acúmulos e avanços no conhecimento deste importante Sistema Aquífero através de 32 volumes disponíveis em DVD.

O importante legado do PSAG não só técnico-científico como institucional e de gestão compartilhada do SAG representa imensurável legado e contribuição deste projeto para gestão deste Sistema Aquífero de grande relevância para a região e para o mundo. Um dos aspectos importantes foi unificar a base de dados dos quatro países em um Datum comum padrão, o World Geodetic System (WGS 84).

2.2.3 Sistema Aquífero Guarani (SAG)

A denominação Sistema Aquífero Guarani (SAG), lançada pelo geólogo Danilo Antón, em congresso realizado em Curitiba-PR, em 1996, se deve ao fato de que sua área coincide com as fronteiras da Grande Nação Guarani, povo indígena que vivia e vive na região, visando ainda unificar as diferentes denominações utilizadas para o

mesmo na Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai, o nome foi internacionalmente adotado a partir da oficialização do Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani - PSAG (OEA, 2009).

O SAG já apresentou outras denominações no passado, como por exemplo, entre as décadas de 1970 e 1990 o Sistema Botucatu (GILBOA, 1976 apud OEA, 2009, p.12) e Sistema Aquífero Botucatu (REBOUÇAS, 1976) e Sistema Aquífero Gigante do Mercosul (ARAÚJO et al., 1995).

O SAG é constituído, predominantemente, por rochas arenosas, sedimentadas em ambientes flúvio-lacustres e eólicos dos períodos Jurássico e Cretáceo. Essas rochas, em partes saturadas com água, encontram-se cobertas, em quase toda a sua extensão, pelas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, que, por sua vez, constituem o SASG. A área total, englobada pelos sedimentos que compõem o SAG, é de 1.087.870,15 km², com um volume total estimado de 30.000 km³ de água, o que equivaleria há 100 anos de fluxo cumulativo do rio Paraná, permitindo uma extração da ordem de 1,04x10⁹m³/ano (OEA, 2009) e (FOSTER et al., 2009).

Segundo Scheibe e Hirata (2008, p. 3) “Do total da área do Sistema Aquífero Guarani (1.195.500 km²), [...]. Cerca de 1.000.000 km², encontra-se sotoposto às rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, que constituem por sua vez um importante aquífero do tipo fraturado”. O Aquífero fraturado em questão é o SASG.

2.2.4 Sistema Aquífero Serra Geral (SASG)

O SASG abrange o eixo central da Bacia do Paraná, é fissural e apresenta condições hidrogeológicas heterogêneas e anisotrópicas. O modo de ocorrência da água subterrânea do SASG está condicionado tanto a fatores genéticos do pacote vulcânico (intertrap, amígdalas, vesículas e disjunções), quanto à presença de estruturas (falhas, fraturas e diques de dolerito) que condicionam a circulação das águas nestas fácies ou rochas. O conjunto destes fatores aumenta a capacidade de armazenamento de água. A recarga principal ocorre por pluviometria, principalmente em áreas com desenvolvido manto de alteração, topografia pouco acidentada e considerável cobertura de mata nativa. Localmente, onde há condições potenciométricas e estruturais favoráveis, pode ocorrer recarga ascendente a partir do SAG. A tipologia das águas do SASG é bicarbonatada cálcica, decorrente da ação

intempérica dos basaltos a dacitos típicos (REBOUÇAS, 1976 e BITTENCOURT et al., 2003¹⁸).

O SASG é constituído basicamente pelas rochas extrusivas da Formação Serra Geral. Com relação aos estudos e diversidade deste sistema, Scheibe e Hirata (2008) salientam que:

[...] De forma bem mais fragmentada, diversos estudos têm sido realizados sobre os recursos hídricos contidos nas rochas constituintes da Formação Serra Geral, cujas características hidrogeológicas diversificadas representam um enorme desafio para sua correta avaliação e compreensão (SCHEIBE; HIRATA, 2008, p. 1).

A Formação Serra Geral é constituída por uma sequência de derrames de lavas vulcânicas de composição basáltica, intermediária e ácida. O SASG desenvolve-se nos derrames com condição de armazenamento e circulação da água, ou seja, entre as fraturas ou outras descontinuidades, com fluxos distintos espacialmente, motivo pelo qual este sistema é anisotrópico. A recarga principal ocorre através da água da chuva, principalmente em áreas com desenvolvido manto de alteração, topografia pouco acidentada e considerável cobertura vegetal (mata nativa). Onde houver condições piezométricas e estruturais favoráveis, pode ocorrer recarga ascendente a partir do Aquífero Guarani (FREITAS et al., 2001, FREITAS et al., 2003 e NANNI, 2008).

O Aquífero Serra Geral tem suprido, em grande parte, as necessidades de abastecimento de diversas comunidades rurais, de indústrias e sedes municipais de todo o Oeste Catarinense. Por se localizar em menor profundidade, permite uma captação com custo inferior quando comparado à captação das águas do SAG (FREITAS et al., 2001, FREITAS et al., 2003 e SCHEIBE; HIRATA, 2008).

Contudo, seu caráter não confinado contribui para que suas águas estejam mais vulneráveis aos processos de contaminação.

Nestes três estados - Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul - a proporção de aproveitamento das águas subterrâneas do SASG é muito maior do que aquela do Aquífero Guarani. É necessário, também, levar em consideração que, ao contrário

18 - Bittencourt et al., (2003) encontraram em 62,2% das amostras avaliadas, águas bicarbonatadas cálcicas no SASG na Bacia do Rio Piquiri-PR.

do caráter quase totalmente confinado deste, as águas do Serra Geral são exploradas através de poços relativamente rasos e geralmente têm ligação direta com as águas de superfície. Isto as torna muito acessíveis, mas também muito mais vulneráveis aos processos de contaminação, tanto pelas próprias fraturas das rochas como, muitas vezes, devido a defeitos construtivos dos poços (SCHEIBE; HIRATA, 2008, p. 2).

O sistema aquífero fraturado composto por rochas vulcânicas da Formação Serra Geral (Bacia do Paraná), é um sistema aquífero fraturado, descontínuo, heterogêneo e anisotrópico, caracterizado pela ocorrência de vazões variáveis (72,1% dos poços tubulares apresentam vazões abaixo de 10 m³/h em poços da região nordeste do Rio Grande do Sul), sua transmissividade e capacidades específicas são baixas. As características hidrogeoquímicas das águas subterrâneas desse sistema aquífero estão condicionadas pela litogeoquímica das rochas percoladas, e secundariamente por controles tectônicos e morfoestruturais responsáveis pela comunicação entre diferentes sistemas aquíferos e a consequente mistura das águas subterrâneas (REGINATO, 2003).

Segundo Scheibe e Hirata (2008, p. 02) é frequente encontrar na literatura atual o termo Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) além de evidências “concretas de conectividade hidráulica entre esse sistema e o Sistema Aquífero Guarani, especialmente nos estados de Santa Catarina, Paraná e do Rio Grande do Sul”. Estes autores ainda salientam que:

A região Oeste dos dois primeiros estados, bem como a região Norte e Noroeste do Rio Grande do Sul, têm como principal fonte de águas subterrâneas o SASG, e a utilização das águas subterrâneas deste aquífero tem crescido exponencialmente. Só na região extremo oeste de Santa Catarina foram cadastrados, até 2002, mais de 2.700 poços tubulares com profundidade média de 117m e vazão média de 7,7 m³/h (PROESC, in FREITAS, 2003); e segundo informação verbal do mesmo Freitas, durante a XXVIII SEMAGEO em Florianópolis, em maio de 2007, um cadastro complementar realizado em 2005 pela CPRM atingiu um total superior a 5700 poços nessa mesma região, embora com crescente dificuldade

na obtenção de vazões significativas (SCHEIBE; HIRATA, 2008, p. 2).

Cunha (2014 p. 01) ao estudar a região noroeste do Rio Grande do Sul (Alto Rio Uruguai), detectou que “A região apresenta forte afetação de tectônica rúptil, cuja caracterização estrutural é importante para o entendimento da hidráulica e da distribuição hidrogeoquímica do sistema aquífero envolvido.” Sua dissertação teve como objetivo principal a caracterização morfoestrutural, hidrogeológica e hidrogeoquímica do SASG, tentando reconhecer a influência da tectônica no potencial hidrogeológico e na disposição dos diferentes tipos hidrogeológicos de águas subterrâneas, testando a existência de relações com as estruturas no condicionamento do sistema aquífero, através dos dados obtidos de poços tubulares e do estudo dos lineamentos estruturais.

Ainda na região do Alto Rio Uruguai no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, Freitas et al. (2011) realizaram a caracterização hidrogeoquímica preliminar das fontes termais, concluindo que são provenientes da interconexão hidráulica entre o aquífero fraturado da Formação Serra Geral e o Sistema Aquífero Guarani.

2.2.5 Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral (SAIG/SG)

No escopo do Projeto de Pesquisa coordenado entre 2005 e 2006 pelo Professor Luiz Fernando Scheibe intitulado Rede Guarani/Serra Geral (WOLKMER [coord.] 2006, apud SCHEIBE; HIRATA, 2008, p. 2) inicialmente sugeriu a pesquisa dos Sistemas Aquíferos Guarani e Serra Geral como unidade de gestão integrada. Tendo em vista inúmeros estudos sobre a conexão hidráulica das águas destes sistemas promovida pela configuração geotectônica da Bacia do Paraná e os falhamentos de grande porte que fazem a ligação entre ambos, que passam então a denominar de “Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral” (SAIG/SG) (SCHEIBE E HIRATA, 2008). Estes autores salientam a necessidade da busca do entendimento da inter-relação entre estes sistemas aquíferos afirmando que:

[...] se é possível estudar especificamente cada um desses sistemas aquíferos, para compreensão dos seus principais aspectos hidrológicos e hidrogeológicos, é também necessário buscar a compreensão de suas inter-relações, encarando-os eventualmente como uma única unidade de gestão

– junto com os recursos hídricos superficiais de cada bacia hidrográfica -, especialmente nas áreas¹⁹ acima referidas, onde essas relações se fazem cada vez mais evidentes, à medida que aumenta a demanda pelos recursos hídricos, devido aos processos produtivos, aos diversos períodos de estiagem que as têm assolado nos últimos anos e também à carga de contaminantes já presente em muitos dos mananciais superficiais (SCHEIBE; HIRATA, 2008, p. 2).

Ainda de acordo com Scheibe; Hirata (2008, p. 2) “Com vistas a viabilizar pesquisas com este enfoque integrado, foi elaborado em 2005/2006 o Projeto de Pesquisa 'Rede Guarani/Serra Geral' (WOLKMER [coord.] 2006)[...]”. Seus objetivos gerais:

[...] Gerar conhecimentos técnicos e científicos para a proteção e uso sustentável das águas do Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral (SAIG/SG), no sul do Brasil, por meio de uma Rede de Pesquisa Regional de Universidades e Centros de Pesquisas, e proposição de um marco legal com vistas à gestão transfronteiriça do Sistema. (SCHEIBE, 2006 apud SCHEIBE; HIRATA 2008 p. 2).

No capítulo “As relações Guarani/Serra Geral e a tectônica” Scheibe; Hirata (2008, p. 3) mencionam a integração dos sistemas aquíferos, a ocorrência de falhamentos de grande porte que fazem a ligação entre os sistemas aquíferos e a importância de uma proposta de sua gestão integrada, como razões pelas quais o Projeto Rede Guarani/Serra Geral propôs a denominação “Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral” SAIG/SG.

2.3 GEOMORFOLOGIA

A geomorfologia é ciência que estuda as formas de relevo, e sua gênese, evolução. Neste item, revisaremos a evolução das formas do relevo, a drenagem fluvial e sua relação com a morfologia.

19 - Nota nossa: Região Oeste do Paraná e de Santa Catarina bem como a região Norte e Noroeste do Rio Grande do Sul.

2.3.1 Evolução das formas do relevo

O objeto da geomorfologia pode ser a descrição e classificação das formas resultantes da contínua interação das forças endógenas e exógenas que se opõem e a compreensão dos mecanismos dessa interação. A partir destas considerações, o estudo dos compartimentos morfoestruturais pode ser conduzido através de escalas temporais e espaciais diversas, abordando aspectos variados da morfogênese (CORRÊA et al., 2010).

Marques (2013) salienta a dualidade de visão da ciência geomorfológica, a autonomia e a dependência. Autonomia diante de sua crescente importância e dependência por constituir uma especialização dentro da geografia e geologia.

A classificação genética ou a distinção de diferentes formas da terra está calcada em três variáveis fundamentais. Todas as variadas formas das terras são funções das variações de quantidades destas três variáveis, denominadas: estrutura, processo e tempo. No início, quando as forças de deformação determinam a estrutura de elevação e altitude de uma região, a forma depende da quantidade de elevação que ela tenha sofrido. Se suas rochas foram mantidas sob o ataque de processos externos, a sua superfície permanece inalterada até que as forças de deformação e soerguimento haja novamente Davis (1899) em *The Geographical Cycle*;

As formas que constituem as paisagens sofrem distintos processos, originados pelas forças:

Exógenas – Degradação ou erosão e agradação ou deposição;

Endógenas – Soerguimento ou basculação e rebaixamento (MARQUES, 2013).

Processo e forma (morfologia) podem ser conhecidos e aprofundados através das relações com as características do clima e da geologia (condicionantes mais gerais da morfogênese da área). Conjunto de formas, submetidos a um mesmo tipo de clima ou apresentando um mesmo tipo de geologia, formarão sistemas morfoclimáticos e morfoestruturais (MARQUES, 2013).

2.3.1.1 Processos endogenéticos na formação do relevo

As distintas topografias observadas na superfície terrestre são frutos da interação da litosfera móvel com os fluidos da astenosfera e hidrosfera resultando na gama de paisagens, processos e formas (PENHA, 2013).

A formação dos relevos da Terra está intimamente associada aos processos internos que propicia entre outras o magmatismo produtor de vulcões, terremotos, dobras e fraturas associadas a mobilidade das placas litosféricas (PENHA, 2013).

2.3.1.2 Processos geodinâmicos internos

A dinâmica terrestre provoca tensões de diferentes tipos e ordens de esforços sobre material rochoso da litosfera, amplas deformações e movimentos são produzidos em larga escala, estabelecendo, a configuração arquitetônica do exterior da Terra (PENHA, op.cit.).

O fato de o material rochoso, quando submetido a esforços, fraturar ou dobrar reflete o regime respectivamente, rútil e dútil, que dependem das condições de temperatura e pressão da litosfera (PENHA, op.cit.).

Ambos (falhamentos e dobramentos) são fenômenos endógenos. Dessa forma, extratos de rocha, que foram deformados há 100 M.a., agora no Cenozóico, é que estão aflorando e contribuindo em maior ou menor grau para as formas do relevo que estamos vendo. É válido admitir que os principais traços do relevo foram delineados em tempos geológicos muito recentes chamado de Neotectônico (PENHA, op.cit.).

As faixas móveis apresentam-se longas e estreitas em região crustal que sofreu, ou ainda sofre intensa atividade tectônica, com formação de rochas e deformação em larga escala. Cinturões orogênicos foram faixas móveis durante seus estágios formativos e a maioria deles produziu sistema montanhoso já destruídos pela erosão (PENHA, op.cit.).

Os crátons são núcleos estáveis da crosta continental formados basicamente por rochas pré-cambrianas. Comportam-se como blocos rígidos com as faixas móveis desenvolvendo-se em sua periferia durante a evolução dos ciclos orogênicos (PENHA, op.cit.). O cráton passa a ser chamado de escudo, quando submetido aos agentes erosivos, portanto, o escudo, é um cráton aflorante composto de rochas cristalinas pré-cambrianas.

A região sudeste da Bacia do Paraná apresenta duas áreas cratônicas importantes: o Cráton Luís Alves e o Cráton do Rio da Prata (também conhecido como Escudo Uruguaio Sul-Riograndense). Crátons ou parte destes cobertos por formações não-deformadas, denomina-se **plataforma**. A plataforma brasileira é formada por várias coberturas fanerozóicas identificadas pelas **bacias intracratônicas**, destacando-se na região sudeste a do Paraná. (PENHA, op.cit.).

A tectônica global conferiu peculiaridades a bacia intracratônica do Paraná, ela já representou o limite do tipo divergente envolvendo placas do tipo continental que se separaram quando do rompimento do continente do Gondwana, formando uma fisiografia marcante de falhas normais nas seções topográficas e estratigráficas associadas a *rift-valleys*. Isso envolveu grandes eventos geológicos como a fragmentação de continentes, ascensão de magma, vulcões²⁰ e terremotos (PENHA, 2013).

2.3.1.3 Tectônica e formas estruturais associadas

Falhas são fraturas na crosta terrestre com deslocamento relativo, perceptível entre os lados contíguos e ao longo do plano de fratura. As falhas são classificadas em: normais, inversas e transcorrentes (Figura 17).

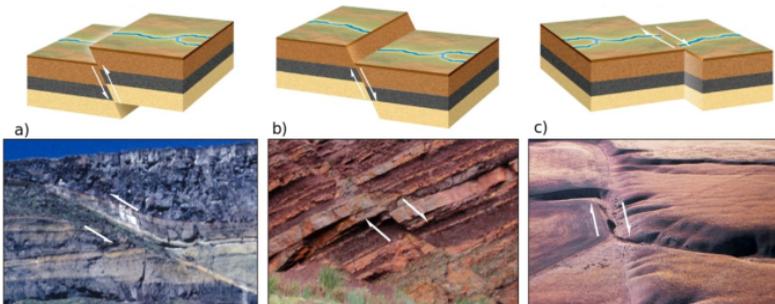


Figura 17 – a) Falha inversa; b) Falha normal; e c) Falha transcorrente.
Fonte: Press et al. (2006).

Materiais frágeis deformaram-se um pouco e, então, quebram-se repentinamente. As rochas são deformadas por dobramento ou por falhamento quando submetidas a diferentes tipos de esforços tectônicos (PRESS et al., 2006).

Em geral, as feições lineares do fraturamento da crosta são facilmente identificadas na superfície via sensoriamento remoto, muitas vezes provocando mudanças bruscas nos contatos das litologias que refletem no relevo. Assim, dependendo da amplitude e idade do falhamento, a configuração do terreno será afetada em maior ou menor grau, não obstante ser essa influência, quase sempre indireta e

20 - Na Bacia do Paraná não houve vulcão, apenas vulcanismo do tipo continental fissural.

provocada por processos erosivos na área afetada, ou por fenômenos de reativação tectônica ao longo de antigas linhas de fratura (CASSETI, 2005).

Associadas às falhas temos como principais feições morfológicas: Escarpa de falha, Escarpas de linha de falha, Grabens, Horsts e Rift-valleys.

Escarpa de Falha (*Fault Scarp*):

Escarpas de falha são abruptas paredes que têm sua gênese no recente deslocamento vertical de blocos falhados. Nesta feição a inclinação que constitui o bloco ascendente, coincide com o espelho de falhamento. No entanto, o desnível que marca o movimento dos blocos e as feições provocadas pelo deslocamento, são atenuados pela erosão que tende a aplainá-la (ROSSATO et al. 2003, p. 72).

Escarpa de Linha de Falha (*Fault-line Scarp*):

[Escarpas de linha de falha originam-se pelo recuo da escarpa de falha em função da atividade erosiva. Esta nova escarpa é formada não pelo movimento original de falhamento, mas pela intemperização da litologia constituinte do espelho de falha. Desta forma, estas vertentes têm suas feições já bastantes suavizadas e dissecadas (ROSSATO et al. op.cit., p. 73).

Rossato et al. (op.cit., p. 75) consideram **Graben** ou Fossa Tectônica como “uma região depressiva alongada originada por uma série de falhamentos paralelos entre si que produzem um sistema de blocos escalonados com um bloco central deprimido”.

Horst/Muralha/Pilar Tectônico “é uma proeminência que se deve a elevação da superfície, em função da existência de um sistema de falhas escalonadas e paralelas entre si, onde o bloco central adquire altimetria diferenciada (mais alta) que os blocos em seu entorno” (ROSSATO et al., op.cit., p. 76).

A (Figura 18) apresenta exemplos de Escarpa de Falha, *Graben* e *Horst*.

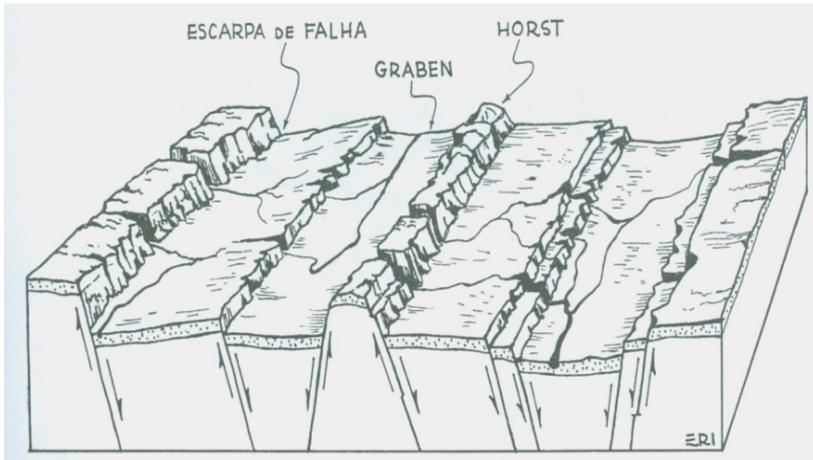


Figura 18 – Escarpa de Falha, Graben e Horst. Fonte: Rossato et al. (2003).

Outros efeitos morfológicos, produzidos pelo falhamento, podem ser referenciados, tais como o aparecimento de sequência de morros alinhados, corredeiras, cachoeiras, lagos, vales encaixados, vales suspensos, formação de fontes alinhadas, drenagens superimpostas e capturadas (PENHA, 2013).

2.3.1.4. *Lineamento, linha e alinhamento*

O'leary et al., (1976) definem o termo "lineamento" num sentido essencialmente geomorfológico, com base no uso introduzido por Hobbs (1904):

[...] é uma feição linear simples ou composta em uma superfície mapeável, em que as partes estão alinhadas em relação uma reta ou ligeiramente curvas, e que difere claramente a partir dos padrões de características adjacentes e presumivelmente reflete um fenômeno subsuperfície. O uso dos termos "linha" e "alinhamento" é sugerido para se referir aos recursos não geológicos e / ou feições questionáveis que não cabem critérios propostos e onde as restrições de definição ou implicações podem ser um problema (HOBBS 1904 apud O'LEARY et al. 1976, p. 1463).

Neste sentido, a palavra “lineamento” caracteriza a relação espacial das feições da paisagem incluindo-se: “(1) cristas de cumes ou limites de área elevadas, (2) as linhas de drenagem, (3) linhas de costa, e (4) linhas limites de formações, de tipos petrográficos, ou linhas de afloramentos” (HOBBS,1904 apud O'LEARY et al., 1976, p.1463).

Lineamento é, portanto, uma morfoestrutura e não uma litoestrutura, com a qual se relaciona mas não se confunde (LISBOA, 1996).

Strieder e Amaro (1997, p. 112), classificam os lineamentos em tipos 1 e 2:

“**tipo 1** - são associados com estruturas penetrativas, tais como foliações, xistosidades e acamamentos; e **tipo 2** - são geralmente correlacionados à estruturas rúpteis, expressas por drenagens retilíneas e vales encaixados. Estão associados a estruturas regionalmente penetrativas, que representam a erosão diferencial de feições estruturais coesivas associadas ao tipo de litologia. Em pequena escala, esses lineamentos tendem a modelar formas estruturais, como dobras e/ou zonas de cisalhamento, e podem ser designados como lineamentos de forma estrutural” (STRIEDER E AMARO, 1997, p. 112).

Os lineamentos tipo 2, possuem maior importância nesta pesquisa, devido aos litotipos e estruturas ocorrentes na área de estudo.

O termo lineamento é usado para caracterizar as relações espaciais de feições, tais como cristas, bordas de áreas elevadas, alinhamentos de contatos geológicos ou tipos petrográficos, ravinas ou vales, e fraturas ou zonas de falhas visíveis como tais. Pode ser empregado como designativo de feições definidas por alinhamentos de relevo e drenagem (Veneziani, 1987 apud CORRÊA E FONSÊCA, 2010, p. 82).

A distinção entre lineamentos estruturais e falhamentos, na interpretação dos produtos de sensoriamento remoto, é necessária devido aos seguintes fatores (Veneziani, 1987 apud CORRÊA E FONSÊCA, op.cit., p. 82):

- os lineamentos não se restringem ao desenvolvimento de apenas um tipo de movimento tectônico ao longo de toda sua extensão ou

durante o decorrer dos diferentes ciclos ou fases tectônicas que afetaram uma determinada área;

- uma zona de falha pode dar origem a diversos lineamentos paralelos a sub-paralelos, ou vice-versa, isto é, várias fraturas associadas a uma zona de falha podem dar origem a apenas um lineamento distinguível nos produtos de sensoriamento remoto.

As estruturas lineares já foram alvo de definição e caracterizadas como lineamentos por diferentes autores e segundo definições variadas:

- Takahashi et al. (1993 apud REGINATO, 2003, p. 102) faz uma distinção entre morfoestrutura e litoestrutura, sendo que, na interpretação dessas estruturas em produtos de sensoriamento remoto, os critérios adotados foram: elementos topográficos retilíneos como linhas ou segmentos de escarpas, alinhamentos de cristas, vales, trechos de rios e depressões alongadas;

- Eilers (1993 apud REGINATO, op.cit., p. 102) considera lineamento como uma feição mapeável, simples ou composta, contínua ou descontínua cujas partes estão alinhadas em um arranjo retilíneo ou suavemente curvo e que difere dos padrões adjacentes. Os critérios utilizados por esse autor para a extração de lineamentos em produtos de sensoriamento remoto foram os mesmos adotados por Takahashi et al. (1993);

- Möbus (1987 apud REGINATO, op.cit., p. 102) descreve lineamento como toda feição retilínea, ou curva, composta por elementos de drenagem e/ou relevo, que apresenta um comprimento igual, ou superior a 1 quilômetro.

Percebe-se dessa forma, que o termo lineamento é mais abrangente e genérico. Escolhemos o uso deste termo no âmbito metodológico desta pesquisa.

2.3.1.5. *Geotextura, Morfoestrutura e Morfoescultura*

Gerasimov propôs na década de 1940, subdividir todas as formas de relevo em três grandes categorias genéticas (Gerasimov, 1946 apud ARCANJO, 2011, p. 38):

a - **unidades geotexturais**, compreendendo as maiores unidades da superfície terrestre (massas continentais, grandes zonas montanhosas, depressões oceânicas e escudos);

b - **unidades morfoestruturais**, designando os elementos do relevo de ordem média, tais como as cadeias de montanhas, maciços, planaltos e depressões internas dos continentes e oceanos;

c - **unidades morfoesculturais**, relacionadas com a ação dos sistemas morfoгенéticos.

A importância das estruturas tem sido um tema recorrente em teorias clássicas, acerca da evolução do relevo. Embora os modelos pioneiros tenham sido bastante detalhados e contenham informações implícitas e explícitas sobre a tectônica operando as estruturas em escalas diversas, era notável que a questão das morfoestruturas e o motor das mesmas (tectônica) não foram perpetrados com mais relevância nos estudos geomorfológicos. O que se via era os autores que comumente trabalhavam com escalas maiores de processos e estudos das formas terem uma dificuldade de aplicar seus trabalhos em escala regional ou continental, no qual a tectônica teria muito mais relevância (CORRÊA et al., 2010).

Penk influenciou os teóricos russos Gerasimov e Mescherikov, e foram estes últimos que trouxeram a abordagem morfoestrutural para os estudos geomorfológicos. O conceito de morfoestrutura fundamenta-se portanto, nos postulados de Penck, que tratam do jogo das forças internas e externas atuantes na gênese do modelado da superfície terrestre (CORRÊA et al., op.cit.).

Uma abordagem geomorfológica que trata sistematicamente dos fatores endógenos só se estabeleceu com a metodologia e nomenclatura desenvolvida por geomorfólogos russos e da Europa oriental, que a partir da década de 1940, passaram a designar como morfoestrutura os compartimentos de relevo definidos com base na interação entre distintos litotipos e modos tectônicos vigentes (CORRÊA et al., op.cit.).

O termo morfoestrutura é definido como uma “feição topográfica maior que coincide com ou é uma expressão de estrutura geológica ou que é formada diretamente por movimentos tectônicos. É produzida pela interação de forças endógenas e exógenas, sendo predominante a forma” (Bates & Jackson, 1987 apud ARAÚJO et al. 2003, p. 31).

Segundo Gontijo (1999 apud ARAÚJO et al. op.cit., p. 31), o termo morfoestrutura deve ser empregado quando a elaboração das formas de relevo se processa sob controle tectônico passivo, ou seja, as formas de relevo não estão necessariamente relacionadas à tectônica ativa (neotectônica).

Segundo Mattos et al. (1982 apud ARAÚJO et al. op.cit., p. 31), o termo morfoestrutura define uma estrutura presumida, identificada a partir da análise e interpretação de informações basicamente de relevo e drenagem apresentando zonas anômalas.

As formas de superfície da Bacia do Paraná, no seu extremo sul, foram estudadas por Lisboa (1996), que determinou a presença de elementos da morfotectônica e morfoestrutura e as conceituou baseado em Gold e Gerassimov. Sendo assim, morfotectônica representa “[...] estudo das formas do relevo com significado tectônico e regional” (Gold, 1980 apud LISBOA, op.cit., p. 17), por outro lado, morfoestruturas representam “[...] as formas da superfície da Terra produzidas pela interação entre processos endogênicos e exogênicos” (Gerassimov, 1960 apud LISBOA, op.cit., p. 17).

2.3.2 Drenagem fluvial e sua relação com a morfologia

É constituída por um conjunto de canais de escoamento interligados. A área drenada por esse sistema fluvial é definida como bacia de drenagem (ou bacia hidrográfica), e essa rede de drenagem depende não só do total e do regime das precipitações, como também das perdas por evapotranspiração e infiltração. Têm papel importante no escoamento canalizado a topografia, a cobertura vegetal, o tipo de solo, a litologia e a estrutura das rochas da bacia hidrográfica. A disposição espacial dos rios, controlada em grande parte pela estrutura geológica, é definida como padrão de drenagem (Howard, 1967 apud CUNHA, 2013, p.223).

A classificação dos padrões de drenagem fundamenta-se basicamente nos elementos: forma, gênese, propriedade e geometria:

1. Forma de escoamento (endorreica, exorreica, criptorreica e arreica);
2. Gênese (consequente, subsequente, obsequente, ressequente e insequente);
3. Propriedade (densidade, sinuosidade, angularidade, tropia, assimetria e formas anômalas);
4. Geometria (dendrítico, paralelo, radial, anelar, treliça, regular/retangular, multi-basinal e contorcido).

A classificação da rede de drenagem quanto a sua gênese, ou simplesmente genética, foi proposta por Horton (1945 apud CUNHA, 2013, p. 224), que considerou os cursos de água em relação à inclinação das camadas geológicas (Figura 19).

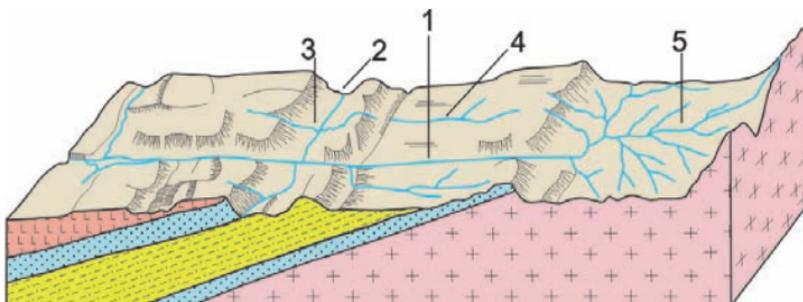


Figura 19 – Classificação da rede de drenagem quanto a sua gênese / instalação nas camadas rochosas (1-consequente, 2-subsequente, 3-obsequente, 4-ressequente e 5-insequente). Fonte: Cunha e Guerra (1994 modificado por Arcanjo, 2011, p. 82).

Assim, os rios foram classificados em cinco padrões quanto a gênese: consequentes, subsequentes, obsequentes, ressequentes e insequentes.

Rio consequente é determinado pela inclinação do terreno e coincide, em geral, com o mergulho da camada; Rio subsequente é controlado pela estrutura rochosa e acompanha as linhas de fraqueza (falha, junta, diáclase); Rio obsequente ocorre quando se dirige em sentido inverso à inclinação das camadas, descendo a escarpa até o rio subsequente, formando um canal de pequena extensão e ao contrário do rio consequente; Rio ressequente ocorre na mesma direção dos rios consequentes, porém, nasce em nível topográfico mais baixo, no reverso das escarpas, e desemboca em um rio subsequente; O rio insequente corre de acordo com a morfologia do terreno e em direção variada, sem nenhum controle geológico aparente (área topográfica plana ou de rocha homogênea) (CUNHA, 2013).

Soares & Fiori (1976 apud ARCANJO, 2011 p.80) realizaram a classificação das propriedades da rede de drenagem, estes autores destacaram seis propriedades da rede de drenagem: 1) densidade, 2) sinuosidade, 3) angularidade, 4) tropia, 5) assimetria e 6) formas anômalas (Figura 20).

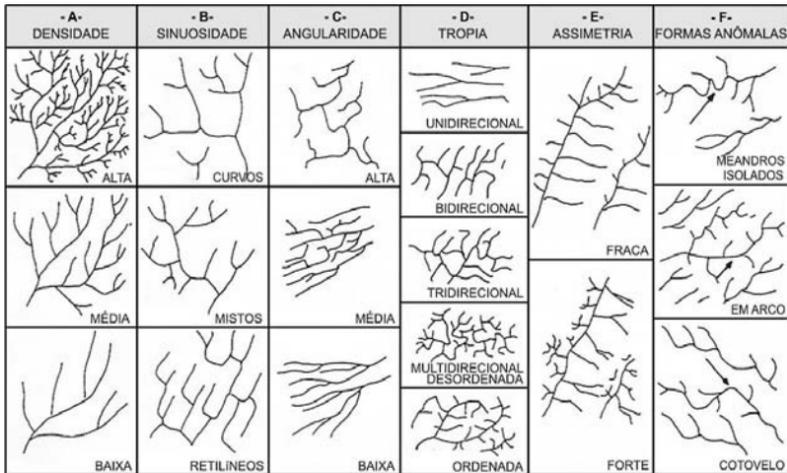


Figura 20 – Propriedades da rede de drenagem. Fonte: Modificado de Soares & Fiori (1976 apud ARCANJO, 2011, p.80).

Outra classificação é a baseada na geometria dos canais quanto a sua distribuição no plano (planta), apresentada por Arcanjo (2011), possui oito distintos arranjos da rede de drenagem: 1) dendrítico, 2) paralelo, 3) radial, 4) anelar, 5) treliça, 6) retangular, 7) multi-basinal e 8) contorcido (Figura 21).

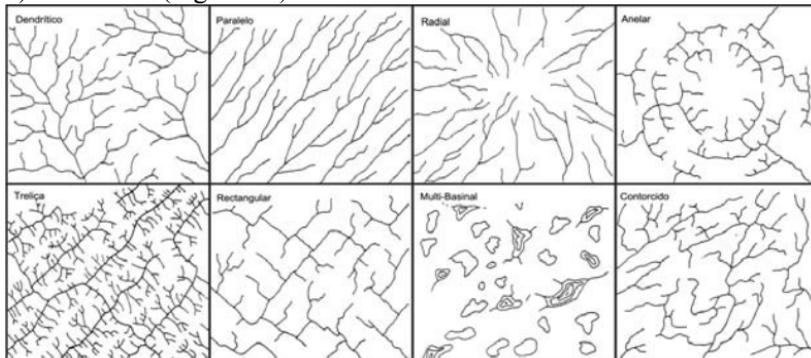


Figura 21 – Tipos de redes fluviais de acordo com sua distribuição em plano: No topo: a, dendrítico, b, paralelo, c, radial, d, anelar; Na base: e, treliça, f, retangular, g, multi-basinal, h, contorcido. Fonte: Arcanjo (2011, p. 78).

2.3.2.1 Processos fluviais e tipos de relevo

Os relevos modelados pela ação das águas correntes denomina-se relevos fluviais e estão modelados por processos fluviais, que compreendem tanto as águas superficiais (escoamento superficial) como a ação dos rios. Os relevos e os processos fluviais são os elementos dominantes sobre as superfícies continentais atualmente. Quase todas as terras emersas têm sido modeladas pelos processos fluviais (STRAHLER, 2000).

