

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“Júlio de Mesquita Filho”

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

MEIRE MATEUS DE LIMA

**ESTUDO DO MEIO FÍSICO E CARACTERIZAÇÃO
DA CAPACIDADE DE SUPORTE NATURAL DA
REGIÃO DE PIRASSUNUNGA/SP**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Jairo Roberto Jiménez-Rueda

Rio Claro - SP

2016

333.709 Lima, Meire Mateus de
L732e Estudo do meio físico e caracterização da capacidade de
 suporte natural da região de Pirassununga/SP / Meire Mateus
 de Lima. - Rio Claro, 2016

173 f. : il., figs., gráfs., tabs., quadros, fots., mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Orientador: Jairo Roberto Jiménez-Rueda

1. Geografia física - Aspectos ambientais. 2. Análise do
relevo. 3. Isobases confluentes. 4. Morfoestruturas. 5.
Morfotectônica. 6. Suscetibilidade natural à erosão. I. Título.

MEIRE MATEUS DE LIMA

ESTUDO DO MEIO FÍSICO E CARACTERIZAÇÃO
DA CAPACIDADE DE SUPORTE NATURAL DA
REGIÃO DE PIRASSUNUNGA/SP

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Jairo Roberto Jiménez-Rueda (orientador, IGCE – UNESP)

Prof. Dr. Archimedes Perez Filho (IG – UNICAMP)

Prof. Dr. Daniel Marcos Bonotto (IGCE – UNESP Rio Claro)

Resultado: Aprovada

Rio Claro, SP, 19 de abril de 2016.

Aos meus pais, José e Graciana, pela
dedicação, esforço e compreensão.

Àqueles que trabalham para que um
mundo melhor e mais sustentável seja
possível...

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, prof. Jairo Rueda, por ser mais que um mestre, um amigo.

À CAPES por financiar esta etapa da minha vida acadêmica.

Ao CEAPLA, por disponibilizar o espaço físico para a realização deste projeto, e aos seus funcionários, por sempre estarem dispostos a ajudar.

À Profa. Dra. Paulina Setti Riedel e à Profa. Dra. Maria Isabel Castreghini de Freitas, pelas valiosas colocações, dicas e conselhos no Exame de Qualificação.

À Elizandra Gomig e ao Carlo Burigo pelas conversas, risadas, desabafos e ajuda essencial para a realização do trabalho de campo. Não teria conseguido sem vocês!

Ao Dalton Lima por agilizar minhas plotagens e scanners, sempre muito atencioso.

À Aline Flores (Xica), por cuidar do Duncan (nosso lindo cãopanheiro), pela companhia e amizade.

À minha família, mãe, dona Graciana, pai, seu Zé Mateus, devo tudo a vocês! Obrigada pelo companheirismo Mateus, Miriam, Matias e Natália! Amo vocês!

Aos meus amigos que, de um modo ou de outro, me ajudaram nesta etapa... Obrigada por existirem na minha vida!

Obrigada Nicolás Annunciato por tantas vezes me ouvir e me apoiar, pelo carinho, paciência, companheirismo, alegrias, amor.

“É junto dos ‘bão’ que a gente fica ‘mió”
(Guimarães Rosa)

RESUMO

Os crescentes usos e ocupação do meio e utilização dos recursos naturais têm mostrado a necessidade do desenvolvimento de estudos integrados dirigidos a uma adequação das atividades do homem com a capacidade de suporte natural do meio físico. Desta forma, este projeto objetiva, para a região de Pirassununga, localizada no centro-nordeste paulista, aplicar um procedimento metodológico que auxilie a compartimentação do meio físico, mediante o uso de geotecnologias e aspectos geodinâmicos, visando o planejamento do uso e ocupação da terra, com fins de definir a suscetibilidade natural à erosão e a capacidade de suporte natural do meio. Tais informações poderão ser utilizadas pelos produtores rurais e órgãos públicos no intuito de orientar a tomada de decisões quanto às medidas de controle para os problemas ambientais encontrados, para a recuperação de áreas impactadas, bem como orientações para o uso e ocupação sustentável da terra, reduzindo os impactos negativos. Com base nos resultados das análises de drenagem, do relevo, morfoestrutural, morfotectônica e da evolução paleoambiental (isobases confluentes) nota-se que a região apresenta uma grande densidade de drenagem, variação altimétrica e de classes de declividade, assim como um intenso fraturamento, o que gera paisagens de abatimento e soerguimento de blocos (*horsts* e *grabens*), altos e baixos estruturais deformados e altos e baixos topográficos intercalados, exigindo, deste modo, indicações de manejo específicos para cada área. A análise da evolução da paisagem, por meio das isobases confluentes, contribui ainda para melhor definir o fraturamento regional e o domínio de processos colúvio-aluvionares, formadores das associações de solos. A integração dos diversos temas desenvolvidos neste trabalho possibilitou a geração das cartas temáticas de suscetibilidade natural à erosão, indicação de áreas para preservação ambiental e áreas para destinação dos resíduos antrópicos, sólidos e líquidos, buscando a classificação mais adequada da capacidade de suporte natural da área. A partir dos resultados constatou-se que na região de Pirassununga predominam as suscetibilidades naturais à erosão baixas e moderadas, assim como uma alta capacidade de suporte natural, acompanhando as planícies de inundação atual/subatual e os planaltos muito baixos a médios. Merecendo atenção especial a porção leste da área, por apresentar capacidade de suporte predominantemente moderada e a porção oeste, por apresentar capacidades de suporte de moderadas a muito baixas, podendo ser utilizadas de forma restrita, requerendo, todavia, estudos mais específicos para melhor dirigir tal ocupação. Considerando ainda que, com a aplicação de técnicas inadequadas de uso, manejo do solo e disposição de resíduos, a suscetibilidade natural à erosão pode aumentar significativamente e, a capacidade de suporte natural do meio ambiente ficar comprometida. Desta forma, recomenda-se que os manejos, considerando as peculiaridades de cada local individualmente, sejam definidos em função das recomendações de profissionais capacitados em cada atividade, diminuindo assim os problemas para o uso e ocupação do meio físico da região.

Palavras-chave: Análise do Relevo. Isobases Confluentes. Morfoestruturas. Morfotectônica. Suscetibilidade Natural à Erosão.

ABSTRACT

The increasing use and occupation of the environment and utilization of the natural resources has presented the need for the development of integrated studies driven towards an adaptation of the activities performed by people with natural support for the physical environment. This way, this project has the objective, for a region of Pirassununga, located in the center northeast of São Paulo, to apply a methodological procedure that aids the partitioning of the physical environment, with the use of geotechnologies and geodynamic aspects, seeking the planning of the soil occupation use, to define the natural susceptibility to the erosions and the capacity of natural environment support. Such information can be utilized by farmers and public agencies in the intent orientate the decision making of the control measures for the environmental problems found, for the recovery of impacted areas, as well as in orientating for sustainable soil occupation use, reducing the negative impacts. With basis on the analysis results of drainage, relief, morphostructural, morphotectonic and the paleoenvironmental (confluent isobases), it is noticed that the region presents a great density of drainage, altimetry variation and gradient classes, as well as intense fracturing, which generates a landscape of abatement and uplift of blocks (*horst and grabens*), high and low structural deformation and high and low interleaved topographic, demanding, in this way, specific handling indications for each area. The landscape evolution analysis, by confluent isobases, contributes to better define the regional fracturing and the command of colluvium-alluvial processes, makers of the soil association. The integration of the various developed themes in this work enabled the creation of themed letters for natural susceptibility to erosions, indication of environmental preservation areas and areas for anthropic residue destination, solid and liquid, seeking the more adequate classification of the natural support of the capacity for the area. With the results, it was found that in the region of Pirassununga prevails the natural susceptibility to low and moderate erosions, as well as high capacity for natural support, following the current and not so current flood plains and the very low to medium plateaus. Deserving special attention to the east portion of the area for presenting support capacity mainly moderate and the west portion for presenting a moderate to very low support capacity, being able to be utilized in a restrict manner, requiring, however, more specific studies to better drive such occupation. Considering that, with the application of inadequate techniques of use, soil handling and residue disposal, the natural susceptibility to erosions can increase significantly and the natural support capacity of the environment can become compromised. This way, it is recommended that handling, considering the peculiarities of each individual location, be defined due to recommendation of capacitated professionals in each activity, thus decreasing the problems for the use and occupation of the physical environment of the region.

Keywords: Relief Analysis. Confluent Isobases. Morphostructures. Morphotectonic. Natural Susceptibility to erosion.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Formas anômalas de drenagem indicativas de morfoestruturas e seu grau de estruturação.	18
Figura 2 – Localização da área de estudo na Região de Pirassununga/SP.....	28
Figura 3 – Tipos climáticos do Brasil, com destaque para a área em estudo.....	30
Figura 4 – Biomas do Brasil, com destaque para a área em estudo.	32
Figura 5 – Bacia Hidrográfica do Mogi-guaçu.....	33
Figura 6 – Principais Unidades Aquíferas do Estado de São Paulo.	34
Figura 7 – Unidades de Relevo do Brasil, com destaque para a área em estudo. ...	37
Figura 8 – Carta Geomorfológica do Estado de São Paulo, escala 1:1.000.000.....	38
Figura 9 – Mapa Geológico simplificado do Estado de São Paulo.	40
Figura 10 – Coluna litoestratigráfica da Bacia do Paraná.....	41
Figura 11 – Formações Geológicas de Superfície na região de Pirassununga/SP. .	43
Figura 12 – Geologia do Estado de São Paulo, com destaque para a região de Pirassununga.	44
Figura 13 – Carta de Solos do Estado de São Paulo, destaque para a região de Pirassununga/SP.....	54
Figura 14 – Mapa Pedológico do Estado de São Paulo, destaque para a região de Pirassununga/SP.....	55
Figura 15 – Diagrama fluxo de trabalho adotado para esta dissertação.	69
Figura 16 – Esquema representativo do adensamento da rede de drenagem através de carta topográfica. Em A , a forma original presente na carta topográfica e, em B , a complementação realizada.....	70
Figura 17 – Exemplo de estruturas subverticais (descontinuidades estruturais).	74
Figura 18 – Exemplo das estruturas monoclinais subhorizontais (anomalias radiais, anelares e assimetria).	75
Figura 19 – Intensidade de estruturação dos elementos.....	76
Figura 20 – Exemplo da extração dos traços de juntas.	78
Figura 21 – Exemplo da definição dos máximos 1 e 2 de traços de juntas.	79
Figura 22 – Exemplo da definição das zonas de máximos 1 e 2.....	80
Figura 23 – Exemplo da definição dos eixos de zonas de máximos 1 e 2.	81
Figura 24 – Modelo de interpretação estrutural das zonas homólogas de drenagem unidirecional fortemente estruturadas.	82
Figura 25 – Exemplo do método de identificação de <i>trends</i> estruturais.	83
Figura 26 – Exemplo do método de identificação dos lineamentos estruturais.	84
Figura 27 – Malha utilizada para o cálculo da densidade e frequência de intersecção de lineamentos estruturais, adotada para a geração dos mapas de isovalores.....	85
Figura 28 – Exemplo da contagem da Densidade de Lineamentos Estruturais.	85
Figura 29 – Exemplo da contagem da frequência de cruzamento de lineamentos estruturais.....	86
Figura 30 – Modelo para a classificação das ordens e confluências de drenagem..	87
Figura 31 – Área seccionada em quatro quadrantes (I a IV).	91
Figura 32 – Mapa de localização e distribuição dos pontos de campo.....	92

Figura 33 – Síntese das atividades de campo na região de Pirassununga/SP.	93
Figura 34 – Mapa da Rede de Drenagem adensada da região de Pirassununga	95
Figura 35 – Mapa das Unidades do Relevo da região de Pirassununga.	100
Figura 36 – Exemplo de escalonamento do relevo estimulado pelos movimentos tectônicos.	103
Figura 37 – Mapa Hipsométrico da região de Pirassununga.	104
Figura 38 – Mapa de Classes de Declividade da região de Pirassununga.	106
Figura 39 – Mapa Morfoestrutural da região de Pirassununga.	110
Figura 40 – Mapa de Traços de Juntas da região de Pirassununga.	116
Figura 41 – Mapa de Máximos 1 e 2 de Traços de Juntas da região de Pirassununga.	117
Figura 42 – Mapa de Zonas e Eixos de Máximos 1 e 2 da região de Pirassununga.	119
Figura 43 – Mapa de <i>Trends</i> Estruturais da região de Pirassununga.	121
Figura 44 – Reflexo em superfície de falhas em profundidade com movimentação de blocos – <i>trends</i> estruturais sobrepostos com direções N30E e N45W.	122
Figura 45 – Mapa de Lineamentos Estruturais da região de Pirassununga.	124
Figura 46 – Mapa de Isovalores de Densidade de Lineamentos estruturais da região de Pirassununga.	125
Figura 47 – Mapa de Isovalores de Frequência de Cruzamentos de Lineamentos estruturais da região de Pirassununga.	126
Figura 48 – Isobase de Ordem 7 da região de Pirassununga.	128
Figura 49 – Isobase de Ordem 6 da região de Pirassununga.	129
Figura 50 – Isobase de Ordem 5 da região de Pirassununga.	130
Figura 51 – Isobase de Ordem 4 da região de Pirassununga.	131
Figura 52 – Isobase de Ordem 3 da região de Pirassununga.	132
Figura 53 – Isobase de Ordem 2 da região de Pirassununga.	133
Figura 54 – Isobase atual/subatual da região de Pirassununga.	134
Figura 55 – Mapa de Suscetibilidade natural à erosão da região de Pirassununga.	138
Figura 56 – Processo erosivo gerado pela instalação incorreta de obras lineares - ravina.	139
Figura 57 – Processo erosivo intensificado pelo manejo inadequado do solo – voçoroca.	140
Figura 58 – Voçoroca gerada pelo uso incorreto do solo.	141
Figura 59 – Mapa de Indicação de Áreas para Proteção Ambiental da região de Pirassununga.	142
Figura 60 – Mapa de indicação de áreas propícias para instalação de Aterros Sanitários da região de Pirassununga.	146
Figura 61 – Mapa de Capacidade de Suporte Natural da região de Pirassununga.	152

LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1** – Relação entre as médias mensais de precipitação e evapotranspiração para Pirassununga, no período de 2009 a 2015.31
- Gráfico 2** – Temperaturas médias para Pirassununga, período de 2009 a 2015.31

LISTA DE QUADROS

- Quadro 1** - Relação entre morfoestrutura e morfometria e suas aplicações.21

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Relação dos municípios localizados na área de estudo e suas respectivas áreas.29
- Tabela 2 - Descrição das classes de solos que ocorrem na região de Pirassununga.56
- Tabela 3 – Dados da população real, população estimada, crescimento populacional estimado, densidade demográfica e Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) para os municípios estudados.65
- Tabela 4 – Relação das Folhas topográficas em escala 1:50.000 utilizadas.67
- Tabela 5 – Resultado da Análise da Paisagem e suas Unidades Fisiográficas para a região de Pirassununga/SP.....98
- Tabela 6 – Pesos atribuídos aos fatores utilizados para a definição da suscetibilidade natural à erosão. 136
- Tabela 7 - Pesos atribuídos para a definição das áreas indicadas para preservação ambiental. Onde SNE corresponde à Suscetibilidade Natural à Erosão. 143
- Tabela 8 - Pesos atribuídos para a definição da Capacidade de Suporte Natural. .151

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APPs – Áreas de Preservação Permanente
ASTER – Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
CEPAGRI – Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura
CETESB – Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental
CIAF – Centro Interamericano de Fotointerpretação
CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CSN – Capacidade de Suporte Natural
DAEE – Departamento de Água e Energia Elétrica
DGI – Divisão de Geração de Imagens
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Fm. – Formação
GDEM – Digital Elevation Model
IAC – Instituto Agrônomo de Campinas
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IF – Instituto Florestal
IG – Instituto Geológico
IGG – Instituto Geográfico e Geológico
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas
Ka – Milhares de anos
Ma – Milhões de anos
MMA – Ministério do Meio Ambiente
ONU – Organização das Nações Unidas
PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
SIG – Sistema de Informação Geográfica
SIGRH – Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SMA – Secretaria do Meio Ambiente
SNE – Suscetibilidade Natural à Erosão
SRTM - Shuttle Radar Topography Mission
USP – Universidade de São Paulo
UGRHI – Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UTM – Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Justificativa e apresentação.....	14
1.2 Objetivos	15
1.3 Apresentação da Dissertação	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 Análise do Relevo	17
2.2 Análise Morfoestrutural	17
2.3 Análise Estrutural.....	22
2.4 Análise Morfométrica (Isobases Confluentes).....	22
2.5 Capacidade de Suporte Natural	25
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	28
3.1 Localização da Área de Estudo.....	28
3.2 Clima.....	29
3.3 Vegetação	32
3.4 Hidrografia	33
3.5 Hidrogeologia	34
3.6 Geomorfologia.....	36
3.6.1 Província Geomorfológica das <i>Cuestas</i> Basálticas	38
3.6.2 Depressão Periférica Paulista	39
3.7 Geologia e Tectônica	40
3.7.1 Empilhamento Litoestratigráfico	42
3.7.1.1 Grupo Tubarão (<i>Permo-Carbonífero</i>)	45
3.7.1.1.1 Subgrupo Itararé e Formação Aquidauana	45
3.7.1.1.2 Formação Tatuí	45
3.7.1.2 Grupo Passa Dois (<i>Permiano</i>).....	46
3.7.1.2.1 Formação Irati	46
3.7.1.2.2 Formação Corumbataí.....	47
3.7.1.3 Grupo São Bento (<i>Triássico a Juro-Cretáceo</i>)	47
3.7.1.3.1 Formação Piramboia	47
3.7.1.3.2 Formação Botucatu	48
3.7.1.3.3 Formação Serra Geral e Intrusivas Básicas Associadas.....	49
3.7.1.4 Grupo Bauru (<i>Cretáceo-Terciário</i>).....	49
3.7.1.4.1 Formação Itaqueri	49
3.7.1.5 Coberturas Cenozoicas (<i>Terciário – Quaternário</i>).....	51
3.7.1.5.1 Formação Pirassununga	52
3.7.1.5.2 Formação Santa Rita do Passa Quatro.....	53
3.8 Pedologia	53
3.8.1 Argissolos (Podzólicos)	58
3.8.2 Cambissolos.....	59
3.8.3 Gleissolos.....	59
3.8.4 Latossolos	60
3.8.5 Neossolos.....	61

3.8.6 Organossolos	63
3.9 Socioeconomia	63
4 MATERIAIS E MÉTODOS	67
4.1 Levantamento bibliográfico.....	67
4.2 Coleta de Dados e Materiais.....	67
4.3 Elaboração de Cartas Base e Cartas de Análise	70
4.3.1 Análise Hidrográfica	70
4.3.1.1 <i>Extração da Rede de Drenagem</i>	70
4.3.2 Análise do Relevo	71
4.3.3 Análise Morfoestrutural.....	73
4.3.3.1 <i>Análise da Rede de Drenagem</i>	74
4.3.3.2 <i>Formas anômalas de drenagem (altos e baixos estruturais)</i>	76
4.3.4 Análise Morfotectônica	77
4.3.4.1 <i>Traços de Juntas</i>	78
4.3.4.1.1 <u>Máximos 1 e 2 de Traços de Juntas</u>	<u>79</u>
4.3.4.1.2 <u>Zonas e Eixos de Máximos 1 e 2</u>	<u>80</u>
4.3.4.2 <i>“Trends” estruturais</i>	81
4.3.4.3 <i>Lineamentos Estruturais</i>	83
4.3.4.3.1 <u>Isovalores de Densidade de Lineamentos Estruturais e de Frequência de Intersecção de Lineamentos Estruturais</u>	<u>84</u>
4.3.5 Análise Morfométrica (Isobases Confluentes)	86
4.4 Trabalho de Campo	88
4.5 Prognóstico ambiental.....	89
4.6 Definição da Capacidade de Suporte Natural	90
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	91
5.1 Trabalho de campo	91
5.2 Análise Hidrográfica.....	94
5.3 Análise do Relevo	97
5.4 Análise Morfoestrutural	108
5.5 Análise Morfotectônica	114
5.5.1 Traços de Juntas	115
5.5.2 <i>Trends</i> estruturais	120
5.5.3 Lineamentos estruturais	122
5.6 Análise Morfométrica (Isobases Confluentes).....	126
5.7 Prognóstico Ambiental	135
5.7.1 Suscetibilidade Natural à Erosão	135
5.7.2 Indicação de Áreas para Proteção Ambiental	141
5.7.3 Áreas propícias para instalação de aterros sanitários	144
5.8 Capacidade de Suporte Natural da Região de Pirassununga/SP.....	148
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	155
REFERÊNCIAS.....	159

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa e apresentação

Os crescentes usos e ocupações do meio ambiente e utilização dos recursos naturais têm mostrado a necessidade do desenvolvimento de estudos integrados voltados à adequação das atividades do homem com a capacidade de suporte natural do meio.

Os elementos naturais que integram este meio são representados pelas características ecogeodinâmicas de uma área, dentre elas pode-se citar, por exemplo, a geologia, a fisiografia/geomorfologia, a pedologia e os aspectos climáticos. Estas características são a base para o entendimento da estruturação e organização do espaço físico, razão pela qual a elaboração de um estudo direcionado ao planejamento ambiental contribui para a definição de áreas adequadas para o uso humano, selecionando-as de acordo com as suas potencialidades e fragilidades.

Desta forma, pesquisas que visem desenvolver métodos e procedimentos que possibilitem a integração das características geodinâmicas e socioeconômicas são necessárias para o desenvolvimento sustentável da economia nacional e da infraestrutura terrestre.

Segundo Jiménez-Rueda e Mattos (1992), o estudo inicia-se com o levantamento sistemático da região, com a finalidade de obter informações das variáveis do meio físico que, associadas às análises morfoestrutural e fisiográfica, permite delimitar as unidades de suscetibilidade natural à erosão. Assim, o conhecimento destas variáveis facilita a projeção de seu comportamento futuro diante das diversas alternativas de expansão e integração da estrutura produtiva, no processo de uso e ocupação territorial, classificando tal suscetibilidade de acordo com a capacidade de suporte natural do meio (DELLA JUSTINA, 2009).

Logo, o estudo do meio físico tem sua base teórica e prática nas ciências da terra, por interpretar as informações geodinâmicas (litologia, tectônica, morfoestruturas, clima, fisiografia, paisagens, registros pedológicos e capacidade de suporte natural) de forma integrada, procurando inter-relacioná-las com os estágios de desenvolvimento econômico, para fins de planejamento e gestão racional e sustentável do território.

A motivação para a realização do presente trabalho explica-se pelo fato de a região de Pirassununga estar situada ao lado da Rodovia Anhanguera (SP-330), uma das vias mais importantes de escoamento da produção, tanto de bens manufaturados quanto de matérias-primas, do interior paulista. Sendo uma região de extrema importância para o desenvolvimento do Estado, desenvolvimento este intensificado a partir da década de 1980, com o crescimento e industrialização das cidades próximas ao eixo da referida rodovia. A região também possui uma rede de drenagem bem desenvolvida, assim como importantes aquíferos e reservas minerais, muito utilizados na produção agropecuária e industrial.

Sabe-se que os planos diretores municipais, para cidades com mais de 20.000 habitantes, devem tratar não só da estrutura urbana como também da rural, correspondendo a um plano diretor integrado do município. Desta forma, pretende-se, com este estudo, subsidiar a tomada de decisões para o planejamento de uso territorial de tais planos, com enfoque à suscetibilidade natural à erosão e à capacidade de suporte natural do meio, gerando diretrizes ecogeodinâmicas que possibilitem entender melhor a autossustentabilidade das paisagens dos municípios da região de Pirassununga, reduzindo os impactos negativos ao meio ambiente.

1.2 Objetivos

O objetivo principal desta pesquisa é aplicar um procedimento metodológico que auxilie na compartimentação do meio físico, mediante o uso de geotecnologias e aspectos geodinâmicos do meio com fins de definir a capacidade de suporte natural da região, visando subsidiar o planejamento do uso e ocupação humanos para o uso agrícola, instalação de obras de engenharia e sanitárias, controle de impactos ambientais e orientação para a mitigação dos impactos e recuperação de áreas degradadas.

Como objetivo complementar têm-se a realização de uma análise do desenvolvimento evolutivo das paisagens paleoatuais da região de Pirassununga.

1.3 Apresentação da Dissertação

Esta dissertação inicia-se, no *Capítulo 1*, com uma introdução, contextualizando e expondo as justificativas e objetivos desse estudo.

No *Capítulo 2* é apresentada uma fundamentação teórica do trabalho, com a definição dos principais métodos da pesquisa, dentre eles as análises do relevo, morfoestrutural, estrutural, morfométrica e a capacidade de suporte natural do meio.

O *Capítulo 3* apresenta o Diagnóstico Zero da área em estudo, ou seja, um levantamento bibliocartográfico com informações sobre a localização, clima, vegetação, hidrologia, geomorfologia, geologia, pedologia e socioeconomia regionais.

No *Capítulo 4* são descritos os métodos utilizados para a coleta e análise dos dados tanto em escritório (dados preliminares) quanto em campo, assim como para a integração final dos dados e a definição da capacidade de suporte natural do meio.

O *Capítulo 5* apresenta os resultados e discussões obtidos a partir das etapas anteriores, o prognóstico ambiental, com a apresentação dos mapas temáticos de suscetibilidade natural à erosão, indicação de áreas de proteção ambiental, de áreas propícias para a disposição de efluentes sólidos e líquidos e a definição da capacidade de suporte natural do meio.

As considerações finais e conclusões encontram-se no *Capítulo 6*, com a avaliação dos resultados da pesquisa, recomendações e outras possibilidades de trabalho na área.

No último capítulo são apresentadas as *Referências* bibliográficas e cartográficas utilizadas para elaboração desta dissertação.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo refere-se à exposição das definições e critérios básicos dos principais temas discutidos e aprofundados neste trabalho.

2.1 Análise do Relevo

A análise fisiográfica baseia-se na interpretação de sensores remotos para estabelecer a relação “*relevo x solos*” e, no reconhecimento e identificação para compreender e integrar os processos de formação e dinâmica da paisagem (GOOSEN, 1971; SHIMBO, 2006). As paisagens correspondem à unidade fundamental da análise fisiográfica da superfície terrestre, apresentando certa homogeneidade climática, biológica, geológica e pedológica (BOTERO, 1978; GOOSEN, 1968).

Uma área é classificada em unidades fisiográficas, representadas por formas de relevo e caracterizadas por processos endógenos/exógenos específicos, os quais possibilitam entender a dinâmica da paisagem e de suas unidades constitutivas (JIMÉNEZ-RUEDA et al., 1993). Cada uma das unidades possui uma associação/série única de solos, gerando um importante guia para delinear os padrões de solos e suas aptidões (GOOSEN, 1968). Desta forma, constituem fatores determinantes de definição, caracterização e classificação de unidades homogêneas (JIMENÉZ-RUEDA et al., 1993).

2.2 Análise Morfoestrutural

Gerasimov e Mescherikov (1968 apud LIMA, 1995) foram os precursores do estudo das morfoestruturas, utilizando-se de análises geomorfológicas. A interpretação morfoestrutural baseia-se na análise dos elementos da rede de drenagem (densidade, tropia, sinuosidade e angularidade), do relevo e de suas relações espaciais (JIMENÉZ-RUEDA et al., 1993). Segundo Soares e Fiori (1976), esta interpretação busca significados geológicos para as diferentes formas ou associações desses elementos, pois eles são condicionados por fatores estruturais, litológicos e de processos morfogenéticos atuantes sobre o substrato. A análise morfoestrutural permite constatar a presença e o grau de deformação da área,

definindo as estruturas deformacionais (altos e baixos estruturais) e as discontinuidades estruturais (lineamentos, fraturas e falhas) que as delimitam. Ela se fundamenta no fato de que muitas das morfoestruturas podem ser refletidas em superfície, sendo passíveis de identificação por meio de produtos de sensoriamento remoto, especialmente em áreas relativamente arrasadas pela erosão e/ou que sofreram aplainamento (JIMENÉZ-RUEDA et al., 1989b).

Considerando os elementos da rede de drenagem adotados para a caracterização das anomalias, utilizamos as definições de anelares, radiais, assimetria (Figura 1), alinhamentos e lineamentos estruturais apresentadas por Liu (1984 apud SILVA, 1997), Mattos et al. (1982), O'Leary et al. (1976) e Soares et al. (1982a, 1982b), descritas a seguir.

Figura 1 – Formas anômalas de drenagem indicativas de morfoestruturas e seu grau de estruturação.

		ESTRUTURA DOS ELEMENTOS			
		RADIAL	ANELAR	ASSIMETRIA DRENAGEM	ASSIMETRIA RELEVO
ESTRUTURA DA FORMA	SIMPLES INCOMPLETA				
	SIMPLES COMPLETA				
	RAMIFICADA INCOMPLETA				
	RAMIFICADA COMPLETA				

Fonte: Soares et al. (1981a).

As *formas anelares* representam o reflexo em superfície de camadas flexuradas que, geralmente, estabeleceram-se sobre estruturas dômicas ou depressões estruturais, concordantes com o acamamento ou com o fraturamento anelar. O grau de estruturação da forma indica a probabilidade de uma drenagem anelar corresponder à uma estrutura geológica.

As *formas radiais* podem representar o reflexo do controle estrutural, indicando o sentido geral do mergulho das camadas, entretanto, também podem ser de expressão puramente topográfica (divergência de elementos de drenagem a partir de um ponto mais alto).

As *formas de assimetria* fornecem indicações de mergulho convergentes ou divergentes do acamamento, definindo altos (domos) e baixos (depressões) estruturais e são identificadas a partir dos elementos de drenagem e de relevo. Quanto à drenagem, os canais tendem a se estabelecer de acordo com a disposição do acamamento das camadas inclinadas, visto que os canais mais alongados, subparalelos e de baixa angularidade correm concordantes ao sentido das camadas (consequentes), enquanto os canais mais curtos e com ângulos abertos correm em sentido perpendicular ao acamamento (obsequentes). O relevo se apresenta de forma semelhante à drenagem, estando as vertentes mais longas e com menor inclinação concordantes com o acamamento, enquanto as vertentes mais curtas e com maior inclinação, são perpendiculares ao sentido do acamamento.

Alinhamento é um termo genérico que significa arranjo alinhado de quaisquer elementos observados em produtos de sensoriamento remoto, sem conotação genética ou estrutural, por exemplo, estradas, conjuntos de casas alinhadas, canais fluviais, linhas de costa, cordões litorâneos e cristas de relevo. Já o *lineamento estrutural* corresponde a uma feição linear mapeável, simples ou composta, contínua ou descontínua, da superfície terrestre (portanto natural), cujas partes estão alinhadas em um arranjo retilíneo ou suavemente curvilíneo, que difere distintamente dos padrões e feições que lhes são adjacentes e, presumivelmente, reflete um fenômeno de subsuperfície. Os lineamentos são interpretados como discontinuidades da crosta que podem representar discordâncias estratigráficas e/ou estruturais e, geralmente, representam os grandes falhamentos da área.

Segundo Ohara (1995), o conhecimento morfoestrutural de uma região, quando integrado com outros dados temáticos, pode subsidiar, por exemplo, estudos sobre

recursos hídricos e proteção ambiental, além de determinar se um local é favorável ou não à implantação de obras de engenharia e usos agrícolas.

A análise morfoestrutural vem sendo utilizada em diversos trabalhos com diferentes enfoques como, por exemplo, por Guimarães (2001), Jiménez-Rueda e Mattos (1992), Jiménez-Rueda et al. (1993), Ohara (1995), Ohara et al. (2003), Silva (1997), Soares e Fiori (1976), Stefani (2003) e Volkmer (1993).

Jiménez-Rueda et al. (1993) utilizaram-se da caracterização fisiográfica e morfoestrutural como forma de compartimentar a paisagem, buscando orientar um melhor planejamento de obras urbanas e atividades rurais, concluindo que os aspectos pedológicos, pedogeoquímicos e fisiográficos foram condicionados pelas características de cada bloco estrutural, demonstrando a importância de um manejo diferenciado para cada porção do espaço geográfico e, portanto, a necessidade de um planejamento ecogeodinâmico, em especial para implantação de obras de engenharia e sanitárias.

Soares et al. (1981a, 1981b, 1982b) afirmam que este método é eficaz para diferentes escalas de mapeamento, possuindo como importante característica o bom custo-benefício, já que é pouco oneroso e de rápida execução.

A análise morfoestrutural conjuntamente com a topografia do relevo permite prever as propriedades de percolação, lixiviação, alteração, circulação e erosão, assim como definir o uso e manejo adequados para o solo, pois condicionam os aspectos pedológicos, pedogeoquímicos e fisiográficos, como observado no Quadro 1, adaptado de Jiménez-Rueda et al. (1993), desenvolvido para escala 1:100.000.

A partir desta correlação entre as características morfoestruturais e morfométricas é possível estabelecer, com maior confiabilidade, as potencialidades e fragilidades da paisagem e, desta forma, planejar as formas de uso e ocupação da terra em concordância com o seu potencial ambiental, como, por exemplo, locais adequados e/ou impróprios para implantação de aterros sanitários e de obras lineares, prospecção de aquíferos e utilização de insumos agrícolas.

Quadro 1 - Relação entre morfoestrutura e morfometria e suas aplicações.

	Alto estrutural/ Alto topográfico	Alto estrutural/ Baixo topográfico	Baixo estrutural/ Baixo topográfico	Baixo estrutural/ Alto topográfico
Intemperismo	Muito forte	Forte	Fraco	Moderado a forte
Circulação de água	Intensa	Média a alta	Alta e direcionada	Baixa e direcionada
Fertilidade atual e potencial	Muito baixa	Baixa a média	Muito alta	Média a alta
Processos	Pedogênese > Morfogênese	Morfogênese > Pedogênese	Morfogênese > Pedogênese	Pedogênese > Morfogênese
Sub-paisagens/ Unidades Fisiográficas gerais	Planaltos médios a muito altos, Vertentes, Paleocanais, Paleonascentes, Paleoterraços	Planaltos muito baixos a baixos, Vertentes, Planícies de Inundação atuais e subatuais (meandranes)	Planaltos muito baixos a baixos, Planícies de Inundação atuais e subatuais, Vertentes	Planaltos médios a muito altos, Vertentes, Paleocanais, Paleonascentes, Paleoterraços
Suscetibilidade à erosão	Quase nula	Moderada a forte (exorreica)	Muito forte (endorreica)	Muito forte a moderada (exorreica)
Solos	Argissolos, Cambissolos, Latossolos, Neossolos, Nitossolos	Cambissolos, Gleissolos, Latossolos, Neossolos, Nitossolos, Organossolos	Argissolos, Cambissolos, Gleissolos, Latossolos, Neossolos, Nitossolos, Organossolos	Argissolos, Cambissolos, Latossolos, Neossolos, Nitossolos
Minerais de argila	Argila, Caulinita, Gipsita, Gipsita/Caulinita	Argila, Caulinita, Gipsita, Esmectita	Argila, Esmectita, Caulinita, Esmectita/Caulinita	Caulinita, Esmectita, Caulinita/Esmectita, Gipsita
Cobertura de Alteração Intempérica	Alitização, Latossolização, Ferratização, Ferruginização, Laterização	Alitização, Latossolização, Ferruginização, Laterização, Argilização, Melanização	Melanização, Gleização, Salinização, Cambissolização	Alitização, Argilização, Latossolização, Melanização, Cambissolização
Processos específicos	Latossolização, Laterização, Hidrólise total, Oxidação total, Dessilicificação, Descalcificação	Hidrólise total/parcial, Silicificação parcial, Argilização parcial, Oxidação parcial	Hidrólise incipiente, Silicificação intensa, Redução intensa, Argilização intensa	Hidrólise parcial/total, Óxido/Redução moderada, Argilização
Unidades de Alteração Intempéricas	Alíticas, Monossialíticas, Mono/ali/bissialítica	Monossialítica, Alítica, Mono/bissialítica	Bissialítica, Monossialítica	Mono/bissialítica, Bi/monossialítica, Mono/ali/bissialítica
APLICAÇÕES - Agricultura				
Potencialidades Gerais	Rotação de culturas anuais e culturas semiperenes	Culturas semiperenes e anuais	Silvicultura, horticultura, áreas de proteção ambiental	Culturas semiperenes, silvicultura
Mecanização	Intensa	Moderada a restrita	Restrita	Moderada a restrita
Usos de Adubos	Restrito	Restrito a inadequado	Inadequado	Adequado
APLICAÇÕES - Obras de engenharia civil				
Estradas	Adequado	Adequado a moderado	Inadequado	Moderado a inadequado
Edificações	Adequado	Moderado	Inadequado	Moderado a inadequado
APLICAÇÕES - Obras de engenharia sanitária				
Aterros	Restrito	Restrito a inadequado	Inadequado	Adequado
Uso de efluentes líquidos e sólidos	Restrito	Restrito a inadequado	Inadequado	Adequado

Fonte: Adaptado de Jiménez-Rueda et al. (1993).