Os processos fluviais realizam as atividades geológicas de erosão, transporte e deposição. Como consequência deles, existem dois grandes grupos de relevos fluviais: relevos erosionais e relevos deposicionais. Quando a rocha é erodida pelos agentes fluviais forma-se um vale. Entre os vales existem cristas, colinas ou montanhas, que representam partes não desgastadas do maciço original. Todos estes relevos formados pela denudação progressiva do substrato rochoso se denominam relevos erosionais (STRAHLER, 2000).

O escoamento em regiões montanhosas predomina a erosão vertical. Nas zonas planas o processo se inverte, diminui a dissecação vertical e aumenta a deposição dos sedimentos (HUBP, 1996).

Os fragmentos de solo, regolito e rocha matriz arrastados são transportados por diferentes agentes modeladores e depositados em outro lugar para constituir formas topográficas completamente diferentes, os relevos deposicionais (STRAHLER, 2000).

2.4 ESTRUTURAS TECTÔNICAS E REDE DE DRENAGEM

O controle estrutural das feições geomorfológicas é uma das principais aplicações dos estudos morfoestruturais, morfotectônicos e neotectônicos, que apoiados em parâmetros geomorfométricos e geológicos podem fornecer subsídio para o entendimento da paisagem. A rede de drenagem, primeiro elemento da paisagem a adaptar-se às deformações tectônicas dos maciços, às mudanças atectônicas no nível de base ou ao controle tectônico do substrato estruturalmente controlado, exposto pela exumação das camadas superiores, figura como o principal componente da paisagem em estudos desta natureza (NASCIMENTO et al., 2013).

Outros estudos apresentam a viabilidade de a extração da rede de drenagem a partir de dados de sensoriamento remoto de imagens Landsat e Radam e a partir de dados de imagens SRTM²¹, sendo

21 - SRTM – Shuttle Radar Topography Mission (acrônimo de Missão Topográfica Radar Shuttle).

visivelmente esta última, mais detalhada (ALMEIDA FILHO et al., 2010).

2.4.1 Interpretação morfoestrutural: estruturas tectônicas e rede de drenagem

Embora a interpretação da morfologia do terreno em termos de estruturas geológicas seja bem estabelecida (Prost, 1994; Keller e Pinter, 1996 apud Jordán et al., 2005, p.164) ainda não há estudo de caso documentado na literatura envolvendo a aplicação coerente dos métodos de análise digital de terrenos disponíveis para geomorfologia que estuda a tectônica. As limitações mais importantes de muitos são os seguintes: (1) a maior parte dos estudos utiliza um método único (ou apenas alguns métodos) para o reconhecimento e descrição das feições, (2) todos os estudos estão em escala regional, embora observações da paisagem sejam em escala local, (3) a maior parte dos estudos usam métodos de visualização de extração das feições (principalmente lineamento), (4) existem muito poucos casos envolvendo a análise e extração em paisagens específicas associadas às estruturas tectônicas, (5) a maioria dos métodos podem ser aplicados somente as formas de relevo neotectônicas e, (6) há uma falta de estudos da relação rigorosa entre processos tectônicos, processos geológicos secundários e suas representações no MDE²² (JORDÁN et al., op. cit.).

Segundo Mattos et al. (1982 apud Araújo et al., 2003), o termo morfoestrutura define uma estrutura presumida, identificada a partir da análise e interpretação de informações basicamente de relevo e drenagem, caracterizada por zonas anômalas dentro de um padrão geral de distribuição dos elementos de relevo e drenagem (Figura 22).

22 - MDE – Modelo Digital de Elevação similar MNT – Modelo Numérico do Terreno.

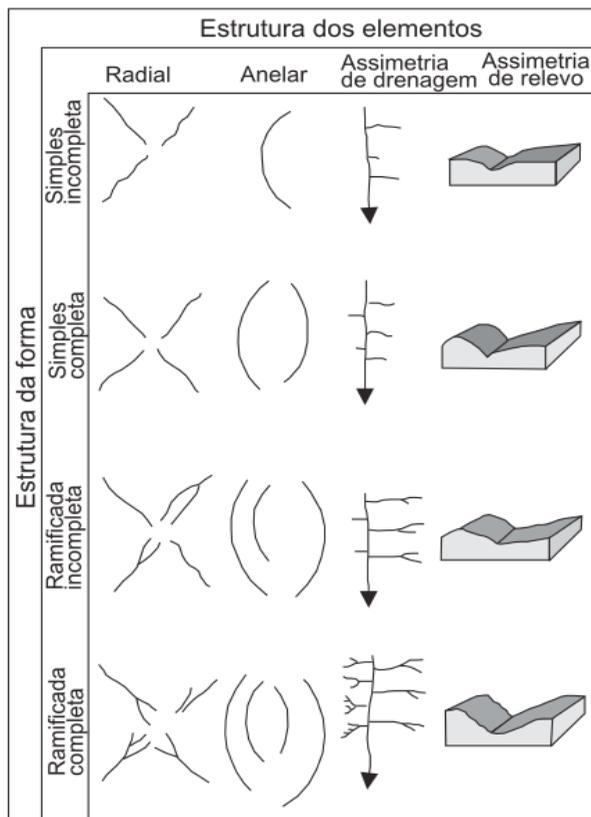


Figura 22 – Classificação das formas anômalas de drenagem. Fonte: Mattos et al. 1982 Modificado por Araújo et al., 2003, p.31).

O esquema morfoestrutural realizado por Araújo et al., (2003) procurou, a partir dos padrões de drenagem (assimetria e tropia) e dos lineamentos estruturais, traçar as feições do terreno derivadas de processos geológicos. O traçado, a partir da geometria de drenagem, permite visualizar a conformação estrutural da área e indicar as regiões de alto e baixo estrutural. As linhas traçadas podem ser cotadas com valores arbitrários (Figura 23), que podem ser usados para construir um MDE/MNT, o qual permite uma melhor visualização da conformação estrutural interpretada.

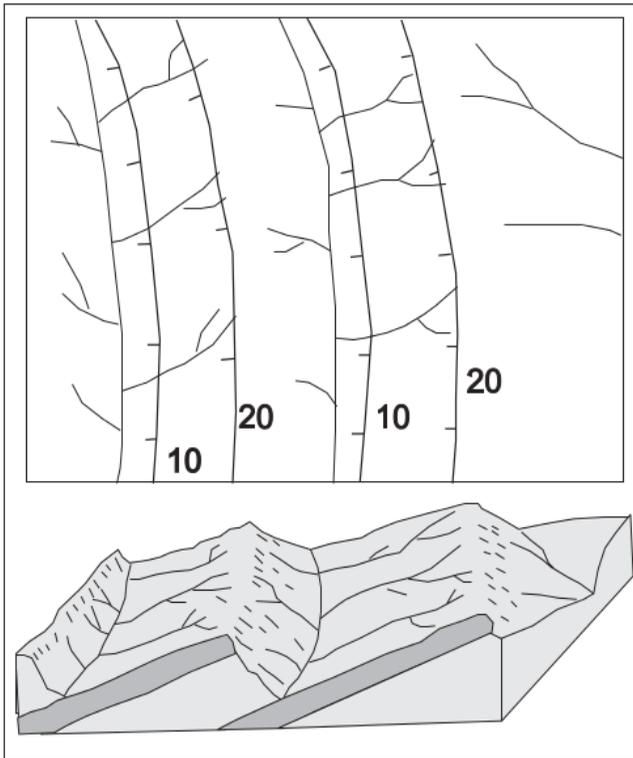


Figura 23 – Esquema de traçados de morfoestruturas. Linhas indicando o sentido dos mergulhos e esquema de números representando as cotas altimétricas do relevo. Escala aproximada do desenho: 1:100.000 . Fonte: Araújo et al. (2003, p. 31).

Uma etapa importante na interpretação morfoestrutural em bacias sedimentares é reconhecer as formas anômalas de drenagem. Segundo Crepani (1987 apud Araújo et al., 2003, p. 31), a interpretação das formas anômalas da rede de drenagem e dos arranjos formados por diferentes combinações entre elas permite que se infira o seu significado geológico uma vez que, a intensidade de estruturação dessas formas representa o grau de controle estrutural a que estão submetidas.

As propriedades da rede de drenagem auxiliam na interpretação da estrutura geológica, diferentes estruturas apresentam diferentes padrões de drenagem superficial²³ (Figura 24).

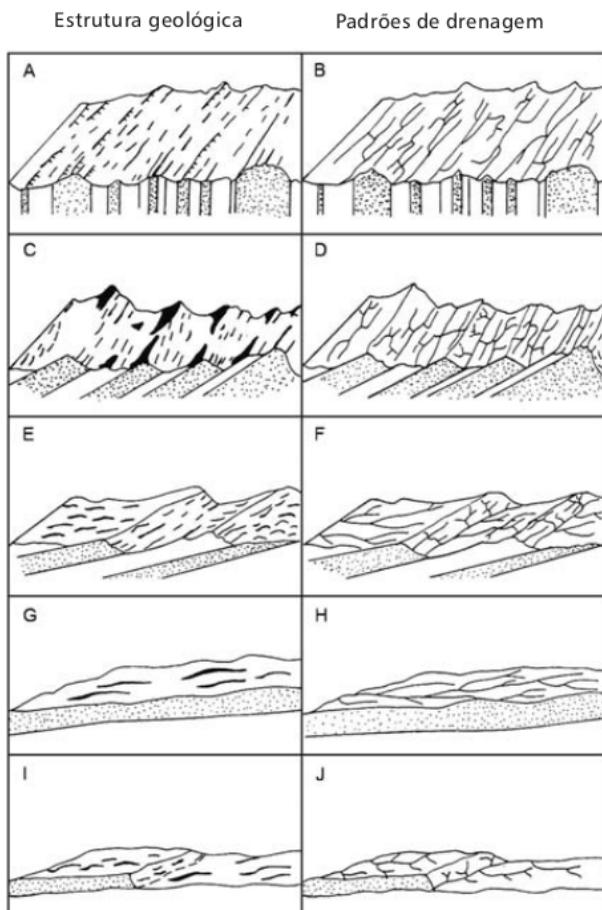


Figura 24 – Avaliação da estrutura geológica através das propriedades de relevo e drenagem em blocos diagramas.
Fonte: Arcanjo (2011, p. 81).

23 - Podendo ou não influenciar o fluxo subterrâneo e a recarga (aquífero livre x aquífero confinado).

A rede de drenagem quando traçada de forma sistemática e uniforme, pode fornecer importantes informações sobre a estrutura e as variações litológicas da área (ARCANJO, 2011). Ela pode influenciar ao condicionar o fluxo subterrâneo em aquíferos livres (freáticos).

2.4.2 Nível de base de erosão

A importância do nível de base de erosão para essa pesquisa, ocorre principalmente pois será o nível de entalhamento que controlará e determinará a cota dos patamares estruturais.

O conceito de nível de base de erosão surgiu no meio geomorfológico com o relatório de James Powell datado de 1875, com o título em português “Exploração do Rio Colorado no Oeste e seus tributários” (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 15), suas generalizações, surge como fundamental o conceito de nível mínimo para a redução do relevo terrestre, denominado de nível de base de erosão, sendo que para Powell, o nível de base era mais um conceito teórico do que uma realidade física, pela dificuldade de captar o momento em que um rio tenha parado de escavar o seu leito (CHRISTOFOLETTI, op.cit.).

Posteriormente novas contribuições, consideraram o conceito de nível de base de erosão, como:

“limite inferior de aprofundamento de um vale ou da erosão fluvial” (Thornbury, 1958 apud LANA e CASTRO, 2012, p. 55).

“limite topográfico, abaixo do qual uma drenagem não consegue erodir o continente, representando o estado de equilíbrio num dado momento entre a deposição e erosão. É também conhecido como nível de base de erosão” (Suguio, 1992 e Suguio, 2003 apud LANA e CASTRO, op.cit., p. 55).

“nível mais baixo ao qual a erosão da superfície da Terra busca atingir. É especialmente o nível abaixo do qual os rios não conseguem erodir seus depósitos” (Shanley e McCabe, 1994 apud LANA e CASTRO, op.cit., p. 55).

Todas as definições são unânimes em considerar que a erosão afeta até o limite, neste caso, o nível do mar, o nível básico de erosão da superfície terrestre, sendo que abaixo deste nível, não ocorre mais erosão das terras emersas, predominando, a deposição de sedimentos.

3 METODOLOGIA DE TRABALHO

Apresentaremos neste capítulo a metodologia desenvolvida nesta pesquisa, a qual representa uma abordagem do Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral (SAIG/SG), utilizando interpretações geomorfológica e hidrogeológica nas escalas de 1:2.000.000, 1:1.000.000, 1:500.000 e 1:250:000.

O método utilizado nesta pesquisa é o indutivo, através do qual analisa-se parte(s) e chega-se às conclusões prováveis sobre o objeto estudado (SILVEIRA, 2011).

As diferentes escalas de avaliação foram adotadas para favorecer a interpretação sistêmica, visualização das grandes feições geomorfológicas contínuas e em semidetalhe, a fim de ajustar e definir mais precisamente os limites.

Dividiu-se a metodologia desta pesquisa em três etapas:

3.1 Estrutura metodológica;

3.2 Levantamento de informações;

3.3 Elaboração dos produtos cartográficos e seções transversais.

3.1 Estrutura metodológica

A estrutura metodológica da tese pode ser resumida em um mapa conceitual, norteador da pesquisa (Figura 25). Nele foram detalhadas as etapas da construção da pesquisa, incluindo-se nestas, as etapas metodológicas, com a finalidade de definir, caracterizar os blocos e validar a integração entre os sistemas aquíferos SAG e SASG.

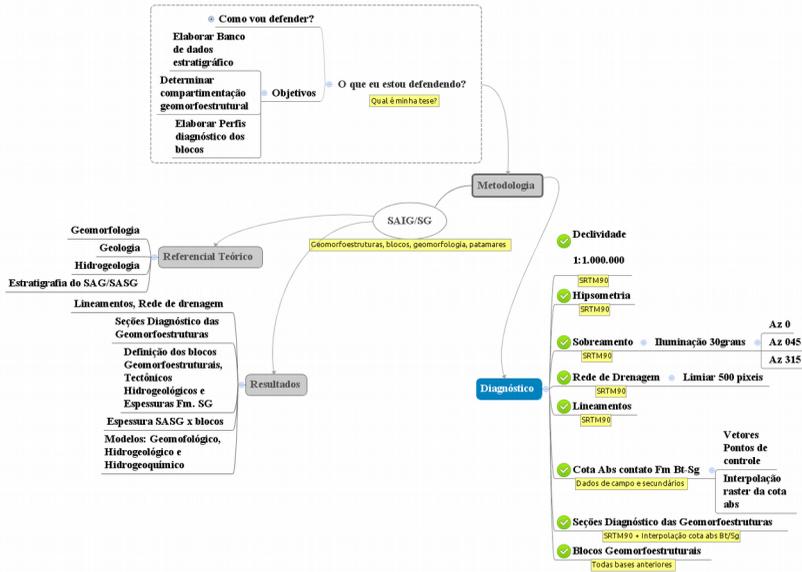


Figura 25 – Mapa conceitual da tese. Fonte: Elaborado pelo Autor.

3.2 Levantamento de informações

O levantamento de informações consistiu em atividades de campo e laboratório. Com a conclusão do levantamento foi gerado um banco de dados que foi posteriormente manipulado através de um SIG. O SIG auxiliou na preparação dos trabalhos de campo e na organização do banco de dados, que foi contínua, desde o início da pesquisa até meados de 2014, quando teve início a fase de interpretação das informações.

3.2.1 Levantamentos em laboratório

Inclui as informações (levantamento bibliográfico) e os equipamentos (hardwares, aplicativos) utilizados para montagem do banco de dados, SIG e realização da pesquisa.

3.2.1.1 Hardwares

Os hardwares usados nesta pesquisa foram: notebook, aparelho de Sistema de Posicionamento Global Garmin Colorado 400 T; câmara

digital Sony CyberShot; cartão de memória e discos rígidos portáteis; Pendrive 16Gb.

3.2.1.2 Aplicativos computacionais

Os aplicativos computacionais utilizados como ferramenta nesta pesquisa foram: QGIS versões 2.8.1 Wien e 2.10.1 Pisa (QGIS, 2015a); Spring 5.2.7 (Camara et al., 1996); LibreOffice versão 4.3.4.1 módulos: Writer, Impress e Calc; Bibus versão 1.5.2, Shutter versão 0.90.1; Editor vetorial Inkscape versão 0.48.4 e Firefox (Tabela 3).

Todos foram executados sobre o sistema operacional Ubuntu²⁴ versão 14.04 LTS.

Tabela 3 – Aplicativos computacionais utilizados na pesquisa. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Programa	Versão	Licença	Função
QGIS ²⁵	2.7 a 2.10	Aplicativo Livre-GPL	Sistema de Informações Geográficas
GRASS ²⁶	6.4.3	Aplicativo Livre-GNU ²⁷	Sistema de Informações Geográficas
SPRING ²⁸	5.2.7	Aplicativo Livre	Sistema de Informações Geográficas
LibreOffice e ²⁹		Aplicativo Livre-GPL	Editor de textos, planilhas e apresentações
Bibus ³⁰	1.5.2	Aplicativo Livre-GPL	Base de dados bibliográficos
Shutter ³¹	0.90.1	Aplicativo Livre-GPL	Captura e edição de imagens

24 - Site Ubuntu – <http://www.ubuntu.com/>.

25 - QGIS – <http://www.qgisbrasil.org>.

26 - GRASS – <http://grass.osgeo.org/>.

27 - GRASS GIS > = Versão 5 é um *software* livre, você pode redistribuí-lo e / ou modificá-lo sob os termos da GNU *General Public License* conforme publicada pela *Free Software Foundation*, tanto a versão 2 da licença, ou (a seu critério) qualquer versão posterior.

28 - SPRING – <http://www.dpi.inpe.br/spring/>.

29 - LibreOffice – <http://www.libreoffice.org/>.

30 - Bibus – http://bibus-biblio.sourceforge.net/wiki/index.php/Main_Page.

31 - Shutter – <http://shutter-project.org>.

Programa	Versão	Licença	Função
Editor Inkscape ³²	0.48.4	Aplicativo Livre-GPI	Edição de imagens e vetores
Firefox ³³	38.0	Aplicativo Livre-GPI	Navegador na rede mundial de computadores

Vinculado ao aplicativo QGIS, foram usadas operações de geoprocessamento e análise vetorial e raster, além de vários complementos: GRASS (Geographic Resources Analysis Support System), Terrain Profile, GDAL tools, Obtain elevation, QGIS2threejs, entre outros.

3.2.1.3 Levantamento bibliográfico, origem e formato dos Dados

Foram levantados dados na literatura nos formatos analógicos e digitais (disponíveis na rede mundial de computadores): livros, artigos e relatórios. Salienta-se a disponibilidade via download de dados espaciais de diversos órgãos oficiais através da rede mundial, como por exemplo: USGS, EMBRAPA, NASA, GADM, IBGE e CPRM, detalhes na (Tabela 4). Estes dados deram suporte e viabilizaram a realização da pesquisa.

Os dados espaciais ou cartográficos utilizados, apresentaram duas arquiteturas básicas:

- 1) Raster/Matricial ou Imagem e;
- 2) Vetorial (tipos: ponto, linha e polígono).

Além dos dados disponíveis na internet, elaborou-se um Banco de dados hidroestratigráficos disponível no (ANEXO A – Banco de dados hidroestratigráficos). Veja mais detalhes sobre o banco de dados no capítulo 3.2.1.4.

Tabela 4 – Bancos de dados disponíveis na internet. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Nome da base de dados	Sigla/Órgão	Site
Sistema de Informações de Águas Subterrâneas	SIAGAS/CPRM	http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/

32 - Inkscape – <https://inkscape.org/pt/>.

33 - Mozilla – <https://www.mozilla.org/pt-BR>.

Nome da base de dados	Sigla/Órgão	Site
Banco de dados GEOBANK	GEOBANK/CPRM	http://geobank.cprm.gov.br/
Global Administrative Areas	GADM	http://gadm.org/
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística	Mapas/IBGE	http://mapas.ibge.gov.br/
Earth Explorer ³⁴	EarthExplorer/USGS	http://earthexplorer.usgs.gov/
Brasil em Relevo ³⁵	EMBRAPA	http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/
Banco de dados geomorfológicos do Brasil	TOPODATA ³⁶ /INPE	http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php

Informações a respeito dos dados que compõem o SIG da tese: fontes, tipos, resoluções, escalas, descrições e/ou aplicações, encontram-se na (Tabela 5).

Tabela 5 – Dados inseridos no SIG da Tese: fonte, tipo, resolução e aplicações.
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Fonte	Arquitetura/Tipo	Resolução (m)/Escala	Descrição e ou Aplicações
SIAGAS/CPRM	Vetor/ Ponto ³⁷	variável	Pontos de controle estratigráfico
GEOBANK/	Vetor/Polígono	1:1.000.000	Carta Geológica do Brasil

34 - imagens SRTM da Agência Espacial Norte Americana (NASA) disponibilizadas pelo Centro Nacional EROS (Earth Resources Observation and Sciences) do USGS - Serviço Geológico Norte Americano através do Earth Explorer.

35 - Organizado por Miranda (2005).

36 - O projeto Topodata oferece MDE e suas derivações em cobertura nacional, elaborados a partir dos dados SRTM disponibilizados pelo USGS na rede mundial de computadores.

37 - Dado vetorial do tipo ponto (poço tubular ou afloramento rochoso), formado por um par de coordenadas (latitude e longitude).

Fonte	Arquitetura/Tipo	Resolução (m)/Escala	Descrição e ou Aplicações
CPRM			ao milionésimo
IBGE	Vetor/Polígono	1:500.000	Malha Estadual e Municipal
INPE/ TOPODATA	Raster	30/1:250.000	MDE complementar para médias
ASTER	Raster	30m	MDE complementar para médias
SRTM/NASA	Raster	30m e 90m	MDE complementar para médias
SRTM/ EMBRAPA	Raster	90m/1:250.000	MDE GRASS e geração da rede de drenagem

O Datum utilizado no projeto foi o Sistema de Referência Moderno – Sistema Geodésico Global 1984 do inglês *World Geodetic System* 1984 (WGS 84) – em Sistema de Coordenadas Geográficas Projetadas do tipo: Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM). O Sistema Referência de Coordenadas (SRC) adotado para nossa área de estudo foi o WGS84 UTM, ele situa-se no fuso ou zona de número (22): limitado pelas longitudes -48° e -54° Oeste de Greenwich. Quanto a sua latitude entre -26° e -28° Sul do Equador ou designado apenas pela letra (S). Desta forma o SRC no QGIS é designado pela sigla: WGS 84 UTM zona 22S, que apresenta autoridade de ID com código: EPSG³⁸ 32722.

Com uso do programa QGIS foi possível converter ou visualizar temporariamente as camadas com diferentes SRCs para o SRC do projeto (WGS84 UTM 22S). A reprojeção temporária disponível no QGIS, possibilita a aproximação espacial entre camadas com diferentes SRCs – para ativá-la, basta habilitá-la em propriedades do projeto → guia SRC → Caixa de seleção: Habilitar transformação SRC “*on the fly*”³⁹.

38 - EPSG – Base de Dados de Parâmetros Geodésicos da Associação Internacional de Produtores de Gás e Óleo, a qual é utilizada para identificar os SRCs usados pelo QGIS.

39 - Neste caso, *on the fly* pode ser traduzido como sendo voo livre e ajuste de camadas em diferentes SRCs.

3.2.1.4 Banco de dados hidroestratigráficos

O banco de dados hidroestratigráficos (BDH) possui **132 pontos de controle**⁴⁰ (ANEXO A – Banco de dados hidroestratigráficos). Os dados estratigráficos de poços tubulares, foram obtidos através dos perfis de sondagens fornecidos pelas empresas de perfuração e/ou por meio de dados preexistentes, já os contatos superficiais (afloramentos), foram obtidos através da observação direta.

Os pontos de controle possuem uma localização espacial expressa por um par de coordenadas x e y, que correspondem a sua longitude e latitude. As informações sobre as altitudes apresentaram dados muito discrepantes nas fichas consultadas, por esta razão optou-se pela utilização da cota média dos MDEs: SRTM, ASTER e TOPODATA, lidas a partir da posição geográfica de cada ponto de controle, possibilitando atribuir-lhes o valor médio referente a altitude (superfície do terreno) e altitude absoluta do contato estratigráfico entre as formações Botucatu e Serra Geral.

As informações referentes aos pontos de controle estratigráfico foram obtidas em distintas fontes: levantamentos de campo e laboratório (levantamento bibliográfico). Utilizou-se ainda, dados preexistentes Zanatta (2002), Machado (2005), Almeida (2011) e cedidos por empresas perfuradoras de poços, os quais foram compilados no Projeto Rede Guarani Serra Geral. A (Tabela 6) apresenta a fonte e a quantidade de pontos de controle.

Tabela 6 – Fonte de origem e quantidade dos pontos de controle estratigráfico.
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Fonte	Quantidade de pontos
SIAGAS ⁴¹	30
Levantamento em campo	28
PETROBRÁS	21
Machado (2005)	19
Zanatta (2002)	14

40 - Pontos de controle são poços tubulares e afloramentos rochosos, onde foram determinados os pontos de contatos litológicos/estratigráficos entre as formações geológicas Botucatu e Serra Geral.

41- Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS);

Fonte	Quantidade de pontos
Água Azul	9
Outros	6
PROESC ⁴²	3
FATMA	2
TOTAL	132

3.2.2 Pontos de controle estratigráfico⁴³

As campanhas de levantamento em campo de afloramentos usados como pontos de controle estratigráfico obtidos no terreno, foram realizadas no segundo semestre de 2012 e primeiro de 2013, em três campanhas conforme a (Tabela 7).

Tabela 7 – Campanhas de levantamento de campo de dados de contatos geológicos. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Campanha de levantamento	Semestre/ano	Área percorrida ⁴⁴
1	02/2012	Centro e norte de SC
2	02/2012	Centro de SC
3	01/2013	Sul de SC

Nestas campanhas, foram levantados contatos aflorantes, referentes a 28 pontos de controle entre as formações Botucatu e Serra Geral (Figura 26), que compõem o (ANEXO A – Banco de dados hidroestratigráficos).

42 - Banco de dados do Projeto PROESC disponibilizado em CD-ROM pelo Geólogo Marcos Alexandre Freitas da CPRM – Porto Alegre – RS;

43 - Encontram-se disponíveis no ANEXO A – Banco de dados hidroestratigráficos.

44 - Área da borda aflorante e contatos entre formações Botucatu e Serra Geral no Estado de Santa Catarina. Os dados coletados compõem o banco de dados hidroestratigráficos.



Figura 26 – Locais de registro de pontos de controle estratigráficos: Esquerda – Porto União-SC e Direita – Ponte Alta do Norte-SC. Fonte: Elaborado pelo Autor.

3.3 Elaboração dos produtos cartográficos e seções transversais

A (Tabela 8) apresenta as principais características dos produtos cartográficos organizados por tema (camadas temáticas ou planos de informações geográficas).

Tabela 8 – Informações referentes às camadas temáticas ou planos de informações. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Nº	Camada temática/Plano de informação	Arquitetura ⁴⁵	Resolução /Escala /Limiar	Base/Fonte
1	Hipsometria	<i>Raster</i>	90m	MDE/SRTM
2	Sombreamento	<i>Raster</i>	90m	MDE/SRTM
3	Declividade	<i>Raster</i>	90m	MDE/SRTM
4	Imagem	<i>Raster</i>	90m	<i>Rasters</i> das linhas N ^{os} 1+ 2+

45 - Arquitetura do dado, que no caso deste estudo poderá ser vetorial do tipo ponto, linha ou polígono ou *raster*/matricial matriz formada por linhas e colunas constituintes do *pixel* – menor elemento numa imagem);

Nº	Camada temática/Plano de informação	Arquitetura	Resolução /Escala /Limiar	Base/Fonte
	Combinada			3 (combinados ⁴⁶)
5	Pré-blocos geomorfoestruturais	Vetorial ⁴⁷	1:1.000.000 e 1:500.000	Declividade e <i>Raster</i> combinado
6	Lineamentos	Vetorial	1:250.000	Sombreamento (Inclinação 30° e Azimutes 0°, 45° e 315°)
7	Rede de Drenagem	Vetorial	500 células	MDE/SRTM
8	Pontos de controle	Vetorial	Várias escalas	Banco de dados da tese
9	Seções Transversais	Vetoriais	Várias escalas	MDE/SRTM e Pontos de Controle
10	Blocos Geomorfoestruturais	Vetorial	1:1.000.000, 1:500.000 e 1:250.000	Pré-blocos geomorfoestruturais, Rede de Drenagem e Seções Transversais
11	Blocos Tectônicos Hidrogeológicos	Vetorial	1:1.000.000, 1:500.000 e 1:250.000	Blocos Geomorfoestruturais e Pontos de controle

3.3.1 Hipsometria

A camada temática referente à hipsometria representa o modelo digital de elevação (MDE); a variação da altitude é representada por cores contínuas, variando de preto para as altitudes menores, até branco para as altitudes maiores. O MDE da área de estudo variou de aproximadamente 171 metros no Município de Itapiranga a 1801 metros

46 - Combinação de camadas *raster* (hipsometria, sombreamento e declividade), através da sobreposição de camadas com % de transparência diferente de zero e cem.

47 - Camadas vetoriais do tipo Linha, formada pela ligação de dois ou mais vértices.

no Município de Urubuci, apresentando amplitude altimétrica total de ~ 1630 metros.

3.3.2 Sombreamento

Os mapas de relevo sombreado ou sombreamento, são camadas temáticas do tipo *raster* que, usam a luz e a sombra para proporcionar aparência tridimensional ao relevo a partir de uma elevação *raster* suportada pelo GDAL⁴⁸ (QGIS, 2015b).

Elaborou-se o sombreamento no azimute de iluminação, N – 0° com elevação de 30° de inclinação no ângulo de iluminação “solar”.

3.3.3 Declividade

Esta camada foi elaborada com uso do algoritmo homônimo, ele calcula o ângulo de inclinação para cada célula em grau (QGIS, 2015b).

Para geração da camada *raster* de declividade no QGIS, fez-se o uso do complemento GRASS, um SIG robusto acoplado ao QGIS na forma de complemento nativo (*native plugin*). O algoritmo utilizado foi o *r.slope.aspect*, a camada de entrada foi o MDE e a camada de saída foi o *raster* de declividade em percentual.

3.3.4 Composição *raster*

A imagem *raster* composta, representa a combinação de três camadas *raster* com diferentes percentuais de transparência (Tabela 9).

Tabela 9 – Contribuição e transparência das camadas *raster*. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Camada temática / Planos de Informações <i>raster</i>	Transparência ⁴⁹ em %	Contribuição ⁵⁰ em %
Hipsometria	60	44,4
Declividade	70	33,3

48 - GDAL é uma biblioteca tradutora de dados geoespaciais para os formatos *raster* e *vetor* liberados sob uma licença X/MIT estilo Código Aberto pela Fundação Geoespacial para Código Aberto (*Open Source Geospatial Foundation*) OSGeo: <http://www.osgeo.org/>.

49 - Transparência global varia de nenhum (totalmente transparente 0%) à cheia (100% sem transparência);

50 - Contribuição real da base de informação para a composição final.

Camada temática / Planos de Informações <i>raster</i>	Transparência em %	Contribuição em %
Sombreamento	80	22,2

3.3.5 Feições geomorfoestruturais

O termo feições geomorfoestruturais vem de [GEOMORFO] [ESTRUTURA]. [GEOMORFO] - reforça o aspecto geomorfológico (linhas e polígonos interpretados e materializados a partir das feições geomorfológicas); [ESTRUTURA] - reforça o aspecto da gênese geotectônica e estrutural conformadora dos elementos geomorfológicos presentes na paisagem;

Dividiu-se as feições geomorfoestruturais em dois tipos: feições geomorfoestruturais lineares e pré-blocos geomorfoestruturais.

3.3.5.1 Feições lineares

As feições geomorfoestruturais lineares foram extraídas a partir da camada *raster* declividade. Elas representam grandes feições geológicas e geomorfológicas que representam alinhamentos gerais detectáveis em pequena escala (1:1.000.000 e 1:2.000.000), visualizadas e interpretadas em SIG. Estes alinhamentos podem ser expressos por vales lineares, quebras de declives lineares ou cumes alinhados, conforme Jordán et al., (2005, p.164).

3.3.5.2 Pré-blocos geomorfoestruturais

Os pré-blocos⁵¹ geomorfoestruturais representam a soma das feições geomorfoestruturais lineares e polígonos delimitados sobre *raster* composto, conforme (Figura 27).

A delimitação dos pré-blocos usa como base as feições lineares e composição *raster*, (hipsometria 44,4%, declividade 33,3% e sombreamento 22,2%), analisadas de forma global e em semi-detalhe, em escalas pequenas e médias (1:2.000.000, 1:1.000.000, 1:500.000 e 1:250.000).

51 - Pré-blocos são blocos ainda não confirmados. É a marcação prévia (pré-blocos) realizada sobre a imagem, para posterior confirmação (bloco) com auxílio da em seção e outros detalhes.

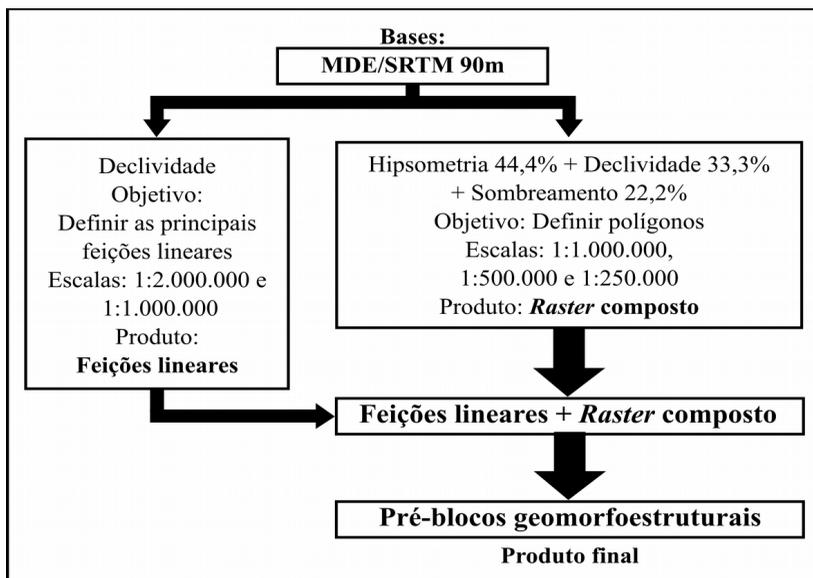


Figura 27 – Fluxograma das etapas para definição dos pré-blocos. Fonte: Elaborado pelo Autor.

3.3.6 Lineamentos

Os lineamentos são correlacionados a estruturas rúpteis – falhas e fraturas – expressas por drenagens retilíneas e vales encaixados, classificados por O'leary et al. (1976) como lineamentos do tipo 2. Eles foram obtidos por técnica de visualização, interpretação e edição de feições lineares penetrativas, sobre as camadas *raster* de MDE com sombreamento nos azimutes $N0^\circ$, $NE45^\circ$ e $NW315^\circ$. No total foram mapeados 2484 lineamentos: 1662 lineamentos oriundos do Projeto Rede Guarani Serra Geral e 822 lineamentos complementares editados nesta pesquisa. A escala utilizada para mapeamento dos lineamentos foi de semidetalhe - 1:250.000.

Os lineamentos são elementos chave para a determinação e correlacionados as falhas e limites de blocos presentes nas seções, além de fazer parte dos mapas de detalhe geomorfoestruturais em escala 1:250.000, escala final pretendida nessa pesquisa de cunho regional.

3.3.7 Rede de Drenagem

A rede de drenagem foi traçada de forma automática com base no MDE/SRTM com resolução espacial 90 metros. Sendo realizada através do complemento GRASS do QGIS. A sequência de algoritmos e detalhes para sua geração, encontra-se na (Tabela 10).

Tabela 10 – Geração automática da rede de drenagem no QGIS. Etapas, descrição e algoritmos. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Etapa	Descrição	Entrada	Algoritmo	Saída
1	Criar Mapset GRASS	-	-	-
2	Importar camada MDE	MDE_srtm.tif	r.in.gdal.qgis	mnt_sc
3	Região de Trabalho	-	g.region	-
4	Criar rede de drenagem	mnt_sc	r.watershed	cursos_500
5	Converter rede de drenagem	cursos_500	r.to.vect.line	rede_de_drenagem

O módulo *r.watershed* gera a rede de drenagem no formato *raster*. Para tanto, deve ser definido o número de células que drenam através de cada célula (pixel), esse número também é conhecido como Limiar = *threshold*. Usou-se um *threshold* de 500 células (pixels).

A geração de drenagem a partir de uma base única e consistente (MDE/SRTM 90m), apresentou a vantagem de padronização da base geradora da rede de drenagem. Para fins ilustrativos, apresentaremos uma amostra da rede de drenagem gerada no QGIS (base padronizada) e uma amostra de dados oriundos de bases em diferentes escalas, órgãos e interpretações (despadronizadas), disponibilizada pelo Banco de dados hidrológicos (HIDROWEB) da Agência Nacional de Águas (ANA) (Figura 28).

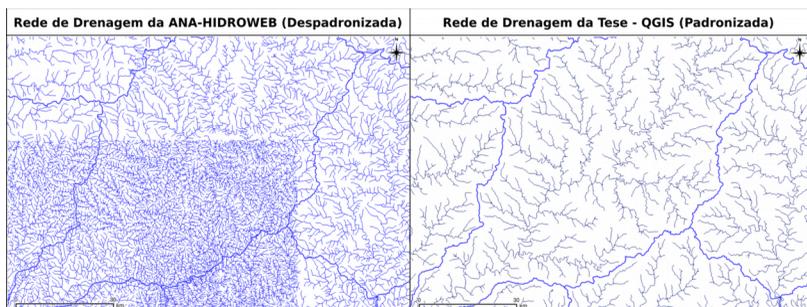


Figura 28 – Redes de drenagem. Lado esquerdo Fonte: ANA (despadronizada=várias bases e escalas); Lado direito fonte: QGIS/GRASS/Tese (padronizada=base única, SRTM resolução espacial 90 x 90 metros). Fonte: Elaborado pelo Autor.

A rede de drenagem e os lineamentos sobrepostos às camadas *raster* composta salientou aspectos geomorfológicos, possibilitando a definição de blocos geomorfoestruturais.

3.3.8 Critérios para interpretação de patamares e blocos das seções

Os critérios adotados para interpretação geomorfológica⁵² e estabelecimento dos patamares geomorfoesculturais (3.3.10. Patamares geomorfoesculturais) e blocos geomorfoestruturais (3.3.11 Blocos geomorfoestruturais) das seções, estão descritos na (Tabela 11).

Tabela 11 – Critérios chave para estabelecimento dos patamares geomorfoesculturais e blocos geomorfoestruturais nas seções transversais.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

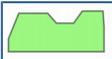
Patamar geomorfoescultural	Bloco geomorfoestrutural
1 - Análise da geomorfologia das seções, do nível de base de erosão da rede de drenagem (Detecção inicial dos patamares);	1 - Análise do SIG em escalas de 1:1.000.000 e 1:500.000, baseada nas diferenças no relevo e nos elementos geológicos e geomorfológicos (Detecção preliminar dos blocos);
2 - Definição de pontos de ruptura estrutural e falhas coerentes com a estruturação geológica e hidrogeológica local e regional	2 - Leitura global da seção (superfícies do terreno e aquífero) e do limite preliminar dos blocos, confirmação ou realocação do limite na seção e no

52 - entenda-se por geomorfológica a visão conjunta dos patamares geomorfoesculturais e dos blocos geomorfoestruturais.

(Confirmação dos patamares);	mapa (Confirmação/ajustes dos blocos);
3 - Definição dos patamares a partir dos níveis de base e falhas normais, que são pontos de ruptura de patamares (Confirmação e implementação dos patamares).	-----

Os critérios para interpretação e descrição do relevo nas seções encontram-se descritos na (Tabela 12).

Tabela 12 – Critérios chave para interpretação e descrição do relevo nas seções transversais⁵³. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Elementos da seção	Critérios chave para interpretação e descrição	
Textura	Lisa	Rugosa
Forma		
Forma dos vales	Abertos em “U”	Fechado em “V”
Forma dos topos	Tabulares/Planos	Pontiagudos/Íngremes
Altitude do terreno ⁵⁴	Acima de 1200 m	Abaixo de 1200 m
Declividade	Baixa	Alta
Tipo de rocha ⁵⁵	Vulcânica ácida (mais resistente)	Vulcânica básica (menos resistente)

Os elementos e critérios para interpretação e descrição do relevo nos mapas geomorfoestruturais encontram-se na (Tabela 13).

53 - Estes critérios apresentam exceções.

54 - Quando uma seção apresenta altitudes acima de 1200m (acima do nível médio do mar, Porto do Imbituba-SC) espera-se a presença de rochas ácidas, valores abaixo de 1200m espera-se com maior frequência rochas básicas.

55 - Tipo de rocha provável, especialmente em altitudes superiores a 1200 metros;

Tabela 13 – Elementos e critérios chave para interpretação e descrição do relevo nos mapas geomorfoestruturais. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Elementos do mapa geomorfoestrutural	Critérios chave para interpretação e descrição	
Relevo	Plano	Acidentado/Íngreme
Cor	Verde	Rosa
Textura	Lisa	Rugosa
Declividade	Baixa	Alta
Tipo de rocha ⁵⁶	Vulcânica ácida (mais resistente)	Vulcânica básica (menos resistente)

3.3.9 Elaboração das seções transversais

Os critérios para localização das seções transversais foram a existência de limites entre blocos para confirmação e de pontos de controle em cada bloco⁵⁷. As seções são cortes realizados sobre o MDE, da superfície do terreno, a partir dos quais foram interpretados os **patamares geomorfoesculturais** e os **blocos geomorfoestruturais**; posteriormente é plotada a linha do topo estimada da Formação Botucatu (SAG). As seções iniciam e finalizam⁵⁸ em pontos de controle⁵⁹ do topo da Formação Botucatu (SAG).

As seções foram elaboradas e analisadas na tela do computador (meio digital), através dos aplicativos: QGIS (QGIS, 2015a) complemento *Profile Tool* (Figura 29) e editadas no *Inkscape*. Foram selecionadas 13 seções mais representativas de limites entre blocos geomorfoestruturais.

56 - Relevos planos e com baixa declividade estão associados à presença de rochas ácidas. Sartori (2009) salienta que para região de Santa Maria, predominam as diaclases horizontais em rochas ácidas o que condiciona o intemperismo para formação de relevo tabular. Já em terrenos íngremes e declivosos estão geralmente associados à presença de rochas básicas. Sartori op cit. salienta que as rochas básicas estão associadas a ocorrência de zonas de fraturas verticais, mais uma vez, condicionando a formação de relevo escarpado.

57 - Com exceção a seção 12 que apresentou apenas um ponto de controle.

58 - Com exceção a seção 12, que não finaliza em ponto de controle.

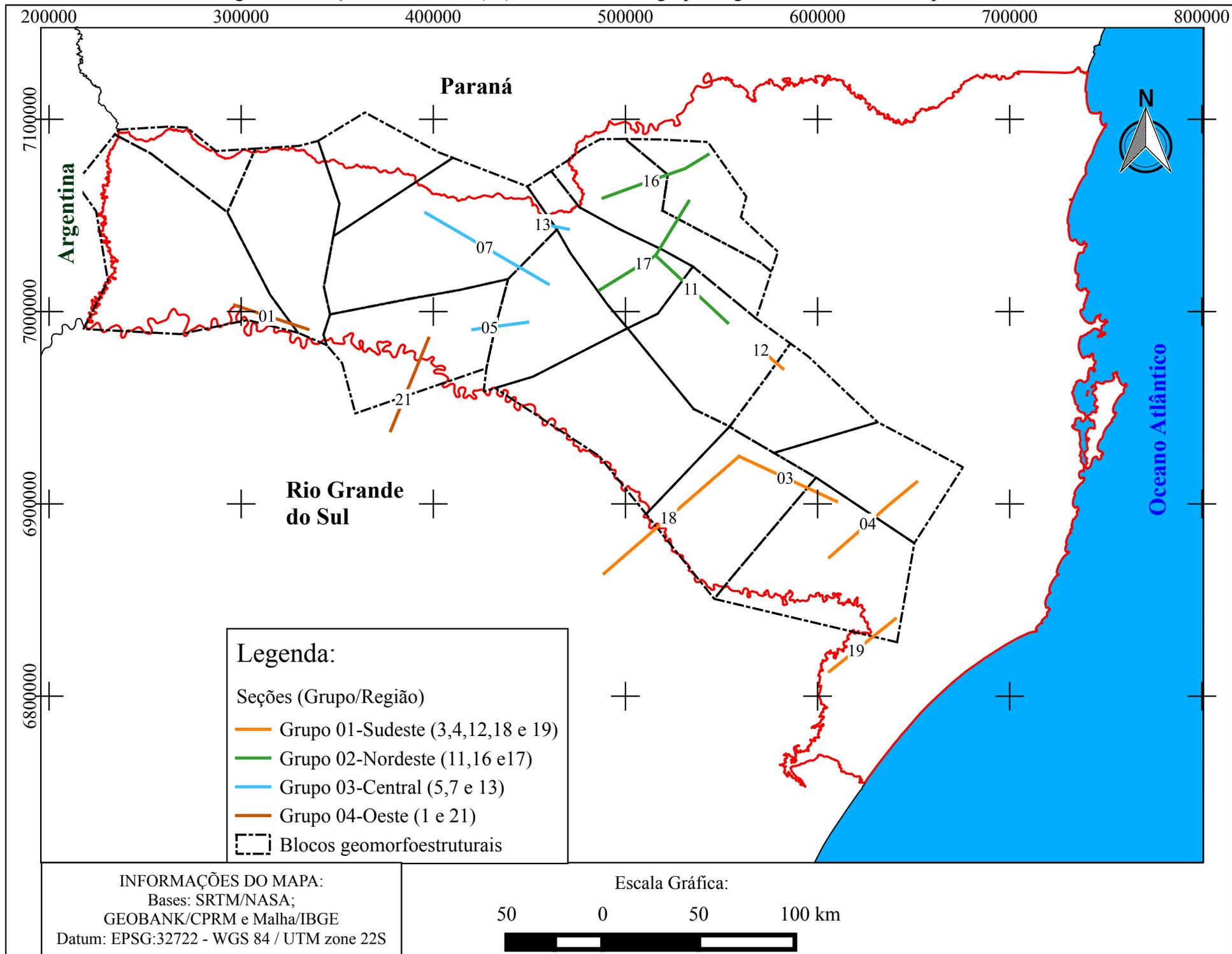
59 - Ponto de controle são poços tubulares ou pontos levantados em trabalhos de campo.



Figura 29 – Interface gráfica do complemento *Profile Tool* do QGIS 2.8.1 *Wien*. Em cor laranja seção transversal digital referente a camada MDE/SRTM. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Após a geração de cada seção, elas são exportadas e salvas em formato *SVG* (*Scalable Vector Graphics*). Em seguida, o arquivo *SVG* é aberto no programa edição vetorial, onde foram acrescentados nas seções os elementos: mapa de situação e de detalhes, legendas, escalas, pontos de controle, interpretação das linhas de superfície da Formação Botucatu, plotagem dos lineamentos, rede de drenagem, patamares geomorfoestruturais e falhas, inserção de toponímias, fontes, títulos e outros ajustes gráficos.

As 13 seções foram divididas em 04 grupos associados a 04 regiões geográficas (Figura 30), afim de facilitar a interpretação dos aspectos geotectônicos regionais.



As seções acrescentaram informações geomorfológicas e hidrogeológicas, referentes ao relevo e ao contato entre as formações Botucatu e Serra Geral, que serviram de suporte à confirmação dos limites dos blocos geomorfoestruturais.

3.3.10. Patamares geomorfoesculturais

Os **patamares geomorfoesculturais** representam uma linha horizontal que marca o talvegue (fundo do vale) mais profundo, ou seja, o nível de base de erosão de um segmento estabelecido entre duas quebras abruptas de relevo (falhas normais), conforme a (Figura 31).

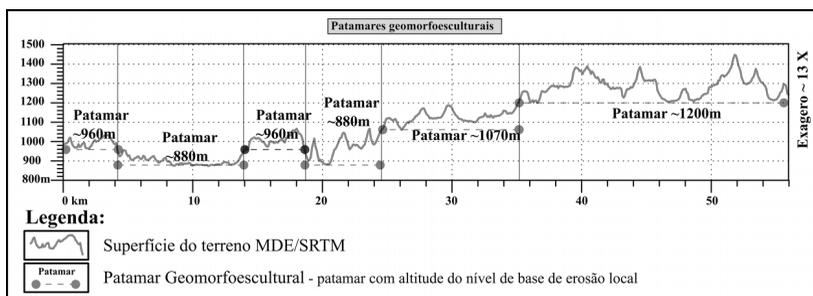


Figura 31 – Seção transversal digital e seus patamares geomorfoesculturais horizontais. Fonte: Elaborado pelo Autor.

O processo de erosão dos patamares geomorfoesculturais em rochas vulcânicas, depende da heterogeneidade dos materiais e de diversos fatores, como por exemplo: porosidade, estratificação, composição das rochas, clima e hidrologia. A erosão em rochas vulcânicas com fraturamento vertical (básicas) favorece a origem de sulcos e vales. Por outro lado, a erosão em rochas com fraturamento horizontal (ácidas) é normalmente laminar, originando estruturas planas e tabulares (SARTORI, 2009).

Mesmo em rochas ácidas, quando ocorrem fraturas tectônicas, elas propiciam a formação de vales sulcados e profundos na rede de drenagem.

Os patamares geomorfoesculturais revelam: 1) maior ou menor sensibilidade à erosão diferencial (heterogeneidade); 2) Adaptação tectônica (*Grabens*, *Horsts*, picos e planícies); e 3) Adaptação isostática da crosta terrestre pela erosão das rochas vulcânicas e sucessivo alívio de massa (grama/cm³).

As diferenças de porosidade, estratificação, composição das rochas, entre outros fatores, proporcionam a erosão diferencial (E.D.) dos substratos rochosos e manto de alteração. Cada volume de rocha e solos erodidos, propicia a compensação isostática (através de pequenos soerguimentos do bloco siálico continental). Este processo complexo de erosão e compensação, contribui para configuração dos patamares geomorfoesculturais presentes nas paisagens continentais.

A (Figura 32) ilustra as diferentes compensações isostáticas para erosão planar/laminar ou em sulco/fratura, sobre um bloco de referência com camadas de rochas ígneas extrusivas ácidas sobre básicas. A erosão em fratura pode ultrapassar a camada de rochas ácidas através do sulcamento por instalação de rede de drenagem, erodindo posteriormente as rochas básicas (mais densas), formando vales profundos e picos elevados resultados dos ajustes e reajustes isostáticos.

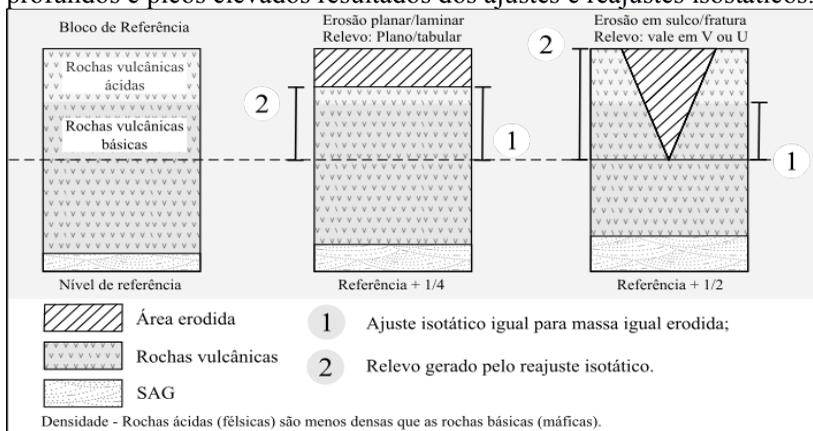


Figura 32 – Erosão em rochas vulcânicas e compensação isostática. Fonte: Elaborado pelo Autor.

3.3.11 Blocos geomorfoestruturais

São definidos partindo-se dos pré-blocos geomorfoestruturais em escalas⁶⁰ 1:1.000.000, 1:500.000 e 1:250.000 usando como base as camadas: imagem *raster* composta + rede de drenagem + seção transversais.

60 - Visualização em tela do SIG com escala fixada (mantendo fixa a escala durante todo o processo de interpretação em cada escala).

Os blocos geomorfoestruturais foram confirmados e ou ajustados a partir das seções transversais digitais. As seções registram as falhas normais em uma visão bidimensional⁶¹, dando suporte para confirmação ou correção dos limites dos pré-blocos.

3.3.12 Mapas geomorfoestruturais

São produzidos através da sobreposição das seguintes camadas:

1) Camada *raster* composta (22,2% Sombreamento + 33,3% Declividade + 44,4% Hipsometria);

2) Camadas vetoriais:

a) Rede de drenagem;

b) Lineamentos;

c) Blocos geomorfoestruturais.

Os **mapas geomorfoestruturais** são apresentados na forma de mapas de detalhe em cada seção transversal e da área da pesquisa. Nos mapas de detalhe são plotados os principais elementos interpretativos presentes nas seções.

3.3.13 Blocos tectônicos hidrogeológicos

Os blocos tectônicos hidrogeológicos consideram as informações hidrogeológicas referentes à cota absoluta média do topo da Formação Botucatu, por blocos geomorfoestruturais.

3.3.14 Espessuras do Sistema Aquífero Serra Geral

Foram calculadas as espessuras médias do SASG por blocos geomorfoestruturais, a partir dos pontos de controle do (Erro: Origem da referência não encontrada).

61 - Comprimento no mapa de situação e altura na seção.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Apresentaremos neste capítulo os resultados da pesquisa e, para tanto, detalharemos as bases, elementos e modelos utilizados para interpretação das geomorfoestruturas e compartimentações tectônicas do Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral (SAIG/SG) em blocos geomorfoestruturais, hidrogeológicos, espessuras do SASG e por fim o modelo integrador da tectônica e da hidrogeologia.

4.1 Camadas base para definição dos blocos geomorfoestruturais

Os blocos geomorfoestruturais foram interpretados a partir das bases de hipsometria, sombreamento, declividade e a imagem composta. Elas foram utilizadas na interpretação das geomorfoestruturas e serão apresentadas a seguir.

4.1.1 Hipsometria

O uso da hipsometria como base geomorfoestrutural teve como finalidade destacar diferenças de altitude, base para compreensão do relevo. Este destaque se dá pelas variações de cores (branco = maiores altitudes e preto = menores).

A hipsometria mostra importantes feições a partir de escala de cinza, principalmente no que tange às bacias hidrográficas dos rios do Peixe, Jacutinga, Irani, Chapecó e das Antas, bem como, aos altos topográficos das serras de São Joaquim, Urubici e Campo dos Padres (APÊNDICE A – Mapa de localização das toponímias), em cores claras, conforme pode ser observado na (Figura 33) a seguir.

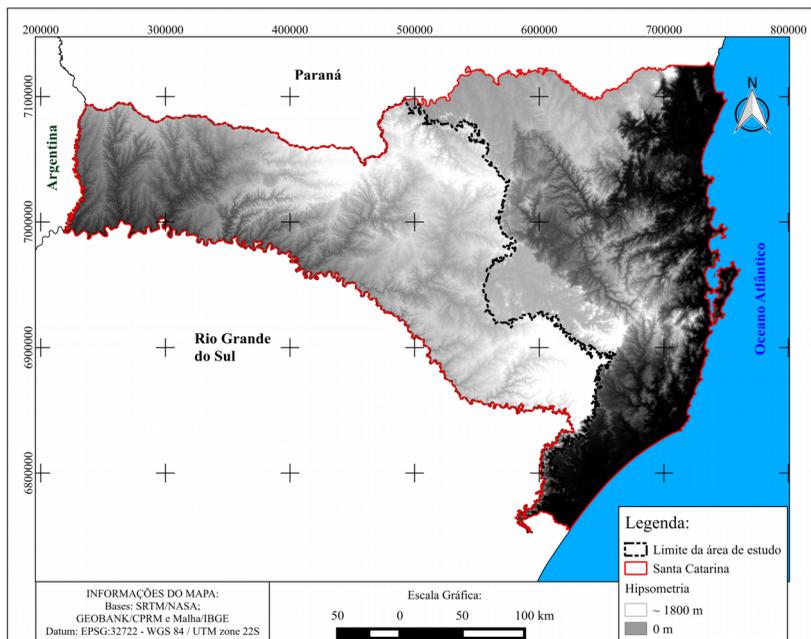


Figura 33 – Mapa Hipsométrico. Fonte: Elaborado pelo Autor.

4.1.2 Sombreamento

O mapa de sombreamento serviu de contraste para interpretação das estruturas. Notar que áreas planas apresentam uma textura lisa, enquanto áreas de maior declividade apresentam textura rugosa, como é o caso da vertente nordeste da Serra do Espigão (APÊNDICE A – Mapa de localização das toponímias), as bacias do Rio do Peixe, Chapecó e das Antas, conforme (Figura 34).

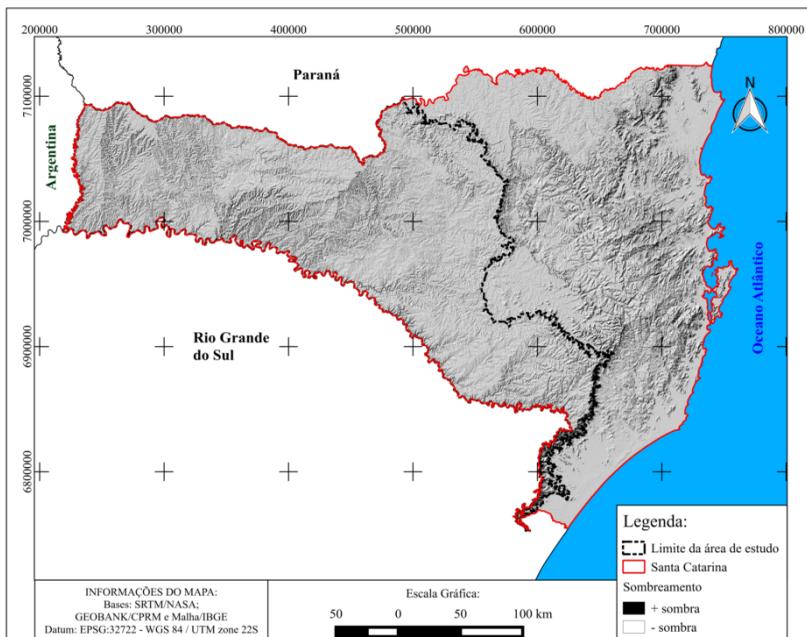


Figura 34 – Mapa de sombreamento. Fonte: Elaborado pelo Autor.

4.1.3 Declividade

A declividade (Figura 35) serviu de base para salientar os padrões de relevo, sinalizando a existência de áreas contínuas como é o caso da bacia do Chapecó com declividade média de 10% (cor verde) e a bacia do Peixe com declividade média de 30% (cor rosa) e quebras estruturais coincidindo com os limites destas áreas com declividades contrastantes, formando alinhamentos estruturais que representam limites de blocos.

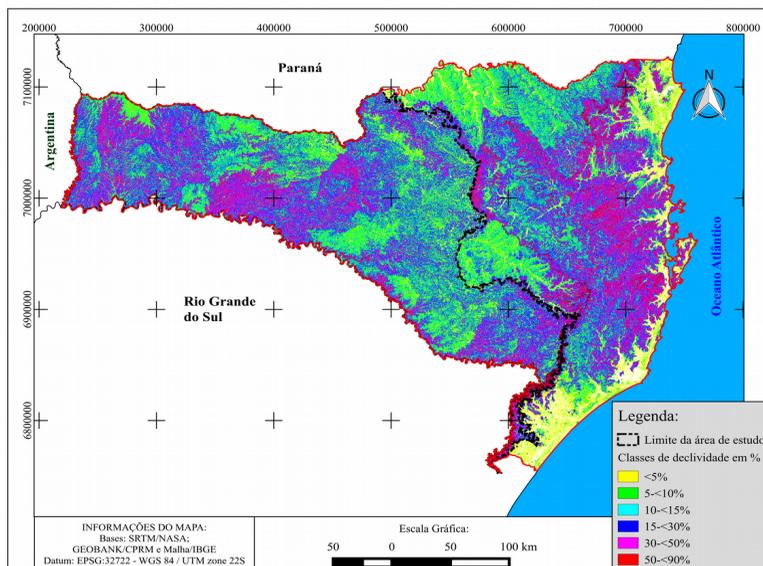


Figura 35 – Mapa de declividade. Fonte: Elaborado pelo Autor.

4.1.4 Composição *raster*

A composição das 3 bases (hipsometria, sombreamento e declividade) possibilitou a geração da base para a interpretação geomorfológica. Essa base destacou aspectos geomorfológicos através da contribuição distinta somada entre as 3 camadas temáticas, constituindo uma falsa perspectiva de profundidade (tridimensional) favorecendo o destaque de feições do relevo (Figura 36). A geomorfologia atualmente está cada vez mais inserida no campo da geotectônica, conforme estudos realizados por diversos autores (SCHEIBE; FURTADO, 1989), (ZALÁN et al., 1990), (FRASCA; LISBOA, 1993), (LISBOA, 1996), (MACHADO, 2005), (MILANI et al., 2007), SOARES et al., 2007), (SCHEIBE; HIRATA, 2008), (NANNI, 2008), (JACQUES et al., 2010), (IBANEZ et al., 2014), (JACQUES et al., 2014).

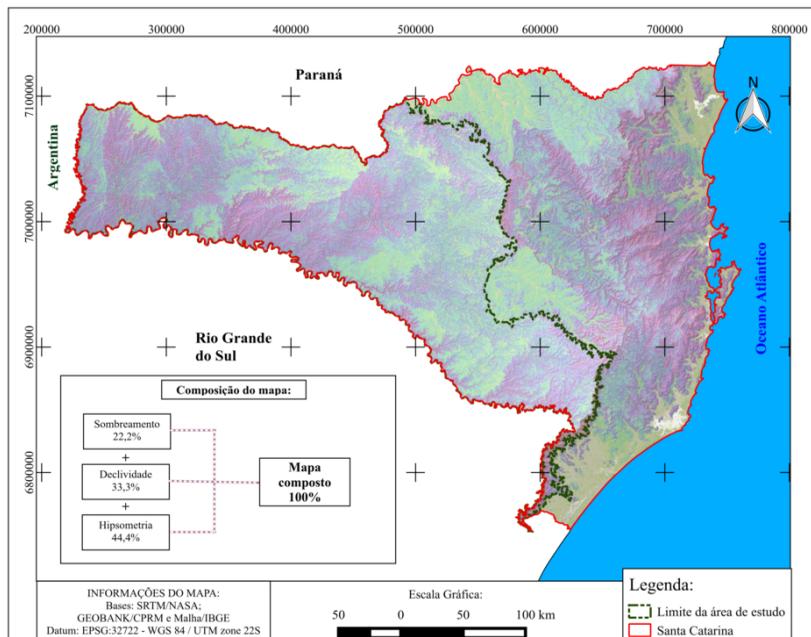


Figura 36 – Camada *raster* composta para melhoria do contraste entre pré-blocos geomorfoestruturais. Fonte: Elaborado pelo Autor.

4.2 Definição das feições geomorfoestruturais

Descreve-se a seguir como foram definidas as feições geomorfoestruturais lineares e os pré-blocos geomorfoestruturais.

4.2.1 Feições lineares

As feições geomorfoestruturais lineares e podem coincidir com grandes alinhamentos geomorfológicos e/ ou lineamentos tectônicos, definidos a partir da visualização dos padrões retilíneos de distribuição espacial da declividade.

Como pode ser observado na (Figura 37) as trocas abruptas de cores na declividade, sinalizam a existência de feições lineares; bem no centro da área pesquisada, a bacia do rio do Peixe (APÊNDICE A – Mapa de localização das toponímias) apresenta seus contornos fortemente marcados por feições geomorfológicas lineares, situação similar ocorre em outros locais.

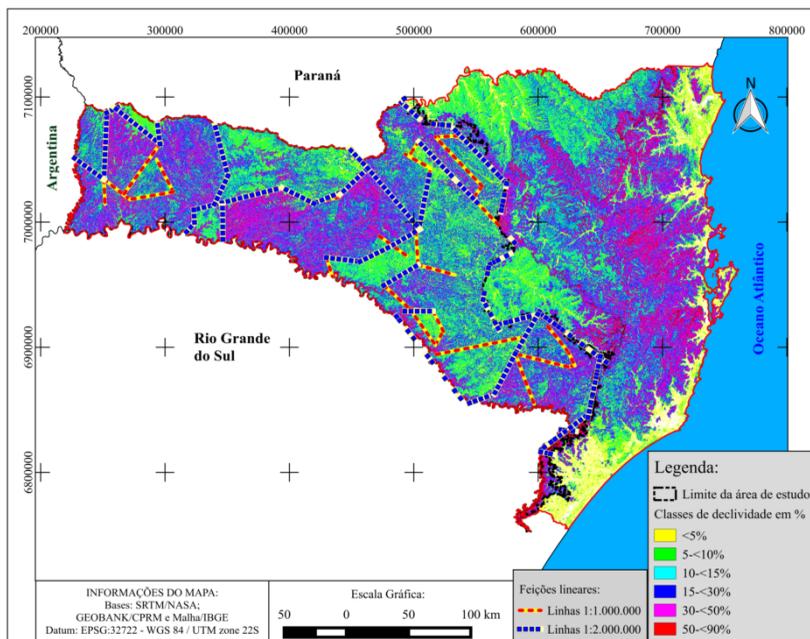


Figura 37 – Mapa das feições lineares. Fonte: Elaborado pelo Autor.

4.2.2. Pré-blocos geomorfoestruturais

Os pré-blocos geomorfoestruturais são áreas (polígonos ou blocos fechados) que agregam no seu interior padrão geomorfológico semelhante como: variação de altitudes, percentuais de declividade e direções preferenciais de alinhamentos geomorfoestruturais.

A definição espacial dos pré-blocos geomorfoestruturais, buscou afirmar a correlação das feições geomorfológicas com a geologia, possibilitando a compartimentação geomorfoestrutural.

Foram definidos 17 pré-blocos geomorfoestruturais (Figura 38).

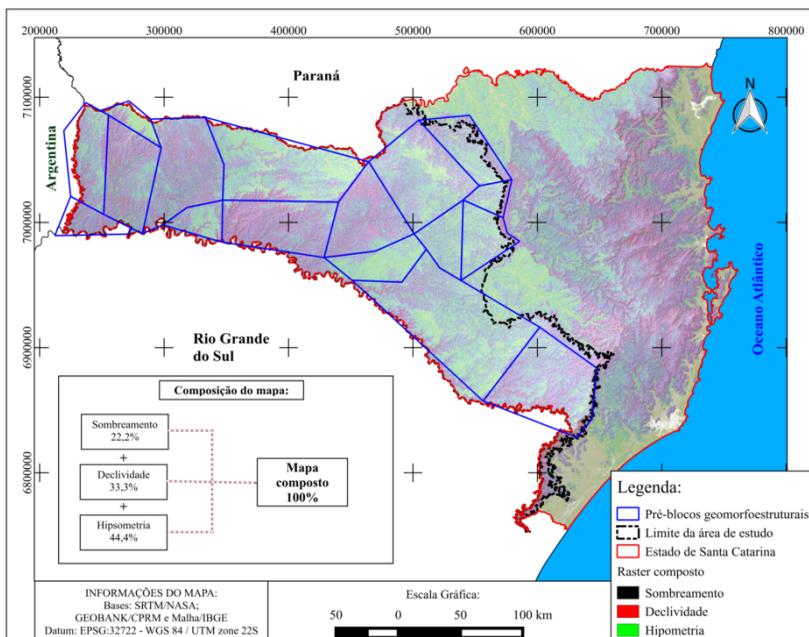


Figura 38 – Mapa de localização das pré-blocos geomorfoestruturais. Fonte: Elaborado pelo Autor.

As linhas limitantes dos pré-blocos apresentaram como tendências principais as direções NE (em 15 lados) e NW (10 lados) de acordo com o diagrama (Figura 39).

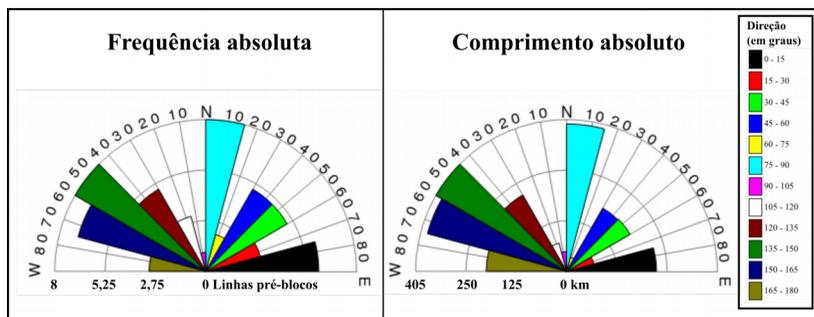


Figura 39 – Diagrama de roseta das linhas (lados/limites) de pré-blocos. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Os alinhamentos de maior extensão apresentam direção NW; estes cruzam com os alinhamentos de direção NE, formando pré-blocos geomorfoestruturais com padrão grosseiramente retangular, de acordo com as estruturas. O cruzamento mais expressivo de geomorfoestruturas ocorre em 3 áreas: 1) central de Santa Catarina; 2) Oeste e; 3) borda leste até a bacia do rio do Peixe. Estas áreas apresentam feições do relevo fortemente dissecadas, refletindo intenso cruzamento de estruturas tectônicas nas duas principais direções (NW e NE).

Estes resultados seguem em concordância com pesquisas realizadas por Zalán et al. (1990), Soares et al. (2007) e Milani et al. (2007), na Bacia do Paraná e embasamento, que estabeleceram as principais estruturas geotectônicas e cinturões móveis Apiaí e Major Gercino (Figura 14) do embasamento cristalino, bem como Fraga (1992), Lisboa (1996), e Nanni (2008) que utilizaram diferenças hidrogeoquímicas para confirmação de interferência de grandes alinhamentos nos aquíferos estudados nestas teses.

4.3 Refinamento geomorfoestrutural

4.3.1 Rede de drenagem

A (Figura 40) apresenta a rede de drenagem utilizada como base para análise nesta pesquisa, (cf. - 3.3.7 Rede de Drenagem) À primeira vista a rede de drenagem pode destacar grandes alinhamentos positivos, ou seja, alinhamento de áreas de divisor de águas, como é o caso do alinhamento entre as bacias dos rios Canoas e Pelotas. Por outro lado, a rede de drenagem pode contribuir para visualização e confirmação de lineamentos negativos relacionados a fundos de vales, ou lineamentos relacionados a inflexões da rede de drenagem.

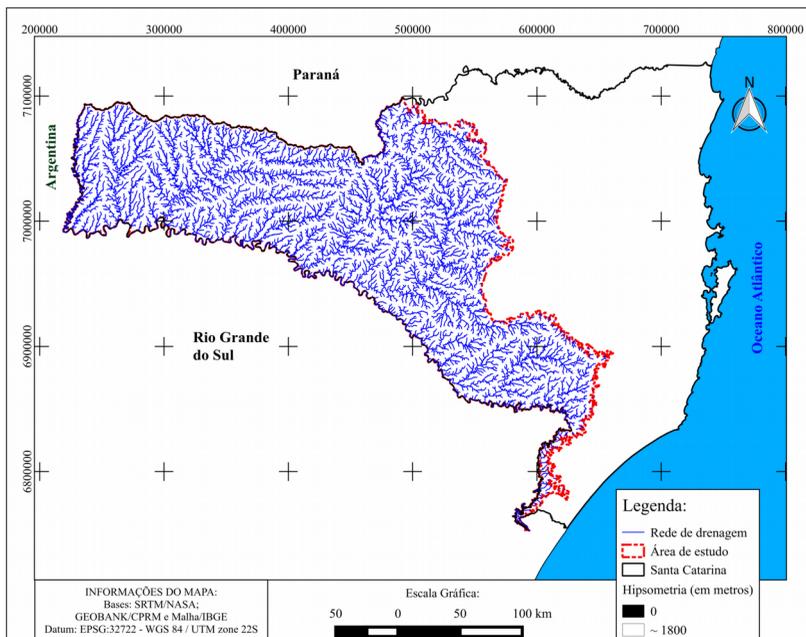


Figura 40 – Mapa da rede de drenagem. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Existem padrões geológicos e geomorfológicos evidenciados pela forma e distribuição da rede de drenagem, associados aos fraturamentos⁶² das rochas da Formação Serra Geral.