2.3 Análise Estrutural

Os métodos geológicos devem focar, essencialmente, as feições estruturais, formas de relevo e de drenagem que refletem os movimentos neotectônicos, coberturas de solos e depósitos coluviais e de sedimentos, correlativos com as etapas da evolução neotectônica (HASUI; COSTA, 1996). Desta forma, a análise estrutural parte do princípio de que as estruturas geológicas podem ser refletidas em superfície, sendo passíveis de identificação a partir da análise de anomalias da rede de drenagem e de feições de relevo. Para tanto, podem ser utilizados produtos de sensoriamento remoto e/ou cartográficos que auxiliem no reconhecimento e na delimitação dessas anomalias e feições particularizadas.

Esta análise envolve critérios de fotointerpretação que há muito vêm sendo utilizados e desenvolvidos por diversos pesquisadores como Jiménez-Rueda et al. (1993), Madrucci, Araújo e Taioli (2003), Mattos et al. (1982) e Soares et al. (1982a, 1982b).

Tal sistemática procura analisar os elementos de drenagem e de relevo, sua associação e sua classificação, de acordo com o caráter homólogo ou não dos mesmos, além de interpretar o significado geológico para as diferentes formas ou associações dos elementos de drenagem e feições anômalas, admitindo que estas sejam condicionadas por fatores estruturais e/ou litológicos, através de processos morfogenéticos atuantes sobre o substrato (SOARES et al., 1982a), o que permite delimitar áreas intensamente fraturas e, portanto, suscetíveis à erosão (BATISTA, 2001; CRISOSTÓMO-NETO, 2003; FRANZONI, 2000; GUIMARÃES, 2001; MATTOS et al., 2002; RODRIGUES, 2000).

2.4 Análise Morfométrica (Isobases Confluentes)

Almeida et al. (1977) subdividiram o território brasileiro em províncias tectônicas, as quais podem ser equiparadas às províncias fisiográficas, megapaisagens decorrentes da evolução dos continentes. Zink (1987) propôs a organização da paisagem em níveis hierárquicos, inter-relacionados evolutivamente. Esta organização também pode ser modificada por ações resultantes das forças exo-endogênicas de horizontalização e/ou verticalização do relevo, responsáveis pelas

formas residuais da paisagem, geradas durante intervenções na modificação e neoformação das bacias interiores e litorâneas (JIMÉNEZ-RUEDA et al., 2014).

De acordo com Filosofov (1960 apud SPIRIDONOV, 1981), as paisagens podem ser individualizadas com base na sua morfometria e altimetria, ordenando o relevo de acordo com a altitude dominante ou residual. Entretanto, ele também pode ser organizado como se procede com uma bacia hidrográfica. Com o cruzamento das ordens de drenagens obtidas na diferenciação morfométrica e morfológica da paisagem é possível definir as formas residuais destas ordens, diferenciando níveis de verticalização/horizontalização. Lembrando que esses fenômenos resultam da interação e integração de fatores tectono-climáticos (JIMÉNEZ-RUEDA et al., 2014).

Autores como Ab'Saber (1970), Botero (1978), Goosen (1971), Tricart (1977), Villota (1992) e Vinck (1963), difundiram termos como fisiografia e província fisiográfica em suas pesquisas. Todavia, Villota (1992) realizou uma hierarquização das paisagens de forma mais efetiva, segundo a sua fisiologia, desenvolvendo e aplicando uma chave de classificação concisa, eficiente e objetiva. Goosen (1971), Villota (1992, 2005) e Zink (1987) discutiram ainda que os solos são representativos das paisagens e, desta forma, correspondem a um componente da paisagem fisiográfica.

Jiménez-Rueda et al. (2014) afirmam que os solos, assim como as rochas, mantêm propriedades e/ou características específicas, que se manifestam como registros das interações dos fatores litogênicos, tectônicos e morfoclimáticos (processos geodinâmicos exo-endogênicos) que atuaram na sua evolução. A paisagem preserva o registro das ações exo-endogênicas impostas a ela e modificadas por eventos tectônicos. Desta forma, é de grande importância o mapeamento das estruturas (dobras, juntas, falhamentos e lineamentos estruturais), que correspondem às zonas de fraqueza da crosta. Segundo Mattos et al. (2002), as unidades da paisagem sofrem as mudanças físico-químicas mais intensamente em função dos condicionamentos estruturais.

Um dos métodos utilizados para buscar o entendimento dessa evolução dinâmica da paisagem corresponde à geração de um modelo de paleossuperfícies, desenvolvido a partir da interpolação de confluências de drenagem, onde é possível representar tridimensionalmente as superfícies em épocas pretéritas de sua formação. De acordo com Filosofov (1960 apud SPIRIDONOV, 1981), as isobases representam superfícies com estágios de erosão similares, podendo ser consideradas como

manifestações de eventos tectono-erosionais regionais, especialmente como de movimentos recentes da crosta.

O método das Isobases foi proposto inicialmente pelos soviéticos, em meados do século XX, quando eram elaborados mapas de dissecação vertical/horizontal do relevo e mapas de relevo residual para zonear terras, buscando a reconstrução morfoclimática das superfícies geomórficas, regredindo até o Mioceno, aproximadamente (FILOSOFOV, 1960 apud SPIRIDONOV, 1981).

Estes mapas utilizavam a rede de drenagem das cartas topográficas para caracterizar as protossuperfícies de erosão, nos pontos onde as drenagens interceptassem as curvas de nível em ângulo reto (ou aproximado). Assim, perfis topográficos eram produzidos para cada ordem da bacia hidrográfica até que se chegasse ao nível de base atual. O cruzamento da drenagem com as curvas de nível era necessário, devido à dificuldade de se determinar a altitude exata, em uma carta topográfica, do ponto de confluência entre duas curvas altimétricas. As superfícies produzidas a partir destas interseções eram denominadas de *Isobasitas de Intercessão*. Como este método de intercepção era executado manualmente, eram necessários muitos pontos para garantir a sua eficácia e a veracidade das informações produzidas, exigindo muito esforço e tempo para que uma pesquisa fosse concluída (JIMÉNEZ-RUEDA et al., 2014). Com o auxílio das ferramentas de geoprocessamento (SIG e softwares como SPRING e ArcGis, por exemplo), o tempo para a realização destes cálculos diminuiu significativamente, além de minimizar erros grosseiros e possibilitar a aplicação do método em áreas maiores.

As *Isobases Confluentes* (JIMÉNEZ-RUEDA e MATTOS, 1992) foram desenvolvidas através do aprimoramento deste método. Elas, diferentemente das *Isobasitas de Intercessão*, passaram a determinar todas as confluências de drenagem, definidas pela junção de dois segmentos de drenagem. A cada ponto/confluência são associados os valores de altitude e as suas coordenadas geográficas. A ordem de cada confluência passou a indicar o nível de base e a posição relativa de um dreno dentro da rede hidrográfica da bacia.

Autores como Filosofov (1960), Gravelius (1914), Horton (1945) e Strahler (1952, 1957) propuseram métodos para ordenar as drenagens. Dentre eles, os mais empregados são o de Horton (1945), modernizado por Filosofov (1960), e o de Strahler (1957). Eles atribuíram a idade geológica relativa para cada ordem de drenagem tornando possível, desta forma, correlacionar rios e vales de mesma ordem

de drenagem como originários de eventos geológicos similares e, por consequência, como tendo idades geológicas próximas.

Segundo Golts e Rosenthal (1993), o mergulho dos segmentos mais longos geralmente é suave, típico de calhas de sinclinais, *grabens* e blocos abatidos. Portanto, de uma forma geral, diversas características morfológicas podem ser evidenciadas por meio de uma isobase, além de poderem estar relacionadas às diferentes fases geológicas da elaboração das paisagens.

Os mesmos autores afirmam ainda que mudanças bruscas na direção das isolinhas de uma isobase podem indicar deslocamento tectônico e/ou diferenças litológicas. Do mesmo modo, a compressão das isolinhas pode indicar estratos de mergulho acentuado, flexuras ou falhamentos. E, em contrapartida, o espaçamento entre elas indica um gradiente suave e possível presença de calhas estruturais que, no geral, são acompanhadas por uma bifurcação de vales e por acúmulo de sedimentos aluvionares.

Por fim, um mapa de isobases auxilia a configuração e a interpretação de um mapa morfotectônico, uma vez que nele são apresentados os lineamentos básicos e/ou os deslocamentos das linhas derivadas das variações de direção das isolinhas. Os contornos das feições fisiográficas, quando sobrepostas às isobases, acentuam os limites das províncias tectônicas. E, em áreas com cobertura de sedimentos continentais espessa, as isobases auxiliam na indicação do mergulho regional ou local ocorrido durante o estágio estrutural (JIMÉNEZ-RUEDA; MATTOS, 1992).

2.5 Capacidade de Suporte Natural

A preocupação do homem com a quantidade de pessoas que um local é capaz de sustentar é muito antiga. Aristóteles e Platão já analisavam e propunham tamanhos ideais para a população de uma cidade. Entretanto, apenas no fim do século XVIII, quando o sociólogo inglês Thomas Malthus afirmou que a população humana tende a crescer de forma geométrica e a produção de alimentos de forma aritmética, foi difundida a discussão sobre o crescimento populacional e a produção de bens/insumos necessários para o seu sustento (MACHADO, 1999).

O mesmo autor afirma ainda que, a partir do aumento da concentração populacional nas áreas urbanas (êxodo rural) começaram a ser intensificados problemas como poluição, habitação, transporte, saneamento básico, entre outros.

Com isso, passou-se a compreender que os recursos naturais não são inesgotáveis e que a tecnologia, identificada pelos avanços da medicina, agricultura (insumos agrícolas, pesticidas) e pecuária, não é a solução para todos os problemas.

A partir da década de 1970, principalmente, foram realizadas discussões mais profundas sobre os problemas relacionados à poluição ambiental e à excessiva utilização e degradação dos recursos naturais, gerados pelo modelo de desenvolvimento populacional. E, com a *Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento*, conhecida como Rio-92, foi estabelecido o paradigma do “Desenvolvimento Sustentado”, definido pela Organização das Nações Unidas (ONU), como sendo o “desenvolvimento social, econômico e cultural que atende às buscas do presente sem comprometer as necessidades das gerações futuras, nem tampouco os ecossistemas e os recursos naturais disponíveis” (GIOVANNETTI; LACERDA, 1996 apud MACHADO, 1999).

O ecodesenvolvimento é conceituado, por Shaop (1978 apud VEROCAI, 1997), como sendo uma técnica de planejamento que busca o aumento da produtividade como meio de melhorar a qualidade de vida, mantendo, todavia, o equilíbrio do ecossistema onde são realizadas tais atividades. E, a sustentabilidade corresponde à melhoria na qualidade de vida humana, respeitando, contudo, a capacidade de assimilação dos ecossistemas que a suportam (GOODLAND, 1995 apud VEROCAI, 1997), ou seja, a capacidade de resiliência do meio.

Deste modo, volta à cena a discussão entre a densidade e concentração populacional e a disponibilidade e forma de uso dos recursos naturais, sob a perspectiva da *capacidade de suporte natural*, definida por Verocai (1997) como “níveis de utilização dos recursos ambientais que o ecossistema pode suportar, garantindo a sustentabilidade e conservação de tais recursos e o respeito aos padrões de qualidade ambiental”.

Atualmente, estudos de uso, ocupação, planejamento e ordenamento do solo tendem a conceder maior importância à questão ambiental, considerando igualmente as potencialidades/limitações do meio e as necessidades/vontades da sociedade (MACHADO, 1999). Conclui-se, desta maneira, que os conceitos de *Capacidade de Suporte e Desenvolvimento sustentado* estão interligados.

Vale ressaltar que a capacidade de suporte de um meio pode ser otimizada, desde que sejam manejados de forma correta os fatores que o limitam, por exemplo, têm-se o desenvolvimento tecnológico como forma de aumentar, mesmo que

indiretamente, a capacidade de um ambiente suportar uma maior atividade e/ou população (MACHADO, 1999).

A capacidade de suporte natural (ou capacidade de sustentabilidade natural), desta forma, está diretamente associada à “qualidade do sítio”, em função do estágio de desenvolvimento genético em que se encontram as unidades da paisagem (PAULA, 2002). A paisagem, suas unidades constitutivas e seu estágio evolutivo determinam a capacidade natural do meio, que sustenta as diversas intervenções socioeconômicas de maneira positiva ou negativa. Esta capacidade pode ser determinada em função da definição e caracterização dos condicionamentos ecogeodinâmicos (litológicos, mineralógicos, estruturais, climáticos, geomorfológicos, bióticos e socioeconômicos) e de suas interações factíveis de serem evidenciadas mediante caracterizações morfogenéticas (JIMÉNEZ-RUEDA, 1993, 2012).

O mesmo autor afirma que tais interpretações morfogenéticas possibilitam definir o estágio de desenvolvimento e o equilíbrio/metaequilíbrio em que se encontram as paisagens e/ou o desequilíbrio natural ocasionado pelas intervenções a que foram submetidas durante um determinado período.

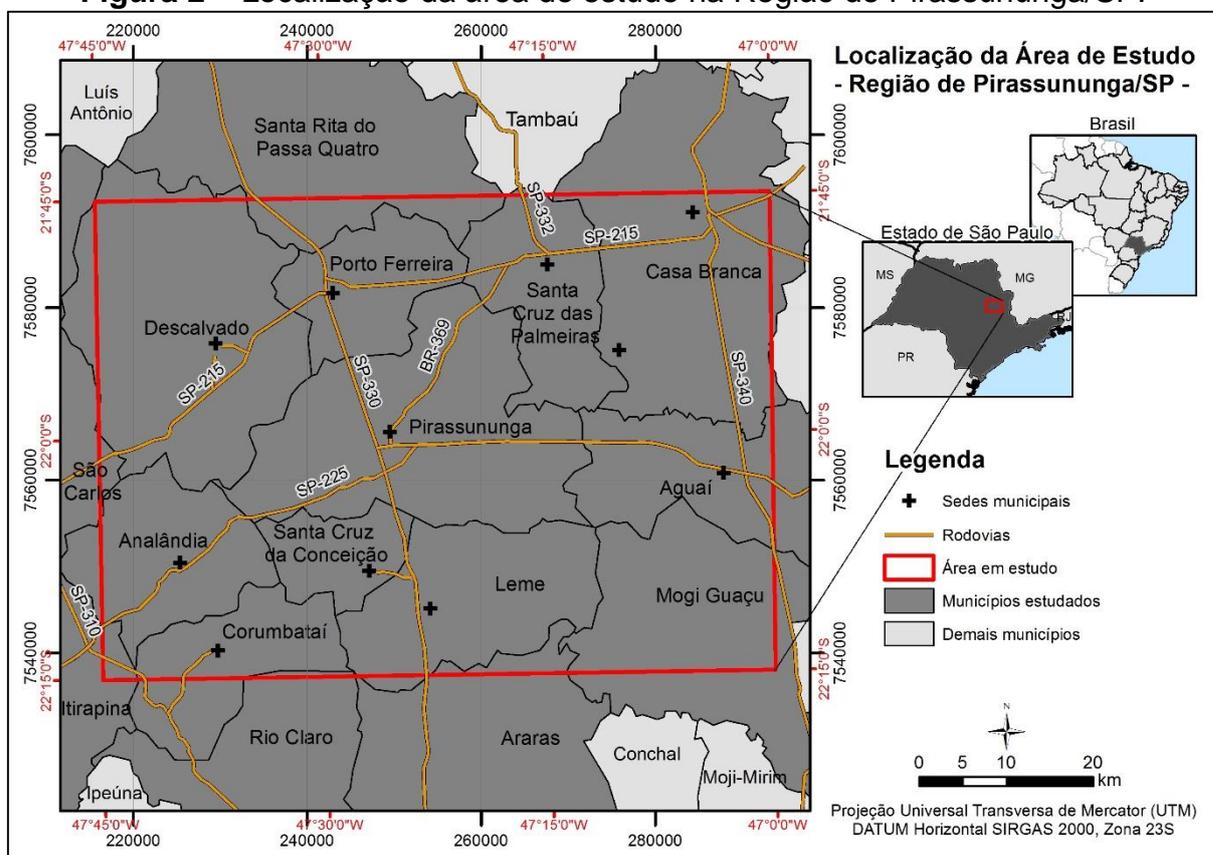
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Este capítulo apresenta o Diagnóstico Zero da área em estudo, ou seja, um levantamento bibliocartográfico com informações sobre a localização, clima, vegetação, hidrologia, geomorfologia, geologia, pedologia e socioeconomia regionais.

3.1 Localização da Área de Estudo

A área escolhida para este estudo foi o município de Pirassununga e sua região de entorno. Como este município ocupa parte de seis folhas topográficas, em escala 1:50.000 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE), optou-se por abranger a totalidade destas folhas, somando 4.290 km² de área (aproximadamente 55,3 km x 77,6 km) e englobando parte de 16 municípios paulistas (Figura 2), sendo eles: Aguai, Analândia, Araras, Casa Branca, Corumbataí, Descalvado, Itirapina, Leme, Mogi-guaçu, Pirassununga, Porto Ferreira, Rio Claro, Santa Cruz da Conceição, Santa Cruz das Palmeiras, Santa Rita do Passa Quatro e São Carlos.

Figura 2 – Localização da área de estudo na Região de Pirassununga/SP.



Fonte: Arquivos *shapefiles* disponibilizados online pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2012).

As respectivas áreas dos municípios englobadas neste estudo e porcentagens da área total estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 – Relação dos municípios localizados na área de estudo e suas respectivas áreas.

Município paulista	Área em estudo (km²)	Porcentagem da área total do município (%)
Pirassununga	727,709	100
Porto Ferreira	244,599	100
Santa Cruz da Conceição	149,116	100
Leme	394,243	97,3
Analândia	293,461	89,7
Descalvado	667,001	88,2
Corumbataí	183,431	66
Casa Branca	514,303	59,4
Aguai	278,622	58,8
Mogi-guaçu	359,393	49,2
Santa Cruz das Palmeiras	293,455	38,9
Santa Rita do Passa Quatro	107,663	14,3
Araras	37,445	5,8
Itirapina	18,612	3,3
Rio Claro	7,272	1,5
São Carlos	13,673	1,2
Área total estudada	4.289,998	-

Fonte: Dados de área e porcentagem extraídos dos arquivos *shapefiles* disponibilizados online pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2012).

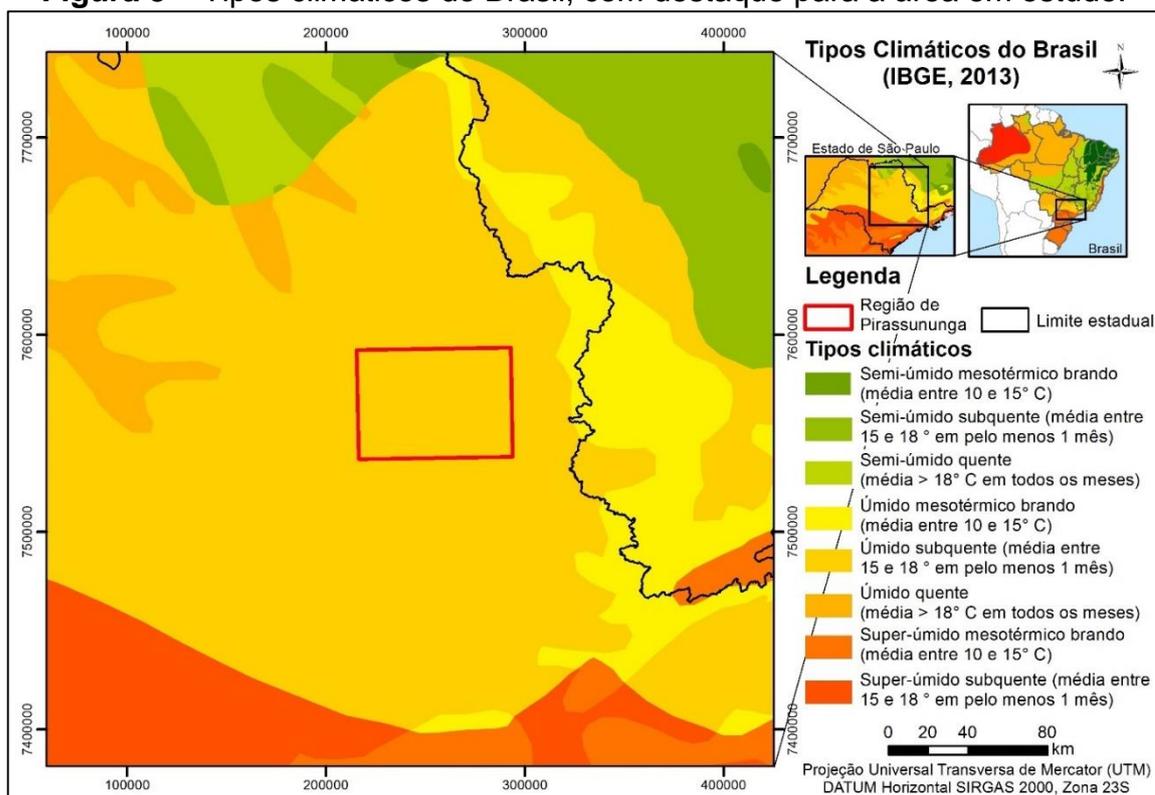
As principais vias de acesso para a área em estudo correspondem às rodovias Washington Luís (SP-310), Anhanguera (SP-330), Prof. Boanerges Nogueira de Lima (SP-340), Dep. Vicente Botta (SP-215), Eng. João Batista Cabral (SP-225, ligando Pirassununga a Analândia) e Dep. Ciro Albuquerque (SP-225, ligando Pirassununga a Aguai).

3.2 Clima

O clima da região de Pirassununga, segundo a classificação climática de Köppen, é do tipo Cwa, tropical de altitude com verão chuvoso e inverno seco, e a temperatura média no mês mais quente é superior a 22°C (CEPAGRI, 2015). Segundo a metodologia de Thornthwaite, o clima da região é caracterizado como subúmido seco, com pouco ou nenhum excesso de água, megatérmico e com pequena variação de temperatura durante o ano. Também pode ser caracterizado, de acordo com os

dados disponibilizados pelo IBGE (2013), como de clima úmido subquente, com temperatura média entre 15° e 18° em pelo menos um mês no ano (Figura 3). Apresenta dois períodos bem definidos, um chuvoso com precipitações bem distribuídas e outro seco, normalmente entre os meses de junho e agosto, em que a estiagem pode se prolongar em função das massas tropicais e equatoriais (STEFANI, 2003).

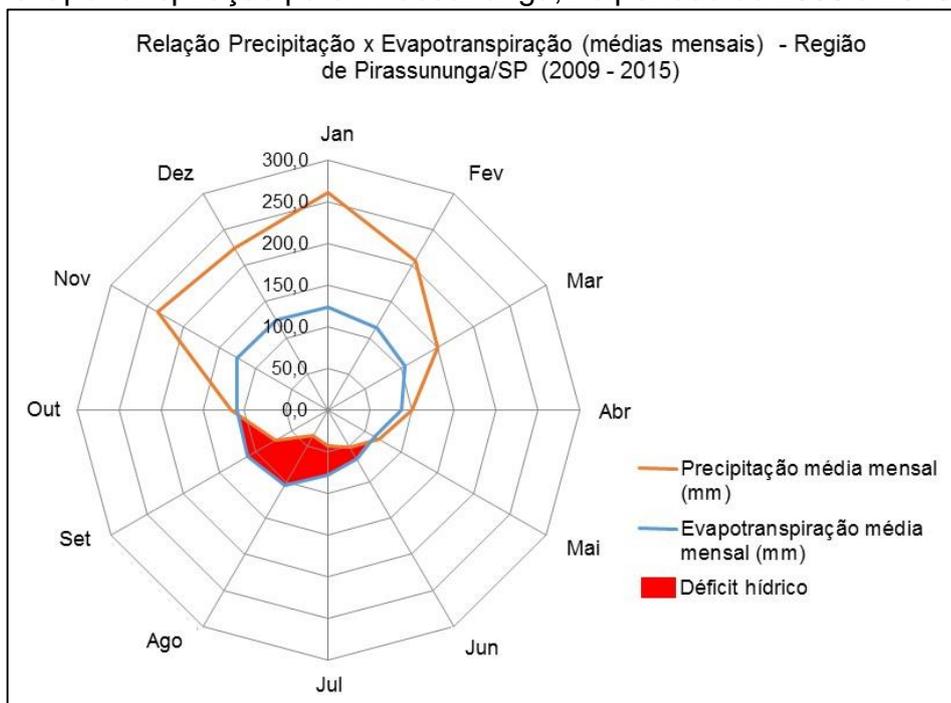
Figura 3 – Tipos climáticos do Brasil, com destaque para a área em estudo.



Fonte: Base de dados em formato *shapfile* disponibilizada na sessão de Mapas Interativos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013).

A estação meteorológica da Universidade de São Paulo - USP, Campus de Pirassununga, disponibiliza, em formato digital, seus dados climáticos a partir do ano de 2009 (USP, 2016). Tais dados permitiram observar que, em média, para os últimos sete anos, o período de déficit hídrico perdurou de maio a setembro (Gráfico 1), época em que o solo fica mais seco, contraindo-se e, com a chegada das chuvas torrenciais do início do verão, podem ocorrer processos erosivos intensos.

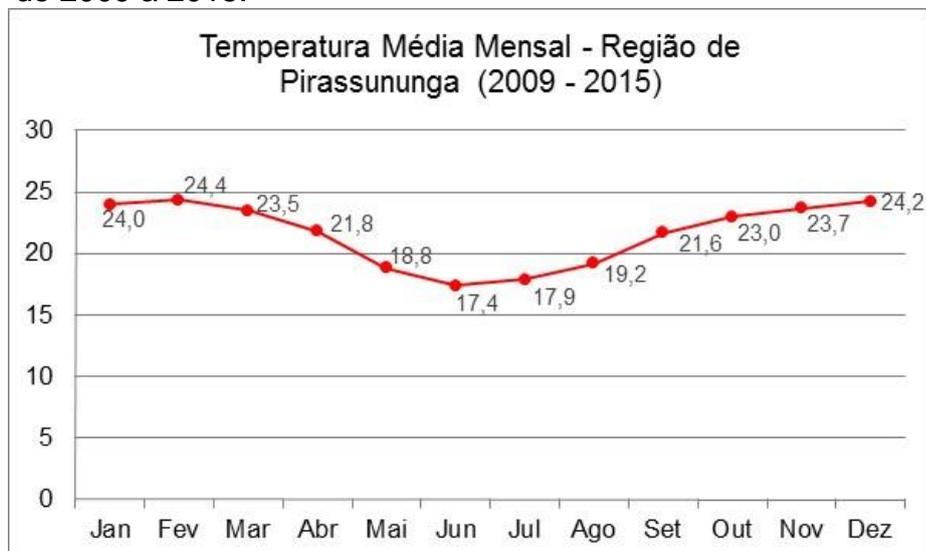
Gráfico 1 – Relação entre as médias mensais de precipitação e evapotranspiração para Pirassununga, no período de 2009 a 2015.



Fonte: Dados climáticos disponibilizados pela Estação Meteorológica da USP – Campus Pirassununga (USP, 2016).

Já as temperaturas médias para o mesmo período (2009 a 2015 – Gráfico 2) manteve-se dentro das esperadas para o inverno (entre 17°C e 19°C) e para o verão (acima dos 23°C), podendo ser classificado como hipertérmico (variação de temperatura $\geq 5^{\circ}\text{C}$).

Gráfico 2 – Temperaturas médias para Pirassununga, período de 2009 a 2015.

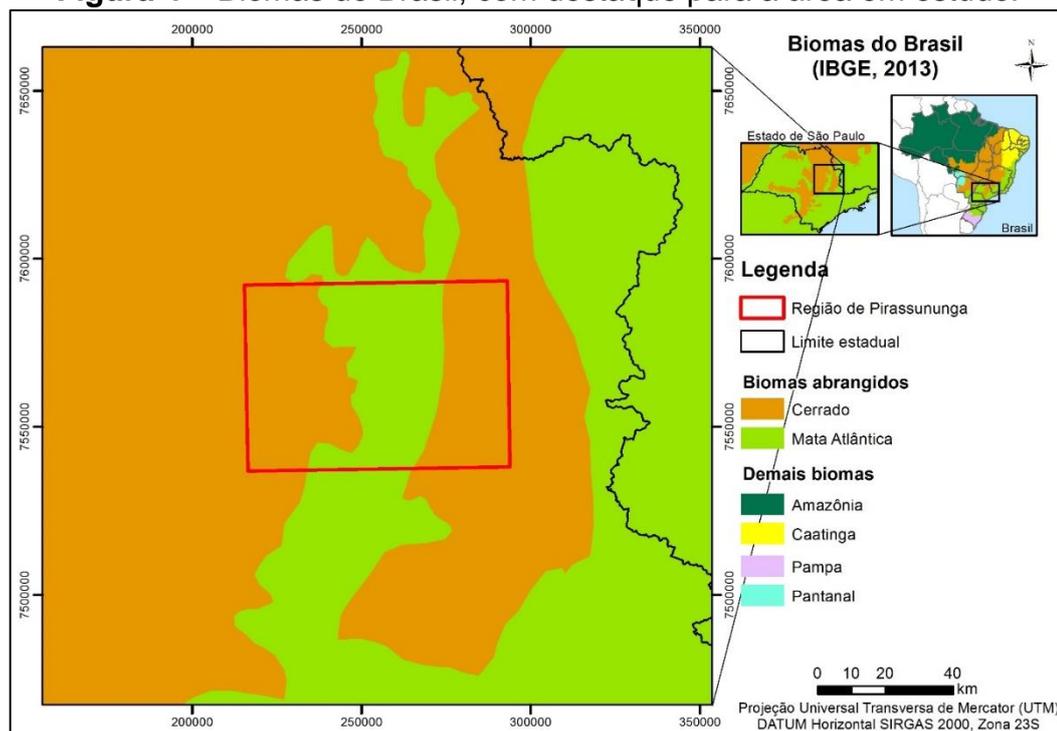


Fonte: Dados climáticos disponibilizados pela Estação Meteorológica da USP – Campus Pirassununga (USP, 2016).

3.3 Vegetação

A vegetação original da área em estudo corresponde a áreas transicionais entre o Cerrado e a Floresta Estacional Semidecidual, fitofisionomia da Mata Atlântica (Figura 4).

Figura 4 – Biomas do Brasil, com destaque para a área em estudo.



Fonte: Base de dados em formato *shapefile* disponibilizada na sessão de Mapas Interativos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013).

Peterlini (2011) analisou a organização espacial da vegetação natural nas quadrículas paulistas de São Carlos e Brotas, área que abrange parte do extremo sudoeste da região de Pirassununga, constatando que a disposição da vegetação natural varia de acordo com os tipos de solos e que, na região dos municípios de Analândia e Corumbataí, existem intercalações das fitofisionomias de Cerrado, Cerradão, Mata Tropical Semidecidual, além da presença de pequenas manchas de Campos Higrófilos às margens do Rio Corumbataí. Entretanto, hoje restam poucos remanescentes na região, estando a maior parte tomada pela agropecuária e, alguns locais, com vegetação secundária e/ou pioneira (MMA, 2015).

No município de Porto Ferreira há uma Unidade de Conservação de Proteção Integral, o Parque Estadual de Porto Ferreira, com área total de 611,55 ha, que abriga

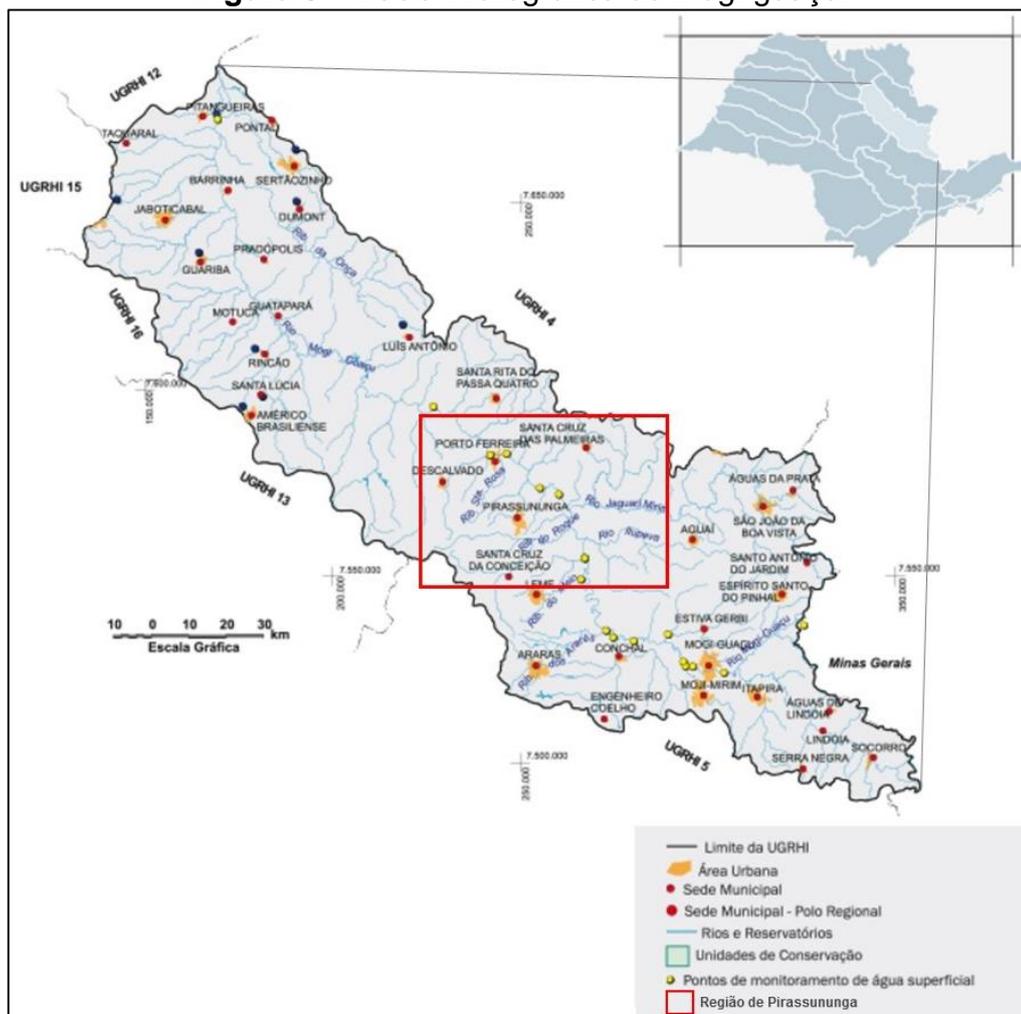
remanescentes de Floresta Estacional Semidecidual, Cerrado e Matas Ciliares (IF, 2003).