4.3.2 Lineamentos

A partir da imagem do relevo sombreado nos azimutes 0°, 45° e 315° (cf. 3.3.6 Lineamentos) foram interpretados 2484 lineamentos (Figura 41).

62 - Porosidade primária ou secundária em rochas vulcânicas, estabelecendo fraturamento e diaclasamento oriundos do resfriamento dos derrames e movimentações.

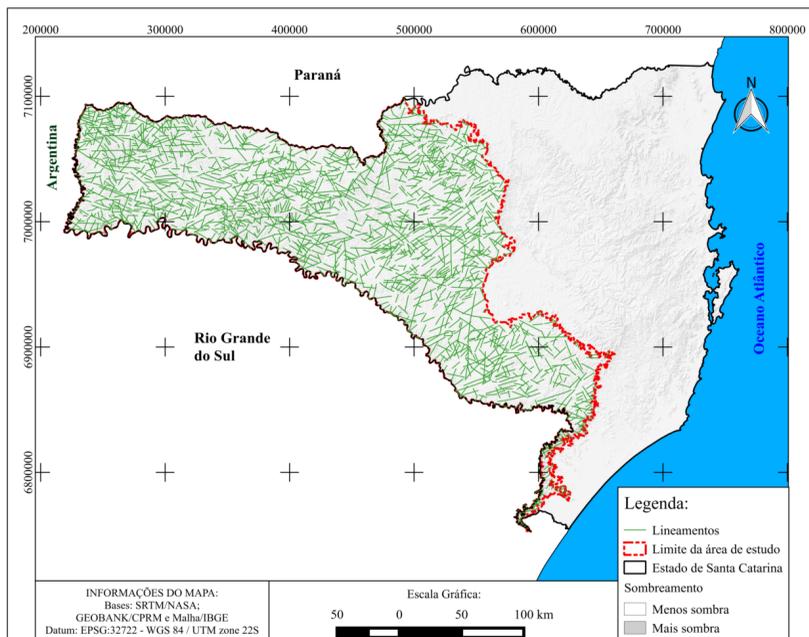


Figura 41 – Mapa dos lineamentos. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Os três azimutes definidos, visam salientar as feições geomorfoestruturais da Bacia do Paraná.

Os lineamentos apresentaram correlação direta com estruturas penetrativas e, por consequência, com a rede de drenagem. Os comprimentos e frequências absolutas resultantes dessa interpretação em escala 1:250.000 dos lineamentos são apresentados na (Figura 42).

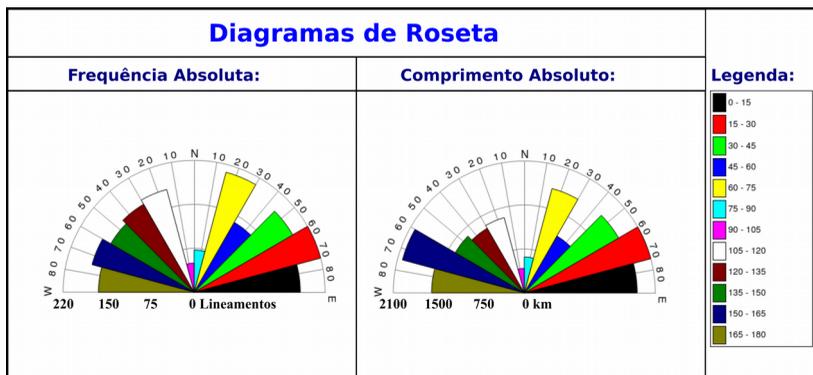


Figura 42 – Diagramas de roseta referente aos 2484 lineamentos apresentados na (Figura 41). Fonte: Elaborado pelo Autor.

É possível observar através dos diagramas, que os principais comprimentos e frequências apresentaram as direções ENE (cor vermelha), NW (cor azul escuro) e NNE (cor amarela). Estes resultados, reafirmam para área da pesquisa as tendências gerais encontradas na literatura para a Bacia do Paraná como um todo (NANNI, 2008).

Estas direções estruturais afirmam sua correlação com um contexto geotectônico maior, que envolve os dois principais elementos geotectônicos presentes no sul do Brasil, o Embasamento cristalino e a Bacia Sedimentar do Paraná.

4.3.3 Feições da rede de drenagem na Formação Serra Geral

A definição da rede de drenagem possibilitou a confirmação das falhas e dos limites dos blocos geomorfoestruturais. Os limites dos blocos representam feições do relevo, negativas ou positivas (Figura 43). Na maioria dos casos, conhecendo-se as feições negativas, é possível definir feições positivas e vice versa.

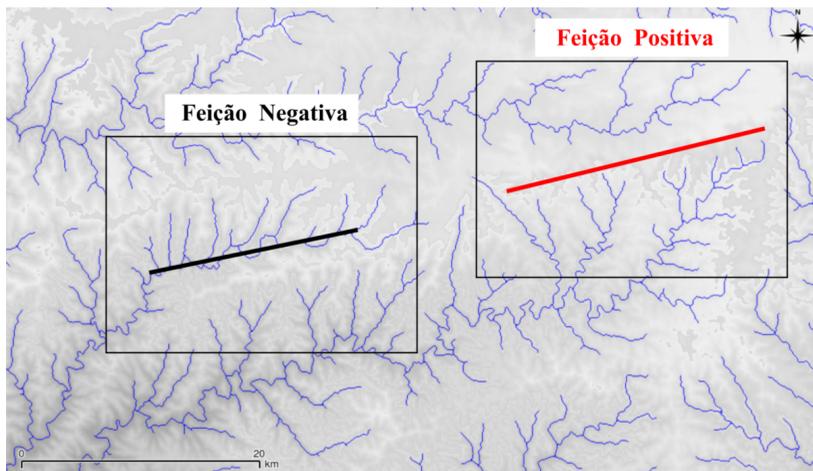


Figura 43 – Feições da rede de drenagem. Feição negativa – segmento da rede de drenagem principal. **Feição positiva** - paralela ao divisor de águas. Ao sul, forma um alinhamento de nascentes, perpendicular a feição. Fonte: Elaborado pelo Autor.

As feições positivas, normalmente estão associadas a setores de montante, onde há ausência da rede de drenagem, exemplo: divisores de águas, cristas e alinhamento de nascentes.

Já as feições negativas, associam-se a rede de drenagem, ravinas e vales, **lineamentos tipo 2** Strieder e Amaro (1997, p. 112) e são feições geomorfológicas relacionadas a estruturas disjuntivas frágeis ou rúpteis, as quais constituem lineamentos retilíneos ou semi-retilíneos e geralmente representam **drenagens controladas por fraturas**. A partir da análise da rede de drenagem sobreposta ao MDE, ficou evidenciado a forte associação da rede de drenagem com as fraturas da Formação Serra Geral, ou seja, a rede de drenagem instala-se em lineamentos, o que confirma para a área o que aponta a literatura.

A Formação Serra Geral tem um arranjo ortogonal como padrão essencial (genérico). Em alguns locais esse padrão ortogonal associa-se aos lineamentos e drenagens orientadas e densificadas em uma mesma direção, denotando uma concentração de fraturas ou zona de fraturas (Figura 44).

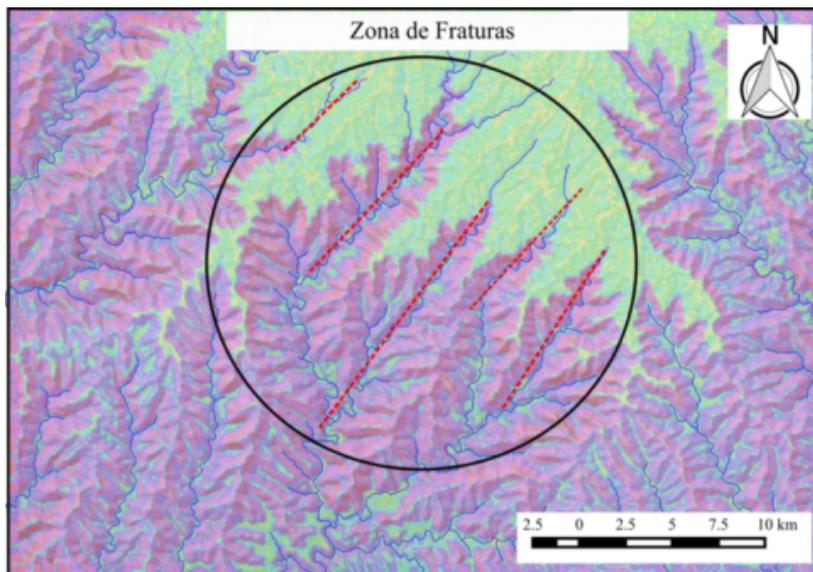


Figura 44 – Rede de drenagem controlada pela geologia da Formação Serra Geral. Destaca-se o padrão genérico NE, que configura zona de fraturas (alta frequência de fraturas NE e aproximadamente paralelas). Fonte: Elaborado pelo Autor.

A rede de drenagem serviu de base para confirmação dos alinhamentos e patamares geomorfoestruturais, estando associados nestes casos a fraturas e falhas, seguindo um padrão regular à dendrítico com tropia tridirecional (NNE, NW e ENE), constituindo um elemento geomorfológico chave para confirmação das falhas ao longo das seções.

4.3.4 Evolução geomorfológica

A (Figura 45) ilustra o modelo de evolução geomorfológica (geomorfoestrutural e geomorfoescultural) que se destaca pela recorrência e importância na área de estudo. Este exemplo foi proposto, de forma sistêmica para os diferentes estágios que levaram à configuração geomorfoescultural atual do limite entre a bacia do Rio Chapecó e do Peixe, onde são mais evidentes. Este modelo, serve para explicar a evolução geomorfológica em outros setores da área da pesquisa, especialmente onde houve soerguimento relativo de bloco (por

falha normal), seguido de dissecação das rochas ácidas (topos tabulares⁶³), atingindo o nível das rochas básicas (topos pontiagudos⁶⁴).

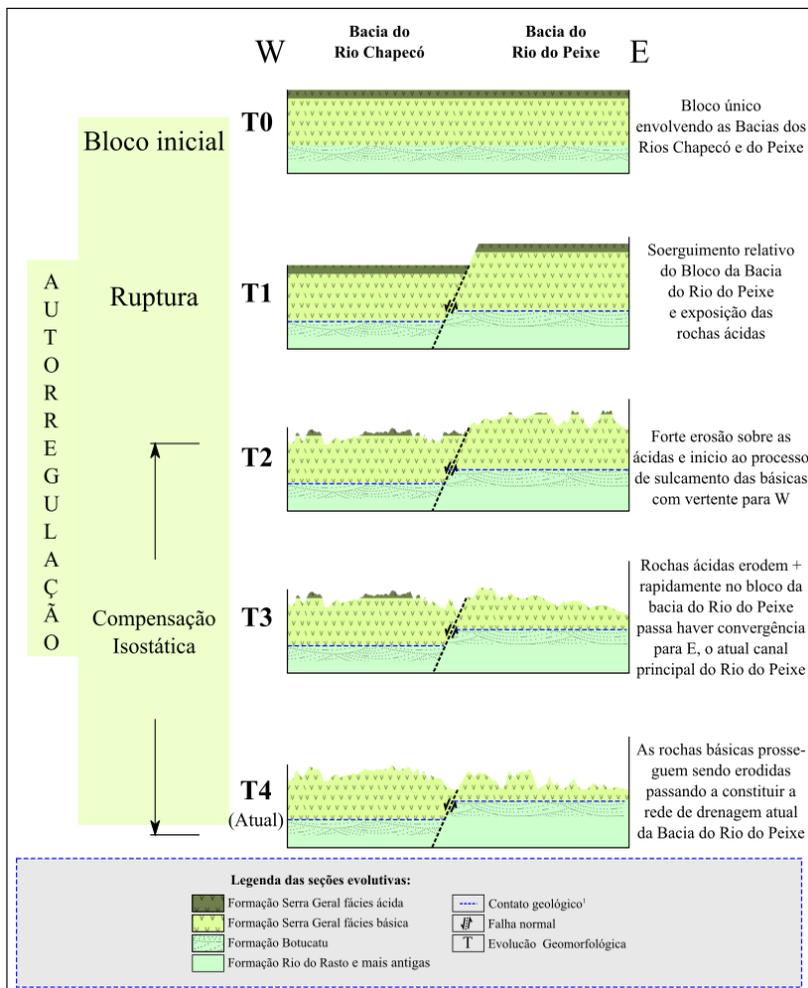


Figura 45 – Modelo de evolução geomorfológica. Fonte: Elaborado pelo Autor.

63 - Padrão de fraturas horizontais Sartori, (2009).

64 - Padrão de fraturas verticais Sartori, (2009), podendo ou não conter rochas mais resistentes no topo (com a formação de morros testemunhos).

A evolução inicia no Tempo 0 (T0), onde existe apenas um bloco envolvendo a área das atuais bacias do Rio do Peixe e do Rio Chapecó. No Tempo 1 (T1) com a ruptura do terreno (falha normal) inicia-se a desconexão do SAG. O bloco da Bacia do Peixe permanecendo alçado⁶⁵ em relação ao bloco da Bacia do Rio Chapecó, expondo as rochas ácidas. Com o alçamento da Bacia do Rio do Peixe em T2, dá-se início a forte ataque erosivo sobre as rochas ácidas, contribuindo para formação de vales e topos com formatos tabulares com vertente em direção à bacia do Chapecó. Nos tempos 2, 3 e 4 (T2, T3 e T4), o processo de autorregulação passa à fase de compensações isotáticas. Nesta fase, os fortes processos esculturais atuantes, erodem o terreno do bloco do Rio do Peixe e propiciam a “subida” do bloco (compensação isostática). Como resultado da erosão das rochas básicas, as vertentes em forma de “V” fechados deste bloco, passam a “capturar drenagens” de direção leste para oeste, forçando-as a convergir de oeste para leste, em direção ao canal principal da Bacia do Rio do Peixe. Em seguida, segue ocorrendo erosão e subida do bloco e conseqüentemente do SAG, via compensações isotáticas. As fortes dissecações sobre o substrato de rochas básicas propiciam profundos entalhados, passando a constituir o aspecto altamente rugoso do relevo e a rede de drenagem da atual bacia do Rio do Peixe.

4.3.5 Seções transversais

De um total de 26 seções interpretadas, foram selecionadas 13 seções transversais divididas em 4 agrupamentos por regiões (Tabela 14 e APÊNDICE B – Seções Transversais.)⁶⁶. Para a divisão por grupos adotou-se o critério de proximidade espacial. Para visualização das seções em maior detalhe ver (APÊNDICE A – Mapa de localização das toponímias).

Cada seção transversal digital apresenta um ponto de controle como início e como final, quando disponíveis. Estes pontos, servem para correlacionar as superfícies: do terreno e do topo da Formação Botucatu, considerada a superfície que limita o SAG e o SASG.

65 - O bloco da Bacia do Peixe permanece alçado (parado) em relação ao bloco da Bacia do Rio Chapecó.

66 - No mapa da (Figura 30) manteve-se a numeração original dos seções.

Tabela 14 – Grupos, regiões e número das seções transversais. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Grupo	Região ⁶⁷	Número identificador da seção transversal
1	Sudeste	03, 04, 12, 18, 19
2	Nordeste	11, 16 e 17
3	Centro	05, 07 e 13
4	Oeste	01 e 21

Veja na (Figura 30) o mapa de localização das seções transversais agrupadas por região.

4.3.5.1 Grupo 01 – região Sudeste

As seções pertencentes ao grupo 01 buscam caracterizar de forma mais detalhada os pré-blocos geomorfoestruturais da região sudeste com direções preferenciais NE e NW. O padrão estrutural NE é originário do Escudo Catarinense, relacionado às zonas de cisalhamento Major Gercino, Itajaí-Perimbó e da Faixa Tijucas, e prolonga-se claramente sob as rochas sedimentares e ígneas da Bacia do Paraná, podendo estar associado as reativações de zonas de fraqueza do embasamento cristalino (ZALÁN et al., 1990). Já as estruturações NW estão associadas à abertura do Atlântico (separação do Gondwana) e foram desenvolvidas a partir do Triássico (JACQUES et al., 2014).

O arranjo das feições geomorfológicas, formado pelo cruzamento dos padrões de alinhamentos NE e NW, contribui para a configuração de blocos geomorfológicos em formatos poligonais. As seções representam a chave para confirmação dos blocos geomorfoestruturais, possibilitando sua melhor definição, confirmando os limites estabelecidos nas etapas anteriores.

A (Tabela 15) apresenta as características gerais das cinco seções presentes na região sudeste.

⁶⁷ - Região em relação a área da pesquisa.

Tabela 15 – Características das seções pertencentes ao grupo 01 - região sudeste. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Nº da Seção	Nº de falhas indicadas	Rejeito ⁶⁸ de falha (m)	Diferença de cotas do limite Bt-Sg ⁶⁹
03	5	a=80;b=80;c=80; d=190; e=130 ⁷⁰	203
04	4	a=140; b=250 ;c=500;d=280	606
12	1	a=200	-
18	9	a=30;b=30; c=250 ;d=250;e=50; f=100;g=80;h=130;i=130	843
19	6	a=100;b=100; c=140 ;d=20;e=140; f=140	515

A região sudeste possui seis seções, com rejeitos de falhas variando de 20 até 500 metros, sendo que os valores de rejeitos mais frequentes nesta região foram 80 e 140 metros, apresentando quatro ocorrências cada. Estes valores demonstram o potencial e a amplitude dos deslocamentos tectônicos verticais nesta região, os quais podem estar associados à ocorrência de descontinuidades horizontais dos aquíferos, que podem proporcionar misturas de águas.

Seção 03

A seção 03 possui direção NW~65° (Figura 46) e abrange os blocos geomorfoestruturais 01 e 03; nela, evidenciou-se a presença de 5 falhamentos, sendo que entre a e b ocorre um sistema de falhas relacionado a sub-bloco que permaneceu alçado, no qual a Formação Botucatu foi totalmente dissecada e erodida. Entre as falhas c e d existe uma possível zona de fraturas que foi parcialmente erodida chegando a atingir níveis da Formação Rio do Rasto. Essa região recebe influência estrutural como o estabelecimento do Domo de Lages (APÊNDICE A – Mapa de localização das toponímias).

Nas porções alçadas do bloco 03 aflora a Formação Rio do Rasto, com testemunhos dispersos dos arenitos da Formação Botucatu e das

68 - Rejeito estimado a partir dos patamares geomorfoesculturais do nível de base de erosão; a letra na seção transversal - indica a falha seguida do valor do rejeito em metros. Em negrito, rejeito da falha que representa o limite entre dois blocos geomorfoestruturais;

69 - Interface e contato entre topo da Fm. Botucatu e base da Fm. Serra Geral;

70 - Os rejeitos marcados em negrito, coincidem com o limite entre blocos geomorfoestruturais.

rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, com espessuras médias de basaltos da ordem de 200 metros. O bloco 01 caracteriza-se pelo patamar geomorfoescultural de 1200m, onde a Formação Serra Geral apresenta espessuras médias de ~ 300metros com vales em forma de “U” e alguns picos pontiagudos.

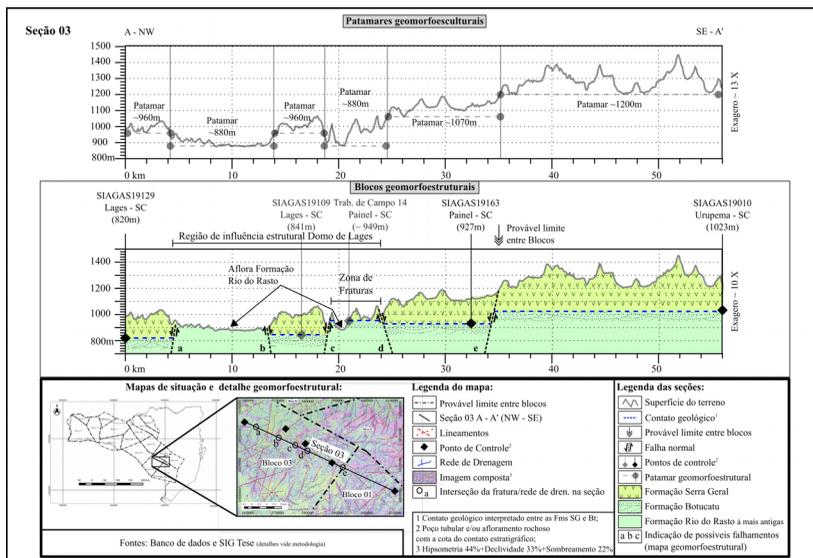


Figura 46 – Seção 03. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Seção 04

A seção 04 (Figura 47) apresenta direção NE ~50°. Seu relevo fortemente erodido no patamar de ~900metros (vale do Rio Canoas – ver APÊNDICE A – Mapa de localização das toponímias) é indicativo de sub-bloco geomorfoescultural alçado e exposto a fortes gradientes de erosão. Este sub-bloco ao longo da evolução geotectônica sofreu maior ataque: devido a sua maior exposição e gradientes para erodir, nele instalou-se o canal principal de uma das principais bacias hidrográficas do estado de Santa Catarina, a bacia do Rio Canoas. O forte entalhamento do vale do Rio Canoas e os mecanismos de compensação isostática promoveram o afloramento da Formação Rio do Rasto e a erosão sobre estas rochas sedimentares de menor resistência, de idade Permiana da Bacia do Paraná.

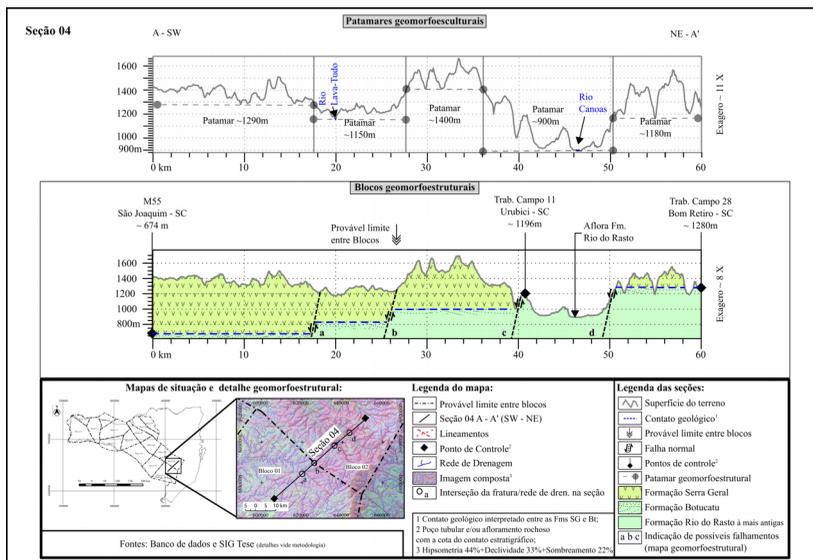


Figura 47 – Seção 04. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Seção 12

A Seção 12 (Figura 48) possui direção NW~60°, e nela ocorre a presença das formações Serra Geral e Botucatu apenas no pré-bloco geomorfoestrutural 06, sendo o limite com o bloco 04, marcado pela falha (a), onde o pré-bloco 06, desce e o pré-bloco 04, sobe; este último apresenta exposta a Formação Rio do Rasto, devido ao soerguimento do bloco e posterior dissecação do terreno. O pré-bloco 04 apresenta-se inserido no contexto do Domo de Lages, que afeta a estrutura geológica regional influenciando o limite entre blocos estabelecido nesta seção.

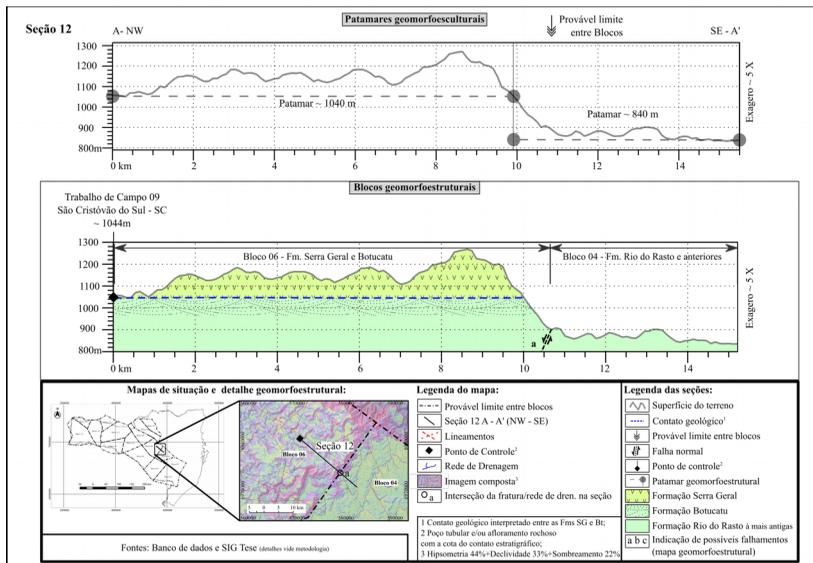


Figura 48 – Seção 12. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Seção 18

A seção 18 (Figura 49) possui direção NE~50°, atravessa a divisa Santa Catarina - Rio Grande do Sul, a SW, onde apresenta geomorfoescultura mais suave, com altitudes variando de 850 metros (altura do patamar) a 1000 metros nos picos ao longo de 30 quilômetros, até a zona de fraturas do Rio Pelotas (APÊNDICE A – Mapa de localização das toponímias); a partir desta zona de fraturas é possível perceber para NE uma seqüência de aproximadamente 20 quilômetros com ocorrência de vales em formato de “V”, estendendo-se até o início do patamar geomorfoescultural de 980 metros. Nas altitudes mais elevadas, pode ocorrer a presença de rochas de composição ácida (região de Capão Alto-SC).

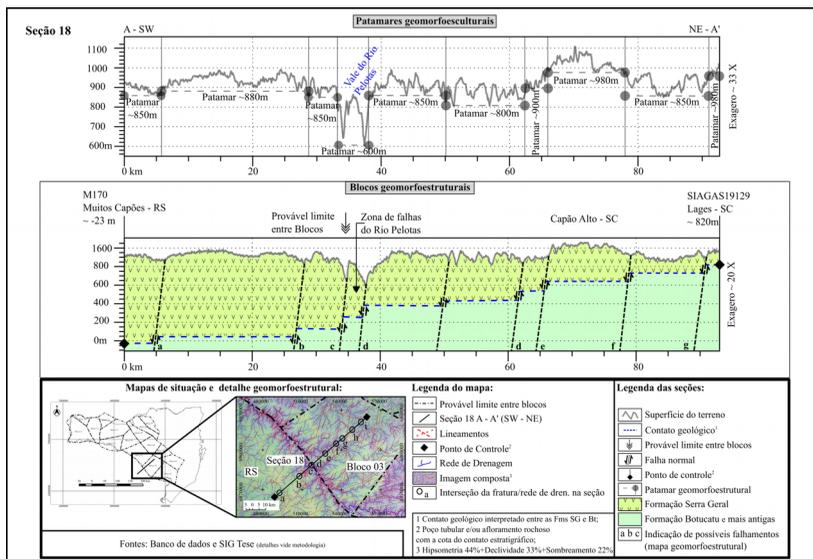


Figura 49 – Seção 18. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Seção 19

A seção transversal 19 (Figura 50), de direção SW-NE~50°, abrange o limite da área de ocorrência das formações Serra Geral e Botucatu, no sul de SC, e a porção SE do bloco 01. Apresenta expressivo sistema de fraturas NW ao longo de toda a seção. Os vales foram dissecados até patamares de 220 a 360 metros. O início desta seção é marcado por dois patamares geomorfoesculturais de 220 metros, intercalados por um patamar de 320 metros, apresentando altitudes menores que 750 metros e vales abertos instalados sobre a Formação Botucatu, os quais encontram-se em cotas inferiores a 400 metros. O bloco 01 inicia na falha (c) e apresenta vales com formato em “V” no patamar de 360 metros, alternados por topos com altitudes que superam os 1000 metros, constituindo grandes amplitudes de vertentes “sulcadas”, que são facilmente detectáveis no mapa de detalhe geomorfoestrutural.

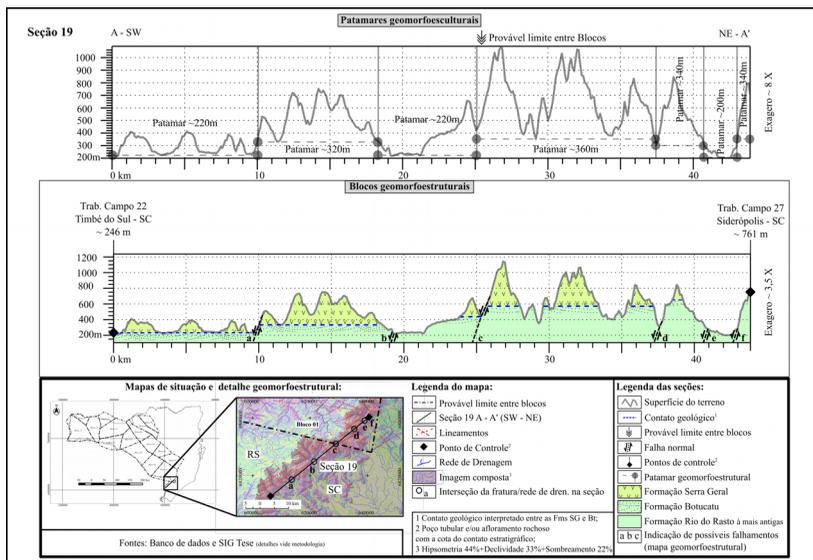


Figura 50 – Seção 19. Fonte: Elaborado pelo Autor.

4.3.5.2 Grupo 02 – região Nordeste

Apresenta forte influência de pré-blocos geomorfoestruturais nas direções NE e NW, padrões estruturais herdados pelas rochas sedimentares e ígneas da Bacia do Paraná, oriundos das zonas de cisalhamento Major Gercino e Itajaí-Perimbó e da Faixa Tijucas. Nesta região começam a surgir indícios de um elemento novo para a estruturação: trata-se do Cinturão Móvel do Apiaí, do Ciclo Brasileiro (ver Figura 14).

Esta região apresenta um grande número de pontos de controle estratégico, por estar próxima à área aflorante da Formação Botucatu.

A (Tabela 16) agrega informações sobre as três seções localizadas na região nordeste.

Tabela 16 – Características das seções pertencentes ao grupo 02 - região Nordeste. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Nº da Seção	Nº de falhas indicadas	Rejeito ⁷¹ de falha (m)	Diferença de cotas do limite Bt-Sg
11	2	a=120; b=50	356
16	3	a=80; b=140 ;c=40; d=40	276
17	3	a=60 ;b=140;c=80	337

As seções localizadas na região leste possuem rejeitos de falhas variando de 40 até 140 metros.

A seguir descreveremos detalhadamente as seções transversais 11, 16 e 17.

Seção 11

A seção transversal 11 (Figura 51) apresenta direção NW~50°, e através dela é possível comprovar a existência do limite entre os blocos geomorfoestruturais 06 e 09. A presença de topos em forma tabular pode indicar ocorrência de rochas ácidas, que apresentam maior resistência natural ao intemperismo. Elas constituem o patamar geomorfoescultural de 1000 metros que possui topos tabulares com cotas de aproximadamente 1100 metros. A queda abrupta do patamar 1000 para o patamar de 880 metros, evidencia a existência de um provável limite entre blocos geomorfoestruturais (blocos 06 e 09). O patamar de 880 metros apresenta estruturas mais recentes (que sugerem neotectônica?), com vales de talwegues bastante entalhados marcados pelo formato sulcado (grande amplitude das vertentes que apresentam a forma em “V”); esta configuração é típica de bloco que permaneceu alçado e exposto à intensa erosão.

Nos patamares de geomorfoesculturas “mistas”, em altitudes de 930 e 970 metros, observa-se a existência de vales com formatos em “V” e em “U”, denotando a presença de zona de fraturas com elevações máximas de 1000 metros.

A espessura da Formação Serra Geral aumenta em direção a Lebon Régis-SC, em direção a NW, alcançando aproximadamente 500 metros após sequência de falhas normais, em degraus. A Formação

71 - Rejeito (indicado pela letra na seção transversal) estimado a partir dos patamares geomorfoesculturais do nível de base de erosão (vale mais profundo entre fraturas). A tabela indica a falha com seu respectivo valor do rejeito em metros. A letra marcada em negrito está associada ao alinhamento que delimita o bloco.

Botucatu aflora apenas na região de Ponte Alta do Norte-SC, a SE da falha (c).

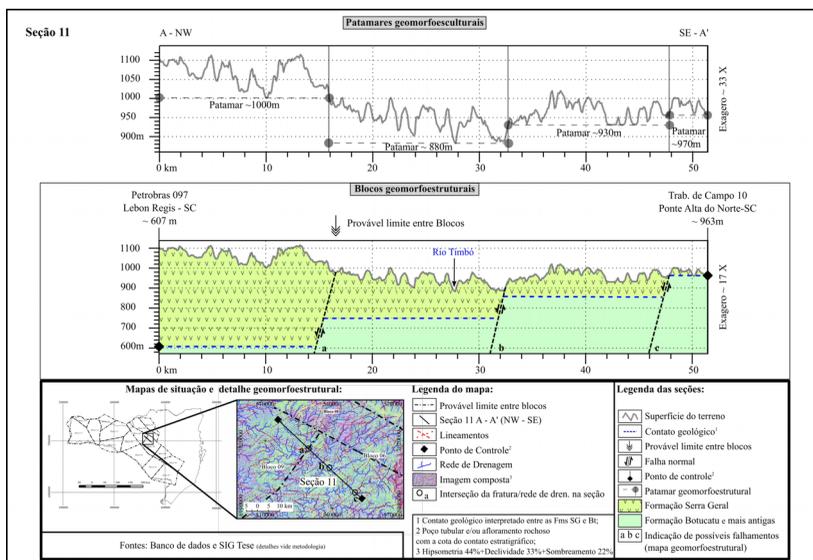


Figura 51 – Seção 11. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Seção 16

A seção transversal 16 (Figura 52) possui direção NW~60°, e contribui para confirmação do limite entre os blocos geomorfoestruturais 07 e 08. Os patamares no bloco 08 apresentam altitudes superiores a 940 metros com escultura de vales predominantemente sulcados, formato em “V” e topos em formato pontiagudo, podendo sugerir zonas de fraturas, associadas aos patamares 940, 1020 e 1100 metros, que apresentam 80 metros de diferença, enquanto medições em zona de afloramento sugerem uma espessura da ordem de 60 metros para a Fm. Botucatu, que estaria, portanto, sujeita a desconexão lateral.

O bloco 07 apresenta vales abertos com patamares inferiores a 800 metros. Neste bloco ocorrem afloramentos da Formação Botucatu, exceto nos morros mais altos, os quais representam testemunhos do recuo e dissecação da Fm. Serra Geral, promovida pelo alçamento gradual dos blocos geomorfoestruturais da borda da Bacia do Paraná.

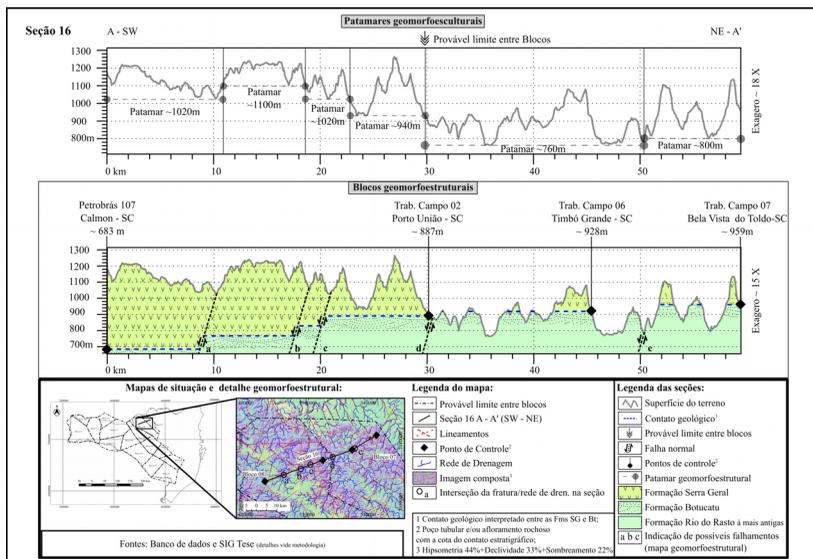


Figura 52 – Seção 16. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Seção 17

A seção transversal 17 (Figura 53) possui direção NE~50°, contribui para definição dos limites entre os blocos geomorfoestruturais 07, 08 e 09. Inicia no vale do Rio das Pedras, a apenas 2 quilômetros do canal principal do Rio do Peixe, apresentando um relevo amplamente esculpido, e dela fazem parte os blocos fortemente dissecados pertencentes à bacia do Rio do Peixe (Figura 45). O limite do primeiro bloco geomorfoestrutural (bloco 09, a SW na seção) está associado ao patamar de 1140 metros que engloba a Serra do Espigão (APÊNDICE A – Mapa de localização das toponímias). A presença de topos tabulares, sugerindo rochas ácidas, sucedidos por vales abertos em “U”, dão sentido ao nome desta serra, que possui altitudes de ~1300 metros e inclui todo o bloco 08.

Os patamares seguintes, de 920 e 1000 metros, fazem parte da vertente NE da Serra Geral, onde as fraturas promoveram dissecação de grandes amplitudes, e a geomorfoescultura indica resquícios de rochas ácidas, reconhecidas pelo formato tabular dos topos e vales abertos em “U”, além da maior frequência de topos pontiagudos e vales em “V” fechados, indicativos de blocos soerguidos, que sofreram forte

dissecação até formarem sulcos nas rochas básicas, mais suscetíveis a processos erosivos.

A espessura do pacote vulcânico diminui na direção SW para NE, seguindo a disposição estrutural de “escada” estabelecida pelos cortes perpendiculares das falhas sobre a seção na direção NW. Na região de Timbó Grande-SC a Formação Botucatu encontra-se a apenas 100 metros de profundidade, confirmado pelo poço Z15 (ver Figura 53).

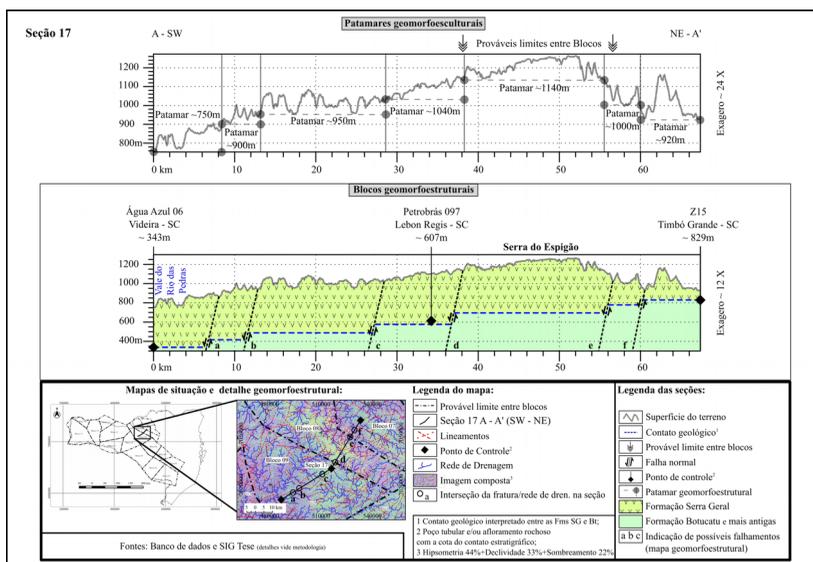


Figura 53 – Seção 17. Fonte: Elaborado pelo Autor.

4.3.5.3 Grupo 03 – região Centro

O grupo 03 também apresenta influência do padrão estrutural do embasamento da Bacia do Paraná (Figura 14). Os alinhamentos geomorfoestruturais formadores dos blocos apresentam as direções preferenciais NE e NW, associadas ao padrão de zonas de fraqueza e faixas móveis do embasamento. Esta região apresenta um número limitado de pontos de controle com informações hidrogeológicas, talvez pelos maiores custos de perfuração de poços profundos, nas camadas espessas de derrames vulcânicos da Formação Serra Geral. Este pequeno número de informações hidrogeológicas dificulta e limita a pesquisa nesse local. A (Tabela 17) apresenta características das seções presentes no grupo 03.

Tabela 17 – Características das seções pertencentes ao grupo 03 - região centro.
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Nº da Seção	Nº de falhas indicadas	Rejeito ⁷² de falha (m)	Diferença de cotas do limite Bt-Sg
05	3	a=110;b=90;c= 120	349
07	3	a=100;b=60;c= 160	272
13	2	a=150 ;b=60	52

Os rejeitos nestas seções variam de 50 a 230 metros. A seguir serão apresentadas detalhadamente as seções 05, 07 e 13.

Seção 05

A seção transversal 05 (Figura 54) possui direção NE~70°; através dela foi possível confirmar o limite entre os blocos 10 (Rio do Peixe Jusante) e 11 (Jacutinga), marcando de modo geral o divisor destas duas bacias hidrográficas. Seus patamares geomorfoesculturais variam mais de 200 metros (780 – 540 m) em aproximadamente 28 km de extensão, enquanto que a superfície do terreno atinge cotas superiores a 800 metros em alguns topos tabuliformes e divisores de águas destas bacias, sugerindo a existência de camadas menos fraturadas e mais resistentes à erosão.

A Formação Botucatu encontra-se coberta por aproximadamente 500 metros de basaltos pertencentes à Formação Serra Geral junto aos três primeiros patamares (580, 690 e 780 metros). No patamar mais a NE (vale do Rio do Peixe⁷³, aproximadamente 540 metros), a espessura da cobertura cai drasticamente para cerca de 200 metros, proporcionando a este Aquífero poroso maior acessibilidade e, conseqüentemente, maior vulnerabilidade à contaminação, através de grande número de poços tubulares já executados e em operação.

72 - Rejeito estimado a partir dos patamares geomorfoesculturais do nível de base de erosão, a letra é indicada na seção transversal, na tabela indica a falha e o respectivo valor do rejeito em metros.

73 - APÊNDICE A – Mapa de localização das toponímias.

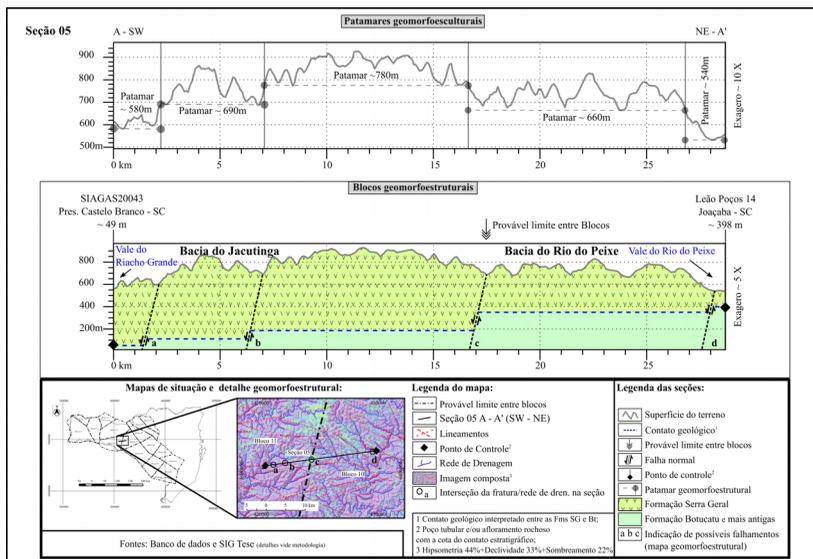


Figura 54 – Seção 05. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Seção 07

Seção transversal 07 (Figura 55) possui direção NW~60°. Esta seção confirma o limite entre os blocos 10 e 12. Ela inspirou a criação do modelo de evolução geomorfológico (Figura 45), através do qual sugere-se que a Bacia do Rio do Peixe (Bloco 10, a SE) permaneceu alçada em relação à Bacia do Rio Chapecó⁷⁴ (Bloco 12, a NW), sofrendo na sequência forte ataque erosivo e intensa dissecação, deixando as rochas básicas expostas. Em resposta à exposição das rochas vulcânicas básicas houve a intensificação da erosão e sulcamento instalando-se preferencialmente nas fraturas verticais e sub-verticais dos basaltos, formando vales em “V” com amplitudes de aproximadamente 200 metros e que podem ser visualizados na parte direita da seção junto ao patamar de 900 metros.

74 - APÊNDICE A – Mapa de localização das toponímias.

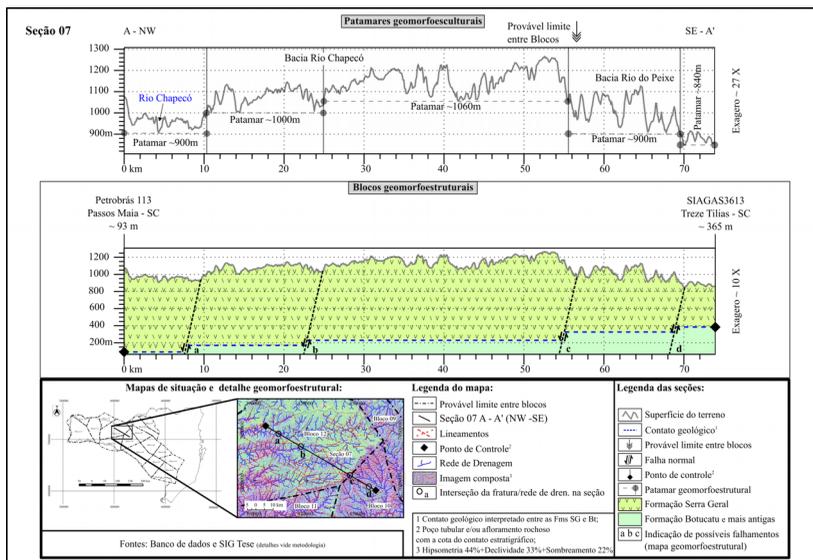


Figura 55 – Seção 07. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Seção 13

Seção transversal 13 (Figura 56) possui direção NW~80°. Através dela foi possível estabelecer um provável limite entre os blocos geomorfoestruturais 09 (Rio do Peixe Montante) mais dissecado e 12 (Chapecó-Irani) com padrão de relevo altiplano e tabular, com patamar de 1250 metros. O bloco 09 corresponde à Bacia do Peixe apresenta patamares de 1100 e 1160 metros com relevo montanhoso formado por vales em “U”, diferentes do bloco 12 (Bacia do Chapecó).

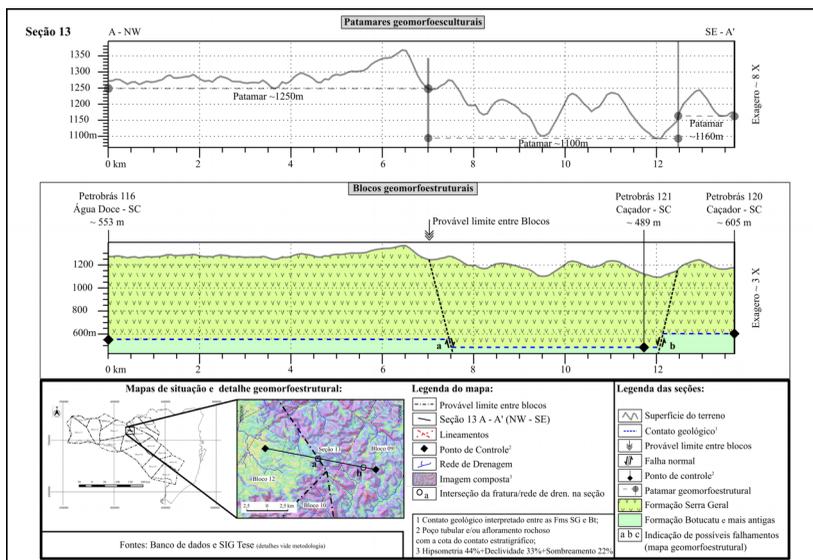


Figura 56 – Seção 13. Fonte: Elaborado pelo Autor.

4.3.5.4 Grupo 04 – região Oeste

Esta região, como a anterior, apresenta influência do padrão estrutural determinado pelo Cinturão Móvel do Apiá (Figura 14). Os alinhamentos geomorfológicos delimitadores dos blocos tectônicos hidrogeológicos também apresentam as direções preferenciais NE e NW de baixo ângulo.

Os derrames vulcânicos da região oeste de acordo com Zalán et al., (1990, p. 159) apresentam espessuras de até 1200 metros, dificultando a perfuração de captações que atinjam o SAG. A região apresenta baixa quantidade de informações hidrogeológicas, e este pequeno número de pontos de controle do contato entre as Formações Botucatu e Serra Geral dificultou a definição e o ajuste dos blocos tectônicos hidrogeológicos nesta região.

Uma síntese das informações referentes às seções da região oeste encontra-se na (Tabela 18).

Tabela 18 – Características das seções pertencentes ao grupo 04 - região oeste.
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Nº da Seção	Nº de falhas indicadas	Rejeito ⁷⁵ de falha (m)	Diferença de cotas do limite Bt-Sg
01	2	a=60;b=160	190
21	2	a=320;b=240	427

Seção 01

Seção transversal 01 (Figura 57) possui direção NW~80°, e ilustra o limite entre o bloco geomorfoestrutural 14 (Chapecó) e 15 (Peperi-Antas). O patamar geomorfoescultural de 230 metros, encontra-se instalado na planície de inundação do Rio Uruguai⁷⁶. Um segundo patamar com vales sulcados que atingem 280 metros e alguns topos tabulares em torno de 500 metros. O patamar de 440 metros corresponde ao bloco geomorfoestrutural 14, ele apresenta um relevo altiplano com a presença de rochas ácidas da Formação Chapecó CPRM (2014), em altitudes médias de aproximadamente 600 metros, topo entorno de 650 metros e corta um vale sulcado que atinge 440 metros.

Ao longo desta seção é possível observar variações na espessura da Formação Serra Geral, passando de ~740 metros junto ao Rio Uruguai (Poço SIAGAS 20539 – São Carlos – SC), a aproximadamente 950 metros no ponto de controle poço Z16 em Chapecó-SC.

75 - Rejeito estimado a partir dos patamares geomorfoesculturais do nível de base de erosão, a letra é indicada na seção transversal, na tabela indica a falha e o respectivo valor do rejeito em metros.

76 - conforme verificado no mapa de detalhe geomorfoestrutural e no SIG da tese.

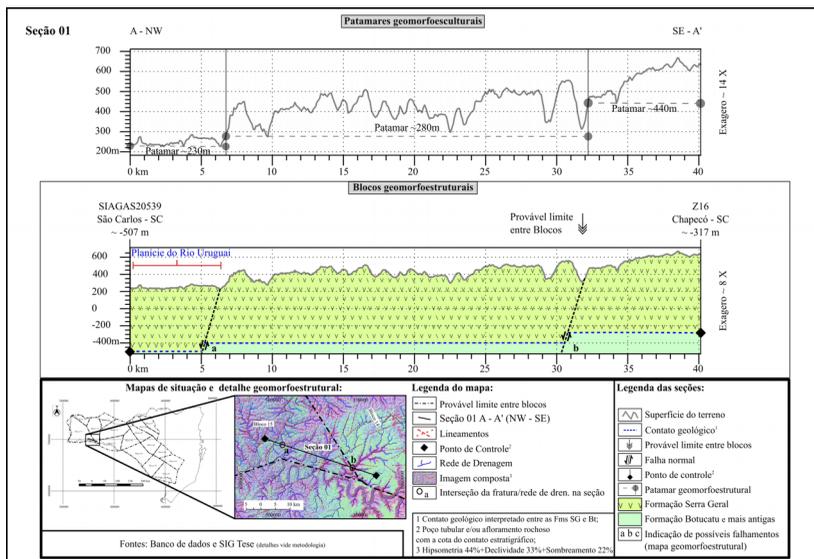


Figura 57 – Seção 01. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Seção 21

Seção transversal 21 (Figura 58) possui direção NE~20°. Esta seção confirma a existência do limite sudeste do bloco geomorfoestrutural 11 (Jacutinga). Apresenta notável diferença geomorfoescultural e geomorfoestrutural entre o patamar de 660 metros e os demais patamares da seção. O patamar geomorfoescultural 660 metros possui um relevo de topos em formatos mamelonares bastante desgastados. Estas formas mamelonares predominam até o provável início do bloco 11, marcado por um desnível entre patamares de 140 metros. As falhas marcadas ao longo do bloco 11, definiram patamares mais expostos à erosão e a evolução geomorfológica pode ser similar à que ocorreu entre as bacias do Rio Chapecó e a do Rio do Peixe (Figura 45). O resultado da evolução do relevo do bloco 11, foi a formação de vales extremamente dissecados e topos em forma pontiaguda com amplitudes de vertentes superiores a 150 metros, diferenciando o relevo deste bloco daquele definido pelo patamar de 660 metros, no extremos SW da seção.

Nos patamares seguintes (340 e 400 metros) está instalada a calha principal do Rio Uruguai⁷⁷ e, associados a ele, outros cursos de importância regional instalaram-se sobre a geomorfoestrutura da região, contribuindo para geomorfoescultura intensamente dissecada, que rebaixou patamares até o nível de base do Rio Uruguai. O Patamar 580 metros repete o padrão do patamar 520 metros. A configuração dos patamares é fortemente creditada à ação erosiva fluvial.

Com relação às espessuras, a Formação Serra Geral passa de 870 metros em A (SW) para 440 metros em A' (NE) com probabilidade da existência de áreas de menor espessura junto ao patamar 340 metros, onde encontra-se instalado o Rio Uruguai, numa zona de fraturas.

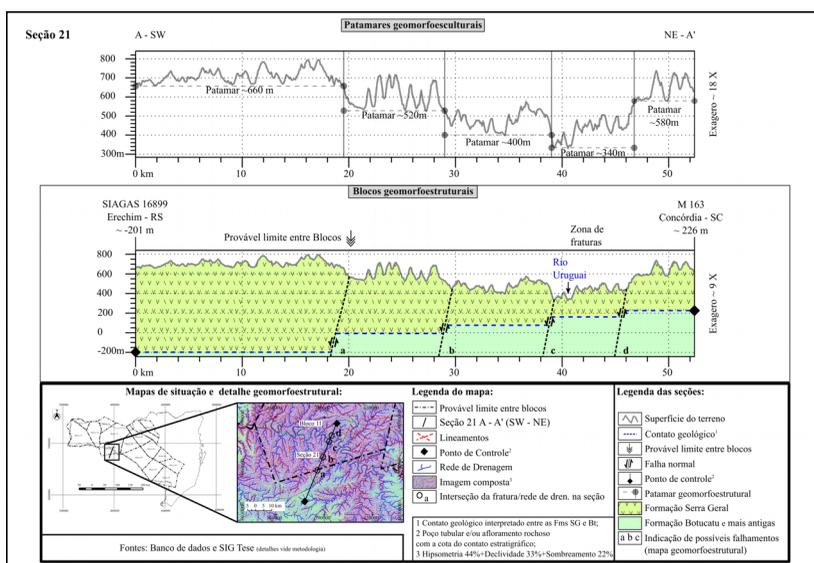


Figura 58 – Seção 21. Fonte: Elaborado pelo Autor.

4.4 Mapa geomorfoestrutural

Com base nas informações das seções geomorfoesculturais e geomorfoestruturais apresentadas anteriormente, foi estabelecido o mapa geomorfoestrutural (Figura 59).

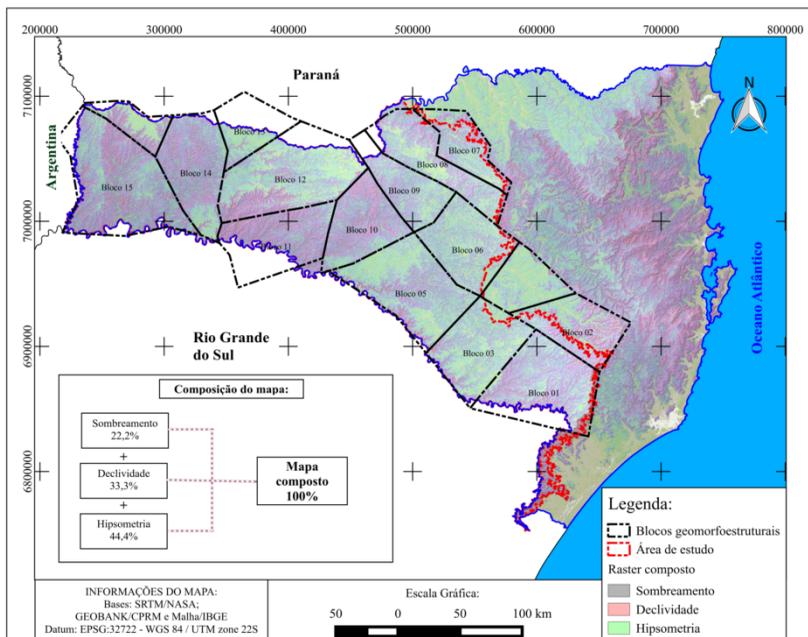


Figura 59 – Mapa geomorfoestrutural. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Os blocos 1, 2, 3, 4, 5, 6 estão localizados na região sudeste da área da pesquisa, seus limites apresentaram como direção principal NE e secundariamente NW. Os blocos 7, 8 e 9 pertencem à região nordeste com limites de direção preferencial NW e secundariamente NE. Os blocos 10, 11, 12 e 13 estão localizados na região central onde predominam limites nas direções NE de alto ângulo. Já os blocos 14, 15 e 16 estão localizados na região oeste da área da pesquisa com predomínio de limites na direção NW de baixo ângulo.

A partir da configuração espacial dos blocos evidenciou-se que as direções NE e NW apresentam influência da estruturação geotectônica e geomorfológica.

Na (Figura 59) foram sobrepostos os blocos geomorfoestruturais com a combinação *raster* (cf. 3.3.4 Composição raster) gerando o mapa geomorfoestrutural. A (Tabela 12) apresenta os elementos e critérios chave para interpretação e descrição do relevo no mapa geomorfoestrutural, cores verdes representam áreas lisas e planas

enquanto que áreas acidentadas e íngremes são representadas pelas cores rosadas.

Observou-se predomínio de áreas de menor dissecação na região sudeste, com exceção dos blocos 1 e 2, associados a estruturação NE e NW e intensa esculturação das encostas da Serra Geral. Na região nordeste houve dissecação forte nas áreas mais baixas (bacia de drenagem) e fraca em áreas altas (Serra do Espigão – APÊNDICE A – Mapa de localização das toponímias – tríplice⁷⁸ divisor de águas – altitudes superando os 1400 metros – probabilidade de ocorrência de rochas ácidas). Na região central os blocos 10 e 11 apresentaram as maiores esculturações visíveis na área do mapa, destaque para o bloco 11 que apresentou amplas ocorrências de relevo sulcado e movimentado (cor rosa), favorecido pelos intensos cruzamentos de estruturas nas direções NE e NW e esculturação exercida pela rede de drenagem, buscando o nível de base regional (Rios do Peixe e Uruguai). Na região oeste os blocos 14, 15 e 16 sofreram forte estruturação NE e NW de baixo ângulo e a rede de drenagem busca atingir o nível de base do Rio Uruguai. Estes fatores conjugados resultam em um intensa dissecação do relevo, exceção para áreas elevadas >850 metros (rochas ácidas⁷⁹ – cor verde) localizadas no bloco 16.

4.5 Espessuras do SASG

Através da (Figura 60), observa-se que as espessuras do SASG⁸⁰ aumentam de leste para oeste na área pesquisada.

78 - Tríplice divisor entre as bacias dos Rios Iguaçu, do Peixe e Canoas.

79 - Rochas ácidas da Formação Serra Geral, fácies Campo Erê (cf. Figura 10) predominantes nas partes mais elevadas do bloco 16.

80 - Espessuras da Formação Serra Geral que constitui o Sistema Aquífero Serra Geral.

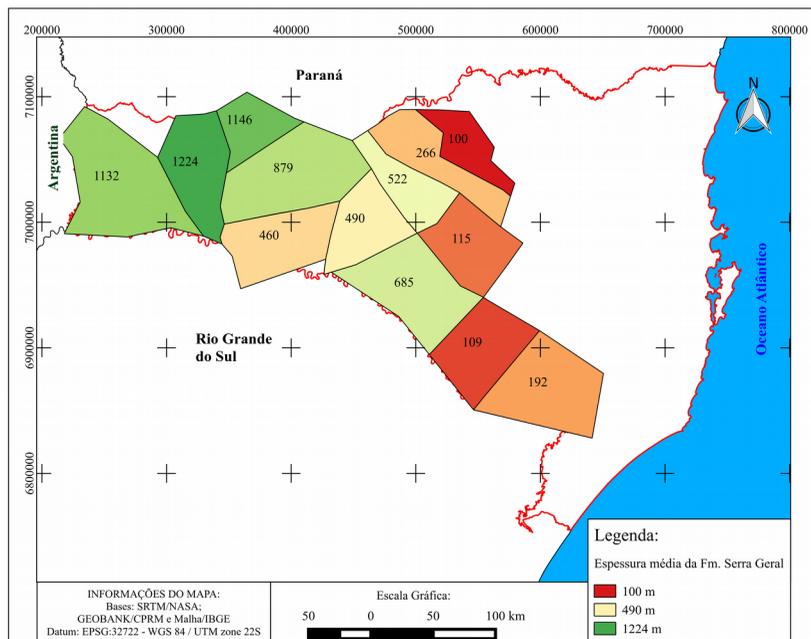


Figura 60 – Mapa das espessuras médias da Formação Serra Geral (SASG) por blocos tectônicos hidrogeológicos. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Esta tendência de aumento das espessuras do SASG de leste para oeste deve-se a fatores geológicos e geomorfológicos relacionados à formação e evolução da Bacia do Paraná, como por exemplo, as erosões e compensações isostáticas (ver Figura 32). Os setores mais a oeste e noroeste da área de pesquisa, possuem as maiores espessuras médias do SASG, com até 1224 metros (bloco 14), e na borda leste, apresentam espessuras da ordem de 100 metros até sua completa ausência, nas zonas de afloramento da Formação Botucatu (bloco 07) o que reforça a pertinência do modelo de compensação isostática.

4.6 Espessuras do SAG

Conforme dados de levantamento de campo realizados nos limites sudeste, leste e nordeste da área da pesquisa, região onde ocorrem afloramentos da Fm. Botucatu (SAG), a mesma apresenta espessura de cerca de 60 metros.

Na região coberta⁸¹, o SAG apresenta-se desde a ausência, no município de Treze Tílias⁸², até a espessura de 170 metros, no município de Presidente Castelo Branco, apresentando uma espessura média de aproximadamente 100 metros, com base no Mapa hidrogeológico do Estado de Santa Catarina e grandes variações ao longo da área da pesquisa (CPRM, 2012).

4.7 Blocos tectônicos hidrogeológicos

Nas Figuras (Figura 61 e Figura 62) são apresentados um mapa e bloco diagrama das cotas absolutas médias do topo da Fm. Botucatu (SAG⁸³) calculadas para cada bloco geomorfoestrutural⁸⁴ a partir dos pontos de controle, constituindo os blocos tectônicos hidrogeológicos do SAG.

81 - SAG coberto pela Formação Serra Geral;

82 - O perfil do poço de Treze Tílias possui 750 metros. Apresentando 495 metros de SASG, sobrepondo diretamente 255 metros de Fm. Rio do Rasto.

83 - Topo do SAG – O topo do Sistema Aquífero Guarani é considerado como sendo a interface (contato geológico) entre as Formação Botucatu e Serra Geral.

84 - Por não possuírem pontos de controle, os blocos 04 e 16 apresentam apenas seus limites sem cota altimétrica e coloração interna.

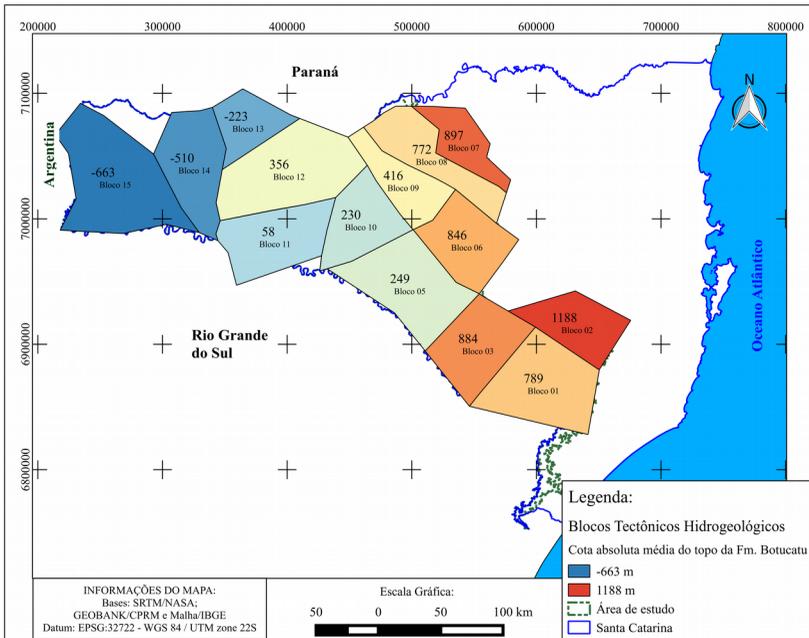


Figura 61 – Mapa da cota absoluta média do topo da Fm. Botucatu (SAG) “Blocos tectônicos hidrogeológicos do SAG”. Fonte: Elaborado pelo Autor.

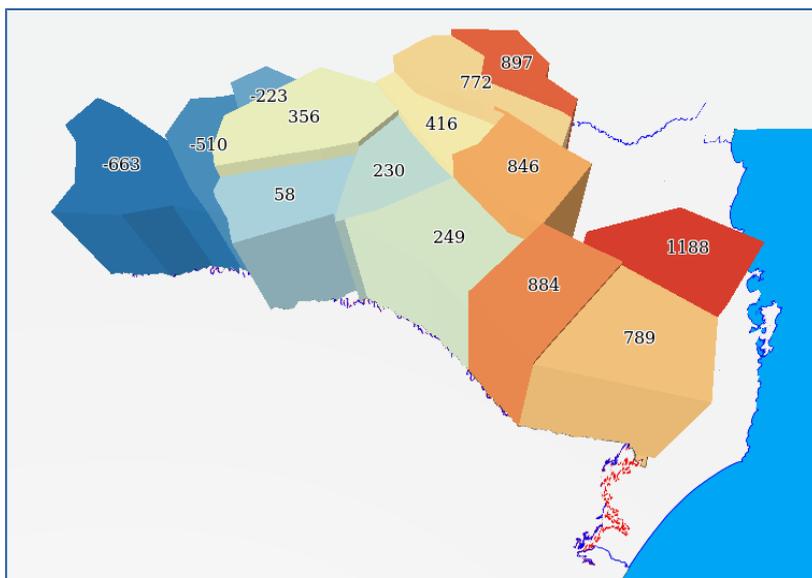


Figura 62 – Bloco-diagrama das cotas absolutas médias do topo da Fm. Botucatu (SAG). Fonte: Elaborado pelo Autor.

As cotas absolutas médias dos blocos variaram 1851 metros, ou seja, -663 metros no extremo oeste catarinense até 1188 metros na região do Morro da Igreja e Campo dos Padres⁸⁵, extremo leste da área de estudo. Estes valores sugerem uma tendência geral de circulação das águas subterrâneas de leste para oeste. Por outro lado, pode-se observar ao longo das seções a existência de descontinuidades entre os blocos.

Observa-se duas tendências principais de decréscimo para as altitudes do topo do SAG. A primeira das partes altas de leste, sudeste e norte da área da pesquisa em direção às calhas dos Rios Pelotas e Uruguai. A segunda tendência, de leste para oeste da área de estudo em direção ao centro da Bacia do Paraná.

Os maiores desníveis entre dois blocos tectônicos hidrogeológicos contíguos, como resultado da existência de grandes deslocamentos verticais, são encontrados entre os blocos 12 e 14, com 850 metros, seguido dos blocos 05 e 06, com 635 metros de desnível.

85 - APÊNDICE A – Mapa de localização das toponímias

A partir dos resultados até aqui apresentados verificou-se a possibilidade de elaboração de um seção de síntese para permitir a representação das relações entre os diversos blocos hidrogeológicos propostos no presente estudo.

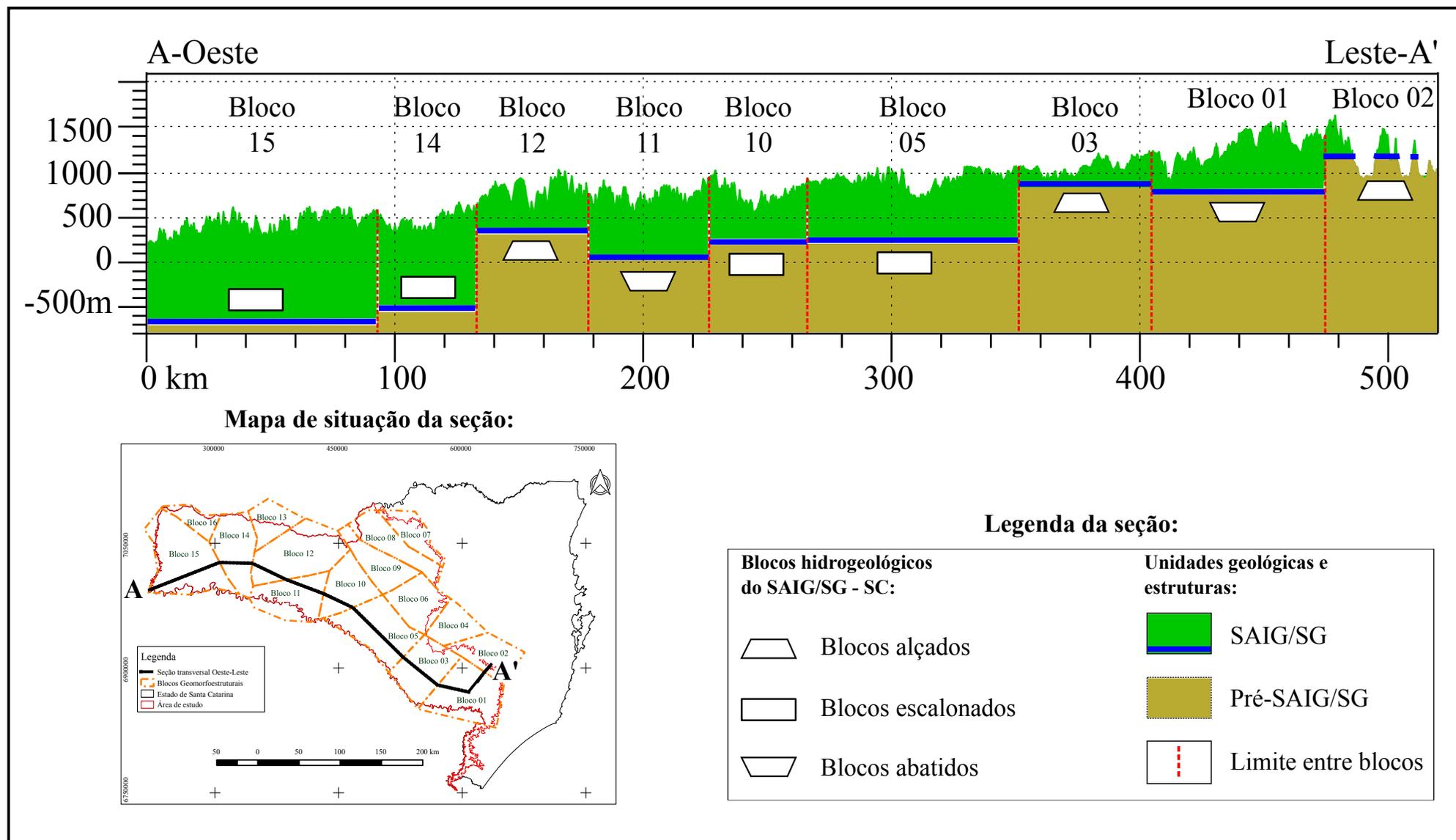
A seção hidrogeológica (Figura 63) representa, de leste para oeste da área de pesquisa, a posição relativa dos blocos tectônicos hidrogeológicos, permitindo a sua classificação em blocos alçados, escalonados e abatidos:

- **Blocos alçados** – aqueles que estão mais elevados em relação aos seus blocos vizinhos (blocos 2, 3 e 12). Nesses blocos o topo do SAG encontra-se, normalmente mais próximo da superfície, implicando em menores espessuras do SASG a serem perfuradas, para o aproveitamento daquele aquífero, e eventualmente também numa maior vulnerabilidade do mesmo à contaminação a partir da superfície. Tendo em vista que os contatos laterais do SAIG/SG são exclusivamente com rochas do mesmo sistema aquífero, a tendência é de que as características hidroquímicas tendam a ser mais próxima às das águas meteóricas que segundo Lisboa (1996), Bittencourt et al. (2003) e Nanni (2008) são predominantemente bicarbonatadas cálcicas.
- **Blocos escalonados** – Com tendência geral de aprofundamento do topo do SAG para oeste (blocos 5, 10, 14 e 15). Sua interação lateral com unidades geológicas pré-SAIG/SG ocorre apenas nesta direção, através de rejeitos de falha que desconectam lateralmente o SAIG/SG. Nesta condição os volumes de recarga de águas nos blocos são expressivos, permitindo a comunicação hidráulica com áreas com potenciometria mais elevada a partir dos limites leste de cada bloco, podendo conferir-lhes uma hidroquímica de fácies mista, evidenciando uma intensa mistura de águas.
- **Blocos abatidos** – Os blocos 1 e 11 encontram-se em posição inferior aos dois blocos vizinhos, gerando uma maior espessura relativa e uma situação de relativo confinamento, configurando o que tem sido colocado na literatura como “células isoladas” (Lisboa, 1996, Soares et al, Nanni, 2008). Nesta situação, os blocos podem receber recarga lateral das unidades aquíferas ou aquíferos de idade pré-SAIG/SG. Os volumes de águas de recarga serão mais expressivos, porém a maior superfície de comunicação lateral entre SAIG/SG e unidades geológicas

pré-SAIG/SG pode conferir às águas características hidroquímicas de maior tempo de residência⁸⁶, constituindo de acordo com Lisboa (1996) e Nanni (2008) águas do tipo bicarbonatadas sódicas.