Com base na análise e interpretação da imagem de satélite da região, observa-se a existência de manchas de remanescentes vegetacionais, em sua maioria isoladas e, de vegetação de mata ciliar, em parte das margens dos corpos hídricos.

3.4 Hidrografia

A região de Pirassununga, segundo o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SIGRH, 2015), está inserida, em sua maior porção, na Bacia Hidrográfica de Mogi-guaçu (UGRHI 9 – Mogi), Região Hidrográfica do Paraná, e tem como principais rios o Mogi-guaçu, o do Peixe e o Jaguari-mirim (Figura 5).

Figura 5 – Bacia Hidrográfica do Mogi-guaçu.



Fonte: Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SIGRH, 2015).

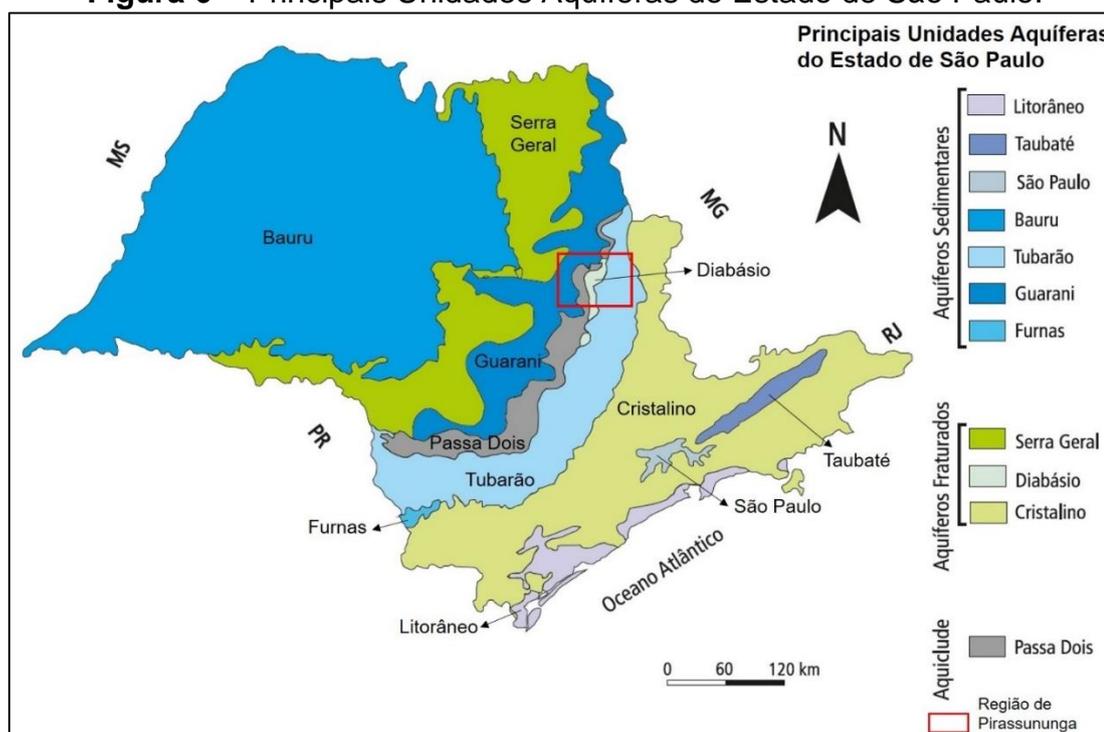
A disponibilidade hídrica superficial nesta bacia corresponde a 33,4% e a subterrânea, a 12,4%. Ela é classificada como uma bacia industrial, com destaque para a agroindústria, óleos vegetais, bebidas, frigoríficos e indústrias de papel e celulose. Segundo Rocha (2005), a dependência e a disponibilidade das águas subterrâneas nesta bacia são moderadas e a qualidade natural delas é boa.

Parte do município de Casa Branca, extremo nordeste da área, está inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (UGRHI 4 – Pardo), a qual tem alta dependência das águas subterrâneas (ROCHA, 2005). E, parte dos municípios de Corumbataí e Analândia, no extremo sudoeste da área, inserem-se na Bacia Hidrográfica do Piracicaba/Capivari/Jundiá (UGRHI 5), com baixa dependência das águas subterrâneas (ROCHA, 2005).

3.5 Hidrogeologia

Com relação às Unidades Aquíferas, a área estudada situa-se sobre os Aquíferos Sedimentares Guarani e Tubarão, sobre os Aquíferos Fraturados Serra Geral (extremo noroeste da área), Diabásio e Cristalino (extremo nordeste da área) e, sobre o Aquicludo Passa Dois (Figura 6).

Figura 6 – Principais Unidades Aquíferas do Estado de São Paulo.



Fonte: IGG, 1974 (apud IRITANI; EZAKI, 2012).

O *Aquífero Guarani* tem origem sedimentar e extensão regional. É considerado um dos maiores reservatórios de água subterrânea do mundo, estendendo-se pelos estados de São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Paraná e Rio Grande do Sul, chegando até o Uruguai, o Paraguai e a Argentina. Entretanto, a sua porção livre é pequena quando comparada à sua área total, localizando-se apenas na sua porção aflorante. No Estado de São Paulo está confinado pelos basaltos do Aquífero Serra Geral e pelas rochas do Aquífero Bauru, sendo constituído, predominantemente, por arenitos médios a finos, de origem eólica em ambiente desértico (IRITANI; EZAKI, 2012), das formações Piramboia na base e, Botucatu no topo (ROCHA, 2005).

Segundo Iritani e Ezaki (2012), o *Aquífero Tubarão* é um aquífero sedimentar de extensão regional, estende-se de norte a sul do estado com espessura podendo atingir os 800 metros. Está confinado a oeste pelo Aquicludo Passa Dois, onde a produtividade é relativamente baixa quando comparada aos outros aquíferos sedimentares, sendo explorado, predominantemente, na sua parte aflorante. É formado por sedimentos depositados em ambientes glaciais, continentais e marinhos, havendo grande variação em sua litologia (siltitos, argilitos, folhelhos, diamictitos, arenitos muito finos a conglomeráticos e ritmitos). Ocorrências em litologias mais arenosas, associadas às fraturas das rochas, proporcionam maiores produtividades de água. E, de modo geral, as águas são consideradas de boa qualidade para o consumo humano.

As mesmas autoras expõem que o *Aquífero Serra Geral* é um aquífero fraturado, também de extensão regional, ocorrendo apenas em uma pequena porção no extremo noroeste da área em estudo. Ocupa grande parte do estado de São Paulo, entretanto, está recoberto, em sua maior parte, pelo Aquífero Bauru e, na sua porção aflorante tem comportamento livre. Foi formado por uma sequência de derrames vulcânicos, originando as rochas basálticas que, quando intemperizadas, geram solos argilosos e bastante férteis. De forma geral, este aquífero possui água de boa qualidade para o consumo humano.

Segundo Iritani e Ezaki (2012), o *Aquífero Diabásio* é um aquífero fraturado e restrito, ocorrendo como manchas entre os Aquíferos Tubarão e Guarani e no Aquicludo Passa Dois. O armazenamento e circulação da água neste aquífero estão condicionados às fraturas, sua produtividade é considerada baixa, bastante variável e a água é de boa qualidade para o consumo humano.

O *Aquífero Cristalino* ocorre apenas em uma pequena porção no extremo nordeste da área em estudo, é composto pelas rochas mais antigas do Estado de São Paulo, de origem ígnea e metamórfica, aflorando na porção leste do estado. Os poços para extração de água concentram-se nesta parte aflorante, tendo comportamento de aquífero livre. As fendas mais favoráveis ao armazenamento e ao fluxo subterrâneo são fraturas geradas posteriormente à formação das rochas (IRITANI; EZAKI, 2012).

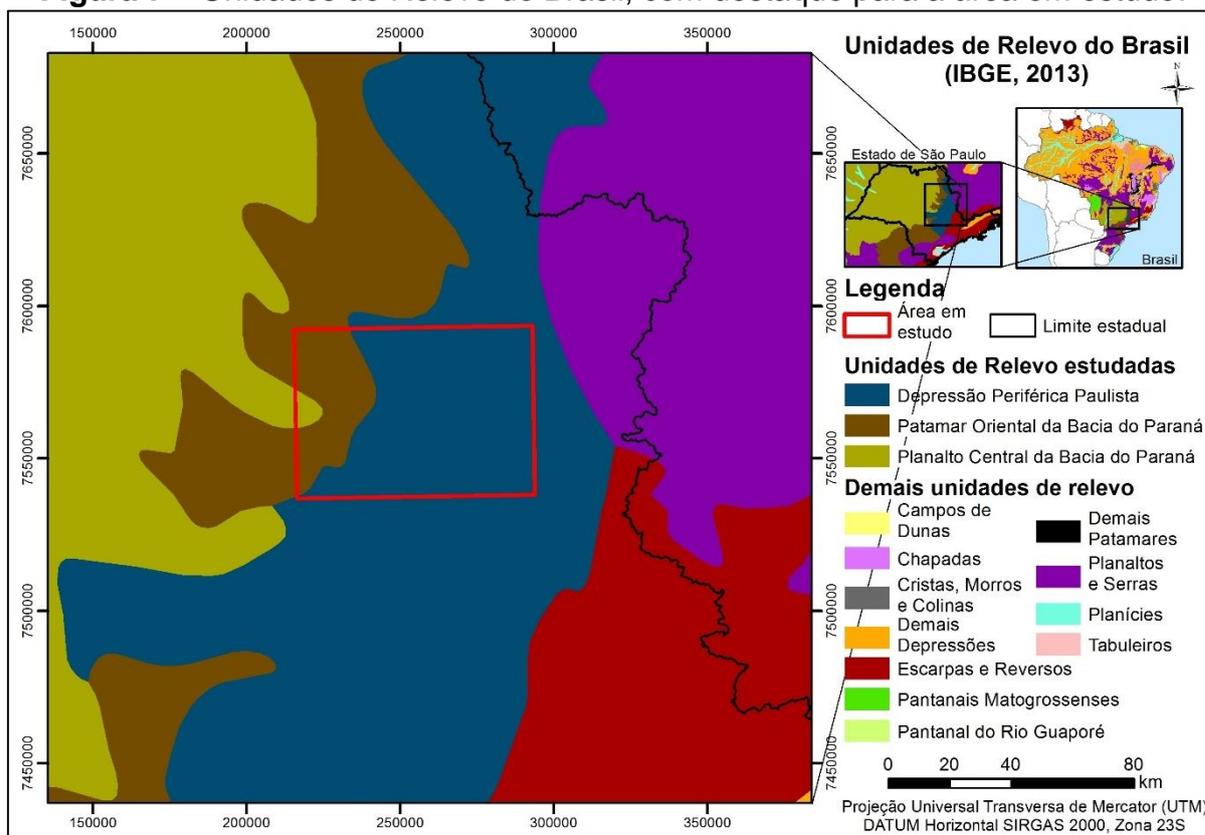
O *Aquicluda Passa Dois* encontra-se na base do Aquífero Guarani e recobre o topo do Aquífero Tubarão (ROCHA, 2005). Tem extensão regional e origem sedimentar, sendo formado por sedimentos de origem marinha, com predomínio de folhelhos, siltitos, argilitos, calcários e dolomitos. Apresenta grande porosidade, entretanto sua permeabilidade é baixa e, devido ao fato de ser formado por sedimentos predominantemente finos, sua produtividade é baixa e ele se apresenta aflorante em uma faixa estreita, passando por cidades como Porto Ferreira, Pirassununga e Rio Claro (IRITANI; EZAKI, 2012).

3.6 Geomorfologia

O objetivo principal da caracterização geomorfológica de uma região, segundo Ross (1992), é representar as formas atuais da superfície e também incluir informações a respeito da morfometria, morfogênese e morfocronologia dos terrenos.

De acordo com a base de dados em formato *shapefile* disponibilizada pelo IBGE (2013), observou-se a presença de três tipos de unidades do relevo na região em estudo (Figura 7), sendo elas o Planalto Central da Bacia do Paraná, o Patamar Oriental da Bacia do Paraná e a Depressão Periférica Paulista.

Figura 7 – Unidades de Relevo do Brasil, com destaque para a área em estudo.



Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013).

Segundo Almeida (1964) e Ponçano et al. (1979), com base no Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (Figura 8), a região de estudo insere-se nas *Províncias Geomorfológicas das Cuestas Basálticas* (extremo oeste da área) e *Depressão Periférica nas Zonas de Mogi-guaçu* (maior parte da área) e do *Médio Tietê* (extremo SSW da área).

magmatismo da Formação Serra Geral, interpretadas como derrames e, por vezes, como soleiras, com arenitos Mesozóicos intercalados (FERREIRA, 2005). Como exemplo tem-se a Serra do Cuscuzeiro, situada a norte do município de Analândia, que possui altitude de 1.058 metros.

A *Cuesta* Externa desenvolve-se em Minas Gerais, penetrando em São Paulo pela Serra de Monte Santo, continuando pela Serra da Borda da Mata e, finalmente, perdendo altura para dar passagem ao Rio Pardo (LIMA, 2009).

A ação da erosão no reverso da *cuesta* é bem marcada, pois as características das bacias hidrográficas conduzem a diferentes entalhes e, com isso, à formação de diferentes conjuntos morfológicos (IPT, 1981b).

3.6.2 Depressão Periférica Paulista

Segundo Ross (1992), a Depressão Periférica caracteriza-se pela ocorrência das intrusivas básicas do magmatismo Serra Geral, encaixadas sobre os sedimentos Paleo-Mesozóicos da Bacia do Paraná, que sustentam um relevo suave e colinoso. Relevos mais acidentados, com morros, morrotes e serras isoladas ocorrem nas regiões de intrusão magmática, sobretudo no eixo Rio Claro - Araras - Pirassununga (FERREIRA, 2005).

Em geral, as altitudes oscilam entre 530 e 790 metros, sua rede de drenagem é densa e os principais cursos d'água correspondem aos rios Tietê, Paranapanema, Mogi-guaçu e Pardo, os quais correm em direção ao Rio Paraná. Segundo Ferreira (2005), estes são rios consequentes com relação às camadas da Bacia do Paraná e com sentido médio de fluxo predominantemente de SE para NW. Desvios deste sentido médio devem-se ao controle litoestrutural, como ocorre com o Rio Mogi-guaçu, que muda seu curso de WNW-ESE para NNW-SSE, acompanhando um alinhamento estrutural (BJÖRNBERG, 1969 apud FERREIRA, 2005).

A Depressão Periférica foi subdividida em três zonas, inicialmente por Deffontaines (1935 apud ROSS; MOROZ, 1997) e mantidas por Almeida (1964) e IPT (1981b), sendo elas a do Médio Tietê, Paranapanema e Mogi-guaçu, delimitadas pelos divisores de água destes rios. A área em estudo ocupa parte da Zona do Médio Tietê e, predominantemente, do Mogi-guaçu.

A Zona do Médio Tietê, segundo o IPT (1981b), é constituída por rochas sedimentares com expressivas áreas de intrusões de rochas básicas, refletidas na sua

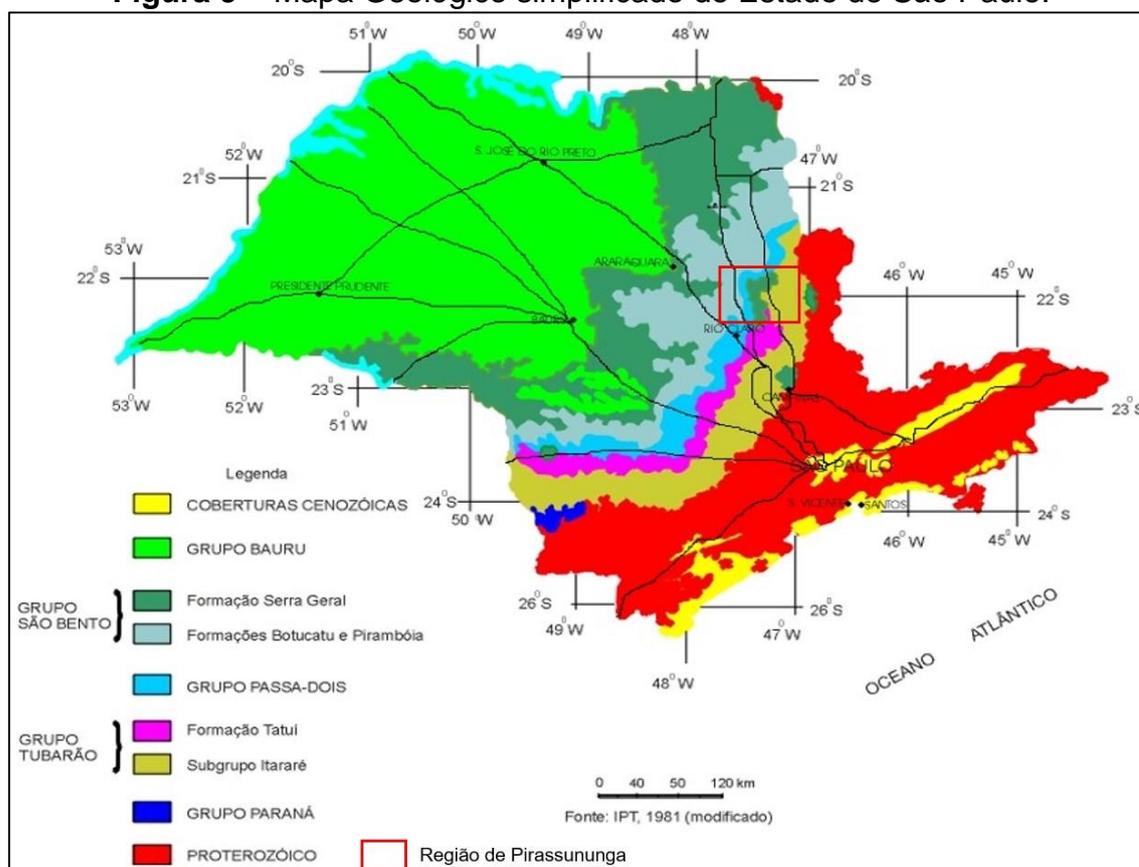
topografia, como pode ser observado no limite com as *Cuestas* Basálticas, na Serra do Cuscuzeiro.

Na Zona do Mogi-guaçu, de acordo com Ross e Moroz (1997), predominam formas de relevo denudacionais com modelados de colinas em topos tabulares amplos. O entalhamento dos vales é de até 20 metros e a dimensão dos interflúvios varia entre 1.750 a 3.750 metros. A rede de drenagem apresenta padrão dendrítico e as declividades variam entre 5 e 10%, predominantemente.

3.7 Geologia e Tectônica

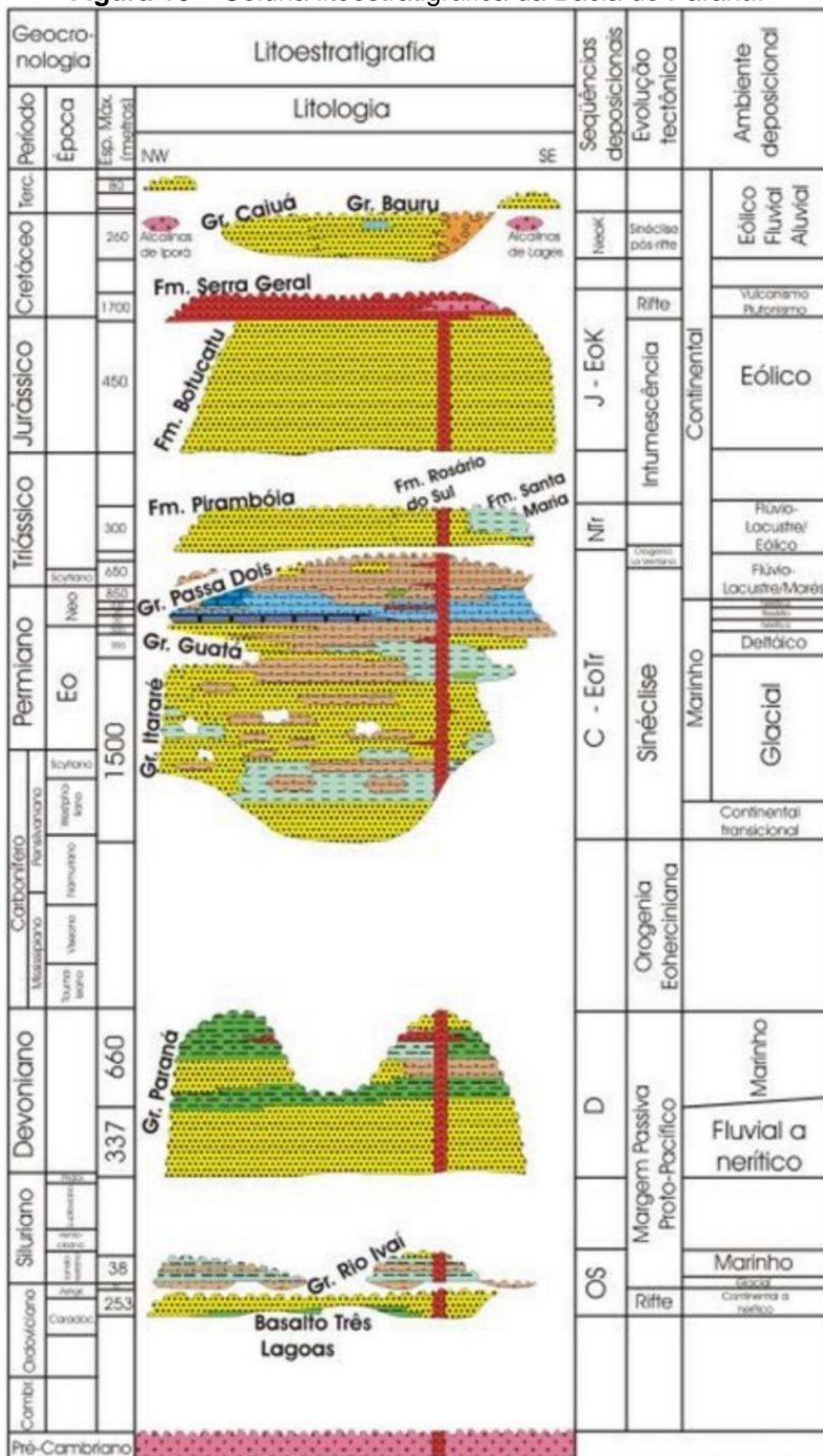
Pirassununga encontra-se na região centro-nordeste do estado de São Paulo, na porção nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná, apresentando rochas do Permo-Carbonífero ao Quaternário, incluindo os derrames de rochas básicas intrudidos no pacote sedimentar (IPT, 1981a), de acordo com as Figuras 9 e 10.

Figura 9 – Mapa Geológico simplificado do Estado de São Paulo.



Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT, 1981a).

Figura 10 – Coluna litoestratigráfica da Bacia do Paraná.



Fonte: Boletim de Geociências da Petrobras, n.1, v.8, 1994.

A Bacia do Paraná ocupa a maior parte do estado de São Paulo e é classificada como intracratônica, com acumulação de grande espessura de sedimentos, lavas basálticas e *sills* de diabásio (IPT, 1981a). Tem forma elíptica tendendo à direção NNE-SSW, dois terços de sua superfície é coberta por lavas basálticas de idade Mesozóica e os estratos sedimentares aparecem por 5.500 km ao longo do cinturão de afloramentos formados durante o Mesozoico-Cenozoico, cercado quase completamente a sinéclise. O registro estratigráfico desta enorme bacia inclui rochas sedimentares e magmáticas, superando a espessura de 7.000 m na sua parte central, região onde corre o Rio Paraná (CORDANI et al., 2000).

O lado leste da Bacia do Paraná corresponde à região crustal que foi profundamente afetada pelo *rift* do Atlântico Sul e pela abertura do oceano. Soerguimentos e erosões desde o Neocretáceo têm sido responsáveis pela remoção de grande quantidade das rochas sedimentares Paleozóicas desta área (CORDANI et al., 2000).

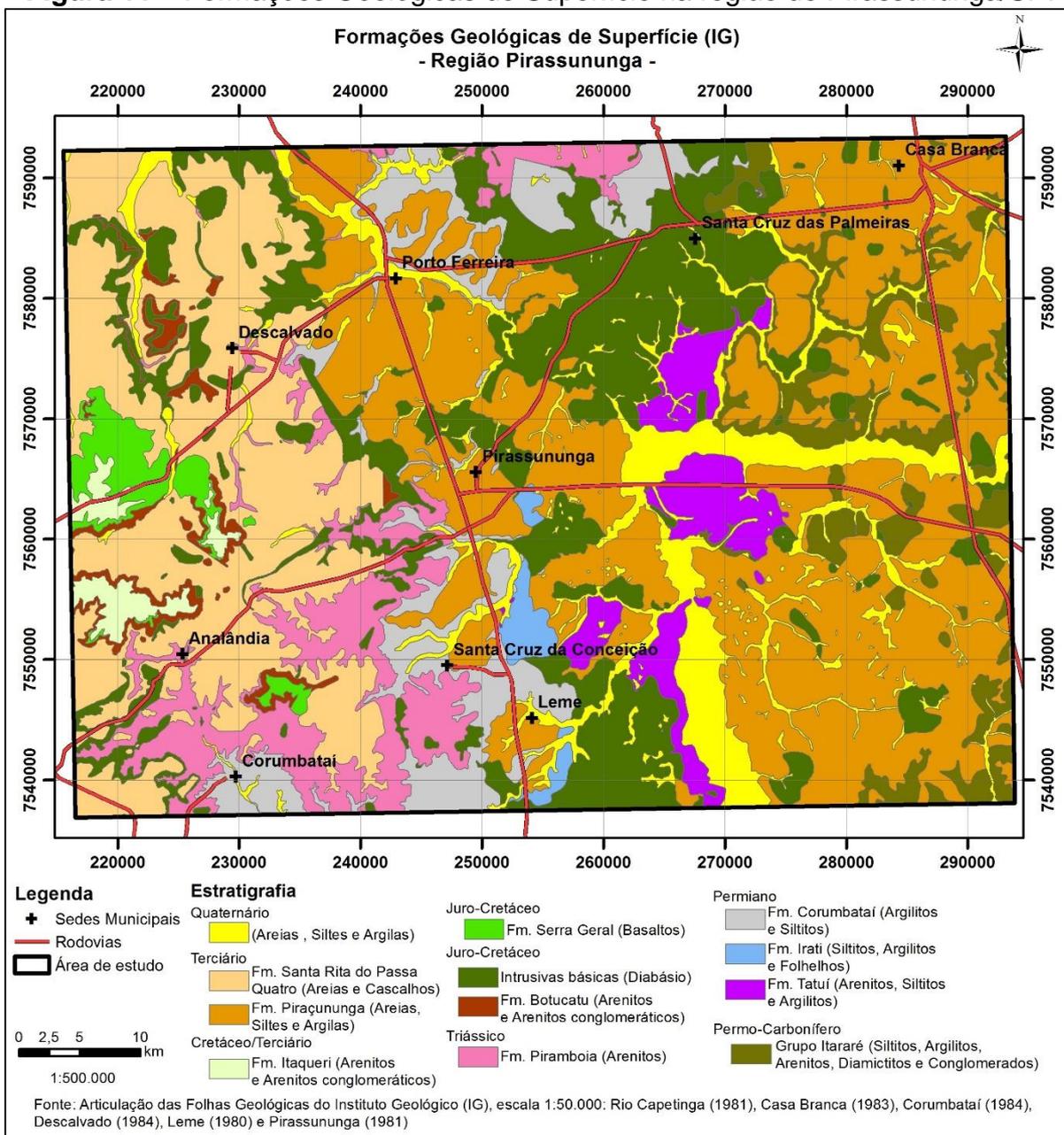
A evolução da Bacia do Paraná no interior continental da Gondwana, desde o Eo-Ordoviciano, tem uma estreita relação com o desenvolvimento da “Gondwanides”, um cinturão móvel e extenso do Fanerozóico marcado por uma sucessão de ciclos orogênicos (RAMOS et al., 1986). Tal orogênese exerceu uma influência decisiva sobre a criação de espaços de acomodação para várias supersequências que preencheram a Bacia do Paraná (MILANI, 1997), assim como sobre a história de deformação da bacia (ZALÁN et al., 1990), por meio da reativação intraplaca de zonas preexistentes com direções NE-SW de abatimentos crustais, herdada da Orogênese Brasileira ou da propagação da cadeia cratônica por subsidência de flexuras regionais (CORDANI et al., 2000).

3.7.1 Empilhamento Litoestratigráfico

No contexto regional, na área em estudo (Figura 11) afloram camadas constituídas por arenitos imaturos e siltitos do Subgrupo Itararé (Grupo Tubarão: Permo-Carbonífero); siltitos argilosos e argilitos marinhos da Formação Tatuí (Grupo Tubarão: Permo-Carbonífero); argilitos e folhelhos cinza, marinhos rasos da Formação Irati (Permiano) e; siltitos e argilitos de cor cinza, marinhos rasos da Formação Corumbataí (Grupo Passa Dois: Permiano). Os depósitos do Mesozoico constituem-se por arenitos, com presença de estratificação de médio porte e origem

fluvioeólica da Formação Piramboia (Neotriássico/Eojurássico); por sedimentos arenosos eólicos, com estratificações cruzadas de médio a grande porte pertencentes à Formação Botucatu (Juro-Cretáceo); por rochas vulcânicas e corpos intrusivos associados à Formação Serra Geral (Juro-Cretáceo), sendo que estas três formações, segundo Silva (1997), integram o Grupo São Bento; e, por sedimentos arenoconglomeráticos da Formação Itaqueri (Grupo Bauru: Cretáceo-Terciário) (IG, 1980, 1981a, 1981b, 1983, 1984a, 1984b).

Figura 11 – Formações Geológicas de Superfície na região de Pirassununga/SP.

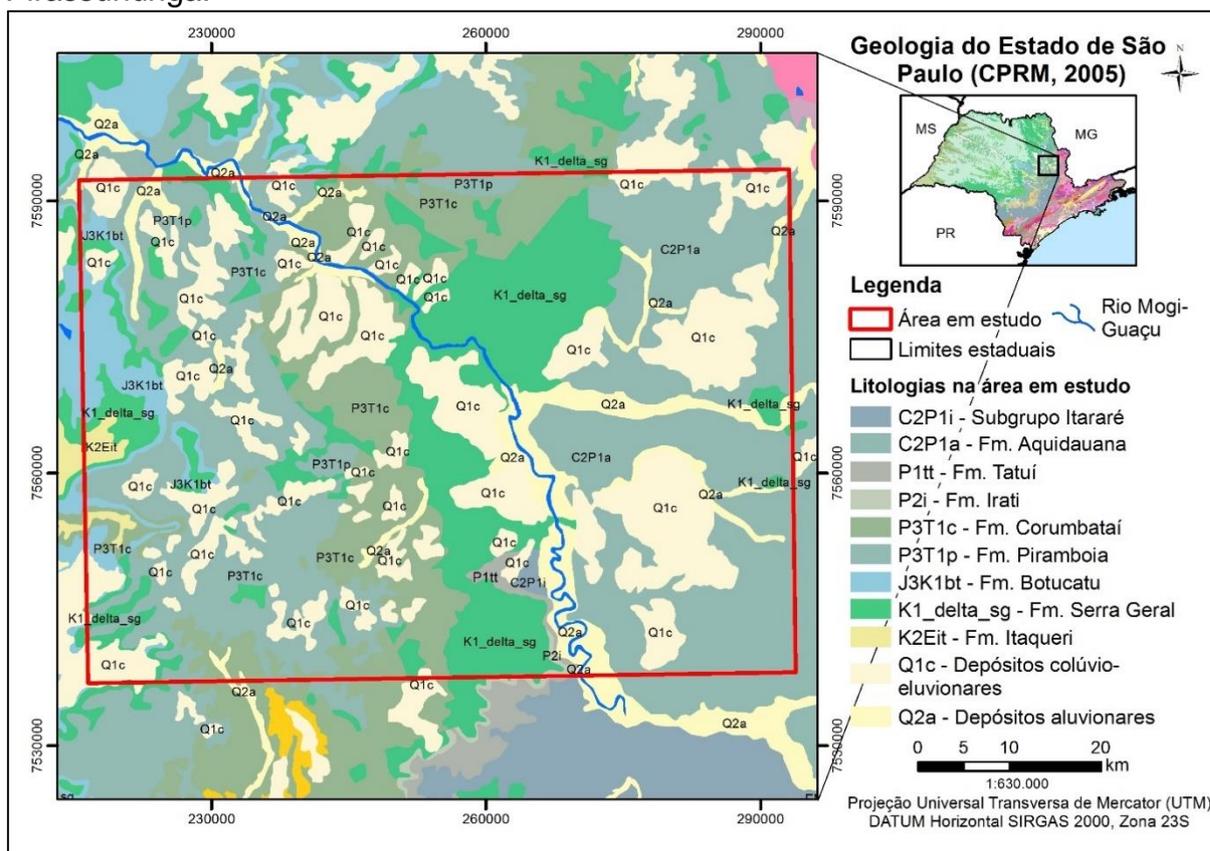


Fonte: Adaptado de Instituto Geológico (IG, 1980, 1981a, 1981b, 1983, 1984a, 1984b).

De acordo com Silva (1997), o Cenozoico está representado na região por sedimentos arenosos da Formação Pirassununga e por sedimentos quaternários recentes ligados à planície aluvial dos rios e lagoas da região (colúvio-aluviais). E, segundo Ferreira (2005), também ocorrem sedimentos arenosos da Formação Santa Rita do Passa Quatro.

Dados geológicos mais recentes do Estado de São Paulo foram apresentados pela CPRM (2005), entretanto, em escala menos detalhada, 1:750.000 (Figura 12). A partir dele observou-se a presença das mesmas formações geológicas apresentadas pelo Instituto Geológico, com a exposição da Formação Aquidauana na porção oeste da área em detrimento das coberturas das formações Pirassununga e Santa Rita do Passa Quatro.

Figura 12 – Geologia do Estado de São Paulo, com destaque para a região de Pirassununga.



Fonte: *Shapefiles* disponibilizados online pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2005).

3.7.1.1 Grupo Tubarão (Permo-Carbonífero)

O Grupo Tubarão é constituído pelo Subgrupo Itararé, pela Formação Aquidauana e pela Formação Tatuí. O primeiro corresponde à unidade basal da Bacia do Paraná e, a Formação Tatuí, ao início da fase pós-glacial da mesma Bacia (SOARES; LANDIM, 1973), com predomínio de transgressões marinhas.