86 - Podendo conter enriquecimento das águas subterrâneas em F^- , Na^+ , SO_4^{2-} , Cl^- .

Figura 63 – Seção hidrogeológica do SAIG/SG em SC.



5 CONCLUSÃO

A presente pesquisa utilizou-se de conhecimento geomorfológico, geológico e sistemas de informações geográficas para estabelecer as compartimentações tectônicas do Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral (SAIG/SG) em Santa Catarina.

Os dados altimétricos obtidos a partir das imagens SRTM forneceram uma base digital contínua para geração dos planos de informações geográficas: declividade, hipsometria, sombreado, rede de drenagem e lineamentos. Estes dados possibilitaram ainda a elaboração de seções transversais e interpretação de patamares geomorfoesculturais controlados por blocos geomorfoestruturais.

Os dados altimétricos SRTM, juntamente com o banco de dados hidrogeológico, possibilitaram a definição de superfícies do terreno e do SAG, bases para elaboração das seções transversais e definição de limites de blocos geomorfoestruturais que condicionam blocos hidrogeológicos.

A análise dos resultados demonstrou a viabilidade da metodologia na definição dos blocos geomorfoestruturais e compartimentações tectônicas hidrogeológicas do SAIG/SG. Foi reafirmada a influência das direções NE e NW, já apontadas por pesquisas anteriores realizadas na Bacia do Paraná.

Foram elaboradas 13 seções geomorfológicas para detalhar os patamares geomorfoesculturais e sugerir os limites dos blocos geomorfoestruturais. Os maiores rejeitos de falha ao longo das seções estão associados às regiões sudeste (seções 04 e 18 – blocos 01, 02 e 03) e oeste do Estado (seção 21 – bloco 11). O SASG apresentou espessuras variáveis, de oeste para leste da área de estudo, de respectivamente 1224 até 100 metros. Os blocos 10 e 11, associados às bacias dos rios Jacutinga e do Peixe, apresentaram diminuição das espessuras do SASG, sugerindo a possibilidade de maior vulnerabilidade do SAG. Os grandes alinhamentos estruturais do embasamento da bacia do Paraná influem na estruturação em blocos e podem servir como conexão entre o SASG e o SAG. A partir da interpretação dos patamares geomorfoesculturais, foram estabelecidos 16 blocos geomorfoestruturais em escalas 1:2.000.000, 1:1.000.000, 1:500.000 e 1:250.000, delineados com base na rede de drenagem, lineamentos que apresentam as direções preferenciais NE e NW e raster composto. Os blocos geomorfoestruturais serviram de base para definição de 14 blocos tectônicos hidrogeológicos, para os quais foram atribuídas cotas

absolutas médias do topo da Formação Botucatu (SAG); estas cotas diferem num total de 1851 metros (máxima no sudeste e a mínima no extremo oeste do estado). Nestes 14 blocos, a espessura média da Formação Serra Geral (SASG) variou desde zero (0) metro (SAG aflorante, nas regiões mais a leste), até 1132 metros (extremo oeste catarinense). Foram propostos modelos de evolução geomorfológica e, em conclusão, uma seção hidrogeológica em que se representa, de leste para oeste da área de pesquisa, a posição relativa dos blocos hidrogeológicos do SAIG/SG, permitindo a sua classificação em blocos alçados, escalonados e abatidos (Figura 63).

A definição de blocos tectônicos hidrogeológicos no SAIG/SG foi preliminarmente trabalhada sendo tema do artigo “Definition of hydrogeological tectonic blocks into Guarani/Serra Geral Integrated Aquifer System using QGIS” preparado para a revista *Geomatics Workbooks* (DESCOVI FILHO et al., 2015).

A presente pesquisa representa um acréscimo de conhecimento sobre o SAIG/SG em Santa Catarina; a definição de 16 blocos geomorfoestruturais e tectônicos hidrogeológicos, bem como a determinação das espessuras da Formação Serra Geral, além da metodologia inovadora, servirão de suporte à tomada de decisão para gestão dos recursos hídricos subterrâneos da região, modelo com replicação viável no contexto na Bacia do Paraná.

Essa compartimentação tectônica que apresenta o SAIG/SG reafirma que o SAG, outrora tido como um aquífero contínuo, é de fato seccionado inúmeras vezes, incluindo a sua desconexão lateral, que influencia os fluxos subterrâneos de forma quali-quantitativa, pois ora posiciona o SAG ao lado do SASG e ora o coloca ao lado das formações pré-SAG, permitindo assim, a mistura de águas e condicionando seu tempo útil de uso.

O QGIS foi a ferramenta fundamental para o desenvolvimento da presente pesquisa, possibilitou a elaboração de proposições e orientações para gestão das águas subterrâneas do SAIG/SG.

Serão necessárias pesquisas mais detalhadas para subdivisão dos blocos tectônicos hidrogeológicos.

Esta pesquisa buscou subsidiar a gestão dos recursos hídricos do meio oeste catarinense, pertencentes ao SAIG/SG - Bacia do Paraná, através da criação de um SIG e de metodologia inovadora, os quais serão disponibilizados na rede mundial de computadores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB`SABER, Aziz Nacib. Províncias Geológicas e Domínios Morfoclimáticos no Brasil. **Geomorfologia**, São Paulo, v. 20, p. 01-26, 1970.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS/ANA. **Lista de termos para o Thesaurus de recursos hídricos da Agência Nacional de Águas**. Portaria No 149, de 26 de Março de 2015. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/noticias/20150406034300_Portaria_149-2015.pdf>. Acesso em: 04 Set. 2015.

ALBUQUERQUE, José do Patrocínio Tomaz; RÊGO; Janiro Costa. Sistemas Aquíferos Brasileiros: O verdadeiro significado hidrogeológico. In: XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2013, Bento Gonçalves, RS. **Anais ...** Bento Gonçalves: ABRH, 2013. p. 01 – 08.

ALMEIDA, Ronaldo Bento Gonçalves de; SILVA, Daniel José. Análise de áreas mais propícias a recarga do Sistema Aquífero Guarani na região hidrográfica do Planalto de Lages (SC): Subsídios para a gestão das águas subterrâneas. In: XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2011, Maceió, AL. **Anais ...** Maceió: ABRH, 2011. p. 01 – 20.

ALMEIDA FILHO, Raimundo; IBANEZ, Delano Menecucci; MIRANDA, Fernando Pellon de. Interpretação morfoestrutural com dados SRTM no auxílio à exploração petrolífera: em exemplo da bacia sedimentar do Amazonas. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 28, p. 89-98, 2010.

AMORE, Luiz; KIRCHHEIM, Roberto; DECOUD, Pablo; GALINDO, Griselda; GASPAR, Márcia Tereza Pantoja; DECOUD, Oliva Nilsa Ocampos de; MENÉNDEZ, Juan Carlos Canabal. **Aquífero Guarani: programa estratégico de ação. Aquífero Guarani: programa estratégico de acción.**– Edição bilíngüe.– Brasil; Argentina; Paraguai; Uruguai: Organização dos Estados Americanos (OEA), 2009. 424 p.

ARAÚJO, Carlos César de; YAMAMOTO, Jorge Kazuo; MADRUCCI, Vanessa. Análise morfoestrutural em área de ocorrência de arenito asfáltico, Bacia do Paraná, São Paulo. **Revista do Instituto Geológico**, v. 24, n. 1/2, p. 25-41, 2003.

ARAÚJO, Laury Medeiros de; FRANÇA, Almério Barros; POTTER, Paul Edwin. Arcabouço hidrogeológico do aquífero Gigante do Mercosul (Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai): Formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Taquarembó. In: Mercosul de Águas Subterrâneas. **Anais...** v. 1, 1995. p. 110-120.

ARCANJO, João Batista Alves. **Fotogeologia: conceitos, métodos e aplicações**. CPRM/SGB. 2011.

ARTUR, Paulo César; SOARES, Paulo César. Paleoestruturas e petróleo na Bacia do Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 32(4), p. 433-448, 2002.

ASSAD, Eduardo Delgado; SANO, Edson Eyji (Ed.). **Sistema de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura**. 2ª Edição Brasília: Embrapa Spi / Embrapa-cpac, 1998. 434 p.

BIELENKI JÚNIOR, Claudio; BARBASSA, Ademir Paceli. **Geoprocessamento e recursos hídricos: aplicações práticas**. EdUFSCar. 2012.

BITTENCOURT, André Virmond Lima; ROSA FILHO Ermani Francisco; HINDI Eduardo Chemas; BUCHMANN FILHO Antonio Carlos. A influência dos basaltos e de misturas com águas de aquíferos sotopostos nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra - Geral na bacia do Rio Piquiri, Paraná - BR. **Revista Águas Subterrâneas**, São Paulo, v.17, p. 67-75, 2003.

BIZZI, Luiz Augusto; SCHOBENHAUS, Carlos; VIDOTTI, Roberta Mary; GONÇALVES, João Henrique. **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas & SIG**. CPRM –Serviço Geológico do Brasil. 2003.

BRUBACHER, João Paulo; OLIVEIRA, Guilherme Garcia de; GUASSELLI, Laurindo Antonio; LUERCE, Thiago Dias. Avaliação de

bases SRTM para extração de variáveis morfométricas e de drenagem. **Geociências**, São Paulo, v. 31, p. 381-393, 2012.

CÂMARA, Gilberto; MEDEIROS, José Simões de. **Geoprocessamento para Projetos Ambientais**. INPE. 1998.

CAMARA, Gilberto; SOUZA, Ricardo Cartaxo Modesto; FREITAS, Ubirajara Moura; GARRIDO, Juan; II, Fernando Mitsuo. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v. 20. n.º. 3, p. 395-403, 1996.

CASSETI, Valter. **Geomorfologia**. [S.l.]: [2005]. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em: 26 Out. 2014.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Geomorfologia**. 2.ed. rev. e ampl. São Paulo: Edgard Blucher, 1980. p.188.

_____. Concepções geográficas na análise do sistema ambiental. In: 2º Congresso Nacional de Estudos do Meio Ambiente – UFSC. **Anais...** Florianópolis. 1989.

CORRÊA, Antonio Carlos de Barros; FONSÊCA, Deily Naamma. Lineamento de Drenagem e de Relevô como subsídio para a Caracterização Morfoestrutural e Reativações Neotectônicas da área da Bacia do Rio Preto, Serra do Espinhaço Meridional – MG. **Revista de Geografia UFPE**, v. especial, p. 72-86, 2010.

CORRÊA, Antonio Carlos de Barros; TAVARES, Bruno de Azevêdo Cavalcanti; MONTEIRO, Kleython de Araújo; CAVALCANTI, Lucas Costa de Souza; LIRA, Daniel Rodrigues de. Megageomorfologia e morfoestrutura do Planalto da Borborema. **Revista do Instituto Geológico**, v. 31, p. 35-52, 2010.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo**: Asunción: folha SG.21 - Curitiba: folha SG.22. Brasília: CPRM, 2004. Escala 1:1.000.000. Programa Geologia do Brasil.

_____. GEOBANK – Projeto GIS Brasil. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>>. Acesso em: 12 Jun. 2012.

_____. **Mapa geológico do Estado de Santa Catarina.** Escala 1:500.000. Florianópolis, 2014.

_____. **SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas.** Disponível em: <<http://geobank.cprm.gov.br/>>. Acesso em: 17 Maio 2013.

CUNHA, Gustavo Garcia da. **Relação espacial da tectônica rúptil com a hidrogeoquímica e o potencial hidrogeológico do Sistema Aquífero Serra Geral na Região do Alto Rio Uruguai, Noroeste do Rio Grande do Sul.** Dissertação (Mestrado em Geociências). Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2014. 84p. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/98638>>. Acesso em: 20 Jan. 2015.

CUNHA, Sandra Baptista da. Geomorfologia Fluvial. In: GUERRA, Antonio Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista da (Orgs.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** Bertrand Brasil. 2013. pp. 211-252.

DAVIS, Clodoveu; CÂMARA, Gilberto. Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica. In: CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira (Org.). **Introdução à Ciência da Geoinformação.** INPE, v. 3, pp. 42-76. 2001.

DAVIS, Willian Morris. The Geographical Cycle. **Geography Journal**, v. 14, p. 481-504, 1899.

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. **Mapa geológico do Estado de Santa Catarina.** DNPM, 1986.

DESCOVI FILHO, Leônidas Luiz Volcato; Nanni, Arthur Schmidt; Scheibe, Luiz Fernando. Definition of hydrogeological tectonic blocks into Guarani/Serra Geral Integrated Aquifer System using QGIS. **Geomatics Workbooks.** v. 12, p. 455-458. 2015.

FEITOSA, Fernando Antonio Carneiro; MANOEL FILHO, João (Orgs.). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações.** 2.ed. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID-UFPE. 2000. 391p.

FELGUEIRAS, Carlos Alberto. Modelagem numérica de terreno. In: CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira (Org.). **Introdução a ciência da geoinformação**. INPE. 2001. p. 173-201.

FERNANDES, Amélia João [coord.]. **FRATASG - A Formação Serra Geral Como Conexão Hidráulica entre o Sistema Aquífero Guarani e a Superfície: Análise Estrutural e Ensaio In Situ**. [2005]. Disponível em: <http://www.igeologico.sp.gov.br/pj_projetos_det.asp?codigo=123>. Acesso em 12 Mar. 2014.

FERNANDES, Amélia João; NEGRI, Francisco de Assis; AZEVEDO SOBRINHO, José Maria; VARNIER, Claudia. Análise de fraturas dos basaltos do Aquífero Serra Geral e o potencial de recarga regional do Sistema Aquífero Guarani. **Boletín Geológico y Minero**, v. 123, p. 325-339, 2012.

FLORENZANO, Tereza Gallotti. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 318p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS e WORLD WATER COUNCIL. **Towards a water and food secure future: critical perspectives for policy-makers**. Relatório Branco FAO e UNESCO, 2015. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i4560e.pdf>>. Acesso em: 02 Abr. 2015.

FOSTER, Stephen; HIRATA, Ricardo Aoki; VIDAL, Ana; SCHMIDT, Gerhard; GARDUÑO, Hector. **A Iniciativa do Programa Sistema Aquífero Guarani – Rumo à Gestão Prática da Água Subterrânea em um Contexto Transfronteiriço. Lições da prática. Gestão Sustentável da Água Subterrânea Lições da Prática**. [Novembro de 2009]. Disponível em <http://pib.socioambiental.org/anexos/12210_20100518_151908.pdf>. Acesso em 15 Jun. 2015.

FRAGA, Carlos G. **Origem de fluoreto em águas subterrâneas dos Sistemas Aquíferos Botucatu e Serra Geral da Bacia do Paraná**. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia). - Programa de

Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia, Universidade de São Paulo, 1992. 178p.

FRASCA, Antonio Augusto Soares; LISBOA, Nelson Amoretti. Contribuição do sensoriamento remoto na compartimentação morfotectônica e morfoestrutural da Bacia do Paraná "Grupo São Bento", RS: e suas relações com as estruturas regionais do embasamento. In: VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais ...** Curitiba, PR, 10 a 14 de Maio de 1993. p. 211-220.

FREITAS, Marcos Alexandre de; ECKERT, Roque M.; CAYE, Bráulio Robério. **Captações de água subterrânea no Oeste do Estado de Santa Catarina**. PROESC, CPRM, 2001.

FREITAS, Marcos Alexandre; CAYE, Bráulio Robério; MACHADO, José Luiz Flores. **Diagnóstico dos recursos hídricos subterrâneos do oeste do Estado de Santa Catarina** - Projeto Oeste de Santa Catarina. PROESC, CPRM, 2003.

FREITAS, Marcos Alexandre de; ROISENBERG, Ari; CUNHA, Gustavo Garcia da. Caracterização hidrogeoquímica preliminar das fontes termais da região do Alto Rio Uruguai-RS e SC. In: XIII Congresso Brasileiro de Geoquímica. **Anais ...** Gramado, RS, 9 a 14 de Outubro de 2011. p. 1057-1060.

HASUI, Yociteru. A grande colisão Pré-cambriana do Sudeste Brasileiro e a estruturação regional. **Geociências UNESP**, v. 29, p. 141-169, 2010.

HORN FILHO, Norberto Olmiro. Setorização da Província Costeira de Santa Catarina em base aos aspectos geológicos, geomorfológicos e geográficos. **Geosul**, v. 18, p.71-98, 2003.

HUBP, José Lugo. **La superficie de la Tierra: I Un vistazo a un mundo cambiante**. Fondo de Cultura Económica. 1996. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/54/htm/lasuper.htm>>. Acesso em: 20 mar. 2014.

IBANEZ, Delano Menecucci; MIRANDA, Fernando Pellon de; RICCOMINI, Claudio. Geomorphometric pattern recognition of SRTM data applied to the tectonic interpretation of the Amazonian landscape. **ISPRS Journal Photogrammetry Remote Sensing**, v. 87, p. 192-202. 2014.

IBGE. **Noções básicas de cartografia**. 1998. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/manual_nocoos/indice.htm>. Acesso em: 20 abr. 2015.

JACQUES, Patricia Duringer; MACHADO, Rômulo; NUMMER, Alexis Rosa. Lineamentos estruturais na borda leste da Bacia do Paraná em Santa Catarina: análise multiescala com base em imagens LANDSAT e SRTM. **Pesquisas em Geociências**, v. 37, p. 117-131, 2010.

JACQUES, Patricia Duringer; MACHADO, Rômulo; OLIVEIRA, Roberto Gusmão de Francisco José Fonseca Ferreira, Luís Gustavo de Castro, Alexis Rosa Nummer. Correlation of lineaments (magnetic and topographic) and Phanerozoic brittle structures with Precambrian shear zones from the basement of the Paraná Basin, Santa Catarina State, Brazil. **Brazilian Journal of Geology**, v. 44, p. 39-54, 2014.

JENSEN, John. R.; EPIPHANIO, José Carlos Neves. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos, SP. Parêntese. 2009.

JORDÁN, Gy; MEIJNINGER, Bart M. L.; HINSBERGEN, Douwe J. J. Van; MEULENKAMP, John E.; DIJK, Paul M. Van . Extraction of morphotectonic features from DEMs: development and applications for study areas in Hungary and NW Greece. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 7, p. 163–182, 2005.

LANA, Cláudio Eduardo; CASTRO, Paulo de Tarso Amorim. Evolução histórica e filosófica do conceito de nível de base fluvial. **TERRÆ DIDÁTICA**, v. 8, p. 51-57, 2012.

LANEY R.L.; DAVIDSON C.B. **Aquifer-nomenclature guidelines**. Open-File Report 86-534. Report USGS. 1986. 46 p. Disponível em:

<<http://pubs.er.usgs.gov/publication/ofr86534>>. Acesso em: 18 ago. 2015.

LEINZ, Viktor; AMARAL, Sergio Estanislau do. **Geologia geral**. 7.ed. rev. São Paulo: Ed. Nacional, 1978. xv, 397p.

LISBOA, Nelson Amoretti. **Fácies, estratificações hidrogeoquímicas e seus controladores geológicos, em unidades hidrogeológicas do Sistema Aquífero Serra Geral, na Bacia do Paraná, Rio Grande do Sul**. Tese (doutorado em geociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Curso de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, 1996.

LOPES, Andréa Regina de Britto Costa. **Recursos hídricos e uso da terra na bacia do Rio do Peixe/SC, mapeamento das áreas de vulnerabilidade e risco de contaminação do Sistema Aquífero Serra Geral**. Tese (doutorado em geografia). Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

MACHADO, José Luiz Flores. **Compartimentação espacial e arcabouço hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul**. Tese (doutorado em geologia). Programa de pós-graduação em geologia - área de concentração em geologia sedimentar, Universidade do vale do rio dos Sinos, São Leopoldo, 2005.

MARQUES, Jorge Soares. Ciência geomorfológica. In: GUERRA, Antonio Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista da (Orgs.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Bertrand Brasil. 2013. p. 23-50.

MILANI, Edson José. Comentários sobre a evolução tectônica da Bacia do Paraná. In ALMEIDA, Fernando Flávio Marques de. **Geologia do Continente Sul-Americano** - evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. 2004. p. 265-279.

MILANI, Edson José; MELO, José Henrique Gonçalves de; SOUZA, Paulo Alves de; FERNANDES, Luiz Alberto; FRANÇA, Almério Barros. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, v. 15, p. 265-287, 2007.

MILANI, Edson José; RAMOS, Victor Alberto. Orogenias paleozóicas no domínio sul-ocidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 28, p. 473-484, 1998.

MIRANDA, Evaristo Eduardo de; (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 24 ago. 2014.

MIRANDA, José Iguelmar. **Fundamentos de Sistema de Informações Geográficas**. 2. ed., rev. e atual. Brasília, DF. Embrapa Informação Tecnológica. 2010.

NANNI, Arthur Smith. **O Flúor em águas do Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul: origem e condicionamento geológico**. Tese (doutorado em Geociências). Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008. 127p.

NANNI, Arthur Smith; ROISENBERG, Ari; FACHEL, Jandyra M.G.; MESQUITA, Gilberto; DANIELI, Cristiano . Fluoride characterization by principal component analysis in the hydrochemical facies of Serra Geral Aquifer System in Southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 80, n° 4, p. 693-701, 2008. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/37645>>. Acesso em: 24 ago. 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/S0001-37652008000400010>.

NASCIMENTO, Edenilson Roberto do; SALAMUNI, Eduardo; QUEIROZ, Gustavo Lopes; SILVA, Pedro Augusto Hauck da; FIORI, Alberto Pio. Evidências de determinação morfotectônica e Neotectônica no relevo da serra do mar no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, p. 287-299, 2013.

NOVO, Evlyn Márcia Leão de Moraes. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 4. ed. rev. São Paulo: Blucher. 2010.

O'LEARY, Dennis W.; FRIEDMAN, Jules Daniel; POHN, Howard A.. Lineament, linear, lineation: Some proposed new standards for old

terms. **Geological Society of America Bulletin**, v. 87, p. 1463-1469, 1976.

ORLANDO FILHO, Victor. **Coluna White - Excursão virtual pela Serra do Rio do Rastro, SC**: seção padrão das unidades do Gondwana no sul do Brasil. Porto Alegre: CPRM. 2002. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/coluna/index.html>>. Acesso em: 11 nov. 2013.

PENHA, Hélio Monteiro. Processos endogenéticos na formação do relevo. In: GUERRA, Antonio Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista da (Orgs.). **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. Bertrand Brasil. 2013. p. 51-92.

PORTELA FILHO, Carlos Vieira; FERREIRA, Francisco José Fonseca; ROSA FILHO, Ernani Francisco da; ROSTIROLLA, Sidnei Pires. Compartimentação magnética-estrutural do sistema aquífero Serra Geral e sua conectividade com o Sistema Aquífero Guarani na região central do Arco de Ponta Grossa (Bacia do Paraná). **Revista Brasileira de Geociências**. v. 35, n. 3, p. 369-381, 2005.

PRESS, Frank; GROTZINGER, John; SIEVER, Raymond; JORDAN, Thomas Hillman. **Para entender a Terra**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 656 p.

QGIS Development Team. Geographic Information System. **User Guide**. 2015.

QGIS Development Team. **QGIS Geographic Information System**. 2015.

QUINTAS, Márcia Cristina Lopes. Um estudo de compensação isostática para a bacia do Paraná. In: **Boletim de Ciências Geodésicas**, sec. Artigos, Curitiba, v. 8, n. 2, p.93-108, 2002.

REBOUÇAS, Aldo da Cunha. **Recursos hídricos subterrâneos da Bacia do Paraná**: análise de pré-viabilidade. 1976. Tese (Livre Docência em Geologia Econômica e Geofísica Aplicada) - Instituto de Geociências, University of São Paulo, São Paulo, 1976. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/44/tde-02062014-141431/>>. Acesso em: 24 ago. 2015.

REGINATO, Pedro Antonio Roehé. **Integração de dados geológicos para prospecção de aquíferos fraturados em trecho da bacia hidrográfica Taquari-Antas (RS)**. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGEM. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

ROSA FILHO, Ernani Francisco da; HINDI, Eduardo Chemas; ROSTIROLLA, Sidnei Pires; FERREIRA, Francisco José Fonseca; BITTENCOURT, André Virmond Lima. Sistema Aquífero Guarani – Considerações preliminares sobre a influência do Arco de Ponta Grossa no fluxo das águas subterrâneas. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 91-112, Maio 2003.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. **Geografia do Brasil**. 5. ed. rev. e ampl. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005.

ROSSATO, Máira Suertegaray; BELLANCA, Eri Tonietti; FACHINELLO, Alexsandra; CÂNDIDO, Luciane Aparecida; SILVA, Cláudia Russo da; SUERTEGARAY, Dirce Maria Antunes. **Terra**: feições ilustradas. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2003. 263p.

SAMPAIO, Tony Vinicius Moreira; AUGUSTIN, Cristina Helena Ribeiro Rocha. Índice de concentração da rugosidade: uma nova proposta metodológica para o mapeamento e quantificação da dissecação do relevo como subsídio a cartografia geomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.15, p. 47-60. 2014.

SARTORI, Pedro Luiz Pretz. Geologia e geomorfologia de Santa Maria. *Ci. Amb*, v. 38, p. 19-42, 2009.

SCHEIBE, Luiz Fernando. **A Geologia de Santa Catarina**: Sinopse provisória. **Geosul**, v. 1, nº 1, p. 7-38, 1986.

SCHEIBE, Luiz Fernando; FURTADO, Sandra Maria Arruda. Proposta de alinhamentos estruturais para um esboço geotectônico de Santa Catarina. **Geosul**, v. 8, p. 78-91, 1989.

SCHEIBE, Luiz Fernando. Aquífero Guarani: oportunidades e desafios do grande manancial do Cone Sul. Grupo de Trabalho 4, In: 58^a Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência. **Anais...** Florianópolis, SC, Julho 2006.

SCHEIBE, Luiz Fernando; HIRATA, Ricardo César Aoki. Contexto tectônico dos Sistemas Aquíferos Guarani e Serra Geral em Santa Catarina: uma revisão. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. Suplemento - XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2008. Disponível em: <<http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23794/15859>>. Acesso em: 10 Abril 2011.

SCHOBENHAUS, Carlos; GONÇALVES, João Henrique; SANTOS, João Orestes Schneider; ABRAM, Maisa Bastos; LEÃO NETO, Reginaldo; MATOS, Gerson Manoel Muniz; VIDOTTI, Roberta Mary; RAMOS, Maria Angelica Barreto; JESUS, José Domingos Alves de (eds.). **Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo: Sistema de Informações Geográficas - SIG e 46 folhas na escala 1:1.000.000**. Brasília: CPRM, 2004. 41 CD-ROM's.

SILVEIRA, Cláudia Regina. **Metodologia da Pesquisa**. 2a edição rev. e ampliada. Florianópolis: IFSC. 2011. 120p.

SILVÉRIO DA SILVA, José Luiz [coord.]. **Projeto Fundo das universidades N°10**. Characterization of GAS replenishment and discharge areas in Rivera-Livramento and Quarai-Artigas. Vulnerability study in the Artigas-Quarai area of influence. OEA/GEF/Banco Mundial. 2004.

SOARES NETO, Gervásio Barbosa. **Método de classificação semiautomático das unidades básicas de relevo em regiões tropicais**. Tese (Doutorado em Geociências Aplicadas). - Universidade de Brasília. Brasília, 2015. 103p.

SOARES, Ana Paula; SOARES, Paulo César; BETTÚ, Daniel Fabian; HOLZ, Michael. Compartimentação estrutural da Bacia do Paraná: a

questão dos lineamentos e sua influência na distribuição do Sistema Aquífero Guarani. In: **Geociências UNESP**, v. 26, p. 297-311, 2007.

STRAHLER, Arthur Newell; STRAHLER, Alan Harding. **Geografia física** [traducido de la 3a. ed. americana por Marta Barrutia, y Pere Sunyer. Barcelona: Omega, 2000. 550 p.

STRIEDER, Adelir José; AMARO, Venerando Eustáquio. Structural patterns removed from remotely sensed lineaments. In: **EGATEA (Revista da Escola de Engenharia – UFRGS)**, v. 25, p. 109-117, 1997.

USGS – United States Geological Survey. **Earth Explorer**. SRTM – Shuttle Radar Topography Mission. Washington, NASA-USGS. 2000. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 09 Out. 2011.

VITTE, Antonio Carlos. Breves considerações sobre a história da geomorfologia geográfica no Brasil. In: **Geo UERJ**, v. 1, p. 1-19, 2010.

WHITE, Israel Charles. **Relatório final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil**. 1908. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/coluna/index.html>>. Acesso em: 04 Dez. 2014

WOLKMER, Maria de Fátima Schumacher [coord.]. **Projeto REDE GUARANI/SERRA GERAL**, apresentado pela FUNJAB (Fundação José Arthur Boiteux/UFSC) à FAPESC (Fundação de Apoio à Pesquisa Científica e Tecnológica do Estado de Santa Catarina) em dezembro de 2006, inédito (46 p.).

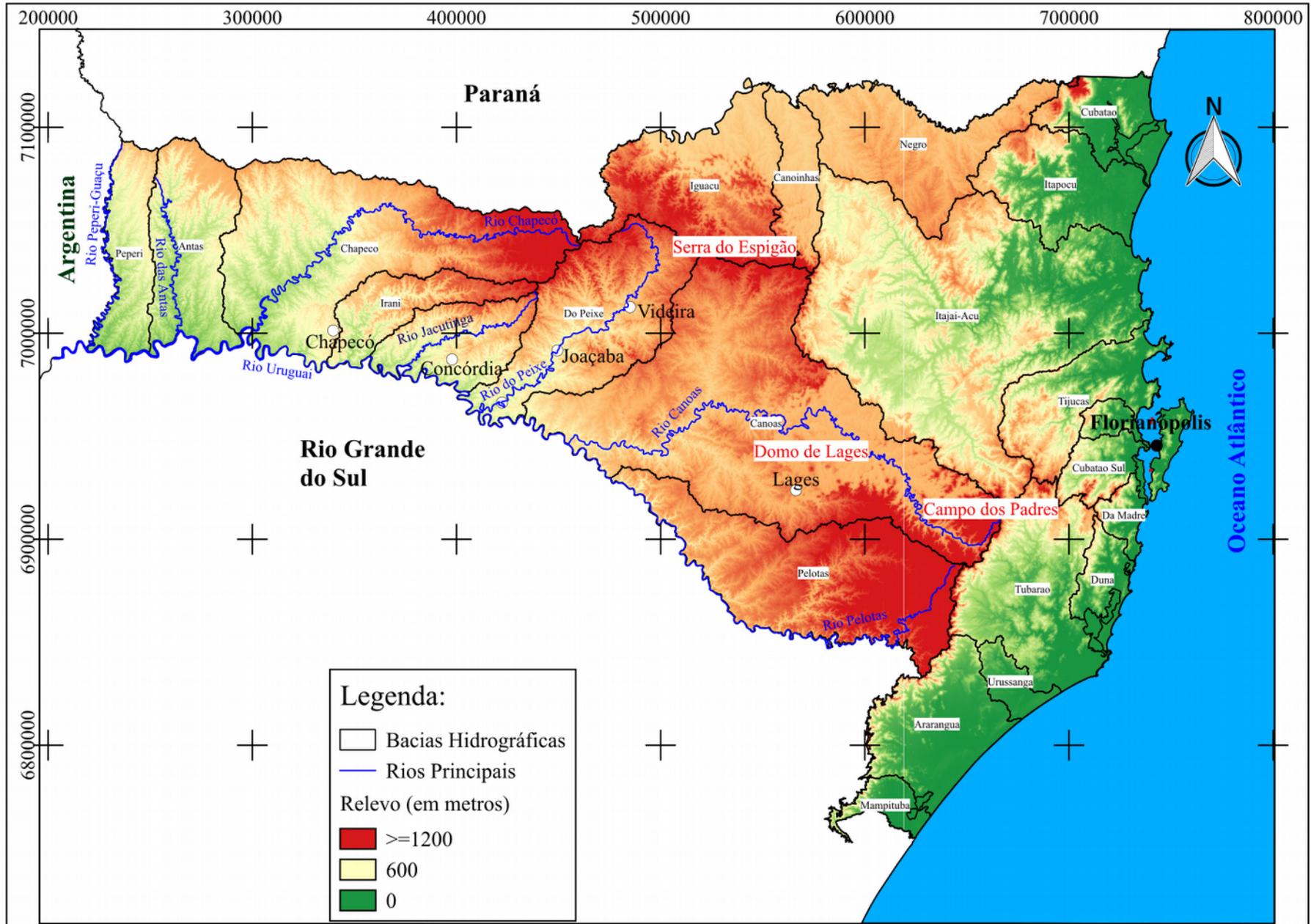
WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME WWAP (Editor). **Water for people – water for life**. Executive Summary of the United Nations World Water Development Report 1: Water for people – water for life. Paris and Oxford: UNESCO and Berghahn Books. 2003. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129556e.pdf>>. Acesso: 17 Abr. 2012.

ZALÁN, Pedro Victor; WOLFF, Sven; CONCEIÇÃO, João Claudio de Jesus; MARQUES, Airton; ASTOLFI, Marco Antonio; VIEIRA, Inês

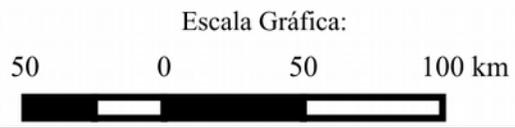
Santos; APPI, Valéria Tiriba; ZANOTTO, Osmar Antônio. Bacia do Paraná. In: De RAJA GABAGLIA, Guilherme P. e MILANI, Edson José (Coords.). **Origem e Evolução de Bacias Sedimentares**. PETROBRÁS. 1990. p. 135-169.

ZANATA, Lauro César; COITINHO, João Batista Lins. A utilização de poços profundos no Aquífero Guarani para abastecimento público em Santa Catarina. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Florianópolis, dez/2002. **Anais...** Florianópolis: ABAS. Disponível em: <<http://www.aquiferguarani.ufsc.br/artigos/zanatta.pdf>> acesso em 19/01/14.

APÊNDICE A – Mapa de localização das toponímias



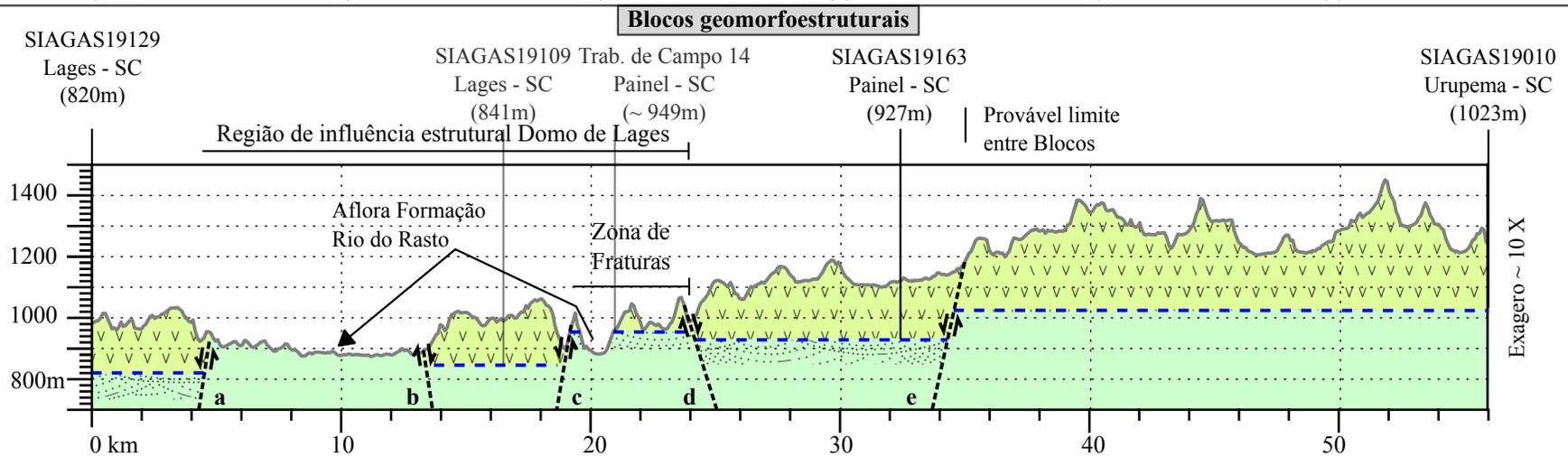
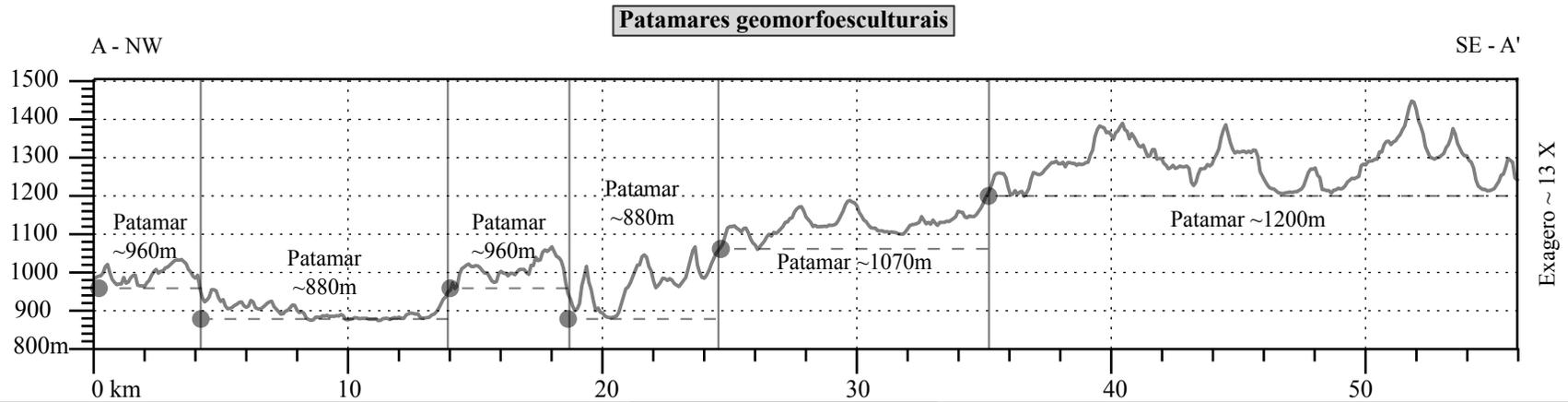
INFORMAÇÕES DO MAPA:
 Bases: SRTM/NASA;
 GEOBANK/CPRM e Malha/IBGE
 Datum: EPSG:32722 - WGS 84 / UTM zone 22S



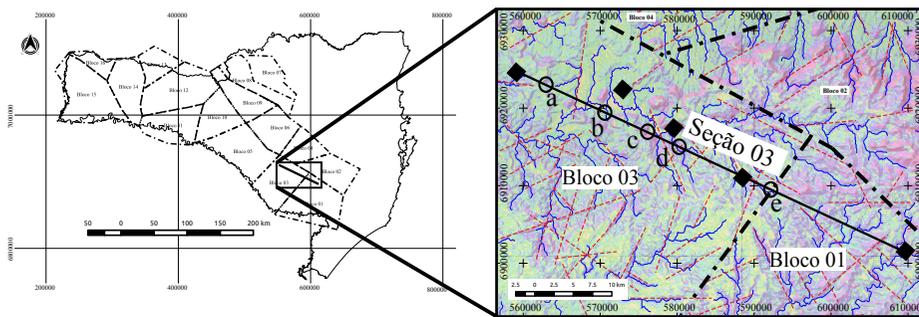
APÊNDICE B – Seções Transversais.

Grupo 01 – Região Sudeste (Seções 03, 04, 12, 18 e 19)

Seção 03



Mapas de situação e detalhe geomorfoestrutural:



Legenda do mapa:

- Provável limite entre blocos
- Seção 03 A - A' (NW - SE)
- Lineamentos
- Ponto de Controle²
- Rede de Drenagem
- Imagem composta³
- Interseção da fratura/rede de dren. na seção

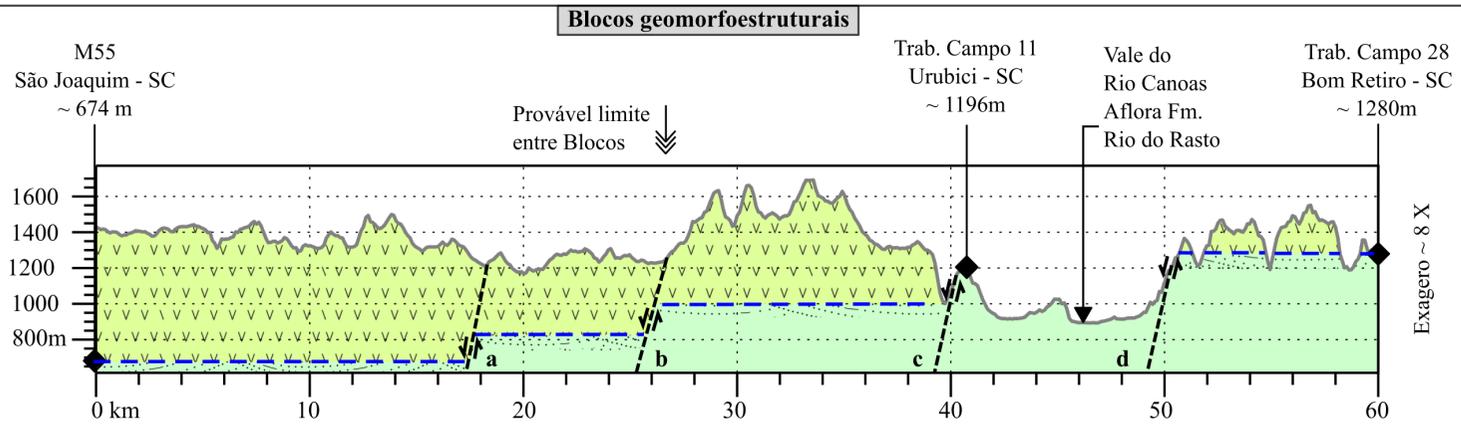
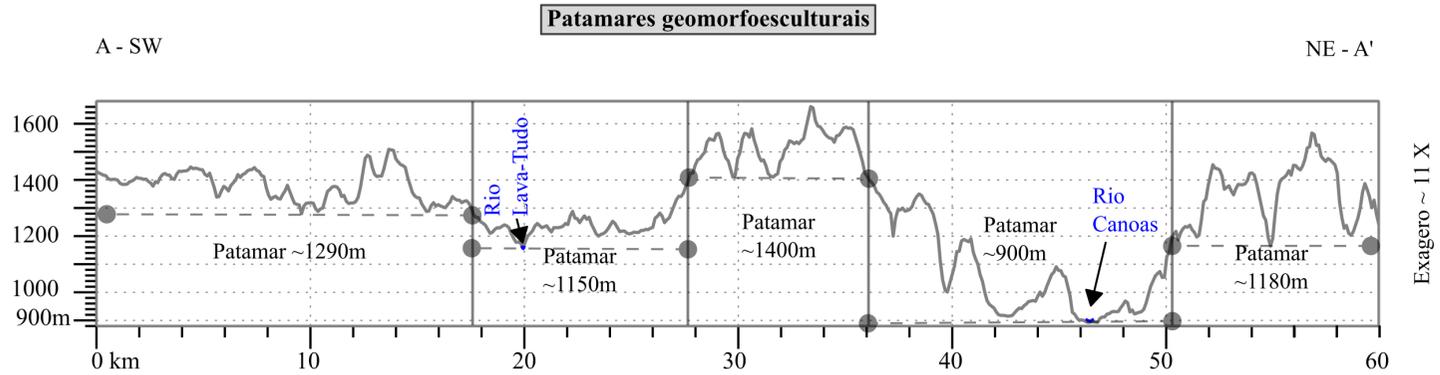
Legenda das seções:

- Superfície do terreno
- Contato geológico¹
- Provável limite entre blocos
- Falha normal
- Pontos de controle²
- Patamar geomorfoestrutural
- Formação Serra Geral
- Formação Botucatu
- Formação Rio do Rasto à mais antigas
- Indicação de possíveis falhamentos (mapa geomorfoestrutural)

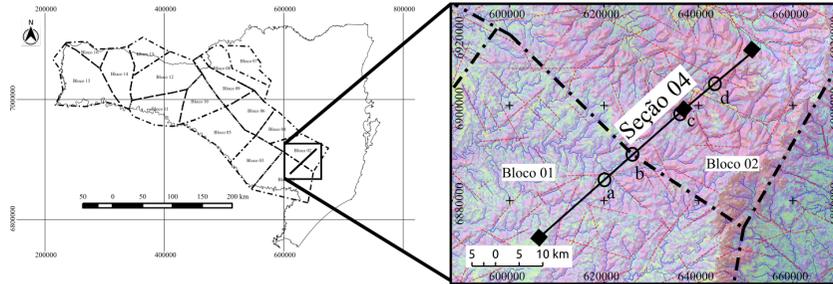
1 Contato geológico interpretado entre as Fms SG e Bt;
 2 Poço tubular e/ou afloramento rochoso com a cota do contato estratigráfico;
 3 Hipsometria 44%+Declividade 33%+Sombreamento 22%

Fontes: Banco de dados e SIG Tese (detalhes vide metodologia)

Seção 04



Mapas de situação e detalhe geomorfoestrutural:



Legenda do mapa:

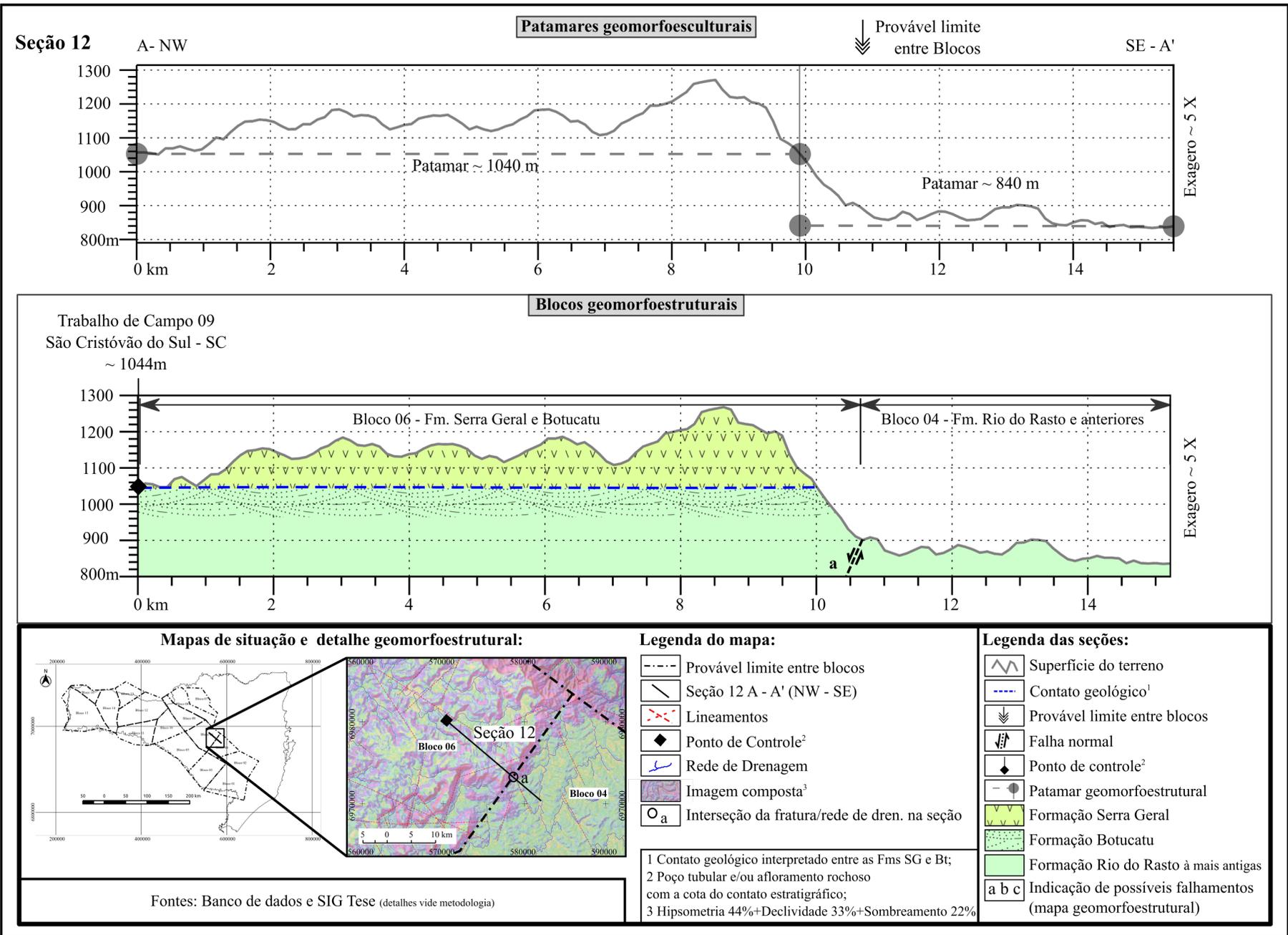
- Provável limite entre blocos
- Seção 04 A - A' (SW - NE)
- - - Lineamentos
- ◆ Ponto de Controle²
- Rede de Drenagem
- Imagem composta³
- a Interseção da fratura/rede de dren. na seção

Legenda das seções:

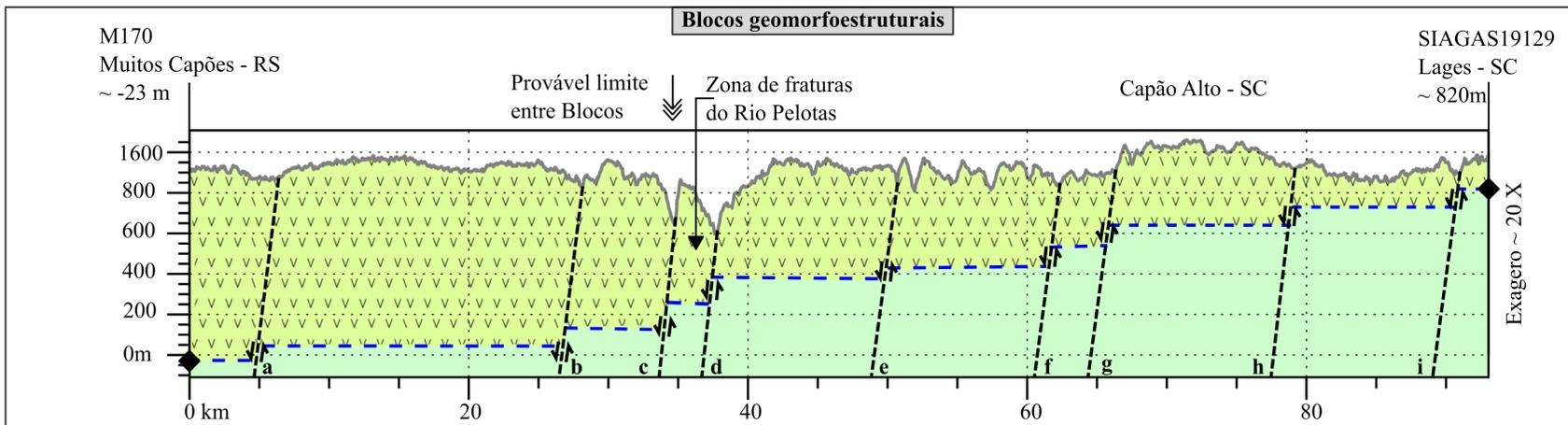
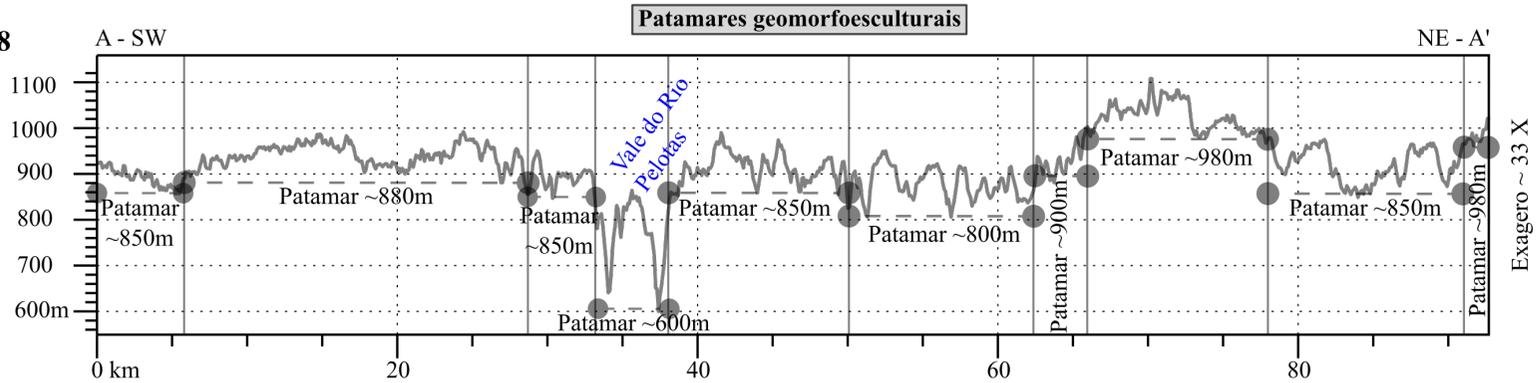
- Superfície do terreno
- Contato geológico¹
- Provável limite entre blocos
- Falha normal
- Pontos de controle²
- Patamar geomorfoestrutural
- Formação Serra Geral
- Formação Botucatu
- Formação Rio do Rasto à mais antigas
- a b c Indicação de possíveis falhamentos (mapa geomorfoestrutural)

Fontes: Banco de dados e SIG Tese (detalhes vide metodologia)

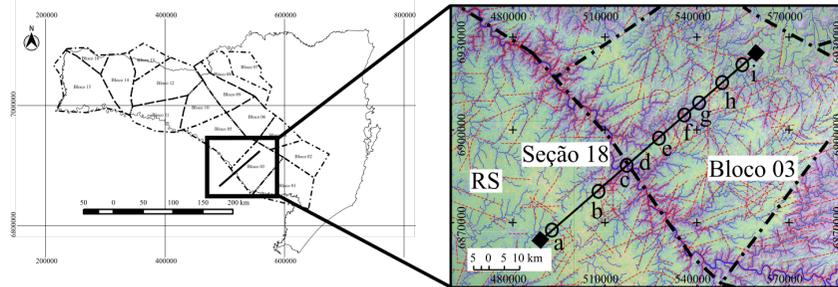
1 Contato geológico interpretado entre as Fms SG e Bt;
 2 Poço tubular e/ou afloramento rochoso com a cota do contato estratigráfico;
 3 Hipsometria 44%+Declividade 33%+Sombreamento 22%



Seção 18



Mapas de situação e detalhe geomorfoestrutural:



Legenda do mapa:

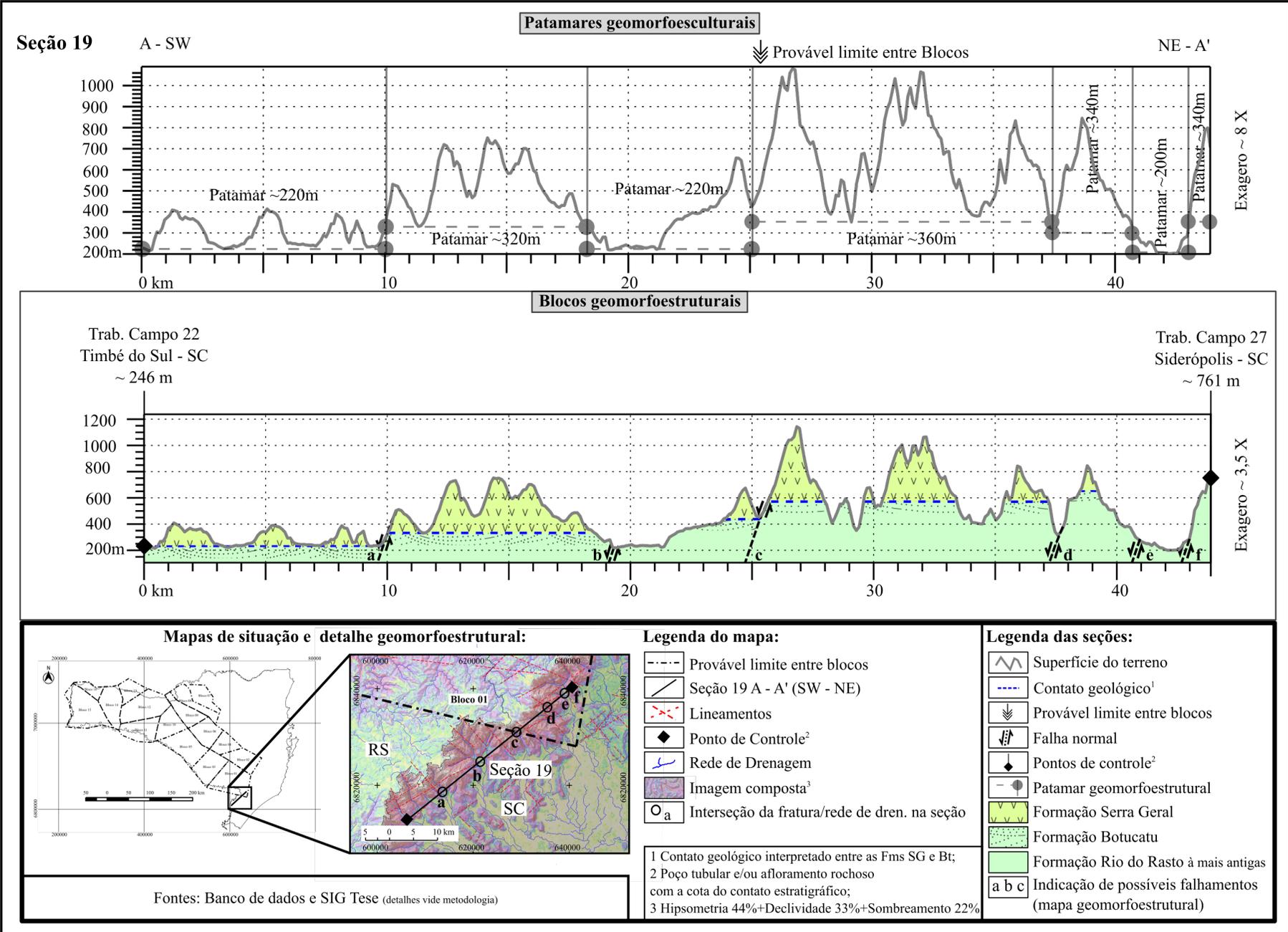
- Provável limite entre blocos
- Seção 18 A - A' (SW - NE)
- - - Lineamentos
- ◆ Ponto de Controle²
- Rede de Drenagem
- Imagem composta³
- _a Interseção da fratura/rede de dren. na seção

Legenda das seções:

- Superfície do terreno
- Contato geológico¹
- Provável limite entre blocos
- Falha normal
- Ponto de controle²
- Patamar geomorfoestrutural
- Formação Serra Geral
- Formação Botucatu e mais antigas
- a b c Indicação de possíveis falhamentos (mapa geomorfoestrutural)

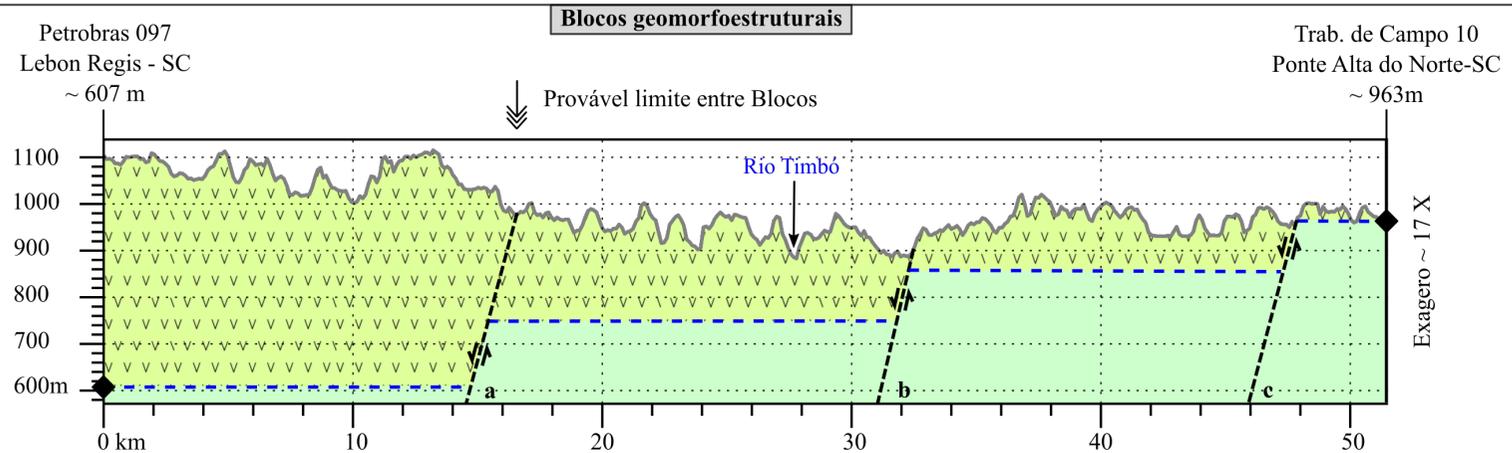
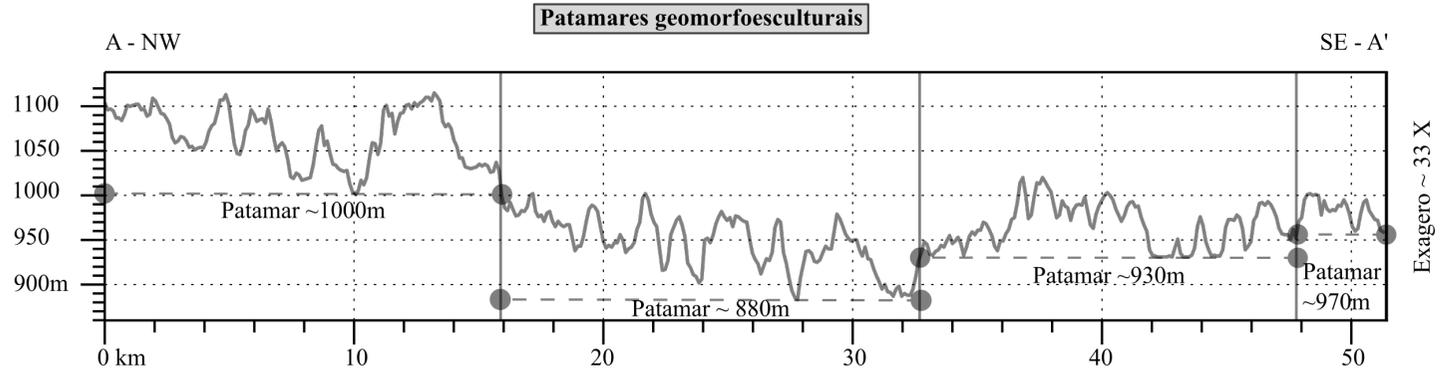
1 Contato geológico interpretado entre as Fms SG e Bt;
 2 Poço tubular e/ou afloramento rochoso com a cota do contato estratigráfico;
 3 Hipsometria 44%+Declividade 33%+Sombreamento 22%

Fontes: Banco de dados e SIG Tese (detalhes vide metodologia)

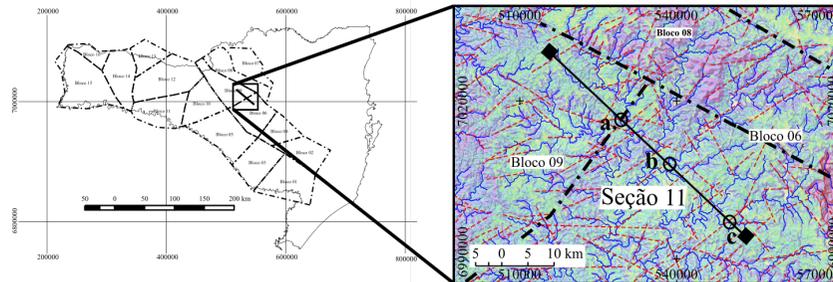


Grupo 02 – Região Nordeste (Seções 11, 16 e 17).

Seção 11



Mapas de situação e detalhe geomorfoestrutural:



Legenda do mapa:

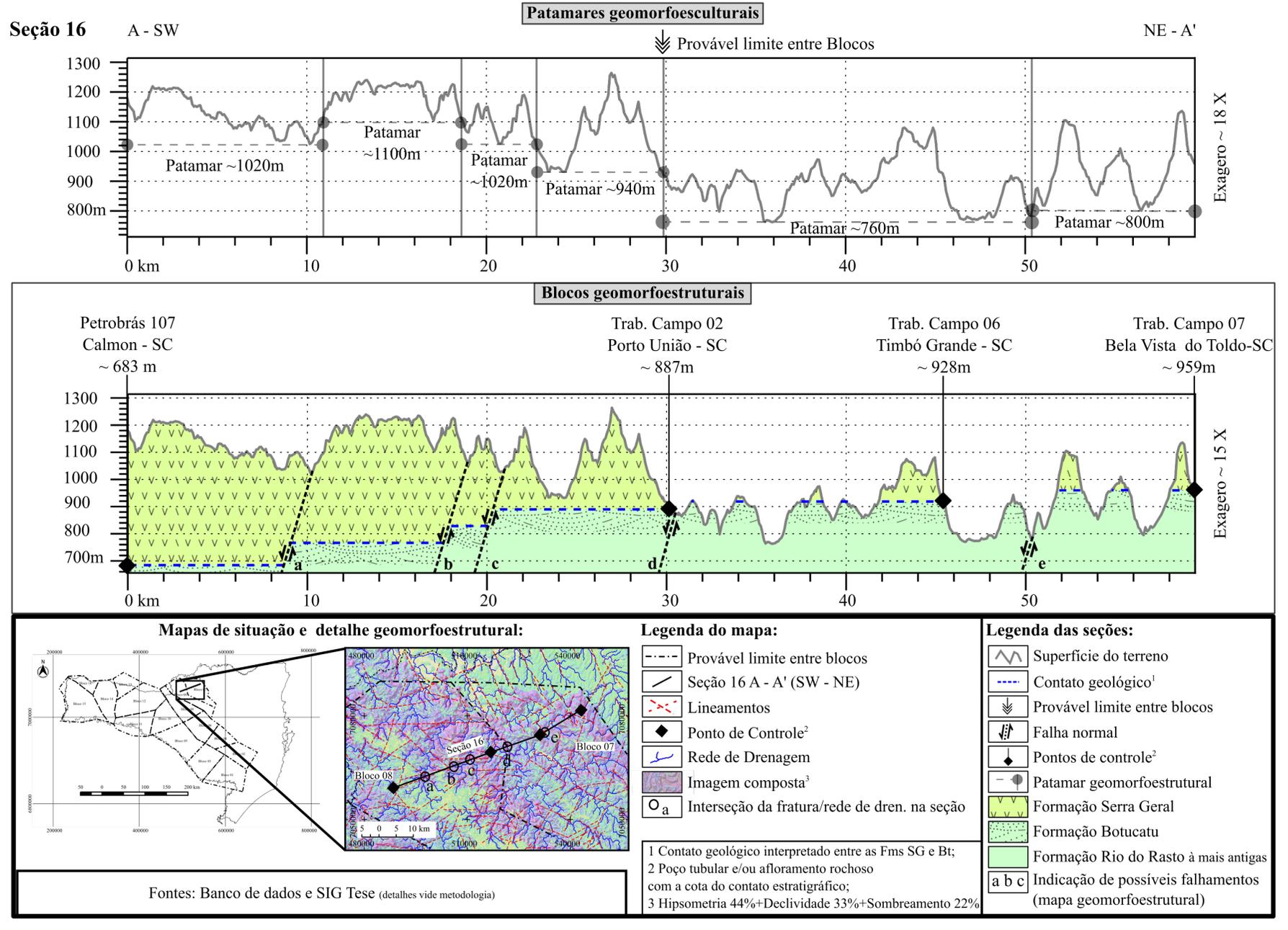
- Provável limite entre blocos
- Seção 11 A - A' (NW - SE)
- - - Lineamentos
- ◆ Ponto de Controle²
- Rede de Drenagem
- Imagem composta³
- a Interseção da fratura/rede de dren. na seção

Legenda das seções:

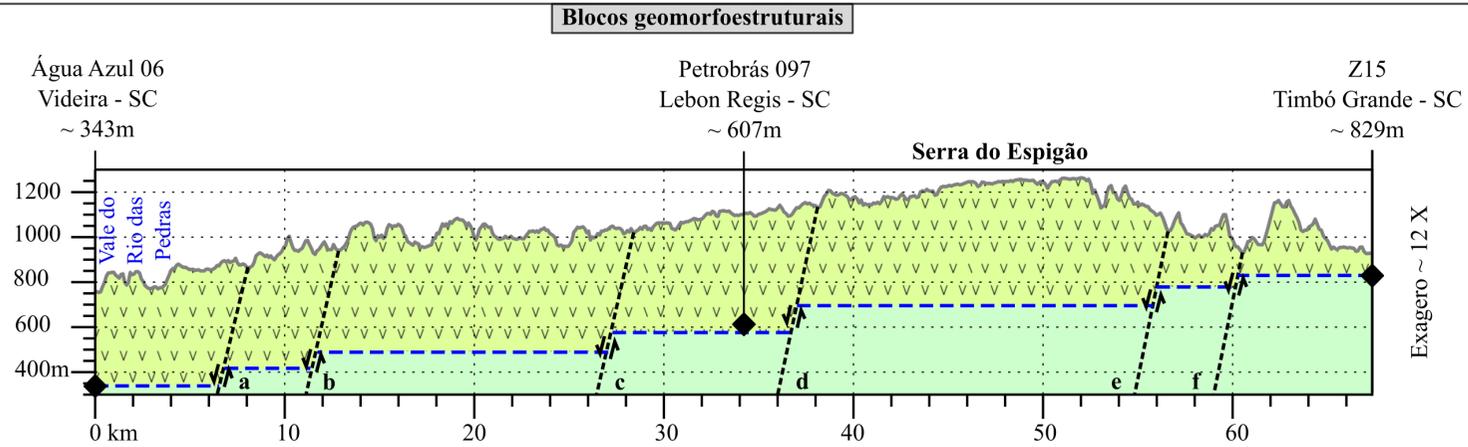
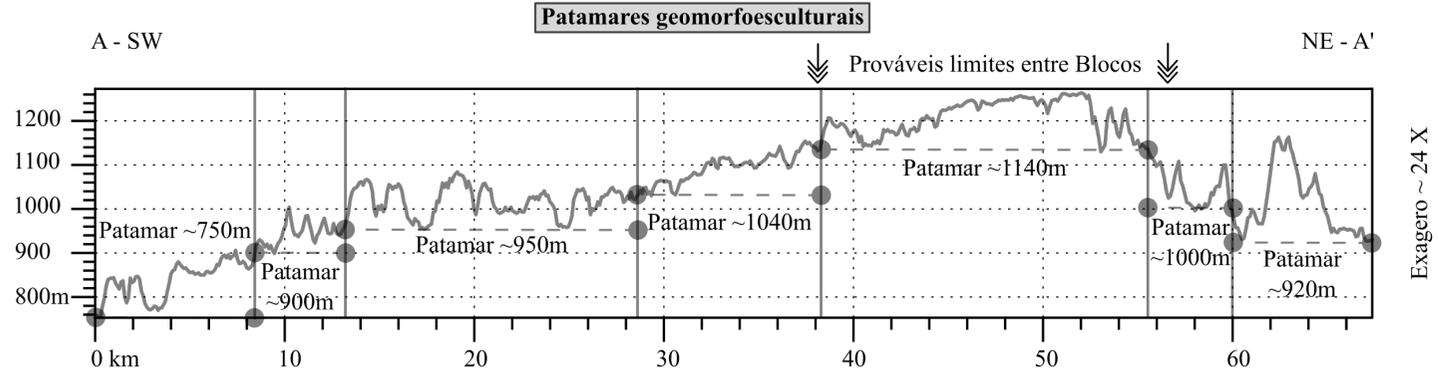
- Superfície do terreno
- Contato geológico¹
- Provável limite entre blocos
- Falha normal
- Ponto de controle²
- Patamar geomorfoestrutural
- Formação Serra Geral
- Formação Botucatu e mais antigas
- a b c Indicação de possíveis falhamentos (mapa geomorfoestrutural)