3.7.1.1.1 Subgrupo Itararé e Formação Aquidauana

O Subgrupo Itararé corresponde à unidade basal da Bacia do Paraná, de idade Permo-Carbonífera. Sua origem associa-se a ambientes fluvioglaciais, fluviais, marinhos rasos e de leques aluviais, englobando arenitos imaturos de granulação variada, arcóseos, conglomerados, diamictitos, tilitos, siltitos e ritmitos (LANDIM; SOARES; GAMA, 1980). Nas porções média e superior predominam os sedimentos finos e as estruturas sedimentares são evidenciadas por marcas onduladas, estratificações plano-paralelas e laminações cruzadas (WU, 1989 apud FERREIRA, 2005).

A Formação Aquidauana foi descrita por Lisboa (1909 apud FERREIRA, 2005) e constitui-se, predominantemente, de arenitos vermelho-arroxeados, de granulação média a grossa, feldspatos e, em menor proporção, arenitos finos, conglomerados, siltitos, folhelhos rítmicos e diamictitos. Os arenitos, quando não maciços, apresentam estratificação plano-paralela ou cruzada, acanalada ou tangencial e, podem ainda, apresentar marcas de onda (STEFANI, 2003). O ambiente de deposição é continental, predominantemente fluvial, com depósitos de canal e transbordamento (TOMINAGA, 1981 apud STEFANI, 2003) e a coloração avermelhada indica a condição oxidante do processo sedimentar a que o material foi submetido (SOARES et al., 1973).

3.7.1.1.2 Formação Tatuí

A Formação Tatuí documenta o início da fase pós-glacial da Bacia do Paraná (SOARES; LANDIM, 1973), predominando transgressões marinhas. É constituída por siltitos, arenitos muito finos, calcários e sílex, maciços ou com acamamento plano-paralelo, com colorações marrom e vermelho na parte inferior e, esverdeado e acinzentado para o topo (SILVA, 1997).

Segundo Silva (1997), na região do médio vale do Rio Mogi-guaçu, esta unidade caracteriza-se por siltitos argilosos e argilitos maciços, de cor marrom e matriz contendo grânulos de quartzo fortemente intemperizados.

De acordo com Massoli (1983), existem poucos afloramentos desta unidade, os solos de alteração destas rochas são argilosos, com cores avermelhadas, podendo ser confundidos com terra roxa, da qual se distinguem apenas pela insignificância de magnetita. Tal formação ocorre a nordeste do município de Leme (FREITAS et al., 1979; SOARES; LANDIM, 1973).

3.7.1.2 Grupo Passa Dois (Permiano)

O Grupo Passa Dois é constituído pelas formações Irati e Corumbataí. A primeira unidade, basal, corresponde à fase de máxima transgressão marinha e é constituída pelos membros Taquaral e Assistência. A segunda unidade concerne a um ambiente marinho mais raso, sem divisão em membros (SCHENEIDER et al., 1974).

3.7.1.2.1 Formação Irati

A Formação Irati, que foi redefinida como subgrupo por Hachiro et al. (1993), é composta por siltitos e folhelhos cinzas, bastante intemperizados, com intercalações de matéria orgânica betuminosa disposta em lâminas paralelas, semelhantes a ritmitos, com “bonecas de sílex” típicas, camadas silicificadas e estruturas do tipo *boxwork* preenchidas com calcita, caracterizando o Membro Assistência, parte superior desta unidade (MASSOLI, 1981). O Membro Taquaral, base desta unidade, é formado por folhelhos argilosos betuminosos, calcários dolomíticos e alternâncias destes com calcários dolomíticos silicificados (FERREIRA, 2005).

Os depósitos têm origem em ambiente marinho raso, com condições restritas, fato evidenciado pelos depósitos de folhelhos betuminosos com calcários (SILVA, 1997).

De acordo com Scheneider et al. (1974), esta formação data do Permiano Superior, sendo concordante com a Formação Corumbataí sobreposta e, discordante das rochas intrusivas e depósitos cenozoicos.

Silva (19987) afirma que, na área em estudo, de maneira restrita, tal formação ocorre apenas a norte da cidade de Leme. E, Ferreira (2005) expõe que as suas principais exposições estão localizadas próximo ao distrito de Assistência, no município de Rio Claro.

3.7.1.2.2 Formação Corumbataí

É constituída por argilitos, siltitos e folhelhos de coloração cinza na parte inferior e arroxeadada a avermelhada, na parte superior. Nela são verificadas estruturas plano-paralelas e estratificação cruzada de pequeno porte, laminação cruzada ondulante, marcas ondulares e fraturas conchoidais (IPT, 1981a; SILVA, 1997).

Silva (1997) caracteriza-a por um ambiente marinho progressivamente raso, na parte inferior e, na parte superior, apresenta influência de marés em clima mais oxidante que o da porção inferior, com sedimentação do tipo litorânea.

De acordo com Scheneider et al. (1974), a presença de fósseis de lamelibrânquios, ostracodas, restos de peixes e palinórfos indicam que a sedimentação ocorreu no Permiano Superior.

No município de Santa Cruz das Palmeiras, a nordeste de Pirassununga, próximo aos ribeirões Quebra Cuia e Tabarana, foram encontrados níveis fossilíferos indicando tal formação (MASSOLI, 1981), também ocorre no vale do Rio Corumbataí, ocupando uma área bastante extensa que sofre adelgaçamento nas proximidades de Leme e Pirassununga (FERREIRA, 2005).

3.7.1.3 Grupo São Bento (Triássico a Juro-Cretáceo)

Este grupo é constituído por depósitos fluvioeólicos da Formação Piramboia, datada do fim do Triássico e início do Jurássico; sedimentos eólicos da Formação Botucatu (Juro-Cretáceo) e; pelas rochas da Formação Serra Geral, contemporâneas ao ambiente desértico Botucatu (SILVA, 1997).

3.7.1.3.1 Formação Piramboia

Ela é constituída por arenitos finos a médios, de coloração avermelhada e matriz siltoargilosa, compostos principalmente por grãos de quartzo subarredondados

a angulosos, mal selecionados e, ocasionalmente, intercalados por argilitos e siltitos. Apresentam estratificações cruzadas planares de pequeno a médio porte, cruzadas tangencias na base e, raramente, estratificação cruzada acanalada (SOARES et al., 1973). O ambiente deposicional foi considerado como uma associação de depósitos eólicos de dunas, interdunas e lençóis de areias, entremeados por depósitos fluviais subordinados (ASSINE; SOARES, 1995; CAETANO-CHANG; WU, 1995).

Esta formação desenvolveu-se, provavelmente, no intervalo Triássico Inferior - Jurássico Superior, tendo seu limite superior delimitado pela idade dos basaltos, em ambiente de deposição fluvial com influência eólica (SILVA, 1997).

É discordante, segundo o autor supracitado, da Formação Corumbataí na base e, concordante com os sedimentos da Formação Botucatu. Associam-se a esta unidade *sills* e diques de diabásio, podendo ocorrer falhas nos contatos.

3.7.1.3.2 Formação Botucatu

Wazhburne (1889 apud IPT, 1981a) foi o primeiro a descrever a Fm. Botucatu, designado “Grês de Botucatu”, como arenitos com estratificações cruzadas de grande porte que recobriam as camadas paleozoicas. Ela foi redefinida por Soares (1973) como uma unidade de arenitos eólicos avermelhados, de granulação fina a média, com estratificação cruzada planar de grande a médio porte, muito friáveis ou solidificados, apresentando corpos de arenito na parte basal.

Para Caetano-Chang e Wu (1995), esta formação resulta da deposição em ambiente desértico com domínio do sistema eólico, em condições de total saturação em areia, o que conduziu ao registro de monótonas sucessões de depósitos de dunas e interdunas.

Segundo Soares (1973) e Caetano-Chang (1993), os arenitos da Formação Botucatu devem ter idade Neojurássica a Eocretácea, já que se apresentam interdigitados com os derrames da Formação Serra Geral.

Freitas et al. (1981) mencionaram a possibilidade de ocorrência a sudoeste de Pirassununga, no topo da Serra da Cantareira, na região de Santa Rita do Passa Quatro, a norte de Analândia e a oeste de Pirassununga.

3.7.1.3.3 Formação Serra Geral e Intrusivas Básicas Associadas

A Formação Serra Geral foi definida inicialmente por White (1908 apud SCHNEIDER et al., 1974) para designar um conjunto de basaltos formados por derrames em extenso vulcanismo de fissura, com inclusão de pequenos corpos de arenitos intercalados, semelhantes aos da Fm. Botucatu.

Ela é diferenciada por espessa seção de lavas basálticas, toleíticas, de textura afanítica, coloração cinza escuro a preto, amigdaloidal no topo dos derrames e com desenvolvimento de juntas verticais e horizontais. Associam-se a ela corpos intrusivos de mesma composição constituindo, sobretudo, diques e *sills* (MASSOLI, 1981; SINELLI, 1971; SOARES; SOUZA, 1973; SOUSA, 2002).

Os derrames de basalto no estado de São Paulo, aflorantes nos planaltos de rebordo das *cuestas*, podem cobrir grandes extensões, como na região de Aguaí e a sudeste de Casa Branca (SILVA, 1997). Os corpos intrusivos tabulares concordantes são muito frequentes na Depressão Periférica, Zona de Mogi-guaçu (ALMEIDA, 1964).

O predomínio do clima úmido na região favoreceu a meteorização das rochas, formando um solo agrícola de excelente qualidade, sobre o qual domina o cultivo de cana-de-açúcar (STEFANI, 2003).

Dados geocronológicos mais recentes apontam a época das manifestações vulcânicas para o Eocretáceo, ou seja, esse evento vulcânico ocorreu a 132 ± 1 Ma, embora, derrames precursores tenham ocorrido no Neojurássico (NARDY et al., 1999).

3.7.1.4 Grupo Bauru (Cretáceo-Terciário)

O Grupo Bauru, na região em estudo, é representado pela Formação Itaqueri, constituída por sedimentos depositados em ambientes de leques aluviais sob condições semiáridas.

3.7.1.4.1 Formação Itaqueri

Almeida e Barbosa (1953) atribuíram a designação de Formação Itaqueri para os depósitos arenoconglomeráticos que recobrem as serras de Itaqueri, Santana, São Carlos e Cuscuzeiro, situando-a estratigraficamente sob a Formação Marília, com a

qual constituiria o Grupo Bauru. Litologicamente constitui-se por membros alternados de arenitos com cimento argiloso, folhelhos e conglomerados. Predominam os arenitos, com ocorrências localizadas de corpos lenticulares alongados e camadas de conglomerados basais.

Segundo Riccomini (1997), a erosão pós-basáltica desencadeou um aplainamento generalizado, preparando o substrato para a deposição da Formação Itaqueri. A sedimentação aconteceu sob condições de média a alta energia e, com ela, os leques aluviais rudáceos, bem desenvolvidos na Serra de Itaqueri e no flanco leste da Serra de São Pedro, passaram a ter aporte mais arenoso nas direções oeste e noroeste. Almeida e Barbosa (1953) admitem que a contribuição dos materiais da Fm. Estrada Nova (seixos de folhelhos), de rochas magmáticas extrusivas (basaltos) e hipoabissais (diabásios) nesta deposição sugerem que os altos estruturais adjacentes tenham também atuado como áreas-fonte destes materiais, exemplo do Anticlinal de Pitanga, possivelmente alçado no Neocretáceo (Maastrichiano). Existem diferenças entre as cotas de ocorrência em diferentes serras mapeadas, certamente relacionadas ao tectonismo pós-sedimentar, cujas descontinuidades parecem ter influenciado na configuração atual dos platôs que sustentam a Formação Itaqueri, direcionando os agentes erosivos, o que tem causado o recuo da escarpa basáltica e de sua cobertura.

Coimbra et al. (1981 apud RICCOMINI, 1997) caracterizaram os processos de silicificação dos arenitos e conglomerados como de natureza hidrotermal e contemporâneos à sedimentação elástica, ocorrentes nas serras do Itaqueri e de São Carlos. Relacionaram geneticamente este hidrotermalismo com a intrusão alcalina de Jaboticabal (datada de 54 Ma) encontrada, juntamente aos arenitos silicificados, ao longo do Alinhamento do Rio Mogi-guaçu. Desta forma, a sedimentação da Formação Itaqueri teria idade Terciária Inferior (Paleoceno/Eoceno), podendo estar vinculada à Superfície do Japi.

Riccomini (1997) expõe ainda que as estruturas rúpteis, em especial falhas e juntas, geradas durante o tectonismo deformador, relacionam-se com as movimentações dos alinhamentos estruturais do Tietê, São Carlos-Leme e Mogi-guaçu, possuindo eixo de tensão principal com orientação NW.

3.7.1.5 Coberturas Cenozoicas (Terciário – Quaternário)

As ocorrências de depósitos na região da Depressão Paulista vêm sendo mencionadas desde Moraes Rego (1932) e Almeida e Barbosa (1953), entretanto, apenas na década de 1960 as coberturas Cenozoicas foram sistematicamente estudadas, em especial por Björnberg (1965), Björnberg e Landim (1966) e Mezzalira (1961, 1962).

Mezzalira (1965) descreveu, pela primeira vez, a ocorrência de coberturas Cenozoicas na região do vale do Rio Mogi-guaçu, referindo-se aos “areióes” encontrados nos municípios de Aguaí, Conchal, Pirassununga e Vargem Grande do Sul, assentados discordantemente sobre os sedimentos Paleozoicos da Formação Corumbataí nas regiões de Pirassununga e Porto Ferreira; sobre *sills* de diabásio em Cachoeira de Emas, município de Pirassununga; e, sobre o embasamento cristalino de idade Pleistocênica em Vargem Grande do Sul.

Tais depósitos relacionam-se com o desenvolvimento de superfícies geomorfológicas e, portanto, com a topografia (SOARES, 1973; SOARES; LANDIM, 1973; SOARES; LANDIM, 1976). Soares et al. (1973) destacam que depósitos Cenozóicos mais recentes, localizados a nordeste do Estado, aparecem associados aos principais vales e/ou escarpas da região, constituindo os aspectos mais seguros na diferenciação dos tipos de depósitos. Estes depósitos, associados ao Ciclo Rio das Velhas, ocorrem embutidos na Depressão Periférica, constatando sua relação com a drenagem subatual (terraços aluviais), devido à atuação de soleiras ou barramentos litológicos que possibilitaram a ocorrência de processos de agradação e colúviação em áreas extensas (SOARES; LANDIM, 1973).

Soares e Landim (1976) afirmam ainda que tais depósitos são evidenciados na Zona Geomorfológica do Médio Tietê descrita por Almeida (1964), ocorrendo sob a forma de terraços nos principais rios.

Os mesmos autores acrescentam que, em fotos aéreas, os depósitos estão distribuídos em colinas amplas e espigões, nos vales e em meia encosta com perfil convexo, possuindo como característica marcante formas em depressões fechadas e lagoas circulares, baixa densidade de drenagem, padrão dendrítico e cobertura vegetal esparsa, do tipo cerrado.

Dentre as Coberturas Cenozoicas, na região em estudo, são citadas as formações Pirassununga e Santa Rita do Passa Quatro.

3.7.1.5.1 Formação Pirassununga

Freitas et al. (1979) caracterizaram os depósitos arenosos que recobrem indistintamente as unidades geológicas da Bacia do Paraná, localizados apenas na região de Pirassununga e Porto Ferreira, como sendo a Formação Pirassununga. Constituída essencialmente por sedimentos arenosos inconsolidados, de coloração vermelho-amarelada, com estrutura maciça, seleção granulométrica pobre, grãos variando de subangulosos a subarredondados e apresentando linha de seixos na base. Os mesmos autores afirmam que, em afloramentos, não ultrapassam os 20 m de espessura e são datados como de idade Terciária.

Posteriormente, em levantamentos geológicos realizados pelo Instituto Geológico, esta denominação foi ampliada a uma área maior, ocupando principalmente o vale do Rio Mogi-guaçu (SILVA, 1997).

Segundo Vieira (1982 apud SILVA, 1997), a Fm. Pirassununga apresenta maior extensão na região do Rio Capetinga e parte da sedimentação ocorreu devido ao barramento por soleiras de basaltos, descritos por Soares e Landim (1973). Vieira (1982 apud SILVA, 1997) acrescenta que as cascalheiras encontradas correspondem a depósitos do tipo *point-bar*, formados por migração lateral de canais ou de planícies de inundação.

Desta forma, o contato com as rochas subjacentes é marcado por uma superfície erosiva irregular, de desnível variado, sotoposta a cascalhos, com presença de seixos de sílex, quartzo e fragmentos de limonita. Comumente são encontrados recobrimo os espigões ou preenchendo paleovales escavados em rochas mais antigas. Fúlfaro (1979) sugeriu dividi-la com base nas suas áreas de ocorrência, sendo elas depósitos de espigão, depósitos frontais a escarpas regionais (pedimentos) e depósitos de paleovale.

Massoli (1983) descreve a ocorrência destes sedimentos também na região de Aguaí, borda oriental da Bacia do Paraná. E, Melo (1995), caracteriza os depósitos da Fm. Pirassununga como sendo sedimentos colúvio-eluviais, situados em topos e em rampas de colinas amplas, atribuindo a eles idade Quaternária, com base em datações com C¹⁴.

3.7.1.5.2 Formação Santa Rita do Passa Quatro

Massoli (1980), estudando a folha de Santa Rita do Passa Quatro, identificou coberturas Cenozoicas de pouca espessura, não ultrapassando os 10 m, com presença de *stone line* ou com cascalheira de quartzo e fragmentos de limonita capeando uma antiga superfície de erosão na base. A estes sedimentos deu o nome de Formação Santa Rita do Passa Quatro, a qual se distingue da Fm. Pirassununga por estar situada entre as cotas 700 e 940 m e apresentar características texturais distintas (MASSOLI, 1981).

O mesmo autor caracteriza esta formação como sedimentos constituídos por areias que podem ser confundidos, facilmente, com os solos originários da alteração das formações Botucatu e Piramboia. Devido à sua deposição aluvial, não apresentam estrutura sedimentar. Na base pode ser observada uma linha de seixos e/ou cascalhos constituída, predominantemente, por seixos de quartzo e fragmentos de limonita.

Devido à alta porcentagem de areia, constitui solos porosos e permeáveis, facilmente erodíveis, justificando a presença comum de voçorocas que podem inutilizar grandes áreas (MASSOLI, 1981).

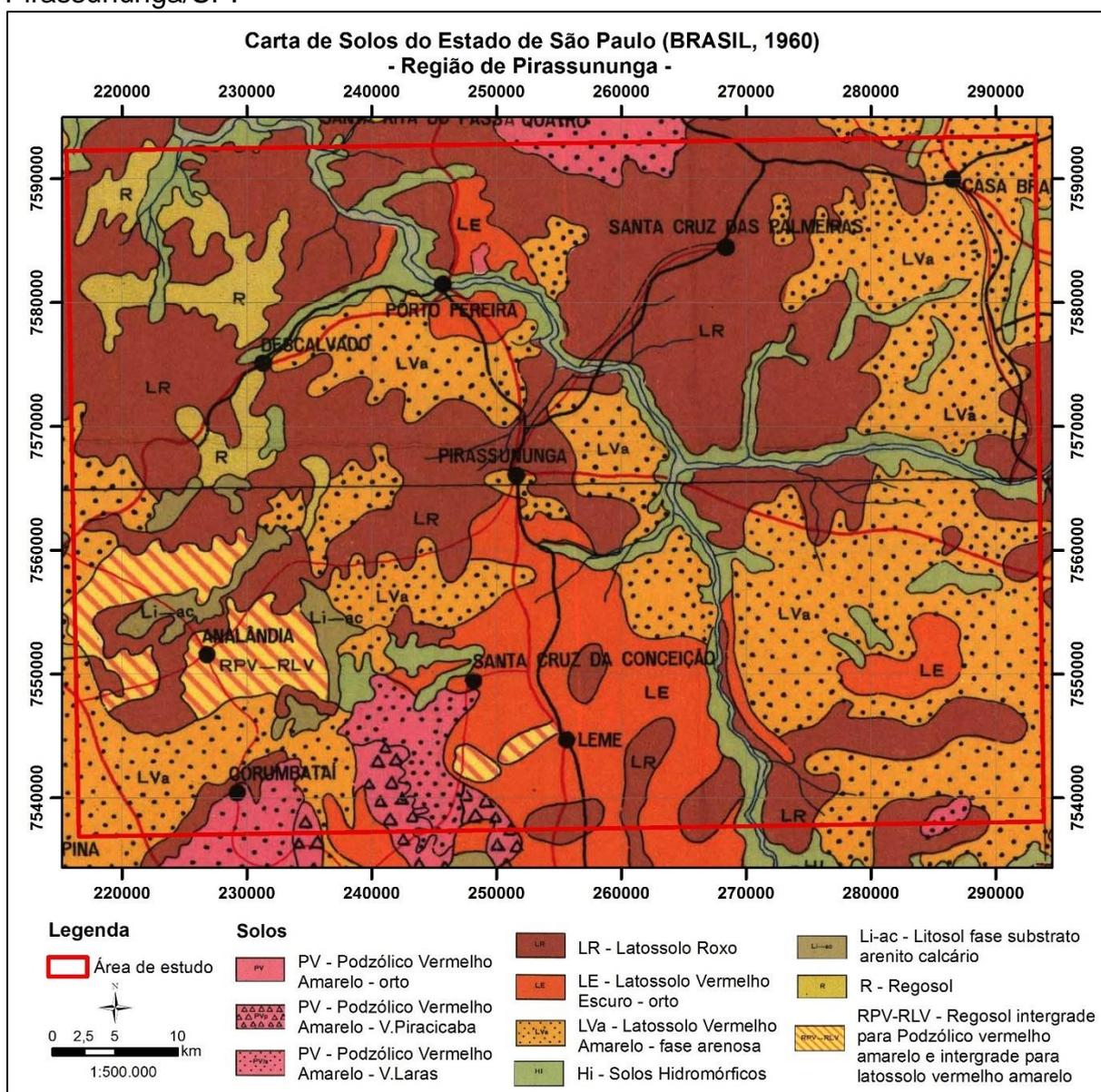
3.8 Pedologia

Os solos correspondem a corpos naturais formados por materiais orgânicos e minerais que ocupam a maior parte do manto superficial continental do nosso planeta. Eles contêm matéria viva, podem ser vegetados e alterados por atividades antrópicas. Constituem seções, quando observados a partir da superfície, organizadas em camadas e/ou horizontes, aproximadamente paralelas, distintas do material de origem inicial devido a adições, perdas, translocações e transformações de energia e matéria, que ocorrem sob a influência dos fatores clima, organismos e relevo ao longo do tempo. Os horizontes refletem os processos de formação do solo a partir do intemperismo do substrato rochoso ou de sedimentos de diversas origens. De modo geral, em profundidade, o solo passa gradualmente para rocha dura, saprólitos ou para sedimentos que não apresentam sinais de atividade biológica (SANTOS et al., 2013).

Um dos primeiros mapas de solos desenvolvidos para o Estado de São Paulo data de 1941 e relacionava os materiais litológicos da Bacia do Paraná com o seu

desenvolvimento, de acordo com a proposta de Setzer (1941). Em 1960, um esforço da Comissão Nacional de Solos gerou a “Carta de Solos do Estado de São Paulo”, apresentada em escala 1:500.000 (Figura 13).

Figura 13 – Carta de Solos do Estado de São Paulo, destaque para a região de Pirassununga/SP.



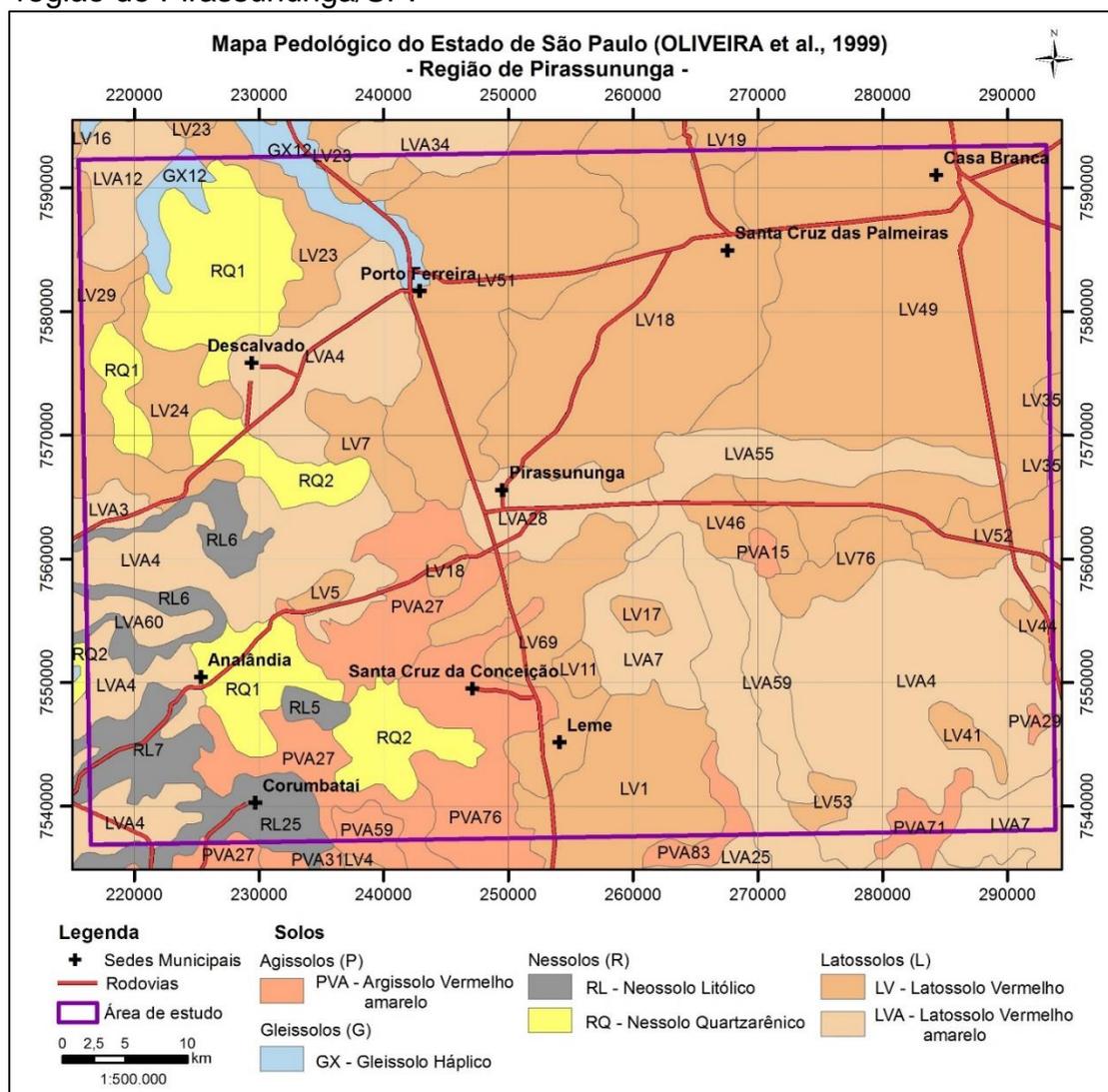
Fonte: BRASIL (1960).

Nesta carta predominam, na região em estudo, Latossolos Roxos (LR), Vermelho-escuros-orto (LE) e Vermelho-amarelos fase arenosa (LVa); Podzólicos Vermelho-amarelos-orto (PV), Vermelho-amarelos variação Piracicaba e variação Laras; Solos Hidromórficos (Hi); Litosolos fase substrato arenito calcário (Li-ac);

Regossolos (R) e Regossolos *intergrade* para Podzólicos Vermelho-amarelos e *intergrade* para Latossolos Vermelho-amarelos (RPV-RLV).

Com o desenvolvimento dos conhecimentos pedológicos, o aperfeiçoamento de técnicas de prospecção e a existência de mapas-base mais precisos e atualizados, além de fotos aéreas, tornaram-se mais confiáveis as informações posteriormente geradas. Em 1999, o Instituto Agrônomo de Campinas conjuntamente a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa (OLIVEIRA et al., 1999a - Figura 14) atualizou o mapa pedológico de 1960. O qual foi, posteriormente, integrado e complementado mediante a compilação de mapeamentos em escala 1:100.000, desenvolvidos pelo IAC (1981a, 1981b, 1982) para grande parte do Estado de São Paulo.

Figura 14 – Mapa Pedológico do Estado de São Paulo, destaque para a região de Pirassununga/SP.



Fonte: Adaptado de Oliveira et al. (1999a).

De acordo com o Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (OLIVEIRA, 1999), também em escala 1:500.000, ocorrem na área em estudo predominantemente Latossolos Vermelhos (LV), além de Latossolos Vermelho-amarelos (LVA), Argissolos Vermelho-amarelos (PVA), Neossolos Litólicos (RL), Neossolos Quartzarênicos (RQ) e Gleissolos Háplicos (GX). A descrição de cada uma das classes de solos presentes na área em estudo é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Descrição das classes de solos que ocorrem na região de Pirassununga.

Latossolos Vermelhos (Latossolos Roxos + Latossolos Vermelho-escuros)	
LV1	Eutroféricos e Distroféricos A moderado textura argilosa (relevo plano e suave ondulado)
LV5	Eutroféricos e Distroféricos textura argilosa + Latossolos Vermelhos Distróficos textura média ambos A moderado (relevo suave ondulado)
LV7	Eutroféricos e Distroféricos textura argilosa + Latossolos Vermelhos Distróficos textura média ambos A moderado (relevo suave ondulado) + Argissolos Vermelho-amarelos Distróficos arênicos A moderado textura arenosa/média (relevo ondulado)
LV11	Distroféricos A moderado textura argilosa (relevo suave ondulado)
LV17	Distroféricos e Distróficos ambos A moderado textura argilosa (relevo suave ondulado)
LV18	Distroféricos textura argilosa e Distróficos textura média ambos A moderado (relevo suave ondulado e plano)
LV19	Distroféricos textura argilosa e Distróficos textura média ambos A moderado (relevo suave ondulado e ondulado)
LV23	Distroféricos A moderado + Neossolos Litólicos Eutróficos A moderado e chernozênico ambos textura argilosa (relevo forte ondulado) + Neossolos Quartzarênicos Órticos distróficos A moderado (relevo suave ondulado)
LV24	Distroféricos A moderado + Neossolos Litólicos Eutróficos A moderado e chernozênico ambos textura argilosa (relevo forte ondulado) + Latossolos Vermelhos Distróficos A moderado textura média (relevo suave ondulado)
LV29	Distroféricos e Eutroféricos textura argilosa + Latossolos Vermelhos distróficos todos A moderado (relevo suave ondulado) + Nitossolos Vermelhos eutroféricos (relevo ondulado) + Neossolos Litólicos eutróficos A moderado e chernozênico (relevo forte ondulado)
LV35	Acriféricos e Distroféricos + Latossolos Vermelhos distroféricos (relevo suave ondulado) + Nitossolos Vermelhos eutroféricos (relevo ondulado) todos A moderado textura argilosa
LV41	Distróficos A moderado textura argilosa (relevo suave ondulado)
LV44	Distróficos A moderado textura argilosa e média (relevo suave ondulado)
LV46	Distróficos A moderado textura média e argilosa (relevo suave ondulado)
LV49	Distróficos + Latossolos Vermelhos Distroféricos ambos A moderado textura média (relevo suave ondulado)
LV51	Distróficos + Latossolos Vermelhos Distroféricos textura argilosa ambos A moderado e proeminente (relevo suave ondulado e plano)
LV52	Distróficos textura argilosa e média + Latossolos Vermelhos Distroféricos textura argilosa ambos A moderado (relevo suave ondulado)
LV53	Distróficos + Latossolos Vermelhos distroféricos ambos A moderado textura argilosa (relevo suave ondulado)
LV69	Distróficos + Latossolos Vermelhos Distroféricos e Eutroféricos todos textura argilosa (relevo suave ondulado) + Latossolos Vermelho-amarelos Distróficos textura média e argilosa (relevo suave ondulado e plano) todos A moderado
LV76	Distroféricos textura argilosa + Latossolos Vermelho-amarelos Distróficos textura média ambos A moderado (relevo suave ondulado) + Gleissolos Háplicos e Melânicos A proeminente ambos Distróficos (relevo de várzea)

Tabela 2 - Descrição das classes de solos que ocorrem na região de Pirassununga.

Latossolos Vermelho-amarelos	
LVA3	Distróficos A moderado textura média e argilosa (relevo suave ondulado)
LVA4	Distróficos A moderado textura média (relevo suave ondulado)
LVA7	Distróficos A moderado textura argilosa e média (relevo suave ondulado e plano)
LVA12	Distróficos textura média + Neossolos Quartzarênicos Órticos distróficos ambos A moderado (relevo suave ondulado)
LVA28	Distróficos textura média + Latossolos Vermelhos Distróficos textura argilosa ambos A moderado (relevo suave ondulado)
LVA34	Distróficos textura média + Latossolos Vermelhos distróficos textura argilosa ambos A moderado (relevo suave ondulado e ondulado)
LVA55	Distróficos câmbicos + Cambissolos Háplicos ambos A moderado e proeminente textura indiscriminada (relevo plano) + Gleissolos Melânicos e Háplicos (relevo de várzea) todos distróficos
LVA59	Distróficos A moderado textura média e argilosa + Latossolos Vermelhos Distróficos textura argilosa ambos A moderado (relevo suave ondulado e plano) + Gleissolos Háplicos e Melânicos (relevo de várzea)
LVA60	Distróficos A proeminente textura argilosa + Plintossolos Pétricos concrecionários A moderado ou proeminente (relevo ondulado e suave ondulado) + Latossolos Vermelho-amarelos textura argilosa ou média (relevo suave ondulado) + Argissolos Vermelho-amarelos A moderado textura média/argilosa (relevo ondulado) fase pedregosa I todos Distróficos
Argissolos Vermelho-amarelos (Podzólicos Vermelho-amarelos)	
PVA15	Distróficos A moderado textura argilosa e média/argilosa (relevo suave ondulado e ondulado)
PVA27	Distróficos abrupticos A moderado textura arenosa/média e média/argilosa (relevo ondulado)
PVA29	Distróficos arênicos A moderado textura arenosa/média (relevo ondulado)
PVA59	Distróficos abrupticos textura média/argilosa + Argissolos Vermelho-amarelos Distróficos textura argilosa e média/argilosa ambos A moderado (relevo ondulado)
PVA71	Distróficos textura arenosa/média (relevo ondulado) + Latossolos Vermelho-amarelos Distróficos textura média (relevo suave ondulado) + Nitossolos Vermelhos Eutroféricos e Distroféricos textura argilosa (relevo ondulado) todos A moderado
PVA76	Distróficos abrupticos ou não, arênicos ou não, A moderado textura arenosa/média (relevo suave ondulado e ondulado) + Neossolos Litólicos Eutróficos A moderado e proeminente textura indiscriminada (relevo ondulado)
PVA83	Distróficos abrupticos textura média/argilosa + Neossolos Litólicos Eutróficos textura argilosa textura argilosa (relevo ondulado) + Latossolos Vermelhos Distróficos textura argilosa (relevo suave ondulado) + Nitossolos Vermelhos Eutroféricos e Distroféricos textura argilosa (relevo ondulado) todos A moderado
Neossolos Litólicos (Solos Litólicos)	
RL5	Eutróficos A moderado e chernozênico (relevo forte ondulado) + Nitossolos Vermelhos Eutroféricos e Distroféricos latossólicos + Latossolos Vermelhos Distroféricos ambos A moderado (relevo suave ondulado) e todos textura argilosa
RL6	Eutroféricos + Latossolos Vermelhos Distroféricos + Latossolos Vermelhos Distróficos (relevo suave ondulado) todos textura argilosa + Latossolos Vermelho-amarelos Distróficos textura média (relevo suave ondulado) todos A moderado
RL7	Eutróficos A moderado ou chernozênico (relevo ondulado) + Latossolos Vermelhos Distroféricos A moderado (relevo suave ondulado) ambos textura argilosa + Argissolos Vermelho-amarelos Distróficos abrupticos textura arenosa/média (relevo suave ondulado e ondulado) + Nitossolos Vermelhos Distroféricos e Eutroféricos textura argilosa (relevo ondulado) ambos A moderado
RL25	Eutróficos e Distróficos textura indiscriminada (relevo ondulado e forte ondulado) + Argissolos Vermelho-amarelos Distróficos abrupticos (relevo ondulado) ambos A moderado + Gleissolos Háplicos e Melânicos ambos Distróficos (relevo de várzea)
Neossolos Quartzarênicos (Areias Quartzosas, Areias Quartzosas Hidromórficas)	
RQ1	Órticos Distróficos A moderado (relevo suave ondulado e plano)
RQ2	Órticos + Latossolos Vermelho-amarelos textura média ambos Distróficos A moderado (relevo suave ondulado)

Tabela 2 - Descrição das classes de solos que ocorrem na região de Pirassununga.

Gleissolos Háplicos (Gleis pouco húmicos, Hidromórficos cinzentos)	
GX12	Grupamento indiscriminado de Gleissolos Háplicos e Melânicos (relevo de várzea)

Fonte: Oliveira et al. (1999b).

Em 2001, a Embrapa disponibilizou um *shapefile* dos “Solos do Brasil”, em escala 1:5.000.000 (EMBRAPA, 2001). A partir dele observou-se que, na região de Pirassununga, ocorrem Argissolos Vermelho-amarelos distróficos, Latossolos Vermelho-amarelo distróficos, Latossolos Vermelhos distróficos e distroféricos e Organossolos húmicos associados a Gleissolos distróficos e Tb distróficos.

A seguir estão caracterizados os diferentes tipos de solos, segundo a bibliografia, que ocorrem na região em estudo.

3.8.1 Argissolos (Podzólicos)

São solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural (Bt), com argila de atividade baixa ou alta conjugada com saturação por bases baixa ou caráter alítico. Apresentam evolução avançada com atuação incompleta de processo de ferralitização, em conexão com paragênese caulínico-oxídica ou virtualmente caulínica ou vermiculita com hidróxi-Al entrecamadas na vigência de mobilização de argila da parte mais superficial do solo, com concentração ou acumulação em horizonte subsuperficial (SANTOS et al., 2013).

Grande parte dos solos desta classe, de acordo com Santos et al. (2013), apresenta um evidente incremento no teor de argila do horizonte superficial para o horizonte B, com ou sem decréscimo nos horizontes subsequentes. A transição entre os horizontes normalmente é clara, abrupta ou gradual. São solos com profundidade variável, desde forte a imperfeitamente drenados e a textura varia de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte Bt. São de forte a moderadamente ácidos, com saturação por bases alta ou baixa e predominantemente caulínicos.

Estes, quando de elevado gradiente textural, são muito suscetíveis à erosão, necessitando de cuidados especiais, principalmente os tipos arênicos e espessarênicos (OLIVEIRA, 1999). Nas regiões serranas é comum a presença de afloramentos rochosos associados a esses solos. Essas características estão geralmente associadas a relevos fortemente ondulados e montanhosos, o que limita

tais solos ao uso agrícola. Na região de Pirassununga, a maioria dos Argissolos apresentam caráter distrófico.

3.8.2 Cambissolos

Os Cambissolos são solos pouco desenvolvidos, constituídos por material mineral, presença de horizonte B incipiente (Bi), com argila de atividade baixa e/ou saturação por bases baixa e textura francoarenosa ou mais argilosa, a pedogênese pouco avançada é evidenciada pela quase nula estruturação do solo (SANTOS et al., 2013).

Esta classe de solo, devido à heterogeneidade do material de origem, das formas de relevo e das condições climáticas, comporta solos desde imperfeitamente a fortemente drenados, rasos a profundos, de baixa a alta saturação por bases e atividade química da fração argila, a coloração é bruno/bruno-amarelada a vermelho-escura. O *solum* apresenta, comumente, teores uniformes de argila e, em solos de origem aluvial ou onde houve descontinuidades litológicas ou estratificação do material de origem, é admitida uma diferença marcante na granulometria do horizonte A para o Bi (SANTOS et al., 2013).

Os mesmos autores afirmam ainda que o horizonte Bi pode apresentar estrutura blocosa, granular, prismática, em grãos simples ou maciça, também sendo admitida a presença de plintita ou gleização.

3.8.3 Gleissolos

Os Gleissolos descritos por Oliveira et al. (1999a, 1999b) correspondem aos Solos Hidromórficos descritos por Brasil (1960). São solos com expressiva gleização, resultantes de processos de intensa redução de compostos de ferro, em presença de matéria orgânica, com ou sem alternância de oxidação, devido à flutuação do nível do lençol freático, em condições de regime de excesso de umidade permanente ou periódico. São solos minerais, hidromórficos, que apresentam horizonte glei dentro de 50 cm a partir da superfície ou a profundidades entre 50 cm e 1,5 m, desde que imediatamente abaixo dos horizontes A ou E (com ou sem gleização), ou de horizonte hístico com espessura insuficiente para definir a classe dos Organossolos (SANTOS et al., 2013).

O processo de gleização, segundo Santos et al. (2013), implica a manifestação de cores acinzentadas, azuladas ou esverdeadas devidas à redução e solubilização do ferro, permitindo a expressão de cores neutras dos minerais de argila ou ainda a precipitação de compostos ferrosos. Ocasionalmente podem ter textura arenosa, somente nos horizontes superficiais, desde que seguidos de horizontes glei de textura francoarenosa ou mais fina.

São solos intrazonais em que as características zonais não se desenvolveram devido à grande influência de água no solo, condicionada, principalmente, pelo relevo plano e pouco profundo. Suas características estão associadas ao encharcamento, que pode determinar a acumulação de matéria orgânica na primeira camada ou o fenômeno de redução nas camadas subjacentes, acusado pela sua cor característica e compreendendo, respectivamente, solos orgânicos e solos minerais (OLIVEIRA, 1999).

São solos regulares à agricultura, no entanto, devido ao excesso de água, devem ser drenados adequadamente para serem aproveitáveis, apresentando restrições ao uso de maquinaria agrícola. Outro fator que dificulta o uso de maquinaria corresponde à textura, entretanto, não há restrições quanto ao relevo e à pedregosidade.

3.8.4 Latossolos

Os Latossolos correspondem a solos com presença de horizonte B latossólico, em sequência a qualquer tipo de horizonte A, o aumento no teor de argila do horizonte A para o B é pouco acentuado e, a relação B/A, não satisfaz aos requisitos para ser considerado um horizonte B textural. De modo geral, os teores da fração argila no *solum* podem aumentar gradativamente com a profundidade ou permanecer constantes ao longo do perfil. São solos muito evoluídos devido a expressiva atuação do processo de latossolização (ferruginização, ferratização, bauxitização, plintificação, mono/bissialitização), o que resulta numa intensa intemperização dos minerais primários e/ou secundários menos resistentes. Apresentam baixa capacidade de troca catiônica da fração argila e relativa concentração de argilominerais resistentes e/ou óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, com inexpressiva mobilização ou migração de argila, ferrólise, gleização ou plintificação (SANTOS et al., 2013).

São solos, de acordo com os mesmos autores, fortemente a bem drenados, normalmente muito profundos, com espessura do *solum* normalmente superior a 1 metro. Têm sequência de horizontes A, B e C, com pouca diferenciação de sub-horizontes e transições usualmente difusas ou graduais. Predominam solos fortemente ácidos, com baixa saturação por bases, distróficos ou alumínicos.

Segundo Oliveira (1999), são solos com boas propriedades físicas e situados, em sua maioria, em relevo favorável ao uso intensivo de máquinas agrícolas, com exceção dos solos de regiões serranas. Os Latossolos tendem a apresentar porosidade e friabilidade elevadas, facilitando o manejo agrícola. Sua principal limitação corresponde à baixa disponibilidade de nutrientes nos solos distróficos e a toxicidade por alumínio trocável. Porém, como o relevo favorece a mecanização, tais deficiências tornam-se de fácil correção, desde que aplicada a tecnologia adequada.

A classe dos Latossolos constitui o agrupamento de solos mais extenso do Estado de São Paulo, ocupando cerca de 50% da sua área (BRASIL, 1960). Mesmo os Latossolos muito argilosos apresentam excelentes porosidades totais, sendo comuns valores entre 50 e 60%.

Devido à sua elevada permeabilidade interna e à baixa capacidade adsortiva, esses solos de textura mais grossa qualificam-se como pouco filtrantes, o que aumenta a possibilidade de contaminação dos aquíferos pelos materiais tóxicos neles depositados.

Segundo Oliveira (1999), a baixa atividade das argilas dos Latossolos confere a eles diminuta expansibilidade e contratibilidade, qualificando-os como de textura argilosa, excelente material para o piso de estradas.

3.8.5 Neossolos

Os Neossolos correspondem a solos pouco evoluídos, sem horizonte B diagnóstico definido, com espessuras inferiores a 20 cm, são solos em vias de formação, constituídos por material mineral ou orgânico pouco espesso que não apresenta alterações expressivas em relação ao material de origem, em razão da baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, o que se deve às características inerentes ao próprio material de origem (como a maior resistência ao intemperismo ou composição química-mineralógica) ou à influência dos demais

fatores de formação (clima, relevo ou tempo), que podem impedir e/ou limitar a evolução dos solos (SANTOS et al., 2013).

Os Neossolos, descritos por Oliveira et al. (1999a, 1999b), correspondem aos Solos Litólicos, Regossolos e Regossolos *intergrade* para Podzólicos Vermelho-amarelos e *intergrade* para Latossolos Vermelho-amarelos definidos por Brasil (1960). Eles incluem também as Areias Quartzosas e Areias Quartzosas Hidromórficas identificadas em diversos mapas-base utilizados na elaboração do Mapa Pedológico exposto por Oliveira et al. (1999a).

De acordo com Oliveira (1999), em geral, são solos muito profundos e essencialmente arenoquartzosos, o que determina a ausência de minerais primários intemperizáveis, com atividade coloidal muito baixa, além da baixa capacidade de retenção de nutrientes e água. Devido às suas baixas adesão e coesão, apresentam elevada erodibilidade. Possuem sequência de horizontes A e C originados de arenitos (principalmente das formações Botucatu e Piramboia) e, normalmente, são ácidos e com fertilidade aparente muito baixa.

Sua pobreza em nutrientes torna imprescindível a aplicação de insumos para que sejam possíveis produções satisfatórias. Seu baixo poder tampão, contudo, exige que as aplicações de insumos sejam efetuadas parceladamente, de forma a minimizar as perdas e evitar a saturação do complexo sortivo.

Ocupam geralmente as partes mais baixas do relevo, em depressões ou beira de rios, sendo também encontrados ao redor de morros ou afloramentos de arenito, onde se nota a influência direta do material de origem na sua formação.

Como consequência da textura grosseira, são muito porosos e com alta permeabilidade, o que, somado à sua baixa capacidade adsortiva, caracteriza-os como material pouco adequado para receber efluentes contendo produtos que sejam nocivos à vida. Também são pouco adequados para aterros sanitários, lagoas de decantação e outros usos correlatos, devido à facilidade de contaminação dos aquíferos. Durante o período seco, podem apresentar limitações quanto à disponibilidade hídrica e trafegabilidade, sendo também utilizados como fonte de areia para construções (OLIVEIRA, 1999).

São solos apropriados para o reflorestamento e conservação da vegetação natural, muito utilizados para esparsas culturas de mandioca, *citrus* e outras plantas frutíferas.

3.8.6 Organossolos

Correspondem ao grupamento de solos orgânicos, onde predominam os atributos dos constituintes orgânicos sobre os minerais, são pouco evoluídos, de coloração preta ou cinzenta resultante da acumulação de resíduos vegetais em decomposição, com desenvolvimento de horizonte hístico (H). Normalmente são solos ácidos, com alta capacidade de troca catiônica e baixa saturação por bases (SANTOS et al., 2013).

Os mesmos autores afirmam que, em condições naturais, a mineralização da matéria orgânica e a transformação dos resíduos vegetais são lentas, entretanto, a drenagem destes solos, por exemplo para o uso agrícola, induz ao processo de subsidência, acelerando a decomposição da matéria orgânica e, desta forma, induzindo à sua degradação. A intensidade desta degradação depende da composição e espessura dos materiais orgânicos depositados, das condições do clima e hidromorfismo e da intensidade do manejo (drenagem, calagem e adubação).

Estes solos ocorrem, comumente, nas áreas baixas de várzeas, depressões e locais de nascentes, com vegetação hidrófila, em ambientes saturados permanente ou periodicamente por água ou em clima úmido, frio e com vegetação altomontana, saturado com água apenas por poucos dias durante o período chuvoso (SANTOS et al., 2013).

3.9 Socioeconomia

O processo histórico de ocupação humana, econômica e cultural da região de Pirassununga está relacionado com o Ciclo do Bandeirismo no século XVII e com a construção da Estrada de Ferro pela Companhia Paulista de Estrada de Ferro, a partir de 1870, por onde eram escoadas, principalmente, as produções de café (VM, 2015). Em meados da década de 1950 a Rodovia Anhanguera (SP-330) foi asfaltada e seu traçado deslocou o antigo eixo de Goiás para Oeste, favorecendo o desenvolvimento da região de Pirassununga. Na década de 1970 foi concluída a transferência da Academia de Força Aérea do Rio de Janeiro para Pirassununga e foi criada, em Cachoeira de Emas, o Centro Nacional de Pesquisa de Peixes Tropicais, pertencente ao IBAMA. Na década de 1980 a Rodovia Anhanguera foi duplicada, aumentando ainda mais o crescimento econômico e populacional. E, no fim da mesma década, foi

instalado no município o maior *campus* da Universidade de São Paulo - USP (PIRASSUNUNGA, 2016).

Segundo a prefeitura municipal (PIRASSUNUNGA, 2016), a partir do início do século XXI, Pirassununga passou a receber importantes investimentos, tanto públicos quanto privados, no setor da construção civil (especialmente para a verticalização da área urbana), no setor de serviços (ampliação das cadeias de varejo), no setor da educação (aumento no número de cursos oferecidos pela USP e criação de novas faculdades privadas) e no setor da indústria (expansão do setor sucroalcooleiro, com a ampliação das usinas de açúcar e álcool e criação de novos polos industriais, os quais atraíram novas empresas), condicionando um novo ciclo de crescimento econômico que perdura até hoje. O setor de serviços, atualmente, é que tem maior participação no produto interno bruto do município, seguido da indústria, ficando a agropecuária com a menor parcela de participação (IBGE, 2015).

Além da cana-de-açúcar, destaca-se a citricultura, a produção de café (uma das mais tradicionais no Estado), soja e batatas na região. A agropecuária também tem destaque por apresentar, em muitos casos, rendimentos físicos por hectare superiores à média estadual, sendo registrados ganhos de produtividade, melhora dos processos produtivos e introdução constante de inovações tecnológicas. Além disso, a produção agropecuária apresenta grande articulação com a indústria, formando complexos agroindustriais, com elevada participação de produtos exportáveis ou destinados ao mercado urbano de maior poder aquisitivo (IBGE, 2015).

Com relação à dinâmica populacional, a Tabela 3 traz os valores de população real em 2010, população estimada para 2015, crescimento populacional estimado para 2015, densidade demográfica e IDHM (Índice de Desenvolvimento Humano Municipal) para os municípios estudados. Sendo que os dados de população real, população estimada e densidade demográfica foram obtidos a partir da “Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais”, apresentando estimativas da população residente com data de referência 1º de julho de 2014 publicada no Diário Oficial da União em 28/08/2014 (IBGE, 2015); os dados do crescimento populacional estimado para 2015 foram calculados a partir dos dados populacionais de 2010 e 2015; e, os dados de IDHM foram obtidos a partir do Atlas de Desenvolvimento Humano no Brasil (PNUD, 2015).

Tabela 3 – Dados da população real, população estimada, crescimento populacional estimado, densidade demográfica e Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) para os municípios estudados.

Municípios	População em 2010	População estimada para 2015	Crescimento populacional estimado (%)	Densidade demográfica (hab/km ²)	IDHM (2010)
Aguai	32.148	34.863	8,4	67,72	0,715
Analândia	4.293	4.731	10,2	13,18	0,754
Araras	118.843	128.895	8,5	184,30	0,781
Casa Branca	28.307	29.877	5,5	32,76	0,73
Corumbataí	3.874	4.036	4,2	13,90	0,754
Descalvado	31.056	32.980	6,2	41,20	0,76
Itirapina	15.524	17.160	10,5	27,49	0,724
Leme	91.756	98.460	7,3	227,75	0,744
Mogi Guaçu	137.245	147.233	7,3	168,99	0,774
Pirassununga	70.081	74.587	6,4	96,38	0,801
Porto Ferreira	51.400	54.761	6,5	209,88	0,751
Rio Claro	186.253	199.961	7,4	373,69	0,803
Santa Cruz da Conceição	4.002	4.332	8,2	26,66	0,79
Santa Cruz das Palmeiras	29.932	32.749	9,4	101,35	0,728
Santa Rita do Passa Quatro	26.478	27.502	3,9	35,11	0,775
São Carlos	221.950	241.389	8,8	195,15	0,805

Fonte: Dados disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015) e Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento do Brasil (PNUD, 2015).

Pela análise da tabela é possível observar uma grande perspectiva de crescimento populacional, ultrapassando os 5% em quase todos os municípios, merecendo destaque para Analândia e Itirapina onde é estimado um crescimento superior aos 10%. Tais crescimentos justificam-se, provavelmente, pelo franco desenvolvimento dos ramos industrial e de serviços na região. Observa-se também que a maioria dos municípios se enquadra na classe *Alto* índice de desenvolvimento humano (valores de IDHM entre 0,700 e 0,799 – PNUD, 2015), exceto os municípios de Pirassununga, Rio Claro e São Carlos que apresentam IDHM *muito altos* (valores acima de 0,800 – PNUD, 2015), configurando assim uma melhora na saúde (longevidade), educação e renda da população conjuntamente ao desenvolvimento industrial e econômico regional.

Contudo, para subsidiar este aumento populacional de maneira sustentável, a região ainda necessita de estudos mais direcionados do meio físico que subsidiem um planejamento do uso da terra e da água adequado às realidades ambientais, visando evitar e/ou diminuir processos de erosão e perda de solos, assim como alocar adequadamente áreas para a extração mineral, expansão urbana e disposição de resíduos.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Inicia-se com a definição do levantamento bibliocartográfico da região, seguido da descrição dos métodos utilizados para a elaboração das cartas base e de análise, para o trabalho de campo, para a integração dos dados e para a definição da capacidade de suporte natural da área em estudo.

4.1 Levantamento bibliográfico

Consiste em um levantamento bibliográfico que permite o reconhecimento da área de estudo, com a interpretação e homogeneização das informações sobre o meio e a detecção dos problemas apresentados nos levantamentos anteriores. Com base nestas informações foi possível entender as dinâmicas ambientais e sociais e, assim, identificar os principais problemas/necessidades da comunidade, facilitando a priorização das tarefas.

4.2 Coleta de Dados e Materiais

Foi utilizada bibliografia geral e específica, programas computacionais de geotecnologias e observações de campo, incluindo:

- ✓ Folhas topográficas produzidas pelo IBGE em escala 1:50.000 (Tabela 4);

Tabela 4 – Relação das Folhas topográficas em escala 1:50.000 utilizadas.

Folha Topográfica	Articulação	Edição
Casa Branca	SF-23-V-C-V-4	IBGE, 1971
Corumbataí	SF-23-Y-A-I-2	IBGE, 1971
Descalvado	SF-23-V-C-IV-4	IBGE, 1971
Leme	SF-23-Y-A-II-1	IBGE, 1971
Pirassununga	SF-23-V-C-V-3	IBGE, 1983
Rio Capetinga	SF-23-Y-A-II-2	IBGE, 1971

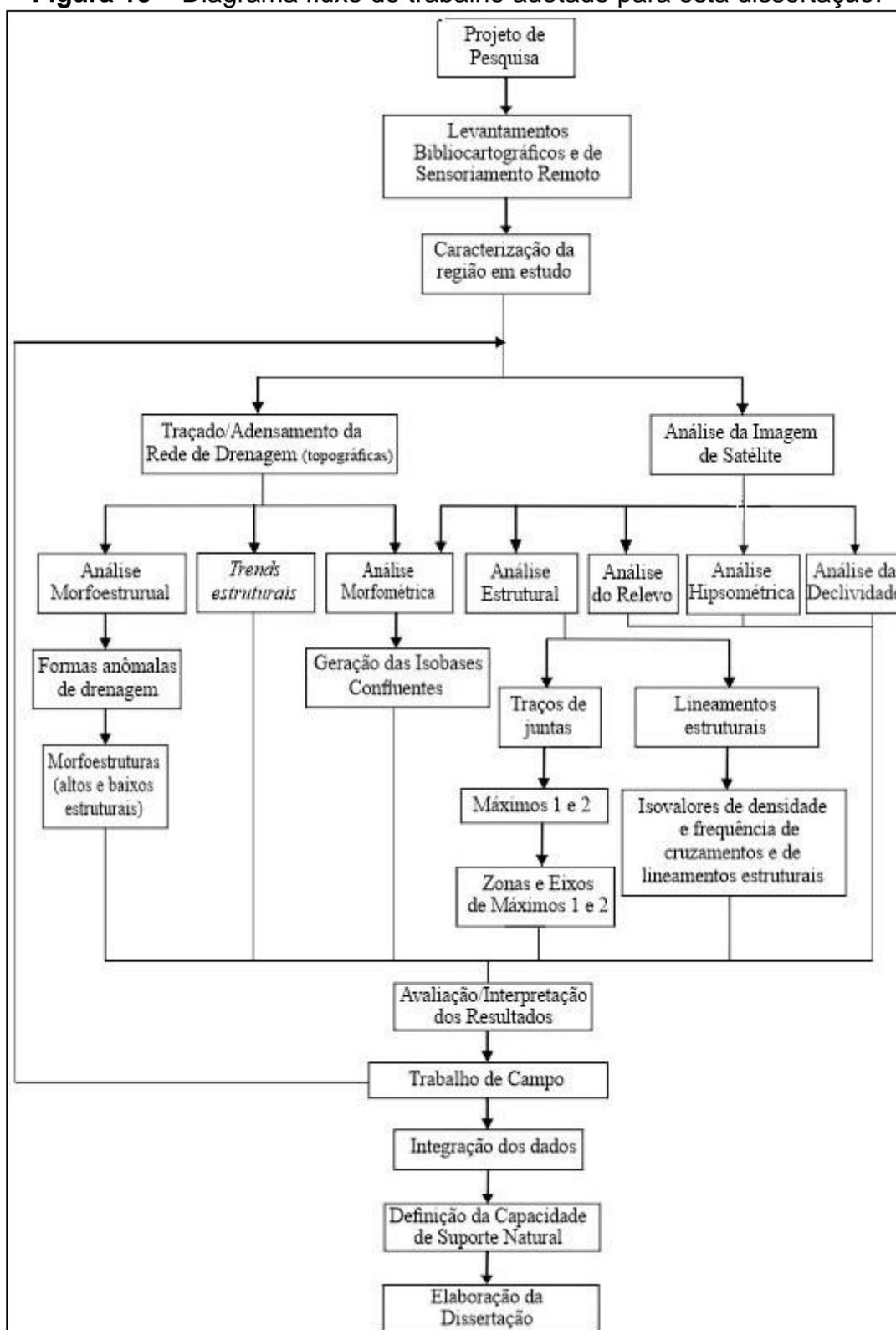
- ✓ Imagens de satélite Aster GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer - Digital Elevation Model), a bordo da plataforma TERRA,

com resolução espacial de 30 metros, disponível em <http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>, articulação:

- ASTGTM2_S22W047;
 - ASTGTM2_S22W048;
 - ASTGTM2_S23W047;
 - ASTGTM2_S23W048.
- ✓ Imagem de satélite ETM+ Landsat 8 (DGI-INPE), Banda 8 (pancromática), Instrumento OLI, com resolução espacial de 15 metros, Órbita 220, Ponto 075, data de passagem de 09 de maio de 2015 e em escala 1:130.000;
- ✓ Modelo de Elevação Digital SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), em formato GEOTIFF (16 bits), resolução espacial de 90 metros, disponível pela EMBRAPA – Relevo (<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/sp/sp.htm>), em escala compatível com a 1:250.000 (IBGE), articulação:
- SF-23-V-C;
 - SF-23-Y-A.
- ✓ Mapas temáticos referentes aos diversos problemas e necessidades identificados;
- ✓ Programas de geoprocessamento:
- Software SPRING 5.3 (CÂMARA et al., 1996), para manipulação e realce da banda 8 da imagem de satélite ETM+ Landsat 8;
 - Software Arcgis® 10.3 (ESRI, 2014), para manipulação e realce das imagens de satélite, geoprocessamento e cartografia digital;
 - Software Surfer® 11 (GOLDEN, 2015), para a estimativa dos mapas de isovalores, utilizando o método de interpolação.

Para um melhor entendimento da sistemática adotada neste trabalho, foi elaborado um fluxograma, apresentado na Figura 15. Vale ressaltar que nele foi representada a ordem cronológica de desenvolvimento das atividades, não possuindo sentido de hierarquização das mesmas.

Figura 15 – Diagrama fluxo de trabalho adotado para esta dissertação.



4.3 Elaboração de Cartas Base e Cartas de Análise

Esta etapa consiste em selecionar, complementar e/ou reinterpretar as condições hidrográficas, morfométricas, geológicas, morfoestruturais, tectônicas, fisiográficas/geomorfológicas e pedológicas da área em estudo.

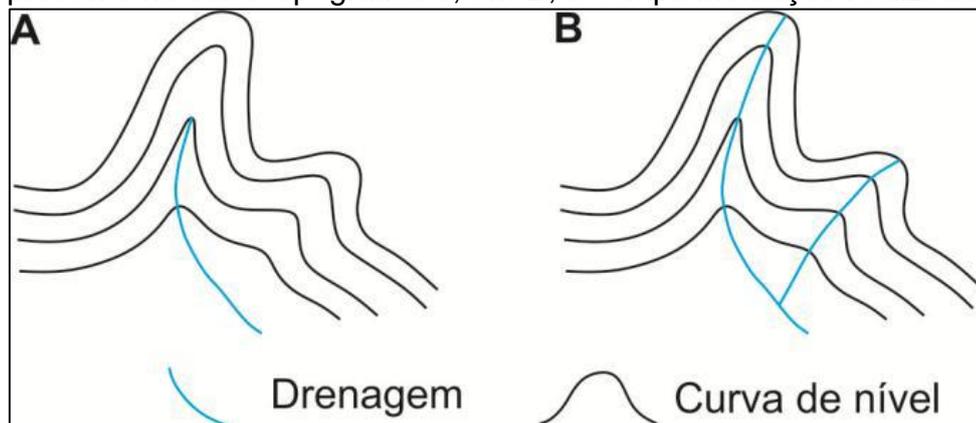
4.3.1 Análise Hidrográfica

A análise da rede de drenagem permite conhecer a hidrodinâmica regional e obter informações sobre o arranjo estrutural regional e local, sendo fundamental para avaliar as condições de estabilidade e suscetibilidade das diversas bacias afluentes, além de ser um dos instrumentos para a análise da fragilidade ambiental e suscetibilidade natural à erosão. Os corpos hídricos correspondem aos elementos da paisagem mais sensíveis aos movimentos tectônicos e, por consequência, mais importantes para estudos da neotectônica (HASUI, 2000).

4.3.1.1 Extração da Rede de Drenagem

A extração da rede de drenagem foi realizada a partir das cartas topográficas do IBGE, em escala 1:50.000. O traçado da rede de drenagem foi obtido a partir da extração dos canais representados nas cartas topográficas, complementados através da disposição das curvas de nível (Figura 16) e, quando necessário, revisados com as imagens Aster, sempre procurando representar com precisão a sua geometria.

Figura 16 – Esquema representativo do adensamento da rede de drenagem através de carta topográfica. Em **A**, a forma original presente na carta topográfica e, em **B**, a complementação realizada.



Fonte: Moraes (2007).

4.3.2 Análise do Relevo

A análise geomorfológica corresponde à base tanto para a análise fisiográfica quanto para o levantamento de solos (CORTÉS; MALAGÓN, 1984), todavia, esta análise não leva em consideração muitos processos importantes para o levantamento de solos (GOOSEN, 1968). A análise fisiográfica corresponde a um método de integração de diversas informações sobre a evolução da paisagem, fundamentando-se em critérios estabelecidos por diversos pesquisadores ao longo do tempo, como Botero (1978), Goosen (1968, 1971), Jiménez-Rueda et al. (1989b, 1993), Jiménez-Rueda e Mattos (1992), Oliveira, Mattos e Jiménez-Rueda (1989), Villota (1983, 1991, 2005) e Zinck (1987). Segundo metodologia desenvolvida pelo Centro Interamericano de Fotointerpretação – CIAF (Instituto Geográfico Agustín Codazzi - Colômbia), a análise fisiográfica segue uma classificação hierárquica e taxonômica da paisagem, em seis níveis categóricos, partindo-se do geral para o particular (VILLOTA, 1992).

A princípio foi realizada uma caracterização fisiográfica da região de Pirassununga por meio da bibliografia, sendo definidos três níveis categóricos: província fisiográfica, região e sub-região, correspondendo, respectivamente, às regiões geológicas, climáticas e geomorfológicas (BOTERO, 1978).

Em seguida, foram identificadas as paisagens e subpaisagens (VILLOTA, 1983; CORTÉS; MALAGÓN, 1984) da área em estudo. De acordo com Cortés e Malagón (1984), a paisagem corresponde à unidade fundamental para a análise fisiográfica, sendo um componente da superfície terrestre que apresenta grande homogeneidade climática e de processos geodinâmicos. E, as subpaisagens, segundo Botero (1978), são grupos de formas do relevo que apresentam, com relação à morfogênese, uma análise da variação morfológica. Essa morfogênese, por sua vez, leva à análise da dinâmica das formas do relevo, expondo a evolução e as transformações ocorridas após a formação do relevo.

As unidades fisiográficas foram determinadas, primordialmente, pelos processos da evolução das paisagens, subpaisagens e das formas da superfície da terra, pela hipsometria (planícies de inundação atual/subatual e planaltos muito baixos, baixos, médios, altos e muito altos), pelo grau de dissecação e pela idade estimada dos sedimentos de superfície. Assim, foi elaborada uma legenda fisiográfica detalhada.

As informações presentes nas unidades fisiográficas também foram utilizadas para diagnosticar as potencialidades e limitações do meio, assim como definir as áreas erosionáveis (degradacionais e/ou deposicionais).

As unidades fisiográficas foram classificadas utilizando-se a imagem Aster/NASA, com auxílio do software *ArcGis 10.3*. E, complementadas com as informações sobre o grau de dissecação do relevo, com base na inclinação das vertentes, extraída da mesma imagem. Neste caso utilizou-se a imagem *Aster* em detrimento da SRTM devido à sua melhor resolução e, conseqüentemente, melhor detalhamento final do produto.

Optou-se por realizar a classificação utilizando como base as classes pré-estabelecidas para a isobase atual, as quais foram reagrupadas, gerando 8 unidades fisiográficas representativas do relevo atual/subatual da região.

Para a análise do relevo da região de Pirassununga optou-se pela geração de mais dois produtos, os mapas hipsométrico e de declividade. O primeiro foi gerado a partir da imagem de satélite *Aster*, com resolução de 30 metros, definindo assim melhor os detalhes. Já, o mapa de declividade foi gerado a partir do modelo digital do terreno do projeto SRTM, com resolução espacial de 90 metros, disponível gratuitamente pela Embrapa Relevo. Optou-se, neste caso, pela utilização deste produto em detrimento da imagem *Aster* devido a melhor visualização das classes. Estas duas análises (hipsométrica e declividade) foram utilizadas para a compreensão da dinâmica da paisagem, sendo uma ferramenta adicional para a verificação da suscetibilidade ambiental e, conseqüentemente, elaboração do mapa de capacidade de suporte natural do meio.

Inicialmente as imagens SRTM foram mosaicadas pela ferramenta *Data Management Tools – Raster – Raster to Dataset – Mosaic to new Raster*, pertencente ao software *ArcGis 10.3*.

O mapa hipsométrico da região de Pirassununga foi gerado a partir da imagem *Aster*, sem procedimento adicional, apenas foram realizados a classificação das altitudes (em 10 classes) e o sombreamento da imagem, para melhor visualização das formas de relevo. A partir deste mapa foi possível associar as morfoestruturas (altos e baixos estruturais) à topografia (altos e baixos topográficos), podendo inferir sobre os aspectos hidrológicos de circulação de água, os tipos de processos pedogenéticos, a suscetibilidade natural à erosão e às aptidões e restrições de uso.

Para a geração do mapa de declividade foi utilizada a ferramenta *3D Analyst Tools – Raster Surface – Slope*, também pertencente ao software *ArcGis 10.3*, onde a imagem original SRTM foi classificada, com o propósito de quantificar os diferentes índices de inclinação das vertentes, em seis classes de porcentagem, de acordo com o proposto por Ranzani (1963), sendo elas: 0 - 3% (relevos planos a ligeiramente ondulados), 3 - 8% (relevos ligeiramente ondulados a ondulados), 8 - 16% (relevos ondulados a fortemente ondulados), 16 - 30% (relevos fortemente ondulados), 30 - 45% (relevos montanhosos) e 45 - 100% (relevos montanhosos acidentados).

A associação destes dados aos demais gerados neste trabalho como, por exemplo, geológicos estruturais, induz a um melhor entendimento da suscetibilidade natural à erosão da área, contribuindo para indicações sobre as potencialidades e limitações em determinados usos da terra, possibilidade de uso de maquinários agrícolas, instalação de obras lineares e sanitárias, entre outras (LEPSCH, 1983).

Deste modo, o mapa de classes de declividade torna-se um importante elemento para a definição da suscetibilidade ambiental, desde que associado a outros indicadores (litológicos, tectônicos, climáticos, fisiográficos, bioclimáticos e tipo de vertentes), tornando assim possível uma análise mais completa e integrada do meio físico.

4.3.3 Análise Morfoestrutural

A análise morfoestrutural parte do princípio de que muitas estruturas geológicas podem ser refletidas em superfície e que esse reflexo é passível de identificação através da análise de padrões específicos, de anomalias da rede de drenagem e de feições de relevo.

Esta sistemática envolve critérios de fotointerpretação há muito utilizados em diferentes setores das geociências e que vem sendo desenvolvidos por diversos pesquisadores, dentre eles: Jiménez-Rueda et al. (1993); Madrucci, Araújo e Taioli (2003), Mattos et al. (1982) e Soares et al. (1982a, 1982b). Ela busca analisar exclusivamente os elementos de drenagem e relevo, sua associação e classificação de acordo com o caráter homólogo ou não dos mesmos, assim como interpretar o significado geológico para as diferentes formas ou associações dos elementos de drenagem e feições anômalas e admite que estes sejam condicionados por fatores

estruturais ou litológicos, através dos processos morfogenéticos atuantes sobre o substrato (SOARES et al., 1982a).