1 Contato geológico interpretado entre as Fms SG e Bt;
 2 Poço tubular e/ou afloramento rochoso com a cota do contato estratigráfico;
 3 Hipsometria 44%+Declividade 33%+Sombreamento 22%

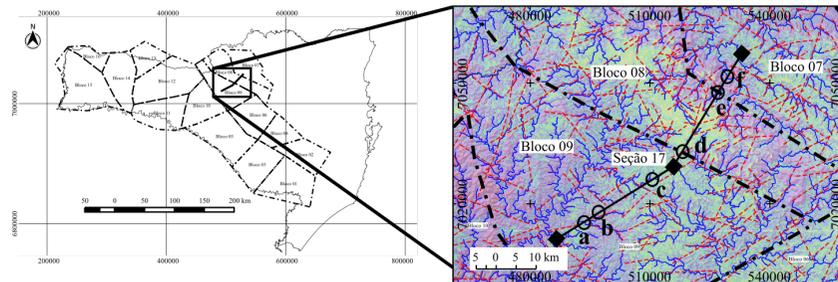
Fontes: Banco de dados e SIG Tese (detalhes vide metodologia)



Seção 17



Mapas de situação e detalhe geomorfoestrutural:



Legenda do mapa:

- Provável limite entre blocos
- Seção 17 A - A' (SW - NE)
- - - Lineamentos
- ◆ Ponto de Controle²
- Rede de Drenagem
- Imagem composta³
- a Interseção da fratura/rede de dren. na seção

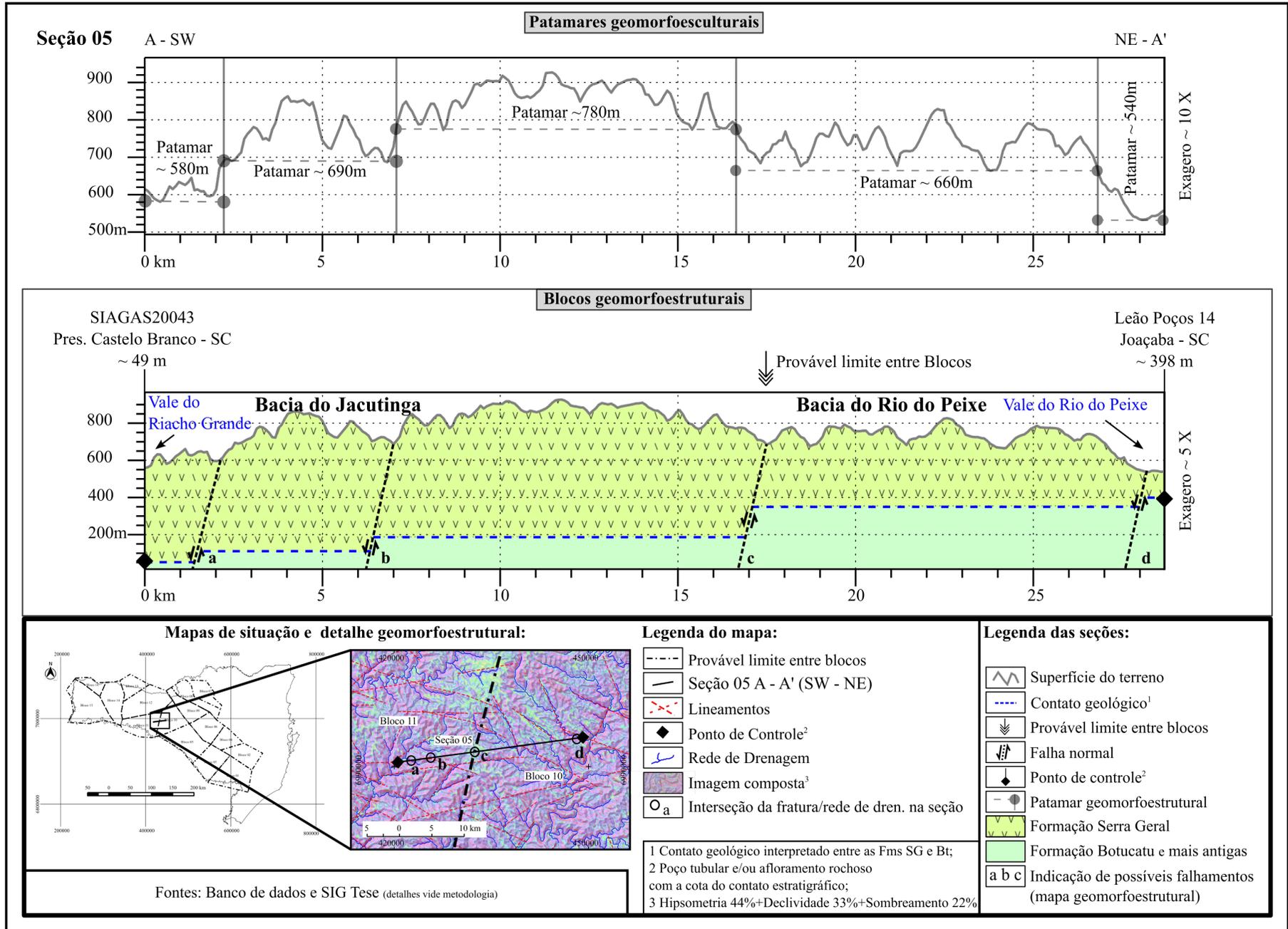
Legenda das seções:

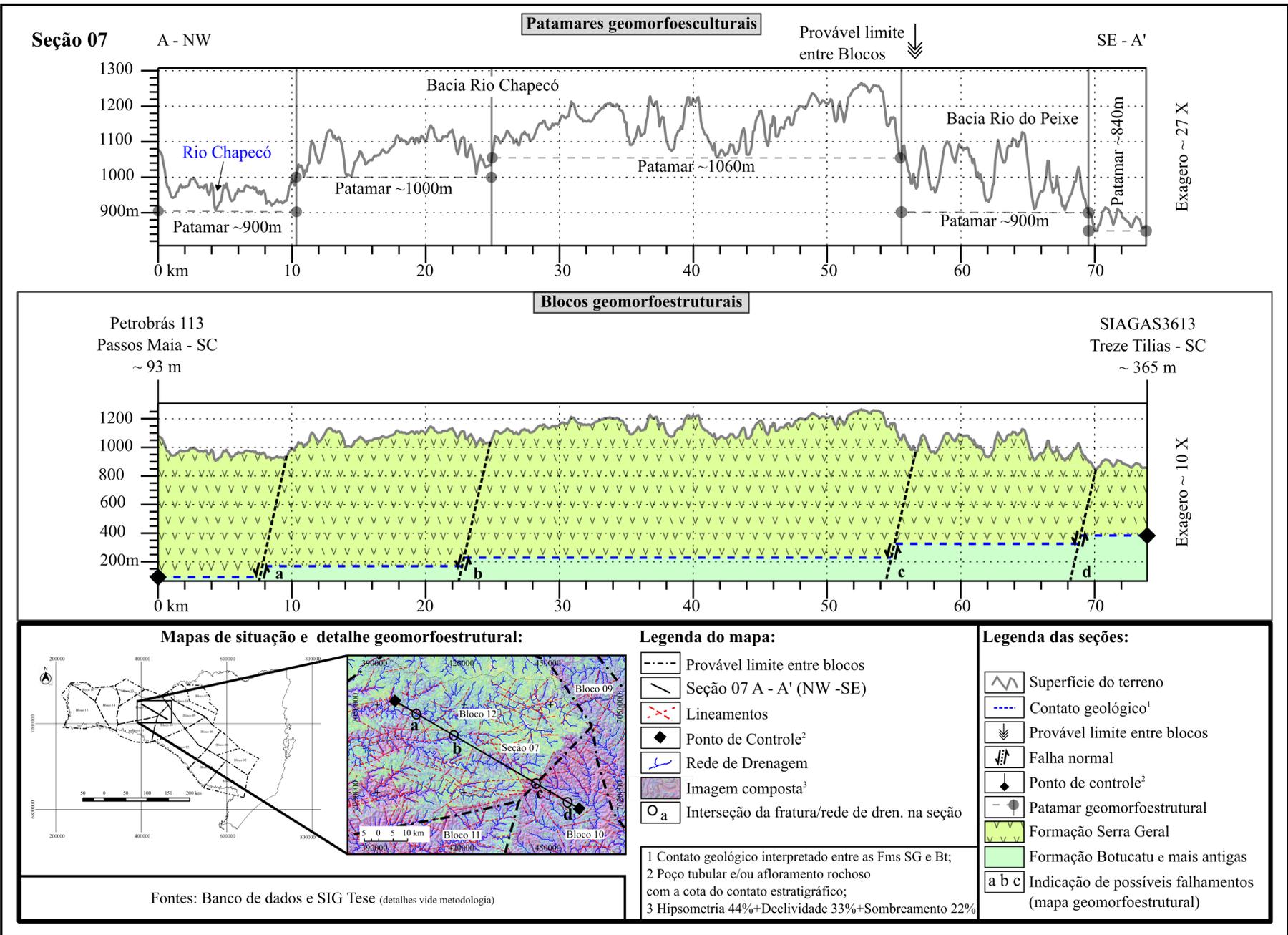
- Superfície do terreno
- Contato geológico¹
- Provável limite entre blocos
- Falha normal
- ◆ Ponto de controle²
- Patamar geomorfoestrutural
- Formação Serra Geral
- Formação Botucatu e mais antigas
- a b c Indicação de possíveis falhamentos (mapa geomorfoestrutural)

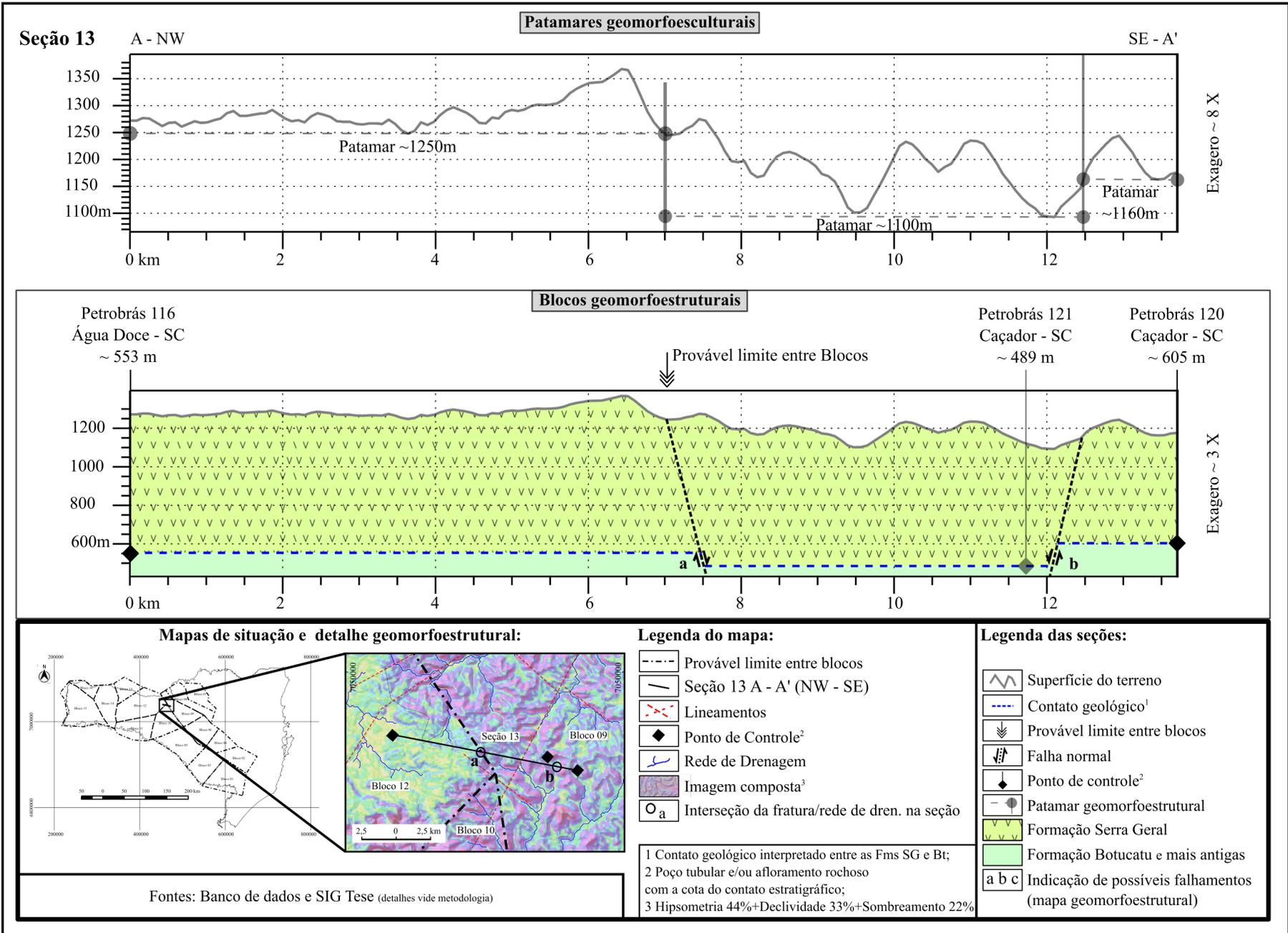
Fontes: Banco de dados e SIG Tese (detalhes vide metodologia)

1 Contato geológico interpretado entre as Fms SG e Bt;
 2 Poço tubular e/ou afloramento rochoso com a cota do contato estratigráfico;
 3 Hipsometria 44%+Declividade 33%+Sombreamento 22%

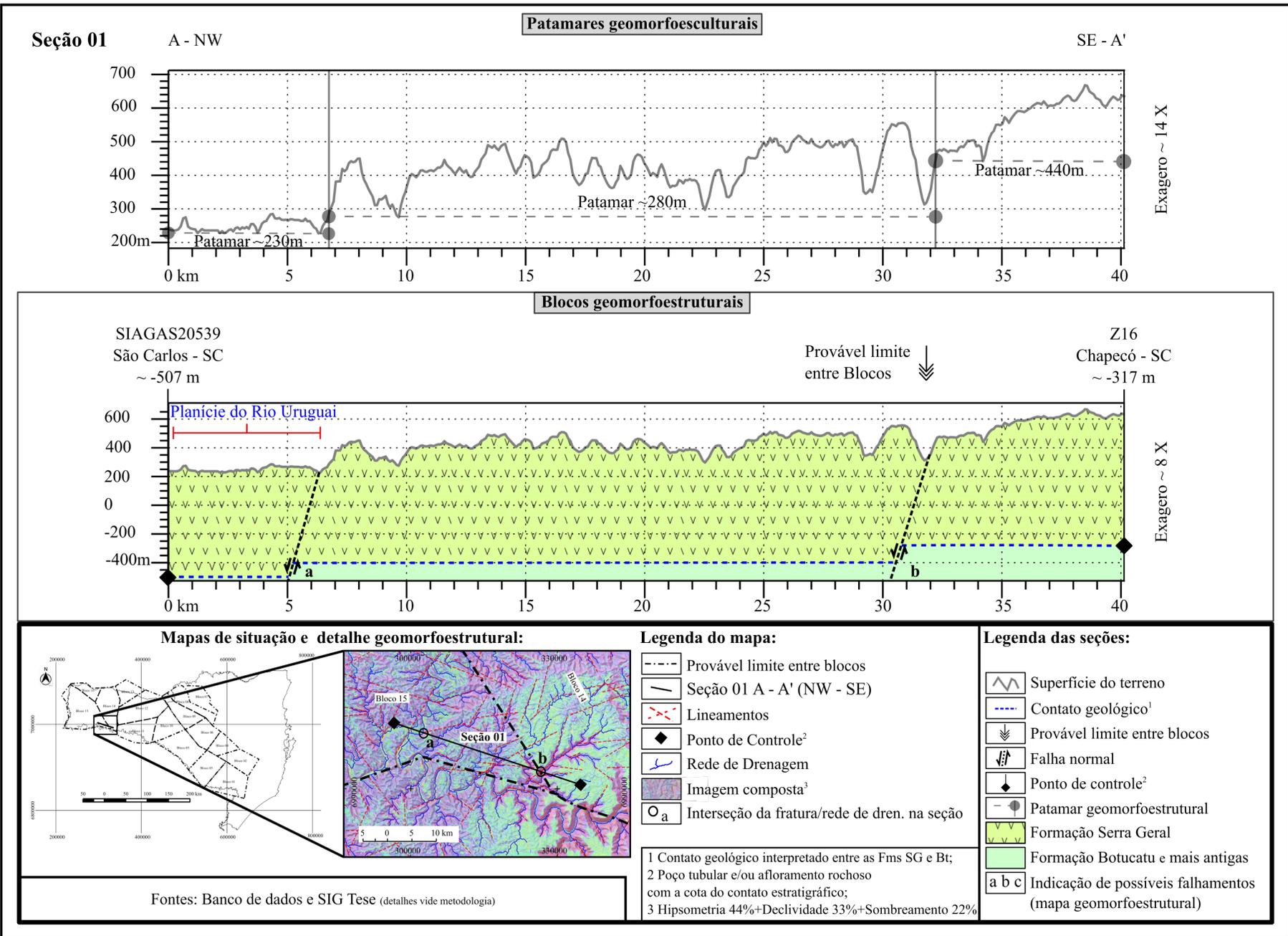
Grupo 03 – Região Central (Seções 05, 07 e 13)



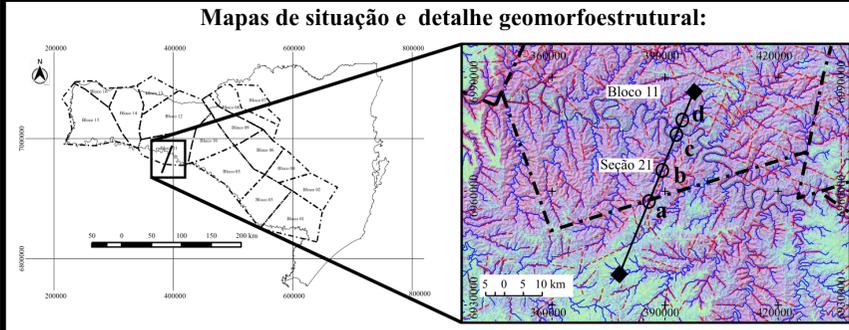
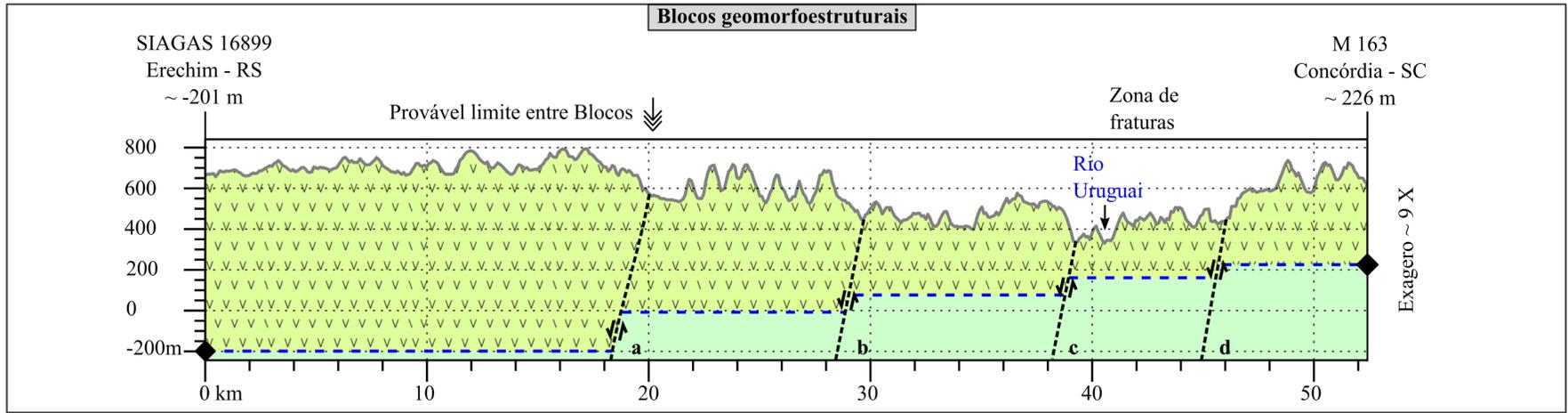
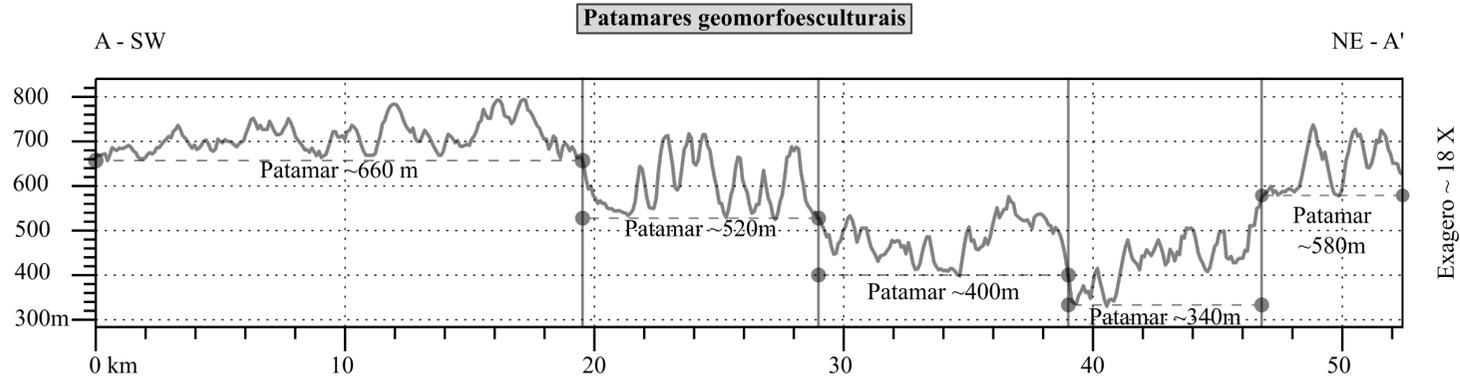




Grupo 04 – Região Oeste (Seções 01 e 21).



Seção 21



Legenda do mapa:

- Provável limite entre blocos
- / Seção 21 A - A' (SW - NE)
- Lineamentos
- ◆ Ponto de Controle²
- Rede de Drenagem
- Imagem composta³
- a Interseção da fratura/rede de dren. na seção

1 Contato geológico interpretado entre as Fms SG e Bt;
 2 Poço tubular e/ou afloramento rochoso com a cota do contato estratigráfico;
 3 Hipsometria 44%+Declividade 33%+Sombreamento 22%

Legenda das seções:

- Superfície do terreno
- Contato geológico¹
- Provável limite entre blocos
- Falha normal
- Ponto de controle²
- Patamar geomorfoestrutural
- Formação Serra Geral
- Formação Botucatu e mais antigas
- a b c Indicação de possíveis falhamentos (mapa geomorfoestrutural)

Fontes: Banco de dados e SIG Tese (detalhes vide metodologia)

ANEXO A – Banco de dados hidroestratigráficos

Disponíveis em: SIAGAS/CPRM; Zanatta (2002); PROESC (2003); Machado (2005); agregados, consistidos e complementados pelo autor.

Cód. do Poço	Município	UF	UTME	UTMN	Altitude (m)	Prof. Limite⁸⁷ (m)	Cota Absoluta⁸⁸ (m)
M163	Concórdia	SC	397694	6986365	666	440	226
M164	Itá	SC	368039	6981468	413	372	41
M166	São João do Oeste	SC	243067	6999984	299	1267	-968
M167	Esmeralda	RS	482462	6882957	919	908	11
M168	Esmeralda	RS	485041	6892383	935	1000	-65
M169	Lagoa Vermelha	RS	450516	6884280	684	812	-128
M170	Muitos Capões	RS	488945	6863791	909	934	-25
M172	Machadinho	RS	434540	6948351	727	745	-18
M173	Marcelino Ramos	RS	410831	6956984	425	204	221
M177	Aratiba	RS	371492	6966732	554	397	157
M55	São Joaquim	SC	606249	6872226	1421	747	674

87 - Profundidade do limite entre as Formações Botucatu e Serra Geral (Topo da Fm. Botucatu).

88 - Cota absoluta da Fm. Botucatu.

Cód. do Poço	Município	UF	UTME	UTMN	Altitude (m)	Prof. Limite (m)	Cota Absoluta (m)
M56	Torres	RS	617349	6755229	14	146	-132
M57	D. Pedro de Alcântara	RS	610501	6745062	68	10	58
M58	São João do Sul	SC	621001	6762003	3	53	-50
M59	São João do Sul	SC	621002	6770001	10	34	-24
M60	Passo de Torres	SC	624300	6757602	10	90	-80
M70	Riozinho	RS	552820	6720901	114	6	108
M74	Morrinhos do Sul	RS	601851	6745553	48	230	-182
M75	Terra de Areia	RS	590598	6727943	15	142	-127
SIAGAS1869 5	Praia Grande	SC	607666	6775657	36	15	21
SIAGAS1899 1	Brunópolis	SC	520359	6977986	813	312	501
SIAGAS1899 3	Brunópolis	SC	512252	6976610	997	608	389

Cód. do Poço	Município	UF	UTME	UTMN	Altitude (m)	Prof. Limite (m)	Cota Absoluta (m)
SIAGAS19010	Urupema	SC	609938	6901288	1237	214	1023
SIAGAS19109	Lages	SC	573134	6922210	901	60	841
SIAGAS19163	Painel	SC	588549	6911019	1140	213	927
SIAGAS19639	São Cristóvão do Sul	SC	554544	6985489	1049	180	869
SIAGAS19640	São Cristóvão do sul	SC	555066	6984264	1023	112	911
SIAGAS19645	São Cristóvão do sul	SC	557338	6979297	1040	134	906
SIAGAS19940	Curitibanos	SC	547946	6978658	1064	366	698
SIAGAS19947	Curitibanos	SC	527380	6980070	864	258	606
SIAGAS20039	Abelardo luz	SC	370262	7063100	824	1070	-246
SIAGAS20041	Seara	SC	370391	6997229	542	478	64

Cód. do Poço	Município	UF	UTME	UTMN	Altitude (m)	Prof. Limite (m)	Cota Absoluta (m)
SIAGAS3359	Itá	SC	365630	6982319	407	373	34
SIAGAS3613	Treze Tílias	SC	459862	7014363	860	495	365
SIAGAS1689 9	Erechim	RS	377850	6938071	667	868	-201
Z10	Concórdia	SC	396979	6988056	649	420	229
Z11	Itá	SC	362784	6984027	395	430	-35
Z12	S. Miguel do Oeste	SC	248620	7040832	605	1200	-595
Z13	Erval Velho	SC	454090	6989563	827	670	157
Z14	Curitibanos	SC	541885	6978993	1006	82	924
Z15	Timbó Grande	SC	532993	7057414	929	100	829
Z16	Chapecó	SC	334763	6990835	633	950	-317
Z2	São Cristóvão do Sul	SC	557417	6979255	1039	180	859
Z5	Marombas	SC	525968	6977529	816	152	664

Cód. do Poço	Município	UF	UTME	UTMN	Altitude (m)	Prof. Limite (m)	Cota Absoluta (m)
Z6	Piratuba	SC	422547	6966165	439	355	84
Z7	Tangara	SC	475158	7004453	738	355	383
Z8	Matos Costa	SC	484050	7065370	1057	421	636
Z9	Seara	SC	371068	6996918	648	648	0
SIAGAS19968	Curitibanos	SC	541059	6983142	996	1008	996
PROESC SMO-102-CP RM	S. Miguel do Oeste	SC	247689	7042564	567	1206	-639
PROESC PIR-14-CRN	Piratuba	SC	422011	6966273	419	612	-193
PROESC CHP-20-CNT P	Chapecó	SC	334840	6990991	641	943	-302
PETROBRAS SC-094	Abelardo Luz	SC	382217	7073906	1021	1221	-200
PETROBRAS SC-097	Lebon Régis	SC	515744	7029182	1099	492	607
PETROBRAS SC-101	Água Doce	SC	446978	7043196	1257	903	354

Cód. do Poço	Município	UF	UTME	UTMN	Altitude (m)	Prof. Limite (m)	Cota Absoluta (m)
PETROBRAS SC-102	Jupia	SC	329323	7080930	892	1204	-312
PETROBRAS SC-103	Herval Doeste	SC	453957	6989693	775	670	105
PETROBRAS SC-104	Herval Doeste	SC	454927	6988988	774	653	121
PETROBRAS SC-106	Curitibanos	SC	525846	6977660	808	151	657
PETROBRAS SC-107	Calmon	SC	488373	7059079	1188	505	683
PETROBRAS SC-108	Matos Costa	SC	483841	7065483	1045	487	558
PETROBRAS SC-109	Matos Costa	SC	485225	7066799	1069	343	726
PETROBRAS SC-111	Piratuba	SC	422377	6966274	433	539	-106
PETROBRAS SC-113	Passos Maia	SC	396084	7051342	1071	978	93
PETROBRAS SC-114	Seara	SC	371205	6997096	672	642	30
PETROBRAS SC-115	Tangará	SC	475657	7003103	647	354	293

Cód. do Poço	Município	UF	UTME	UTMN	Altitude (m)	Prof. Limite (m)	Cota Absoluta (m)
PETROBRAS SC-116	Água Doce	SC	456864	7045480	1282	729	553
PETROBRAS SC-117	Água Doce	SC	450479	7041660	1266	829	437
PETROBRAS SC-118	Água Doce	SC	452683	7037550	1297	955	342
PETROBRAS SC-119	Caçador	SC	468527	7041731	1071	612	459
PETROBRAS SC-120	Caçador	SC	470312	7042897	1165	560	605
PETROBRAS SC-121	Caçador	SC	468302	7043629	1130	641	489
PETROBRAS SC-122	Macieira	SC	467425	7041795	1075	571	504
Trab. Campo01	Porto União	SC	501986	7076773	820	0	820
Trab. Campo02	Porto União	SC	516872	7069423	887	0	887
Trab. Campo03	Irineópolis	SC	521554	7070317	803	0	803
Trab. Campo04	Timbó Grande	SC	529517	7067558	916	0	916

Cód. do Poço	Município	UF	UTME	UTMN	Altitude (m)	Prof. Limite (m)	Cota Absoluta (m)
Trab. Campo05	Timbó Grande	SC	528706	7071220	960	0	960
Trab. Campo06	Timbó Grande	SC	531106	7074392	928	0	928
Trab. Campo07	Bela Vista do Toldo	SC	543081	7081671	959	0	959
Trab. Campo08	São Cristóvão do Sul	SC	557162	6977459	994	0	982
Trab. Campo09	São Cristóvão do Sul	SC	570399	6980154	1064	0	1044
Trab. Campo10	Ponte Alta do Norte	SC	553239	6994196	963	0	963
Trab. Campo11	Urubici	SC	636934	6899230	1196	0	1196
Trab. Campo12	Urubici	SC	629747	6903187	1029	0	1029
Trab. Campo13	Rio Rufino	SC	618494	6913970	1205	0	1205
Trab. Campo14	Painel	SC	579473	6917343	949	0	949
Trab.	Ponte Alta	SC	559684	6963559	880	0	880

Cód. do Poço	Município	UF	UTME	UTMN	Altitude (m)	Prof. Limite (m)	Cota Absoluta (m)
Campo15							
Trab. Campo16	Correia Pinto	SC	552094	6949354	925	0	925
Trab. Campo17	Correia Pinto	SC	553740	6950506	947	0	947
Água Azul01	Videira	SC	481683	7008060	881	556	325
Água Azul02	Videira	SC	481095	7007445	854	644	210
Água Azul03	Videira	SC	481128	7007043	772	502	270
Água Azul04	Videira	SC	489178	7008378	865	390	475
Termas do Leão	Campos Novos	SC	444142	6979221	514	294	220
Coopercampos	Campos Novos	SC	469860	6973595	870	761	109
Água Azul09	Videira	SC	485789	7013144	748	538	210
Nedel Denardi	Videira	SC	485865	7012758	782	500	282
Thermas de Ouro	Ouro	SC	439032	6978945	595	516	79
Leão Poços (14)	Joaçaba	SC	449127	6994486	579	181	398

Cód. do Poço	Município	UF	UTME	UTMN	Altitude (m)	Prof. Limite (m)	Cota Absoluta (m)
Água Azul05	Videira	SC	483265	7013839	825	485	340
CASAN	São Lourenço do Oeste	SC	310445	7076219	697	1467	-770
Água Azul06	Videira	SC	486618	7011230	745	402	343
Água Azul07	Videira	SC	485836	7012711	771	520	251
Água Azul08	Videira	SC	488371	7013768	867	520	347
Z3	São Cristóvão do Sul	SC	554567	6973474	1013	112	901
FATMA SC-007	Capinzal	SC	441637	6970905	682	632	50
FATMA SC-010	Capinzal	SC	440304	6975227	471	332	139
SIAGAS SC-070	Itá	SC	367896	6982090	469	487	-18
Trab. Campo18	Santa Rosa do Sul	SC	627761	6777726	57	0	57
Trab. Campo19	Praia Grande	SC	601226	6771921	72	0	72
Trab.	Jacinto	SC	612890	6783085	18	0	18

Cód. do Poço	Município	UF	UTME	UTMN	Altitude (m)	Prof. Limite (m)	Cota Absoluta (m)
Campo20	Machado						
Trab. Campo21	Jacinto Machado	SC	617485	6784040	153	0	153
Trab. Campo22	Timbé do Sul	SC	606130	6812839	246	0	246
Trab. Campo23	Lauro Müller	SC	644852	6858488	721	0	721
Trab. Campo24	Lauro Müller	SC	644349	6858278	766	0	766
Trab. Campo25	Urubici	SC	648385	6895839	1224	0	1224
Trab. Campo26	Grão Pará	SC	660550	6895546	1195	0	1195
Trab. Campo27	Siderópolis	SC	640577	6840150	761	0	761
SIAGAS14548	Cruz Machado	PR	464396	7121889	817	211	606
SIAGAS32242	Cruz Machado	PR	474646	7115352	857	77	780
SIAGAS20960	Inácio Martins	PR	476743	7148987	897	42	855

Cód. do Poço	Município	UF	UTME	UTMN	Altitude (m)	Prof. Limite (m)	Cota Absoluta (m)
SIAGAS21279	Porto União	SC	492342	7083574	958	60	898
SIAGAS20539	São Carlos	SC	296613	7003399	237	744	-507
Trab. Campo28	Bom Retiro	SC	651616	6911381	1280	0	1280
SIAGAS20044	Maravilha	SC	283827	7038214	575	1223	-648
SIAGAS20043	Pres. Castelo Branco	SC	420556	6990684	569	520	49
SIAGAS20621	Pres. Castelo Branco	SC	420635	6990820	585	434	151
SIAGAS20045	S. Miguel do Oeste	SC	246468	7045545	533	1155	-622
SIAGAS19432	Santa Cecília	SC	557273	7017370	1131	50	1081
SIAGAS19129	Lages	SC	559166	6924736	980	160	820
SIAGAS20046	São Lourenço do Oeste	SC	310833	7078590	708	1555	-847