A análise morfoestrutural foi executada com base na drenagem adensada a partir das folhas topográficas do IBGE, em escala 1:50.000.

4.3.3.1 Análise da Rede de Drenagem

A análise da rede de drenagem busca evidências para a interpretação estrutural e/ou litológica. O controle estrutural é definido pela presença das discontinuidades, tanto devido ao acamamento ou foliação quanto às fraturas, e o seu arranjo espacial controla a disposição dos elementos da drenagem.

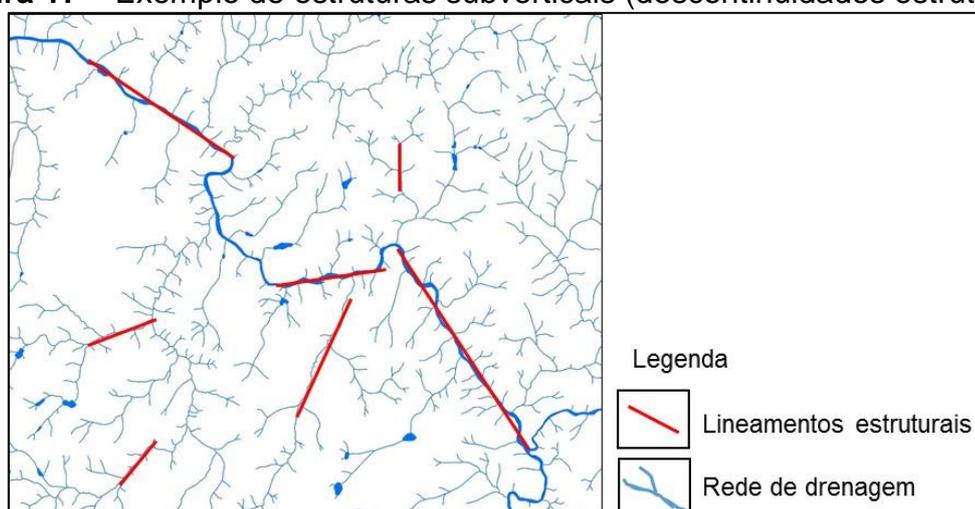
Para a compreensão do arcabouço estrutural e tipos de controles, nesta etapa do trabalho, foram utilizadas a análise das formas anômalas de drenagem (anelares, radiais, assimetrias e discontinuidades), a definição dos altos e baixos estruturais e o traçado das linhas de contorno estruturais não cotadas.

A rede de drenagem geralmente assume padrões bem definidos em relação ao substrato litológico ao qual está sobreposta. Quando aparecem arranjos de elementos de drenagem que se diferenciam do padrão geral, esses são considerados como formas anômalas produzidas por mudança no controle estrutural regional.

A análise das formas anômalas da rede de drenagem foi executada tendo em vista dois tipos genéticos principais de feições anômalas de drenagem:

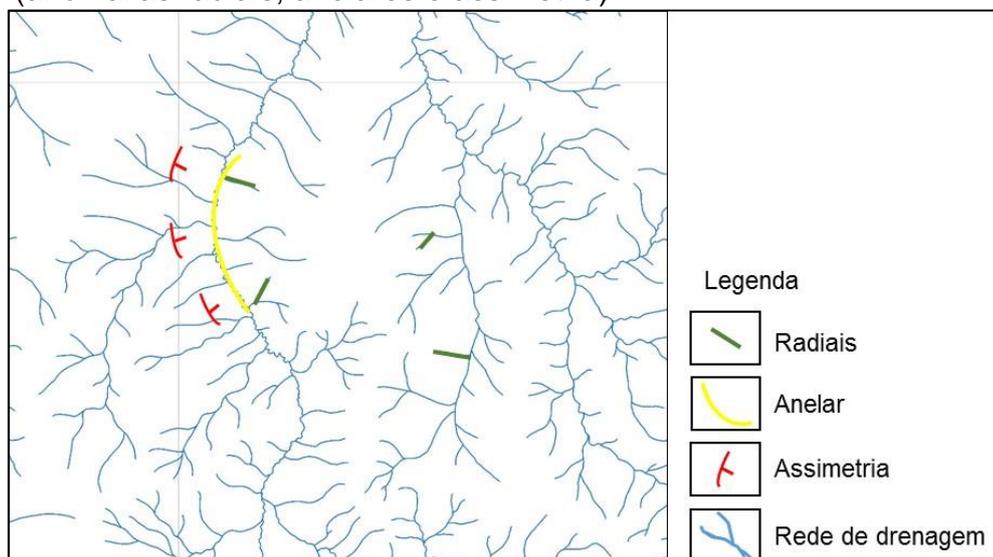
- ✓ As produzidas por estruturas subverticais, ou seja, com traços lineares constituindo-se em lineamentos estruturais ou discontinuidades (Figura 17);

Figura 17 – Exemplo de estruturas subverticais (descontinuidades estruturais).



- ✓ As produzidas por alteração de estruturas monoclinais subhorizontais, ou seja, anomalias radiais, anelares e grau de assimetria (Figura 18).

Figura 18 – Exemplo das estruturas monoclinais subhorizontais (anomalias radiais, anelares e assimetria).



A interpretação das formas anômalas de drenagem seguiu o “*princípio de convergência de evidências*”, segundo o qual muitos itens separados de dados geológicos (como anelares, radiais e assimetria), todos indicando a presença de uma mesma estrutura, imprimem uma alta ordem de confiança a esta estrutura (ALLUM, 1966).

Às formas anelares e radiais foi dada grande atenção, pois representam as feições mais importantes resultantes nessa etapa da pesquisa. Buscou-se identificar as anelares e radiais, formas indicativas de estruturas dômicas, analisando as ocorrências de formas arqueadas de elementos de drenagem de 3ª e 4ª ordem, junto com a disposição radial dos elementos de 1ª e 2ª ordem, além da disposição das formas de assimetria. Também foram consideradas como formas anômalas as drenagens contendo um ou outro elemento arqueado por, eventualmente, poderem indicar mudanças nas direções de mergulho de camadas (SOARES et al., 1981a).

Os padrões assimétricos indicam o mergulho das discontinuidades subhorizontais, desta forma, durante a classificação do grau de assimetria foi considerada a sua estruturação, representativa da fidelidade com que a assimetria indica o mergulho (Figura 19).

Figura 19 – Intensidade de estruturação dos elementos.

		INTENSIDADE DE ESTRUTURAÇÃO DOS ELEMENTOS				
		MUITO FORTE 1,0	FORTE 0,8	MODERADA 0,6	FRACA 0,4	MUITO FRACA 0,2
F O R M A	ANELAR					
	RADIAL					
	ASSIMETRIA					

Fonte: SOARES et al. (1981a).

Ressalta-se que, para facilitar a visualização das formas anômalas de drenagem da área como um todo, assim como o manuseio (visto a utilização de 6 folhas topográficas), optou-se por realizar uma redução em 50% do tamanho original das folhas topográficas.

Na área estudada, as anomalias de drenagem encontram-se extremamente modificadas pelos diferentes processos deformacionais e processos exógenos que há muito atuam no modelado do relevo e na organização da rede de drenagem. Desta forma, grande parte dos elementos apresenta baixo grau de estruturação, o que torna a tarefa de reconstrução paleogeográfica da atitude das camadas do substrato rochoso muito mais complexa e difícil.

4.3.3.2 Formas anômalas de drenagem (altos e baixos estruturais)

Como resultado da interpretação dos elementos de relevo e drenagem, conjuntamente com as suas relações espaciais, foram estabelecidas zonas estruturalmente anômalas positivas ou altas (estruturas dômicas ou antifformes);

negativas ou baixas (depressões estruturais ou sinformes) e descontinuidades estruturais (lineamentos e falhas) (JIMÉNEZ-RUEDA et al., 1989b; JIMÉNEZ-RUEDA et al., 1993), concomitantemente foram estabelecidas as suas respectivas linhas de contorno, correspondentes à disposição geométrica do acamamento/foliação, assumindo um significado aproximado de contorno estrutural não cotado.

A estas informações foi sobreposto o mapa hipsométrico da região, obtido a partir da imagem *Aster*. Assim, foi possível realizar a correlação entre altos e baixos estruturais e topográficos, facilitando a definição e discussão da suscetibilidade natural à erosão, de áreas propícias para a instalação de aterros sanitários e, por fim, da capacidade de suporte natural do meio.

4.3.4 Análise Morfotectônica

As feições analisadas correspondem aos lineamentos e lineações de drenagem e às zonas homólogas de drenagem fortemente estruturadas unidirecionalmente (*trends* estruturais). A análise das lineações de drenagem caracteriza as zonas de máximos de traços de juntas, que apontam regiões com grande variação de tensão, sendo áreas rúpteis e com alta suscetibilidade à erosão (MATTOS et al., 2002). A extração e análise dos lineamentos estruturais, traços de juntas e *trends* estruturais a partir da rede de drenagem, possibilitam verificar a frequência, distribuição e sentido das falhas e juntas, identificando áreas com maior deslocamento e/ou rompimento na estrutura, permitindo delimitar áreas intensamente fraturadas, isto é, mais tectonizadas, instáveis e, conseqüentemente, com maior potencial erosivo e necessidade de maiores cuidados durante o manejo (CRISÓSTOMO-NETO, 2002).

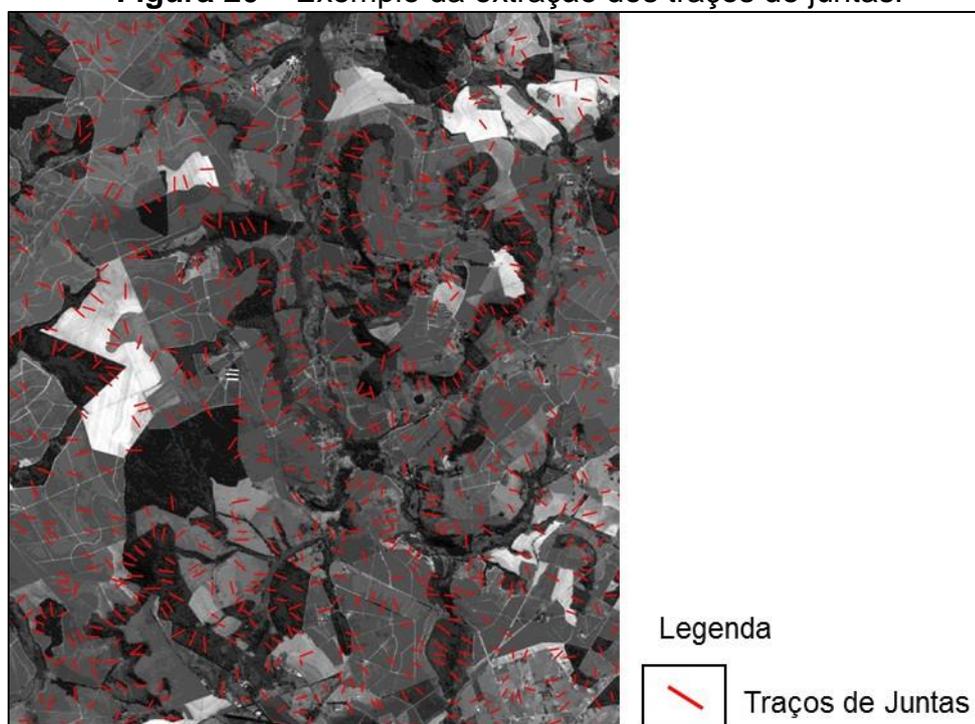
A extração das feições foi realizada segundo Veneziani e Anjos (1982), que definem as lineações de drenagem como segmentos retilíneos de elementos texturais e a disposição destes em linha reta, contínua ou não, definem os alinhamentos. A extração dos lineamentos estruturais e traços de juntas foi realizada a partir da imagem de satélite ETM+ Landsat 8, banda 8, em escala 1:130.000 e, a extração dos *trends* estruturais, a partir da rede de drenagem adensada das folhas topográficas, em escala 1:50.000.

4.3.4.1 Traços de Juntas

Os traços de juntas correspondem a elementos de drenagem retilíneos, fortemente estruturados unidirecionalmente, indicando a principal direção da rede de drenagem (RODRIGUES, 2000). Loczy e Ladeira (1980) definem as juntas como planos ou superfícies de fraturas que dividem as rochas, ao longo dos quais não ocorreu deslocamento das paredes rochosas paralelamente aos planos de fratura ou, se o deslocamento ocorreu, ele foi mínimo e não visível. Os sistemas de juntas podem ter importância econômica por fornecerem a permeabilidade necessária para, por exemplo, a infiltração da água e o acúmulo de petróleo (MORAES, 2007).

A análise dos traços de juntas foi executada a partir da imagem de satélite ETM+ Landsat 8, com o reconhecimento de lineações de drenagem, geralmente de 1ª ordem e 2ª ordem, com comprimento aproximado entre 300 e 500 metros (Figura 20). A princípio, a análise dos traços de juntas possibilitou entender o grau de fraturamento dos mantos rochosos.

Figura 20 – Exemplo da extração dos traços de juntas.



De posse dos traços de juntas já vetorizados, utilizou-se do pacote de ferramentas COGO – *Split into COGO lines*, pertencente ao software *ArcGis 10.3*, para

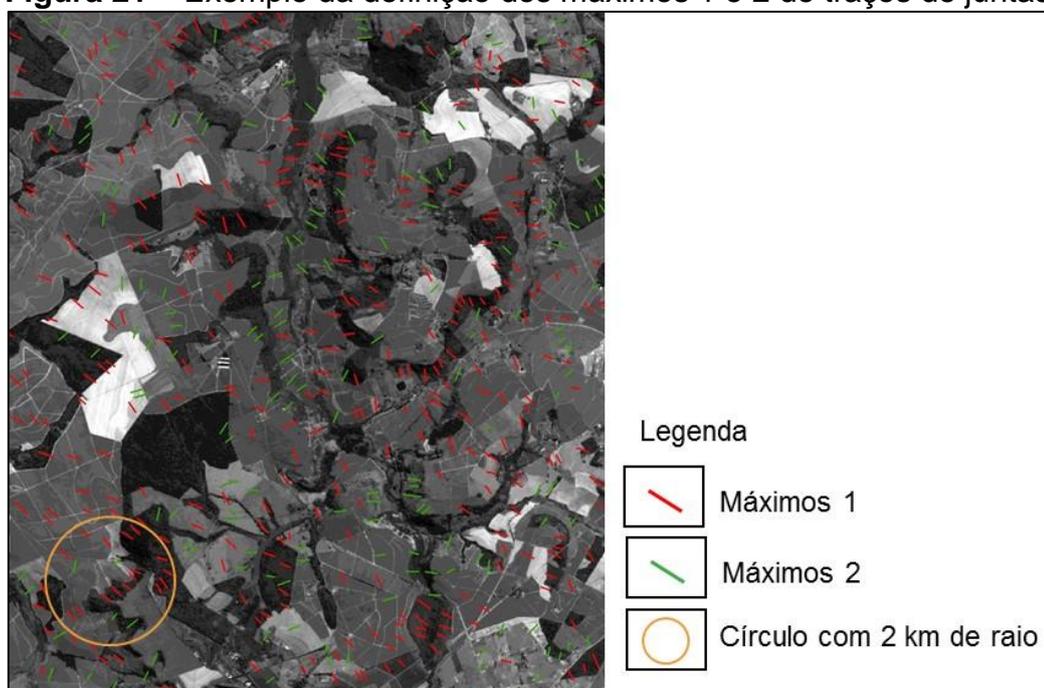
calcular os azimutes de cada traço. Assim, foram separados os traços de acordo com a sua direção (EW, NS, NE ou NW), sendo possível ter uma ideia inicial das direções predominantes do fraturamento das rochas.

4.3.4.1.1 Máximos 1 e 2 de Traços de Juntas

A partir da análise dos traços de juntas, foi realizada uma análise espacial para identificar as duas direções preferenciais de traços de juntas por unidade de área, para tal utilizou-se de um círculo com raio de 2 km (tamanho compatível à escala de trabalho). Sendo que cada unidade de área foi analisada de maneira aleatória e independente de suas vizinhas.

Essas duas direções preferenciais são denominadas de máximos 1 e máximos 2 de traços de juntas, as quais correspondem, respectivamente, à primeira e à segunda direção de maior frequência (Figura 21). Elas são interpretadas como o reflexo de estreitas zonas de maior intensidade de fraturamento nas rochas subjacentes.

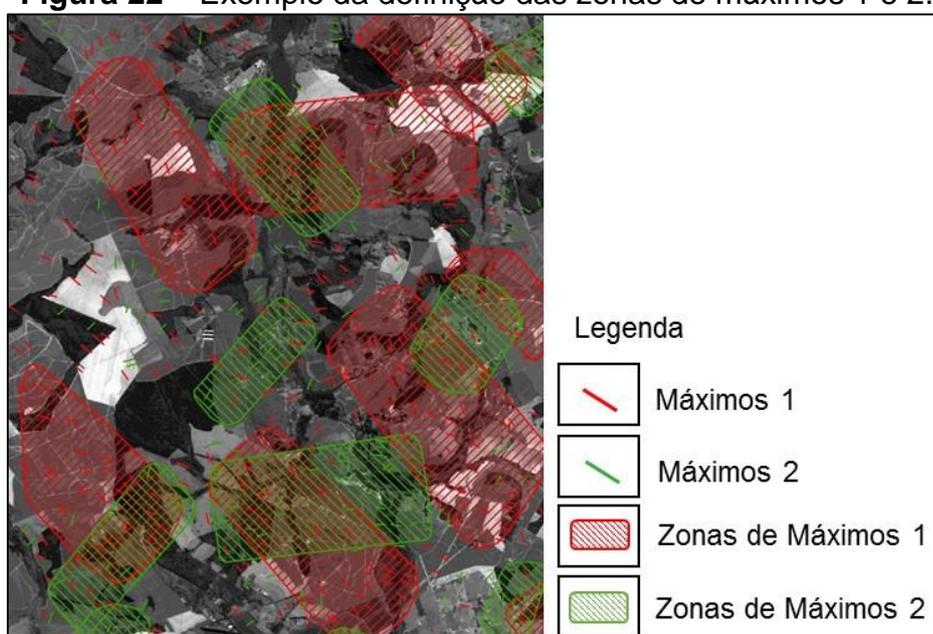
Figura 21 – Exemplo da definição dos máximos 1 e 2 de traços de juntas.



4.3.4.1.2 Zonas e Eixos de Máximos 1 e 2

As zonas de máximos 1 e 2 foram obtidas pela identificação das áreas com aglomeração destes máximos. Elas foram traçadas em forma de polígonos, sendo o sentido do polígono concordante com as direções dos máximos (Figura 22). É válido ressaltar que as zonas de máximos foram identificadas por polígonos sem vértices, não podendo ser interpretadas como “áreas fechadas”, passíveis de qualquer tipo de quantificação, pois essas zonas representam áreas de mudança/ruptura entre diferentes tendências regionais de fraturamento, sendo seu limite transicional.

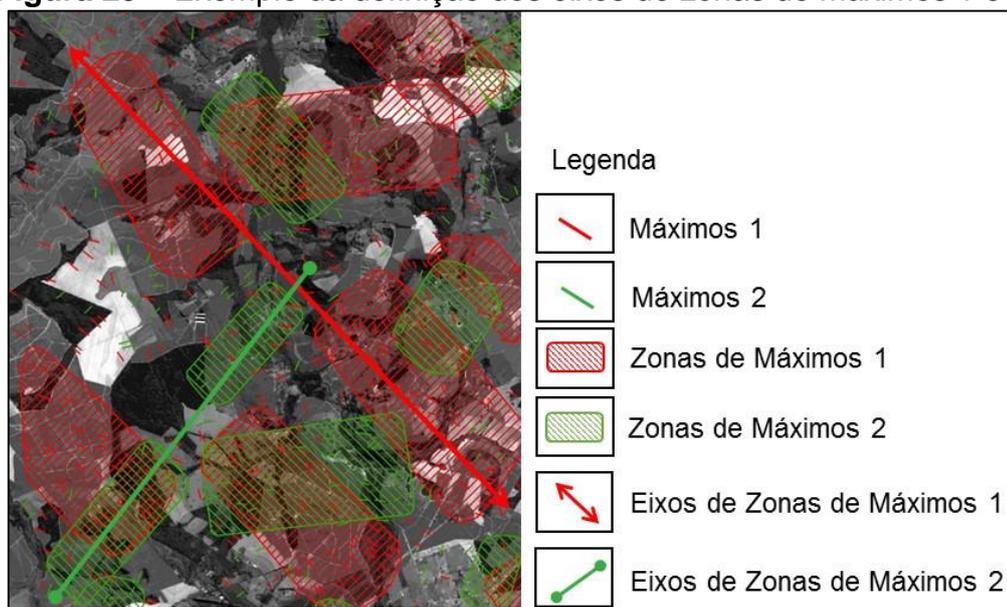
Figura 22 – Exemplo da definição das zonas de máximos 1 e 2.



A análise das zonas de máximos 1 e 2 tem como objetivo estabelecer uma visão regional do processo deformacional. Onde os máximos 1 e 2 mudam bruscamente de direção (zonas de variação) entende-se como áreas de variação no regime do campo de tensão da deformação e, conseqüentemente, maior fraturamento do maciço rochoso e coberturas superficiais, o que conduz a um maior potencial percolativo do substrato rochoso.

Com base nas zonas de máximos, indicando as suas respectivas direções, foi possível definir os principais Eixos de Zonas de Máximos 1 e 2 (Figura 23), os quais representam as direções preferenciais regionalmente.

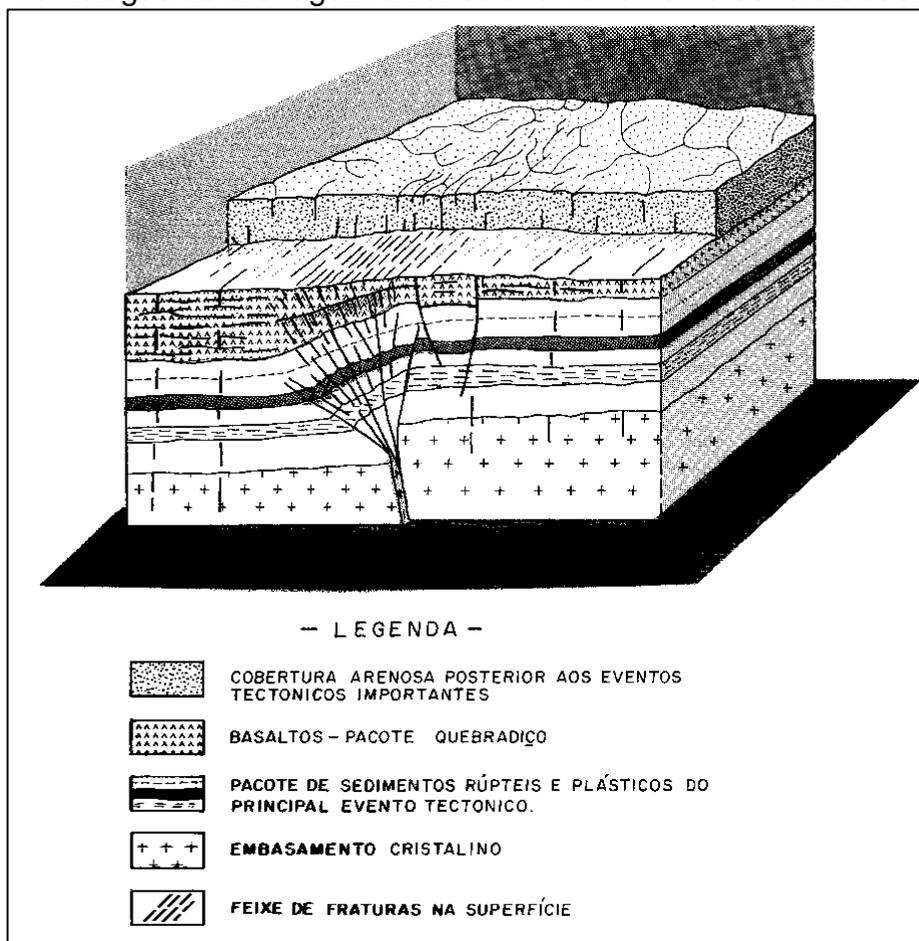
Figura 23 – Exemplo da definição dos eixos de zonas de máximos 1 e 2.



4.3.4.2 “Trends” estruturais

Os *Trends* estruturais (ou Zonas Homólogas de drenagem fortemente estruturadas unidirecionalmente) correspondem a feixes de juntas fortemente orientadas que representam reflexo na superfície de falhamentos profundos com movimentação de blocos. Tais feixes são interpretados como o reflexo em superfície de falhas de grande rejeito (centenas de metros) no embasamento. O deslocamento inicial é distribuído nas camadas superiores, pela multiplicação de linhas de ruptura e flexura das camadas (SOARES et al., 1981a). O efeito destas zonas de rupturas pode se refletir em camadas posteriores ao evento tectônico através de esforços sistemáticos atuantes na litosfera (Figura 24).

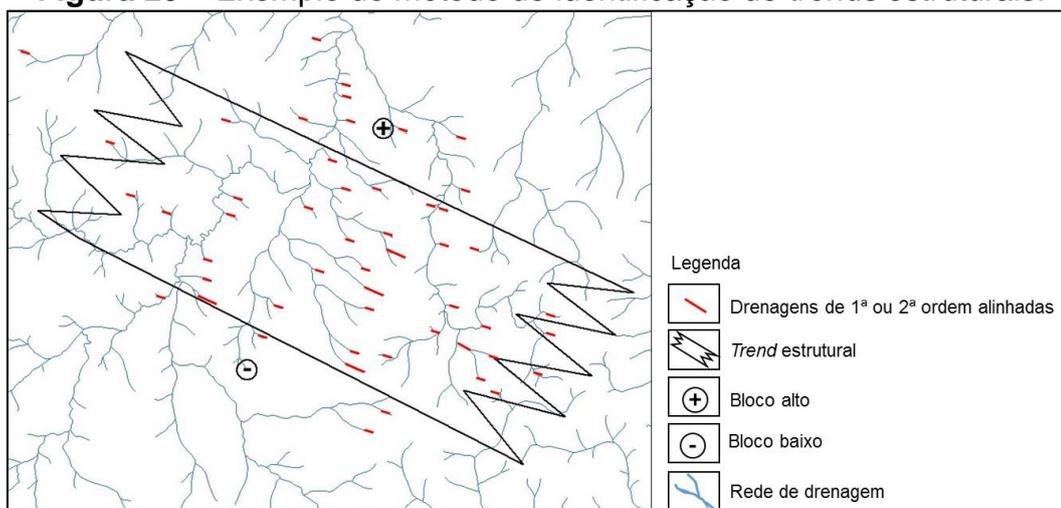
Figura 24 – Modelo de interpretação estrutural das zonas homólogas de drenagem unidirecional fortemente estruturadas.



Fonte: SOARES et al. (1981a).

Os *trends* estruturais foram definidos a partir da análise da rede de drenagem, devidamente extraída e complementada nas cartas topográficas, em escala 1:50.000, onde os elementos de 1ª e 2ª ordem de drenagem encontram-se alinhados segundo direções preferenciais. Para facilitar a identificação destes elementos optou-se por reduzir a 25% a rede de drenagem adensada inicialmente. Neles foram determinados os blocos altos e baixos, correspondendo, respectivamente, à região onde ainda houvessem indícios das direções preferenciais e, onde não houvessem ou apresentassem menor representatividade, segundo exemplificado na Figura 25.

Figura 25 – Exemplo do método de identificação de *trends* estruturais.

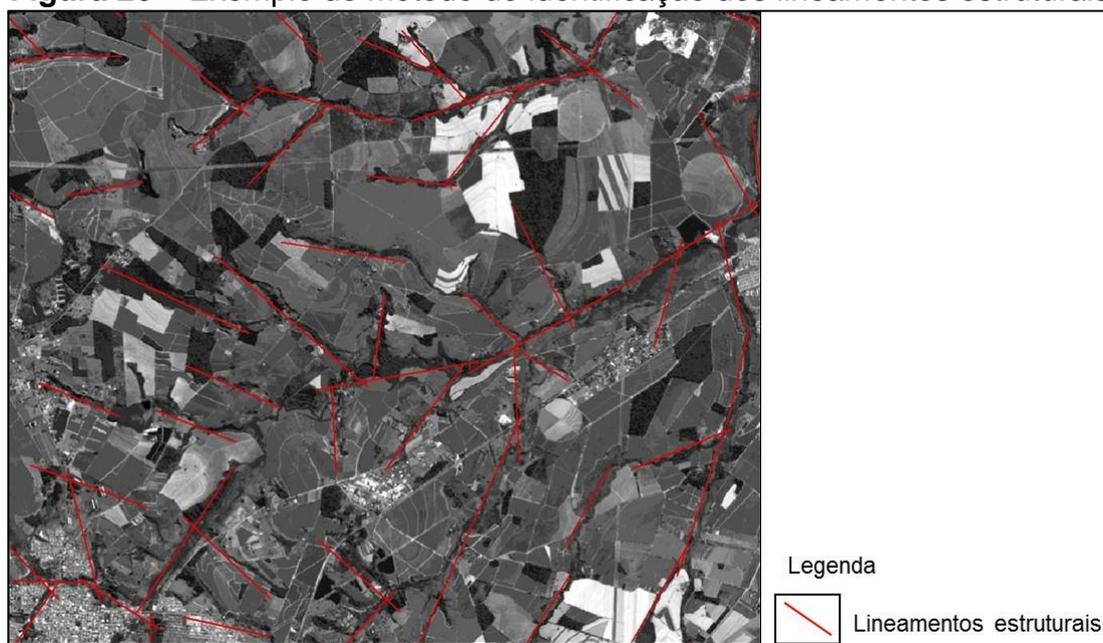


4.3.4.3 Lineamentos Estruturais

Os lineamentos estruturais são expressos por feições lineares retilíneas ou suavemente curvilíneas de alinhamentos de relevo e/ou drenagem. Por definição, lineamento estrutural é uma feição linear mapeável, simples ou composta, contínua ou descontínua, da superfície terrestre (portanto natural), cujas partes estão alinhadas em um arranjo retilíneo ou suavemente curvo e que se distingue dos padrões e feições que lhes são adjacentes e, presumivelmente, reflete um fenômeno de subsuperfície (O'LEARY et al., 1976). São interpretados como descontinuidades da crosta, podendo representar discordâncias estratigráficas e/ou estruturais, sendo reflexo de falhas que atingiram ou se refletiram nas camadas superficiais, traços de acamamento, foliação ou xistosidade.

Os lineamentos estruturais foram analisados a partir da imagem ETM+ Landsat 8, sendo mapeadas como lineamentos estruturais as feições lineares de drenagem e relevo de comprimento igual ou superior a 1,5 km (Figura 26). A presença de tais lineamentos evidencia áreas de alívio tectônico rúptil indicando maior ou menor ocorrência de cisalhamentos (RODRIGUES, 2000), ou seja, revelando o fraturamento regional da área.

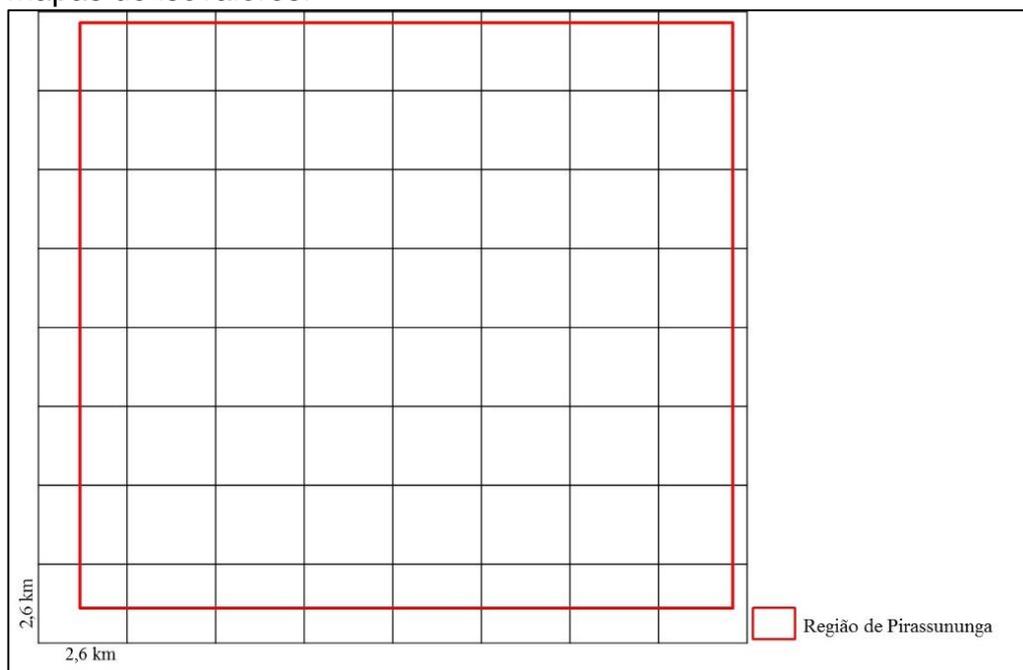
Figura 26 – Exemplo do método de identificação dos lineamentos estruturais.



4.3.4.3.1 Isovalores de Densidade de Lineamentos Estruturais e de Frequência de Intersecção de Lineamentos Estruturais

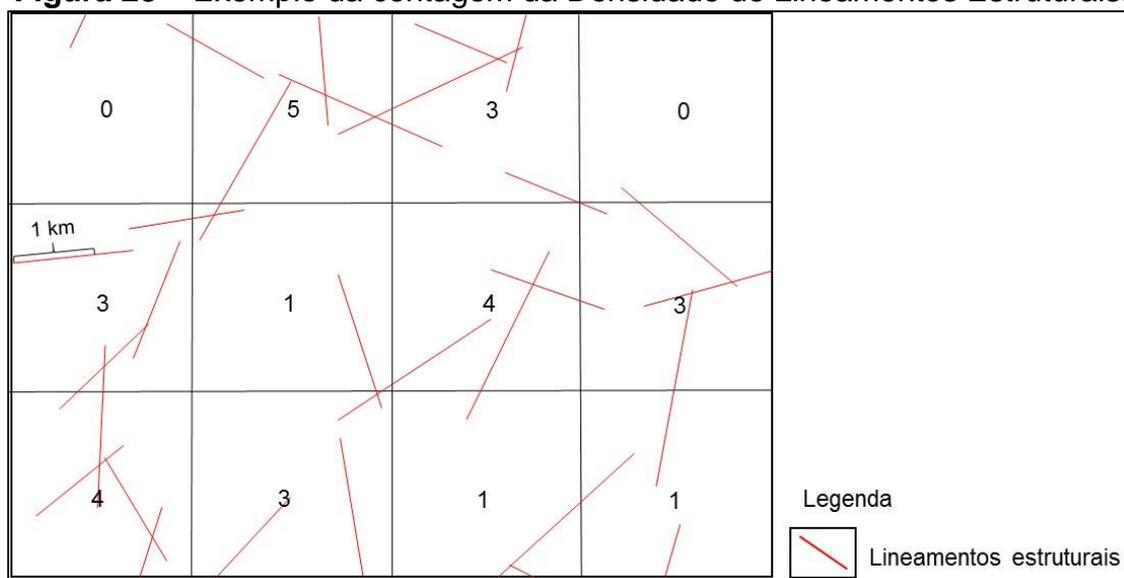
A cartografia dos lineamentos estruturais, na escala 1:130.000, possibilitou a geração de isovalores de densidade de lineamentos estruturais e de frequência dos cruzamentos entre eles. Para tal, foi necessária a confecção de uma malha com dimensões de 2 x 2 cm, o que corresponde a 2,6 x 2,6 km em tamanho real (área da célula da malha foi de 6,76 km²), cobrindo toda a área do mapeamento. Foi escolhida tal medida de célula devido à escala de mapeamento, representando bem as individualidades de cada trecho da área estudada. A malha foi alocada de tal forma que o vértice inferior esquerdo da área em estudo ficasse no centro da célula, conforme ilustra a Figura 27.

Figura 27 – Malha utilizada para o cálculo da densidade e frequência de intersecção de lineamentos estruturais, adotada para a geração dos mapas de isovalores.



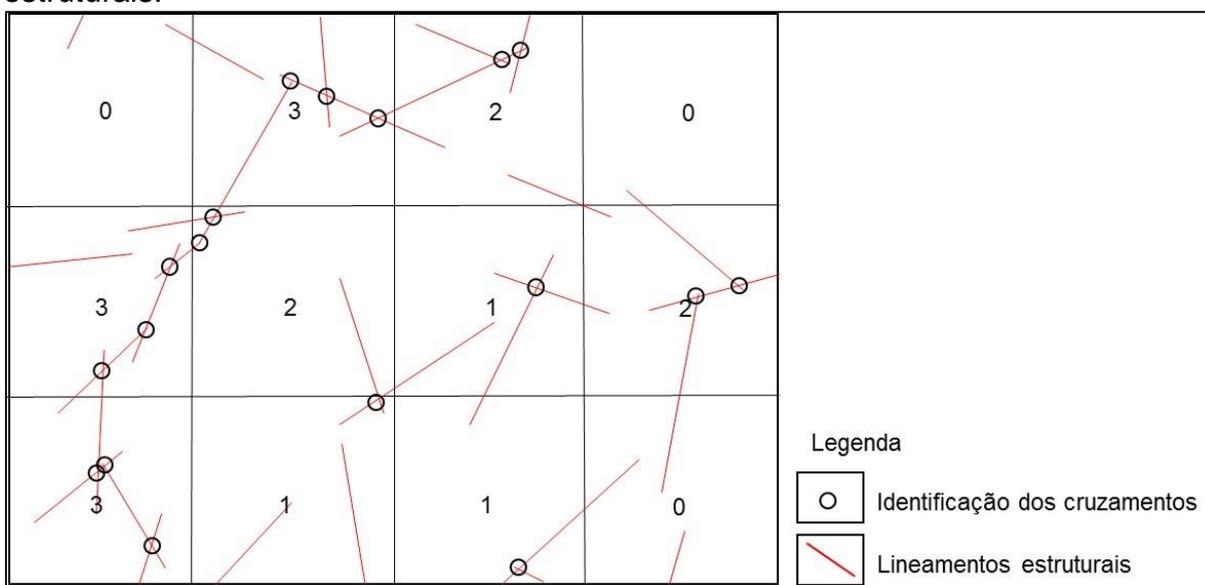
Para o cálculo da *Densidade de Lineamentos Estruturais* foi medida a feição em unidade de elemento por área. Para tanto a unidade de elemento considerada foi de 1 km, tamanho compatível ao tamanho da célula escolhido. Assim, cada célula recebeu um valor inteiro, correspondente à soma dos comprimentos (Figura 28).

Figura 28 – Exemplo da contagem da Densidade de Lineamentos Estruturais.



Da mesma forma, para a *Frequência de Cruzamento de Lineamentos Estruturais* utilizou-se a malha para quantificar os cruzamentos por área (Figura 29).

Figura 29 – Exemplo da contagem da frequência de cruzamento de lineamentos estruturais.



A partir dos valores obtidos foi definido, por meio do software *ArcGis 10.3*, o ponto central de cada célula, gerando uma tabela com as coordenadas geográficas de cada ponto, assim como seus valores de densidade e frequência de cruzamento de lineamentos estruturais. Posteriormente, foi utilizado o método geoestatístico “*Krigagem*”, ferramenta do software *Surfer® 11*, para geração dos *Mapas de Isovalores de Densidade de Lineamentos e Isovalores de Frequência de Cruzamentos de Lineamentos Estruturais*. Tal método foi escolhido devido a sua melhor precisão geral, fidelidade aos dados originais e boa suavidade das curvas, segundo exposto por Krajewski e Gibbs (1996 apud LANDIM; MONTEIRO; CORSI, 2002), em comparação feita entre este e outros métodos de interpolação.

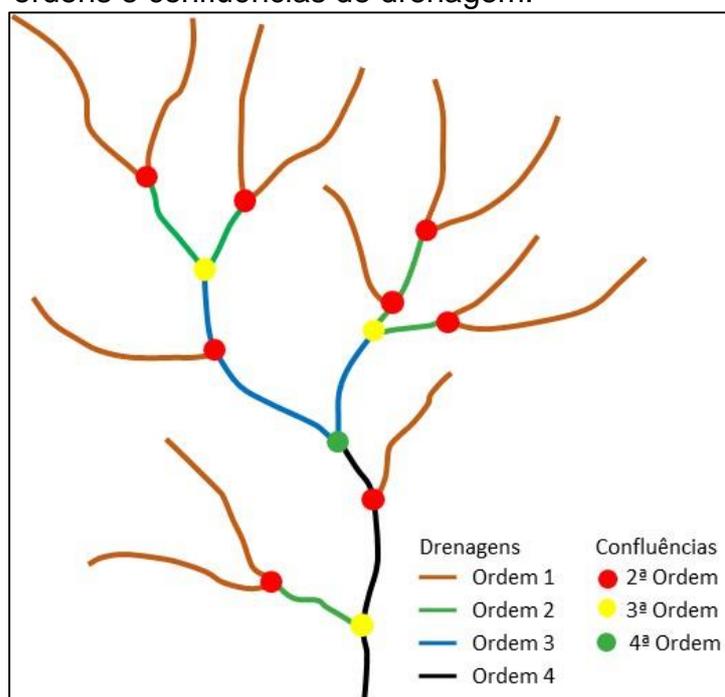
4.3.5 Análise Morfométrica (Isobases Confluentes)

O método das Isobases Confluentes associa a cada uma das confluências de drenagem a sua altimetria (em metros), gerando superfícies para cada ordem de confluência. Estas correspondem às paleossuperfícies, partindo do princípio de que quanto maior a ordem de drenagem, mais antiga foi a ocorrência dos eventos exo-endógenos geradores e representados por ela.

Para a geração das paleossuperfícies, inicialmente, utilizou-se a rede drenagem adensada a partir das folhas topográficas (escala 1:50.000), sendo determinada a direção que o fluxo da água percorre na superfície do terreno, por meio da ferramenta *Arc Hydro – Terrain Processing*, pacote de ferramentas para modelagem de dados pertencente ao *software ArcGis 10.3*. Na sequência foi realizado um adensamento adicional nesta rede de drenagem, procurando associar a rede de drenagem extraída da folha topográfica com a obtida pela imagem de satélite (Aster), buscando assim a melhor associação entre os dois produtos, o que tornou o traçado da drenagem mais próximo ao curso dos drenos perenes ou intermitentes reais.

Posteriormente, foi realizada a ordenação da rede de drenagem segundo o método de Strahler (1957) e a ordenação das confluências de drenagem (ponto de junção de dois segmentos de drenagem) segundo o método proposto por Jiménez-Rueda e Mattos (1992), exemplificados na Figura 30.

Figura 30 – Modelo para a classificação das ordens e confluências de drenagem.



Cada confluência de drenagem carrega consigo aspectos geológicos e geotectônicos correspondentes a uma determinada época cronológica (época de sua ação deformativa/formativa), da mesma forma, confluências de mesma ordem teriam se instalado ao mesmo tempo, definindo um nível de base cronoestratigráfico

específico. A ordem de cada confluência indica o nível de base e a posição relativa de um dreno dentro da rede hidrográfica da bacia (JIMÉNEZ-RUEDA; MATTOS, 1992).

Vale ressaltar que a ordem de uma drenagem difere da ordem que o encontro de dois drenos assume (confluência de drenagem), o que está correlacionado com distintos estágios geológicos. Interceptações de drenagens de ordens menores com drenagens de ordens maiores indicam movimentos tectônicos mais recentes, posteriores à instalação da drenagem de maior ordem. Já as drenagens de primeira ordem representam a tectônica atual/subatual, ou seja, as últimas ações ou manifestações deformacionais exo-endogênicas ocorridas na área, que vem sofrendo ação do intemperismo moderado ou pouco expressivo. Devido a isto, as confluências de segunda ordem, por exemplo, representam uma paleossuperfície mais recente que as de quinta e sexta ordem (JIMÉMEZ RUEDA; MATTOS, 1992).

Após a ordenação da rede de drenagem, foi extraída, com base nas imagens de satélite Aster, a altitude exata de cada ponto de confluência (ferramenta *Spatial Analyst – Extract by Mask* do software *ArcGis 10.3*). De posse destas informações, foram geradas as superfícies residuais (mapa de isobases) segundo o método de *Interpolação* (ferramenta *Spatial Analyst – Interpolation - Topo do Raster* do software *ArcGis 10.3*). Ao gerar a superfície de cada ordem de confluência obteve-se uma reconstrução da paleopaisagem correspondente, bem como das protoestruturas equivalentes às condições de equilíbrio dinâmico daquele momento.

4.4 Trabalho de Campo

Os trabalhos de campo foram direcionados para a validação dos dados desenvolvidos/obtidos por meio da fotointerpretação (análises morfoestrutural, estrutural, morfométrica e fisiográfica) e para a geração de informações adicionais às análises e levantamentos anteriormente realizados na área por Ferreira (2005), Silva (1997) e Stefani (2003).

O trajeto foi definido visando aproveitar as estradas vicinais que permitissem cobrir o máximo possível a área de trabalho, passando por diversos pontos considerados críticos com relação à suscetibilidade natural à erosão. Foram observadas também as características do relevo e descritos os volumes de alteração intempérica ou horizontes diagnósticos dos solos.

4.5 Prognóstico ambiental

A análise integrada das diferentes temáticas (morfoestruturas, *trends* estruturais, lineamentos estruturais, zonas e eixos de máximos 1 e 2, isobases confluentes, fisiografia, hipsometria e declividade), confirmadas e complementadas com os dados de campo, permitiu associar e classificar as características do meio físico e sua relação com os impactos gerados pela implantação de obras de engenharia, uso agrícola e/ou urbano-industrial, definindo também locais adequados para a instalação de obras sanitárias (como aterros) e locais suscetíveis à erosão e contaminação dos solos e aquíferos.

Sabe-se que um dos maiores problemas no interior do Estado de São Paulo corresponde à grande ocorrência de processos erosivos, devido, principalmente, ao manejo inadequado dos solos, desta forma, uma das cartas temáticas produzidas foi a de suscetibilidade natural à erosão.

Ainda considerando a suscetibilidade natural à erosão, algumas áreas apresentam-se mais sensíveis às alterações/usos, devendo ser impedidas modificações no meio, evitando assim a instalação de processos erosivos intensos/profundos. Desta forma, foi proposto um mapa indicativo de áreas de proteção ambiental, voltado à temática erosiva, incluindo também as Áreas de Preservação Permanente – APPs das margens dos rios.

Outro tema muito importante para o planejamento urbano, visto o crescente aumento populacional e dos setores industriais e de serviços na região, corresponde à disposição adequada dos resíduos sólidos e líquidos produzidos. Assim, optou-se por apresentar também um mapa de áreas propícias para alocação de aterros sanitários e/ou áreas de sacrifício para distribuição de líquidos como o vinhoto das usinas de açúcar e álcool, com fins de irrigofertilização (JIMÉNEZ-RUEDA et al., 1989a).

Para geração e integração das cartas temáticas foi utilizado o software de geoprocessamento *ArcGis 10.3*, obtendo uma melhor qualidade e confiabilidade dos produtos finais.

4.6 Definição da Capacidade de Suporte Natural

A definição das classes de capacidade de suporte natural foi elaborada a partir das propriedades geológicas/geotécnicas, pedológicas, fisiográficas e de suscetibilidade natural à erosão do meio físico, obtidas através das análises pré-estabelecidas. Dessa forma, esta avaliação tem como objetivo modelar as interações entre a ocupação e o meio, definindo as potencialidades e limitações do uso.

A partir da compartimentação fisiográfica, formações superficiais (RIEDEL, 1988), coberturas de alteração intempérica, análise das morfoestruturas, feições tectônicas e das classes de suscetibilidade natural à erosão, foi realizado um tratamento quantitativo e qualitativo dos diferentes dados das cartas temáticas, definindo as Classes de Capacidade de Suporte Natural.

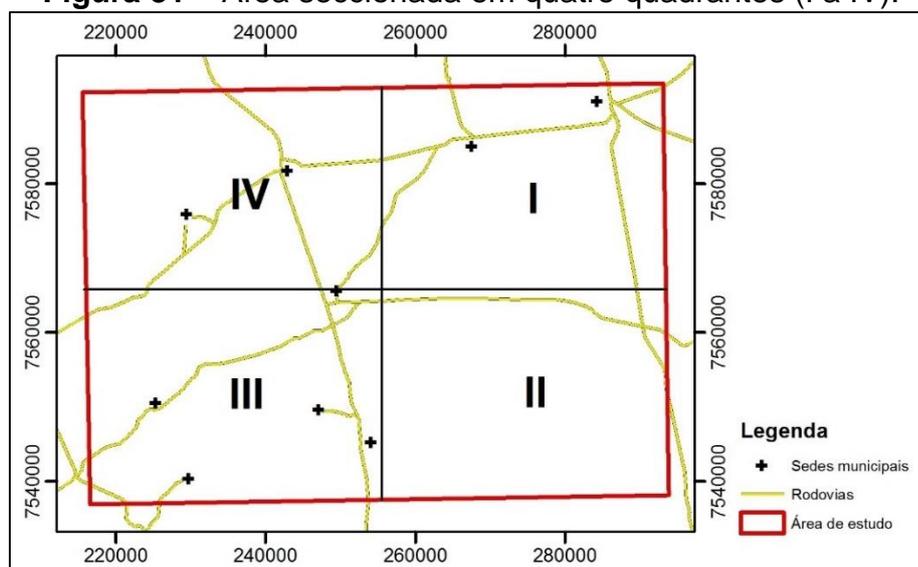
O Mapa de Capacidade de Suporte Natural, foi representado por intervalos de valores (cores), identificando as características e o grau de sustentabilidade às intervenções antrópicas. Tal documento poderá contribuir de forma decisiva para orientar as atividades agrícolas, o uso de recursos hídricos, implantação de obras de engenharia civil e sanitárias, dentre outros, visando melhor definir o planejamento urbano/rural e estabelecer a gestão ambiental da região, pois reúne informações integradas do meio físico e fornece subsídios aos planos diretores municipais e/ou regionais.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados e discussões oriundos das análises e interpretações realizadas neste trabalho.

Para facilitar a discussão dos dados optou-se por seccionar a área total de estudo em quatro quadrantes, numerados de I a IV, em algarismos romanos, conforme ilustra a figura 31.

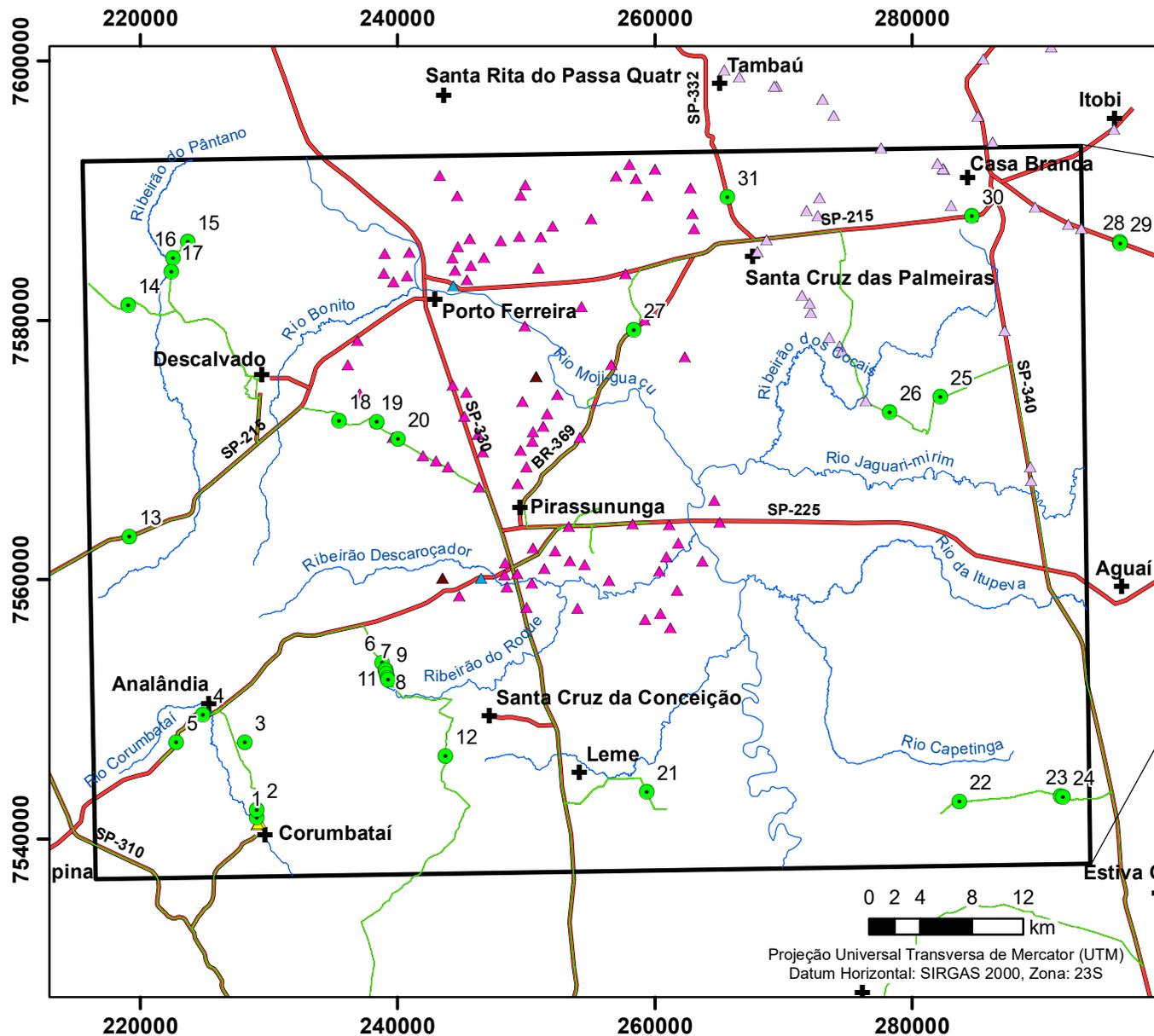
Figura 31 – Área seccionada em quatro quadrantes (I a IV).



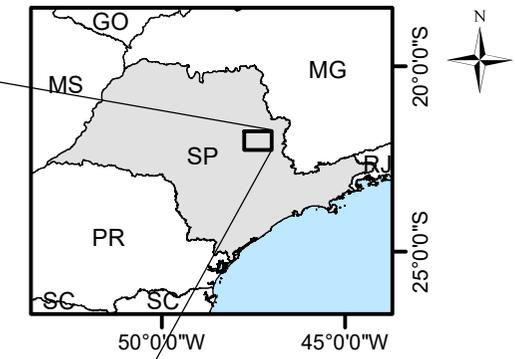
5.1 Trabalho de campo

As atividades de reconhecimento e verificações de campo compreenderam a caracterização do relevo, dos solos, dos processos erosivos e dos fatores estruturais da região, sendo confirmadas as informações levantadas previamente com a fotointerpretação.

Foram identificados cerca de 30 pontos em campo, distribuídos de acordo com suscetibilidade natural à erosão definida previamente. Para as discussões, contou-se ainda com os dados de levantamentos pedológicos e geológicos realizados por Ferreira (2005), Silva (1997) e Stefani (2003) na mesma região (Figura 32).



**Mapa de Pontos de Campo
- Região de Pirassununga/SP -**



Convenções cartográficas
 + Sedes Municipais — Rodovias
 Rede de Drenagem

Legenda
 ● Pontos de campo — Trajetos de campo
 □ Área de Estudo

Pontos descritos na bibliografia
 ▲ Ferreira (2005) ▲ Stefani (2003)
 ▲ Silva (1997)

Pontos de datações
 ▲ Dias e Perez Filho (2015)
 ▲ Ferreira e Caetano-Chang (2008)

Título: Mapa dos Pontos de Campo da Região de Pirassununga/SP

Data: Jun/2016	Figura 32
-----------------------	------------------

As descrições dos perfis de solo foram realizadas em cortes de estrada, contendo, fundamentalmente, a descrição dos horizontes diagnósticos e/ou volumes de alteração intempéricas e suas características morfológicas/morfogenéticas (profundidade, contatos, textura, cor, granulometria, estrutura, presença de *cutans*, minerais, concreções, entre outros), conforme exemplificado na Figura 33.

Figura 33 – Síntese das atividades de campo na região de Pirassununga/SP.



Em **a**, análise das formas de relevo; em **b**, identificação das cicatrizes de erosão; em **c**, processo erosivo instalado; em **d**, caracterização externa de um perfil de solo; em **e**, perfil de solo aberto indicando a separação dos horizontes diagnósticos; em **f**, caracterização das argilas e lavado de amostra do horizonte para classificação mineralógica; e em **g**, seixos com formato mamilares encontrados em perfis de solo, indicando seus processos formacionais.

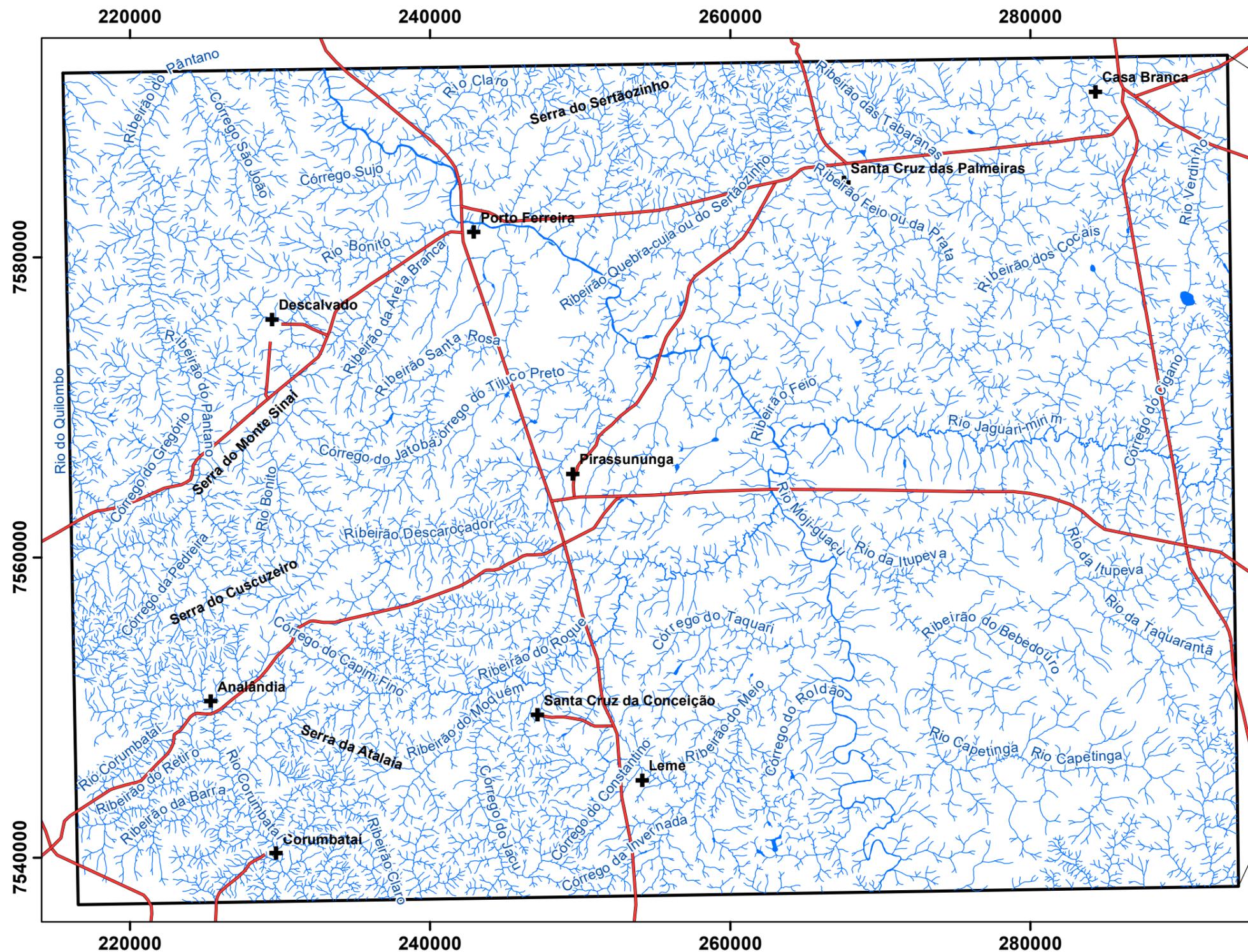
5.2 Análise Hidrográfica

Segundo Shimbo (2006), a drenagem reflete os fatores litológicos, geológicos, estruturais, geomorfológicos, pedológicos, biológicos e antrópicos do ambiente. Desta forma, ela nos permite extrair informações sobre a geologia (altos e baixos estruturais, morfometria, lineamentos de drenagem e traços de fraturas), a geomorfologia e a hidrologia de uma área (WEG, 1972). É um importante indicador da interação dos processos endógenos e exógenos ocorridos durante a evolução da paisagem, contribuindo para a análise e definição de áreas com maior fragilidade ambiental, suscetibilidade natural à erosão e potencialidade de uso da terra (SHIMBO, 2006).

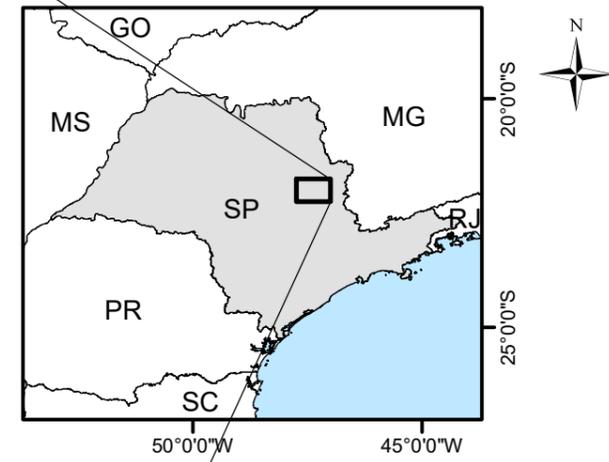
A análise dos padrões de drenagem possibilita obter informações sobre as interações deformacionais que ocorreram na subsuperfície e manifestam-se na superfície, caracterizando o comportamento como ativo ou não.

A rede de drenagem da região em estudo foi extraída e adensada com base nas folhas topográficas do IBGE (1:50.000), passo essencial para o conhecimento do meio físico e para a elaboração do estudo integrado. A rede de drenagem adensada, com a denominação de seus principais corpos d'água, segue na Figura 34.

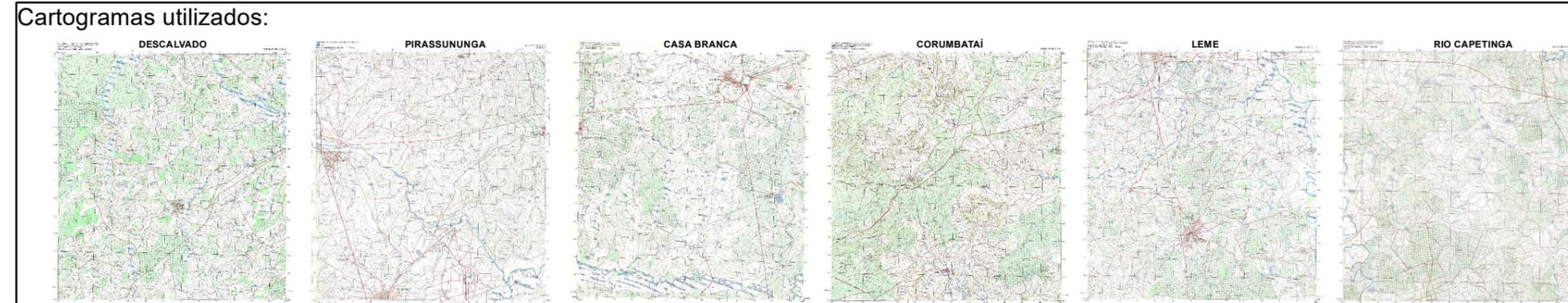
Nela também foram incluídos os nomes/localizações das principais serras da região, utilizadas nas discussões dos demais temas aqui abordados.



Mapa da Rede de Drenagem - Região de Pirassununga/SP -



- Convenções cartográficas**
- ⊕ Sedes Municipais
 - Rodovias
- Legenda**
- Rede de Drenagem adensada
 - ▭ Área de Estudo



Base de Dados:
 Rede de drenagem extraída e adensada a partir das Folhas topográficas do IBGE, em escala 1:50.000, Casa Branca (SF-23-V-C-V-4), Corumbataí (SF-23-Y-A-I-2), Descalvado (SF-23-V-C-IV-4), Leme (SF-23-Y-A-II-1), Pirassununga (SF-23-V-C-V-3) e Rio Capetinga (SF-23-Y-A-II-2)



Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000, Zona: 23S

Título: Mapa da Rede de Drenagem da Região de Pirassununga/SP

Data: Jun/2016 **Figura 34**

Na rede de drenagem da região de Pirassununga observa-se uma associação dos padrões treliça, dendrítico e subdendrítico, justificada pelos processos tectônicos atuantes na área e pelo relevo muito acidentado em determinados locais. Notam-se muitos afluentes perpendiculares aos rios principais, sendo comum a presença de candelabros. Observa-se ainda que a disposição dos drenos principais acompanha os lineamentos estruturais, caracterizando transcorrências, identificadas pela geração de vales de fundo chato com afluentes perpendiculares a eles. Igualmente, os candelabros manifestam epirogênese e/ou atividades de movimentos tectônicos mais recentes a diferentes altitudes.

O *padrão treliça* geralmente está associado à estruturação de rochas do embasamento, rochas sedimentares inclinadas ou falhadas, intercamadas, rochas vulcânicas ou metassedimentares de baixo grau, com os principais canais seguindo a direção das camadas (HOWARD, 1967; SILVA, 1997). Os pequenos tributários apresentam, essencialmente, o mesmo tamanho em ambos os lados de uma drenagem principal. Normalmente ocorre o tipo treliça em falha, indicando falhas convergentes ou divergentes fortemente paralelas, localizadas, predominantemente, nos quadrantes III e IV da área.

O *padrão dendrítico*, por se desenvolver livremente em todas as direções, é caracterizado pela sua homogeneidade em textura, em resistência à erosão e por seu desenvolvimento ser influenciado pela litologia (WEG, 1972). É considerado como típico de regiões tectonicamente estáveis (SILVA, 1997) e ocorre em sedimentos horizontais ou inclinados e rochas cristalinas uniformemente resistentes (HOWARD, 1967). É comum em áreas com baixa declividade e em aluviões, predominando sobre material argiloso. Este padrão apresenta-se de forma dispersa na área de estudo, em especial na região central da área.

O *padrão subdendrítico*, uma variação do padrão dendrítico, corresponde a transição deste para o padrão paralelo, caracterizando relevos moderadamente inclinados e com certa influência tectônica (WEG, 1972), refletindo um controle estrutural (SILVA, 1997). Ele ocorre, predominantemente, no quadrante II da área estudada.

Estes três padrões (treliça, dendrítico e subdendrítico) ocorrem de forma associada em maior parte da área, indicando o alto grau de fraturamento da região. Com base neles foi possível estabelecer correlações com a geologia, pedologia e morfoestruturas regionais.

O padrão treliça, por exemplo, resultante das intrusões vulcânicas em rochas sedimentares, evidencia uma sequência de *horsts* e *grabens* na região, justificando a deformação dos altos e baixos estruturais identificados. Ele está representado, predominantemente, por Latossolos associados a Gleissolos e Argissolos em profundidade, conforme observado no Mapa de Solos do Estado de São Paulo (Figura 14 - OLIVEIRA et al., 1999a).

A partir do padrão subdendrítico foi possível constatar que a geração de formas mais curvilíneas (próximas às anelares) indicam a ocorrência de intrusões de *sills* de diabásio, confirmada no Mapa de Formações Geológicas do Estado de São Paulo (Figura 11 - IG, 1980, 1981a, 1981b, 1983, 1984a, 1983b) pela Formação Piramboia, região centro-sul da área.

Os rios meandrantés, muito comuns na região, a exemplo do Rio Jaguari-mirim, Rio Corumbataí, Ribeirão do Roque, Ribeirão do Pântano e, em partes, do Rio Mogi-guaçu, são considerados como feições anômalas de drenagem, e podem ser interpretados como evidências de reativações transcorrentes, caracterizadas como neotectônicas (HOWARD, 1967; SCHUMM, 1986).

5.3 Análise do Relevo

A análise das formas de relevo aplicada para a região de Pirassununga foi sintetizada na Tabela 5 e inclui Província Fisiográfica, Região, Sub-região, Paisagem, Subpaisagem, Unidades Fisiográficas e a Idade relativa das formações superficiais, esta última de acordo com os resultados obtidos no item “Análise Morfométrica - Isobases Confluentes”, deste trabalho.

Tabela 5 – Resultado da Análise da Paisagem e suas Unidades Fisiográficas para a região de Pirassununga/SP.

Província Fisiográfica	Região	Sub-região	Paisagem	Subpaisagem	Unidade Fisiográfica	Idade
Província da Bacia Sedimentar do Paraná	Depressão Periférica Paulista	Zona do Mogi-guaçu	A - Aluvial (499 - 585 m)	Planícies de Inundação Atual/subatual	- Canais, diques marginais, complexo de diques, várzeas/planícies de espraiamento, terraços; - Taludes de Terraços	De hoje até 2.000 a 5.000 anos AP (Meso/ Neoholoceno)
				Planície de Inundação Subatual (abandonada)	- Canais, nascentes e lagoas abandonados - Terraços abandonados	
			P - Planáltica colúvio-aluvionar (585,1 - 1.080 m)	Planaltos	- Planaltos muito baixos (< 616 m) a muito altos (> 960 m), pouco dissecados a fortemente/muito fortemente dissecados - Taludes côncavos, convexos, retilíneos e mistos	De 10.000 anos a 56 Ma AP (Neoplesitoceno/ Eoholoceno a Eoceno/ Eomioceno)

As Províncias Fisiográficas correspondem às grandes unidades geográficas, divididas pela geografia física de um país ou de uma região muito extensa (BOTERO, 1978). A região de Pirassununga localiza-se na Província Fisiográfica da Bacia Sedimentar do Paraná (equivalente à Província Geológica), Região da Depressão Periférica Paulista, Sub-região da Zona do Mogi-guaçu (equivalentes às zonas e subzonas geomorfológicas). Estas duas últimas conformam grupos específicos de paisagens relacionados geograficamente, com parâmetros da ação dominante e relevo geral (BOTERO, 1978).

As paisagens na região são, predominantemente, aluviais e colúvio-aluvionares e influenciadas pela ação da tectônica. A paisagem aluvial, de acordo com Riccomini et al. (2000 apud SHIMBO, 2006), abrange processos fluviais, de erosão, transporte e sedimentação em leques aluviais e rios, tendo como subpaisagens as planícies de inundação atual e subatual (planícies de inundação abandonadas). As paisagens planálticas colúvio-aluvionares são constituídas por subpaisagens de planaltos, antigas planícies que sofreram ação da tectônica. Deste modo, a evolução fisiográfica

na área de estudo associa-se a condicionantes da tectônica regional e efeitos das reativações mais recentes, o que gera uma paisagem de soerguimento e abatimento de blocos.

As idades foram estabelecidas de acordo com o exposto nos resultados e discussões das Isobases Confluentes, entretanto, para estabelecer a idade exata dos depósitos são necessárias datações de seus sedimentos (GOOSEN, 1971; ZINCK, 1987).

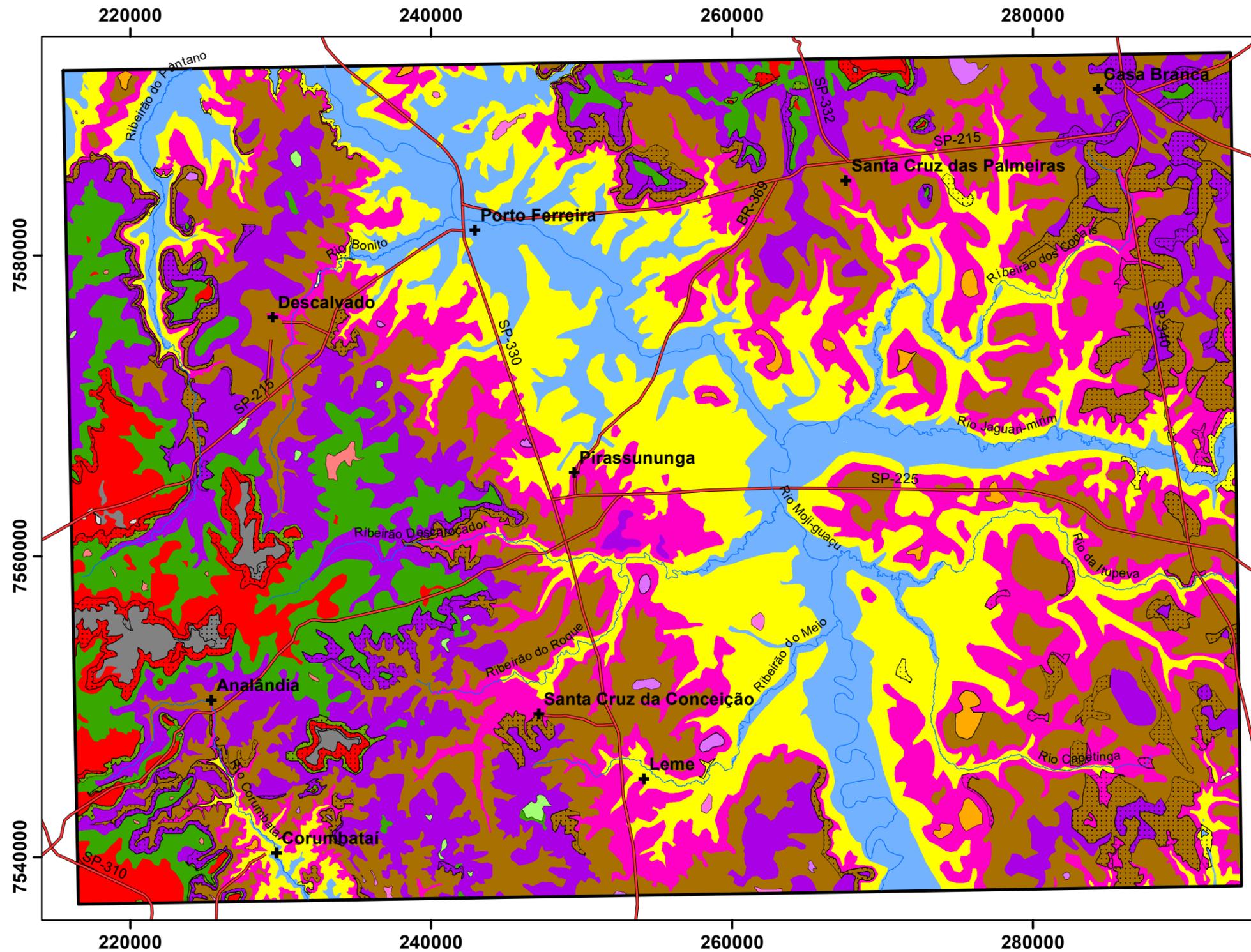
O resultado da interpretação fisiográfica foi apresentado na Figura 35, que apresenta o Mapa das Unidades do Relevo da região de Pirassununga.

As paisagens aluviais (A) foram representadas, conjuntamente, pelas planícies de inundação atual e subatual, apresentando um complexo de unidades, tais como várzeas, diques marginais, canais (predominantemente meandranes) e terraços (atuais e paleo). As planícies subatuais representam o início do desenvolvimento do planalto, devido ao condicionamento da tectônica. A estas planícies foram associadas suas idades relativas, com base em correlações com diversos trabalhos, correspondendo a paisagens do Meso/Neoholoceno até o presente.

As planícies de inundação atual e subatual foram representadas conjuntamente, pois a escala de mapeamento/apresentação não permitiria um detalhamento maior.

Na região predominam planícies de inundação mais amplas nos rios Mogi-guaçu (com intercalação de trechos meandranes e retilíneos), Jaguari-mirim, da Itupeva, Bonito e Corumbataí; nos ribeirões do Meio, Descaroçador, da Laranja-azedada, Santa Rosa e do Pântano e; no Córrego da Água Vermelha. Em sua maioria, os rios na área de estudo apresentam canais meandranes, resultado do grande número de falhamentos, dos materiais menos resistentes à erosão e do tectonismo a que a área foi submetida.

Com relação à dissecação das planícies de inundação atual/subatual, observou-se predomínio de declividades baixas (0 a 8%), correspondendo a ambientes pouco dissecados.



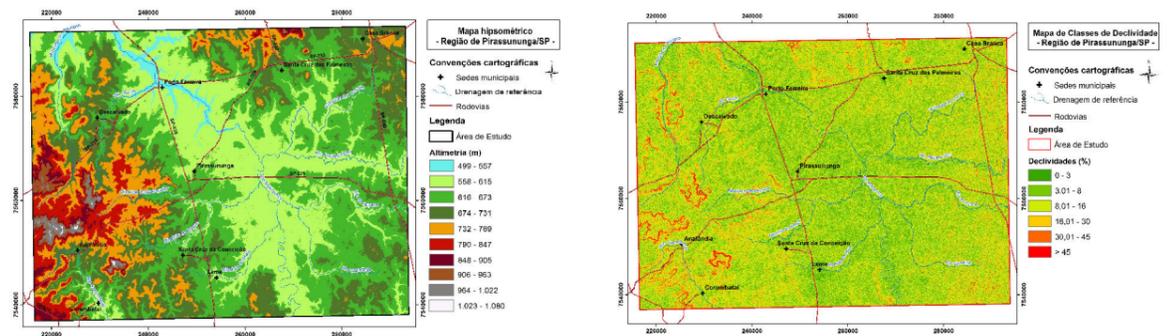
Mapa de Unidades do Relevo - Região de Pirassununga/SP -

- Convenções cartográficas**
- + Sedes Municipais
 - ~ Drenagem de referência
 - Rodovias



- Legenda**
- Área de Estudo
- UNIDADES FISIOGRAFICAS**
- Paisagem aluvial (A)**
- A - Planície de inundação atual/subatual
- Planaltos colúvio-aluvionares (P)**
- Pmb - Planaltos muito baixos**
- Pouco dissecados
 - Medianamente dissecados
 - Muito dissecados
- Pb1 - Planaltos baixos 1**
- Pouco dissecados
 - Medianamente dissecados
 - Muito dissecados
- Pb2 - Planaltos baixos 2**
- Pouco dissecados
 - Medianamente dissecados
 - Muito dissecados
- Pm1 - Planaltos médios 1**
- Pouco dissecados
 - Medianamente dissecados
 - Muito dissecados
- Pm2 - Planaltos médios 2**
- Pouco dissecados
 - Medianamente dissecados
 - Muito dissecados
- Pa - Planaltos altos**
- Pouco dissecados
 - Medianamente dissecados
 - Muito dissecados
- Pma - Planaltos muito altos**
- Pouco dissecados
 - Medianamente dissecados
 - Muito dissecados

Cartogramas utilizados:



Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum Horizontal: SIRGAS 2000, Zona: 23S

Base de Dados:
Imagem Aster GDEM/NASA, Resolução espacial: 30 metros.

Título: Mapa de Unidades do Relevo da Região de Pirassununga/SP

Data: Jun/2016 **Figura 35**

As paisagens colúvio-aluvionares planálticas (P) representam os planaltos, antigas planícies tectonizadas, que geraram diversos blocos associados a diversas altimetrias de planaltos.

Elas foram classificadas, inicialmente, de acordo com a sua altimetria em:

- Planaltos muito baixos (Pmb): 585,1- 616 metros;
- Planaltos baixos 1 (Pb1): 616,1 – 646 metros;
- Planaltos baixos 2 (Pb2): 646,1 – 702 metros;
- Planaltos médios 1 (Pm1): 702,1 – 765 metros;
- Planaltos médios 2 (Pm2): 765,1 – 819 metros;
- Planaltos altos (Pa): 819,1 – 960 metros;
- Planaltos muito altos (Pma): 960,1 – 1.080 metros.

De modo geral, observa-se nas planícies de inundação subatuais, nos planaltos muito baixos e baixos a presença de diversas lagoas abandonados e morros residuais, confirmando assim os processos de soerguimento e erosão aos quais a região vem sendo submetida.

Posteriormente, devido à escala de trabalho e ao grande tectonismo a que a área foi submetida – gerando relevo suave ondulado, com diversos morros residuais – optou-se por não individualizar os tipos de talude, sendo assim, os planaltos foram ordenados de acordo com a sua dissecação (pouco a muito fortemente dissecados), que foi definida a partir das classes de declividade obtidas pela imagem Aster. Tal imagem foi escolhida por apresentar resolução espacial de 30 metros, aumentando assim o nível de detalhe, quando comparada ao produto SRTM, por exemplo.

Desta forma, as dissecações foram agrupadas em três classes e identificadas, planalto a planalto:

- Planaltos pouco dissecados: declividades predominantes abaixo de 8%;
- Planaltos medianamente dissecados: declividades predominantes entre 8 e 30%;
- Planaltos fortemente e muito fortemente dissecados: declividades predominantes acima de 30%.

Na região observou-se o predomínio de planaltos baixos e muito baixos e dissecação mediana, com ocorrência de planaltos mais altos nos extremos oeste, centro-norte, nordeste e sudeste.

No quadrante I predominam os planaltos muito baixos a baixos 1 e 2, com dissecação mediana, excetuando-se a região da área urbana de Casa Branca que apresenta planaltos médios com dissecação mediana a forte e, a região da Serra do Sertãozinho, localizada a norte da área urbana de Santa Cruz das Palmeiras, que apresenta planaltos altos com dissecação mediana.

O quadrante II também apresenta planaltos muito baixos a baixos, com ocorrência de planaltos altos isolados, correspondendo, provavelmente a morros testemunhos. A dissecação dominante nesta porção é mediana.

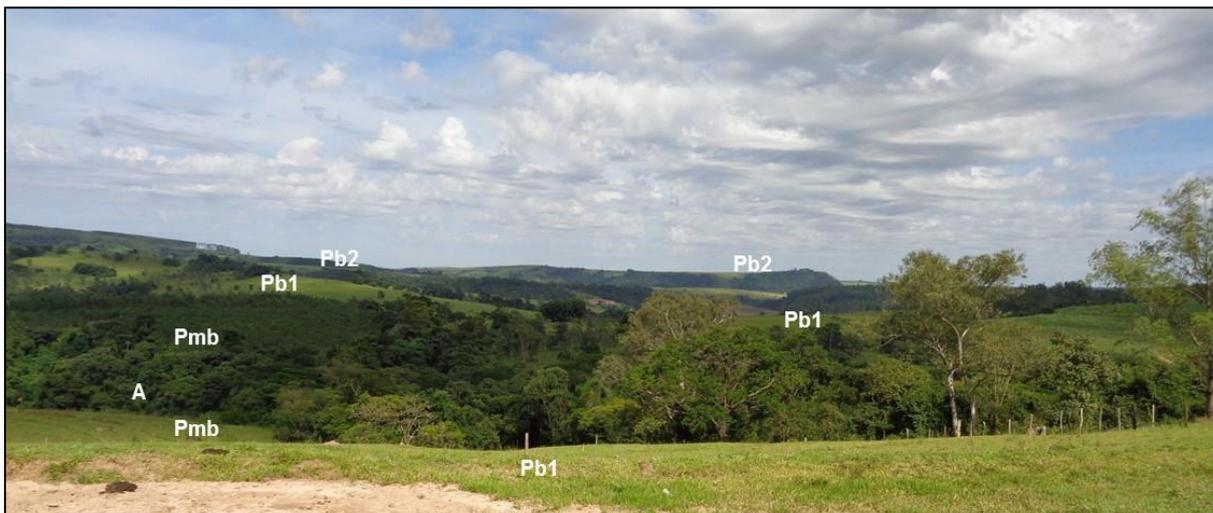
Já o quadrante III apresenta a maior variação altimétrica e de classes de dissecação da área, pois nele se encontram as serras do Cuscuzeiro, do Monte Sinai e do Atalaia, estando as maiores dissecações associadas aos seus taludes.

E, no quadrante IV predominam as planícies de inundação do Rio Mogi-guaçu e do Ribeirão do Pântano, sendo mais comum as maiores dissecações nos planaltos médios e altos.

De forma geral, a evolução da paisagem e suas principais unidades fisiográficas estão associadas aos processos de erosão e sedimentação, estimulados por movimentos tectônicos (GOOSEN, 1968; PRESS et al., 2006). Diversos estilos de falhas relacionam-se com as feições fisiográficas que caracterizam a superfície terrestre como, por exemplo, escarpas lineares e vales resultantes da erosão diferencial do material justaposto e do material produzido durante falhamentos lineares e de rejeitos direcionais (KEAREY; KLEPEIS; VINE, 2014).

Na Figura 36 é possível observar um exemplo da disposição das unidades fisiográficas, assim como o escalonamento do relevo condicionado pelos movimentos tectônicos.

Figura 36 – Exemplo de escalonamento do relevo estimulado pelos movimentos tectônicos.



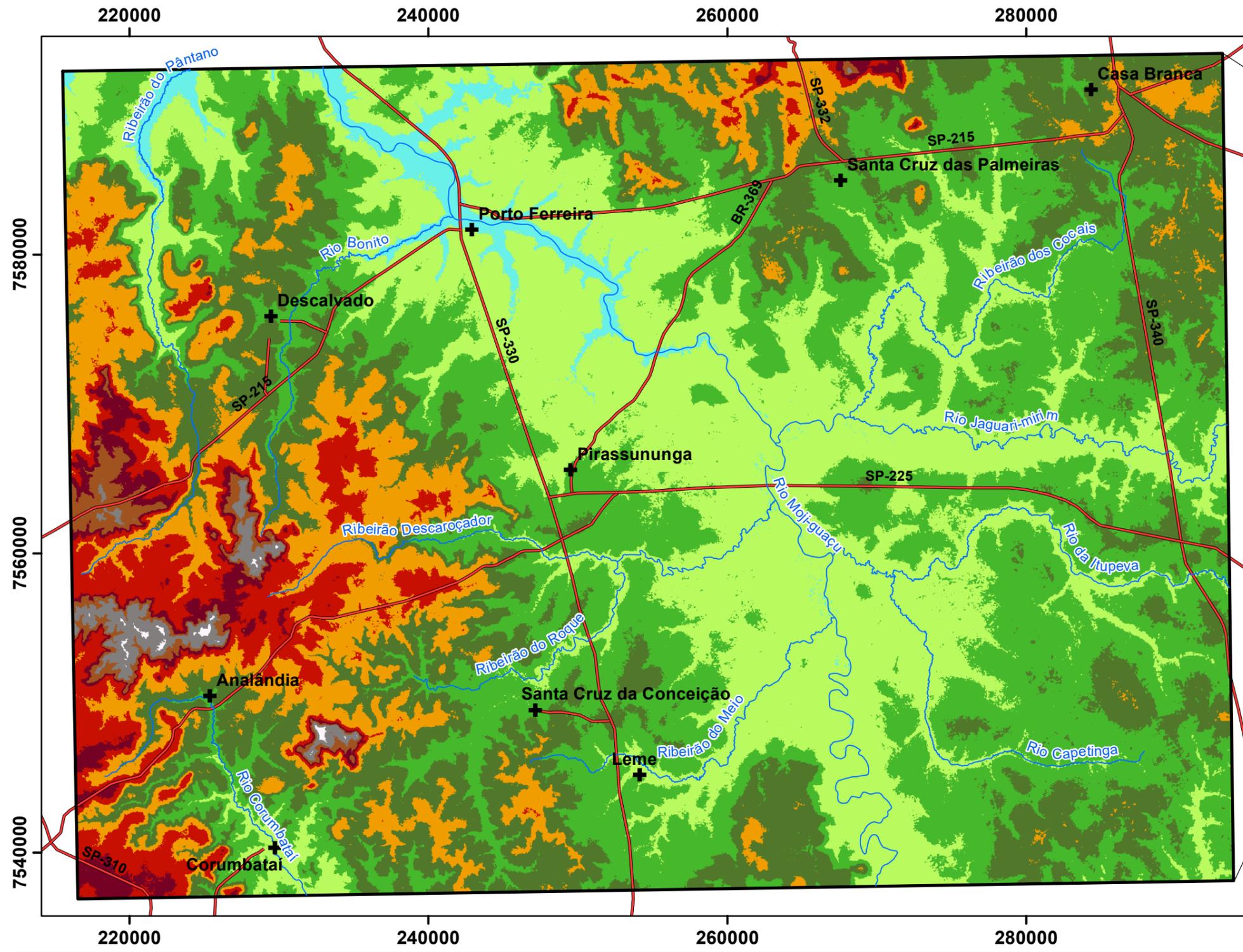
Ponto de campo nº 02, coordenadas 229015/7542097 – 639 m.

A análise fisiográfica integra os aspectos físicos e sintetiza os processos endógenos e exógenos que ocorreram na paisagem, estando relacionada com a capacidade de o intérprete integrar essas informações e ter um bom referencial dos processos geomorfológicos e pedológicos, em especial de erosão e sedimentação (GOOSEN, 1968).

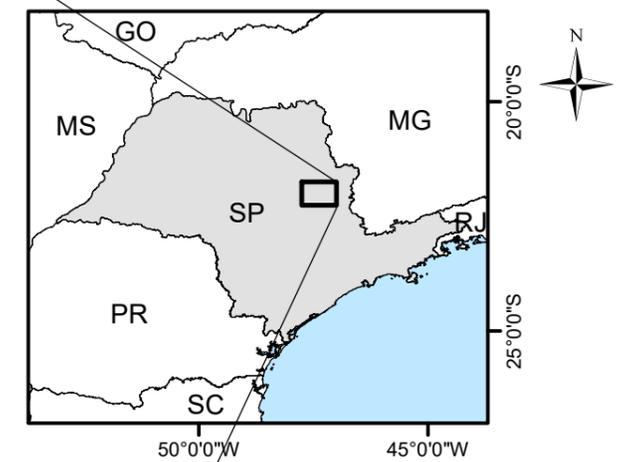
Tais características tornaram o estudo da fisiografia essencial para compreender a evolução do meio físico, melhor definir as áreas mais suscetíveis à erosão e a capacidade de suporte natural da região.

O mapa hipsométrico da Região de Pirassununga (Figura 37), elaborado a partir do modelo de elevação digital do terreno, foi seccionado em 10 classes hipsométricas (intervalos iguais de 58 m), com menor altitude igual a 499 metros e maior, 1080 metros.

As maiores altitudes ocorrem na região das serras do Cuscuzeiro (1.058 metros) e do Monte Sinai (981 metros), situadas a noroeste da área urbana do município de Analândia (porção oeste do quadrante III); da Serra do Atalaia (1.042 metros), situada entre as sedes dos municípios de Analândia e Corumbataí (porção central do quadrante III); e da Serra do Sertãozinho (875 metros), situada a norte da área urbana de Santa Cruz das Palmeiras (porção noroeste do quadrante I).



**Mapa hipsométrico
- Região de Pirassununga/SP -**

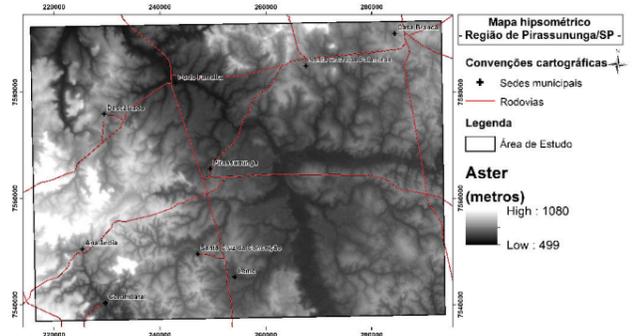


- Convenções cartográficas**
- Sedes municipais
 - Drenagem de referência
 - Rodovias

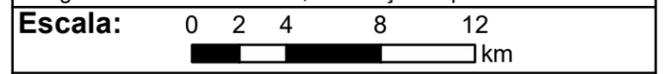
Legenda

- Área de Estudo
- Altimetria (m)**
- | | | | |
|--|-----------|--|---------------|
| | 499 - 557 | | 906 - 963 |
| | 558 - 615 | | 964 - 1.022 |
| | 616 - 673 | | 1.023 - 1.080 |
| | 674 - 731 | | |
| | 732 - 789 | | |
| | 790 - 847 | | |
| | 848 - 905 | | |

Cartogramas utilizados:



Base de Dados:
Imagem Aster GDEM/NASA, Resolução espacial: 30 metros.



Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum Horizontal: SIRGAS 2000, Zona: 23S

Título: Mapa Hipsométrico da Região de Pirassununga/SP

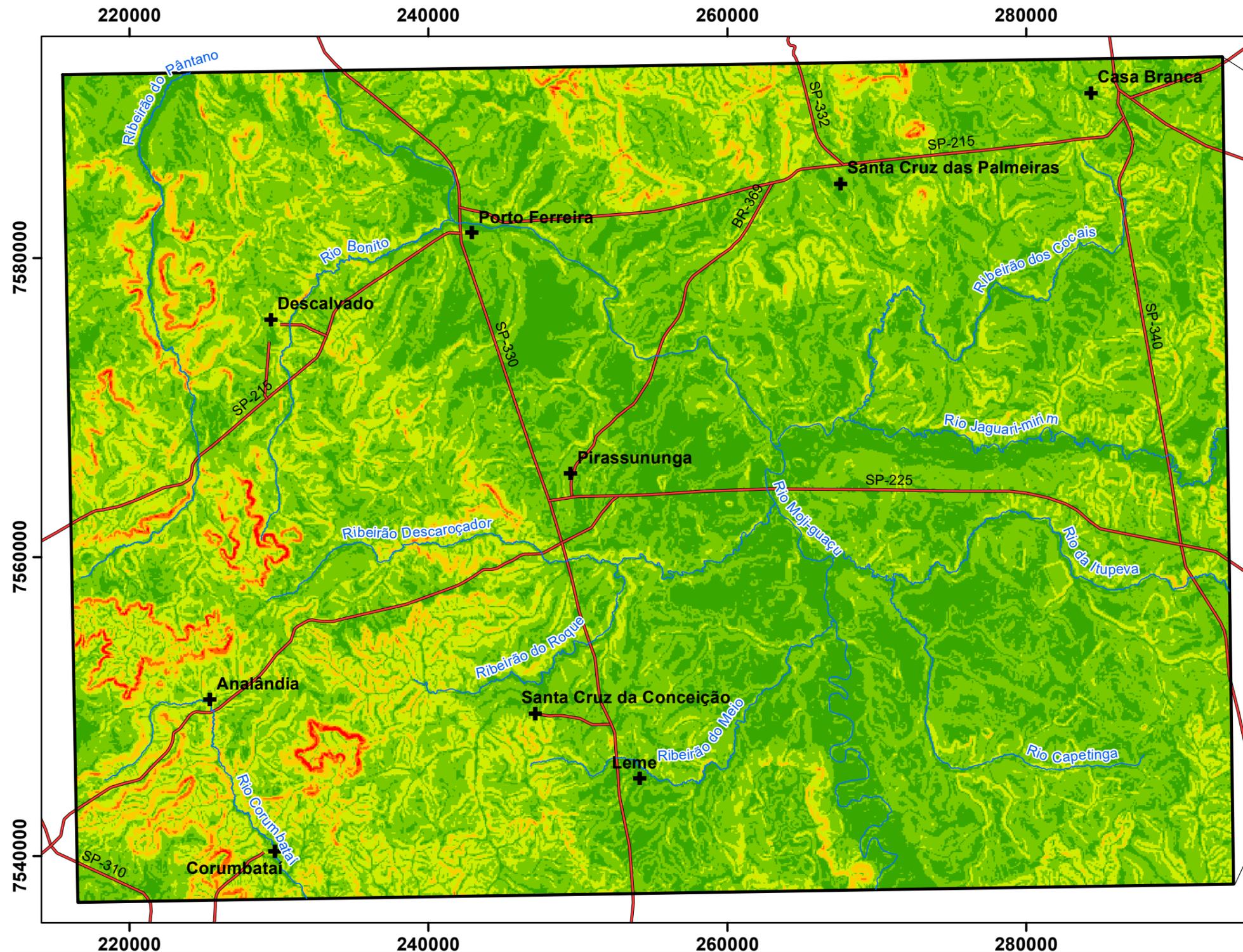
Data: Jun/2016 **Figura 37**

Na região das planícies dos rios Mogi-guaçu, Jaguari-mirim e do Ribeirão do Pântano observam-se as altitudes mais baixas, entre 499 e 615 metros.

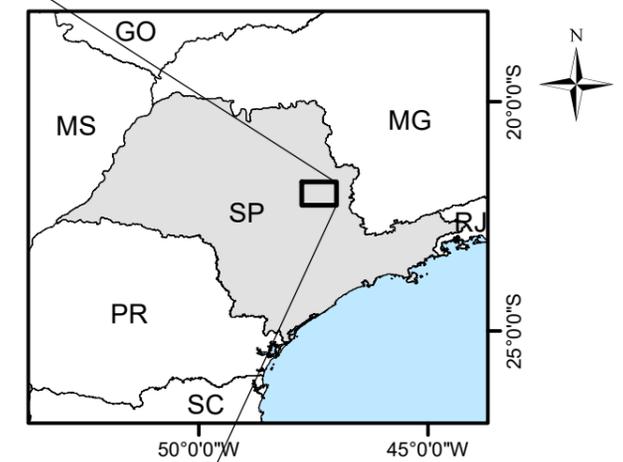
Este mapa também contribui com informações para estabelecer os altos e baixos topográficos que, quando associados aos altos e baixos estruturais, possibilitam um melhor direcionamento dos usos possíveis/sustentáveis para cada local específico.

A declividade corresponde à inclinação do relevo em relação ao plano horizontal (FLORENZANO, 2008 apud HÖFIG; ARAÚJO-JÚNIOR, 2015), ela permite detalhar melhor a aptidão agrícola das terras, pois possibilita avaliar fatores limitantes como a suscetibilidade à erosão, impedimentos à mecanização e, de forma indireta, a deficiência de fertilidade (VALLADARES et al., 2008 apud FRANCISCO; CHAVES; LIMA, 2012).

O mapa de declividade da região (Figura 38) foi dividido em seis classes, de acordo com a proposta de por Ranzani (1963), com o intuito de quantificar os diferentes índices de inclinação das vertentes. A classe com intervalo entre 0 e 3% corresponde a relevos planos a ligeiramente ondulados, podendo sofrer inundações periódicas. A classe com intervalo entre 3 e 8% relaciona-se aos relevos ligeiramente ondulados a ondulados, normalmente considerada a declividade limite para a mecanização em áreas agrícolas. O intervalo de 8 a 16% corresponde a relevos ondulados a fortemente ondulados, constituindo o limite ideal para a implantação de obras viárias. Já a classe entre 16 e 30% indica relevos fortemente ondulados, mais acidentados, com presença de colinas, correspondendo ao limite máximo para urbanização sem restrições (Parcelamento do Solo Urbano – Lei nº 6.766/1979). As classes entre 30 e 45% e acima de 45% correspondem, respectivamente, a relevo montanhoso e relevo montanhoso acidentado, compreendendo relevos colinosos, com taludes íngremes e escarpas verticalizadas, normalmente o solo é pouco espesso e pouco compacto, o que gera constantes movimentos de massa como, por exemplo, desbarrancamentos e voçorocamentos, sendo, desta forma, áreas críticas para a implantação e manutenção de quaisquer tipos de empreendimentos. Ressalta-se ainda que áreas com declividade acima de 45% devem, obrigatoriamente, corresponder à Áreas de Preservação Permanente – APPs (Código Florestal Brasileiro – Lei nº 4.771/1965 alterado pelo Novo Código Florestal – Lei nº 12.651/2012).



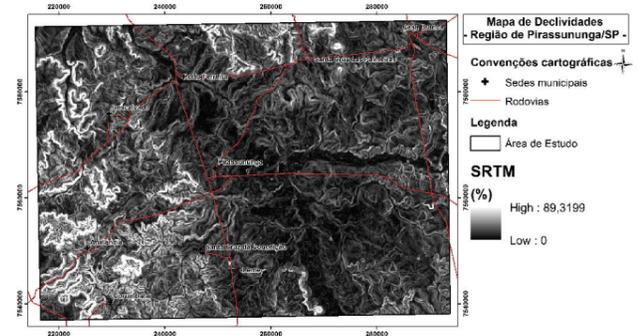
Mapa de Classes de Declividade - Região de Pirassununga/SP -



- Convenções cartográficas**
- Sedes municipais
 - Drenagem de referência
 - Rodovias

- Legenda**
- Área de Estudo
- Declividades (%)**
- 0 - 3
 - 3 - 8
 - 8 - 16
 - 16 - 30
 - 30 - 45
 - > 45

Cartogramas utilizados:



Base de Dados:
Imagem SRTM, Resolução espacial: 90 metros.

Escala: 0 2 4 8 12 km

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum Horizontal: SIRGAS 2000, Zona: 23S

Título: Mapa de Classes de Declividade da Região de Pirassununga/SP

Data: Jun/2016 **Figura 38**

De acordo com o mapa de declividade gerado observa-se, para a região de Pirassununga, o predomínio de relevos planos a suaves ondulados (0 – 8%). Sendo que as declividades acima dos 30% (relevos montanhosos e montanhosos acidentados) ocorrem, predominantemente, nas regiões das serras, as quais apresentam maiores altitudes (serras do Cuscuzeiro, do Monte Sinai, do Atalaia e do Sertãozinho), incluindo alguns locais, pontualmente, no extremo leste da área (quadrantes I e II).

Santos et al. (2005) alteraram as classes de declividade descritas por Ranzani (1963), propondo os intervalos de 0-3% (relevo plano), 3-8% (relevo suave ondulado), 8-20% (relevo ondulado), 20-45% (relevo forte ondulado), 45-75% (relevo montanhoso) e acima de 75% (relevo escarpado). Assim, a declividade representa uma das características limitantes ao uso de maquinários agrícolas pois influencia, diretamente, na velocidade de deslocamento e estabilidade das máquinas, além de poder ser considerada como uma restrição natural à produtividade dos solos (MUELLER et al., 2010 apud HÖFIG; ARAÚJO-JÚNIOR, 2015). Por outro lado, a mecanização agrícola, em geral, aumenta a capacidade produtiva e diminui a mão de obra rural (SILVA et al., 2010 apud HÖFIG; ARAÚJO-JÚNIOR, 2015).

Com relação aos limites para mecanização considerando-se a declividade do terreno, poucos são os trabalhos que atualizam os limites propostos por Ranzani (1963), entretanto, sabe-se que o avanço nas tecnologias e desenvolvimento de novos maquinários vem aumentando significativamente estes limites mecanizáveis. Nesta temática, Rezende (2008) adotou as seguintes classes de aptidão à mecanização agrícola em áreas cafeeiras de acordo com a declividade: 0-5% extremamente aptas; 5-10% muito aptas; 10-15% aptas; 15-20% moderadamente aptas; acima de 20% não aptas. Höfig e Araújo-Júnior (2014) também apontaram o uso de maquinário em culturas de café em declividades até 20%, mesma declividade limite definida por Francisco, Chaves e Lima (2012) em seu trabalho de mapeamento das áreas mecanizáveis no estado da Paraíba.

Deste modo, observa-se que as classes de declividade propostas por Santos et al. (2005) são mais concordantes com os trabalhos mais recentes sobre os limites para a mecanização agrícola. Entretanto, ainda se recomenda que a definição da utilização ou não de maquinários em declividades entre 8 e 20% seja determinada com base na assessoria de pessoal capacitado, seguindo as instruções dos fabricantes dos maquinários.

5.4 Análise Morfoestrutural

A drenagem extraída e adensada a partir das folhas topográficas foi a base para a identificação das formas anômalas de drenagem na região de Pirassununga. Optou-se por apresentar, conjuntamente as morfoestruturas e os dados hipsométricos da região, facilitando a discussão das formas anômalas de drenagem associadas às altimetrias e, assim, uma indicação de usos mais adequados para cada associação (altos estruturais/altos topográficos; altos estruturais/baixos topográficos; baixos estruturais/altos topográficos; baixos estruturais/baixos topográficos).

Na caracterização morfoestrutural buscou-se um significado geológico para as diferentes formas e/ou associações dos elementos de drenagem e relevo, seguindo a premissa de que as morfoestruturas são condicionadas por fatores litológicos, pela presença de processos morfogenéticos atuantes sobre a superfície (SHIMBO, 2006) e de que muitas estruturas são refletidas na superfície, sendo passíveis de identificação a partir da interpretação de produtos de sensoriamento remoto (JIMÉNEZ-RUEDA et al., 1993). Segundo Soares et al. (1981a), drenagens que se organizam em duas direções podem ser interpretadas como reflexo de rejeito de falhamentos profundos, reproduzindo na superfície o resultado da movimentação de blocos.

A análise morfoestrutural permite estabelecer hipóteses sobre o comportamento das coberturas de alteração intempérica, assim como sobre os processos de adição, subtração, transformação e translocação que ocorrem no solo (VIEIRA, 1975; JENNY, 1941). Estas definições podem ser correlacionadas com os aspectos climáticos, geológicos, fisiográficos e pedológicos, permitindo-nos inferir sobre o comportamento e sobre as classes de solo.

A partir da análise morfoestrutural é possível ainda inferir sobre as permeabilidade, porosidade, estrutura, erodibilidade e fragilidade ambiental (JIMÉNEZ-RUEDA et al., 1993). Desta forma, este mapa foi utilizado como instrumento para melhor definir a instabilidade ambiental e a adequabilidade para os diferentes usos e ocupações da terra.

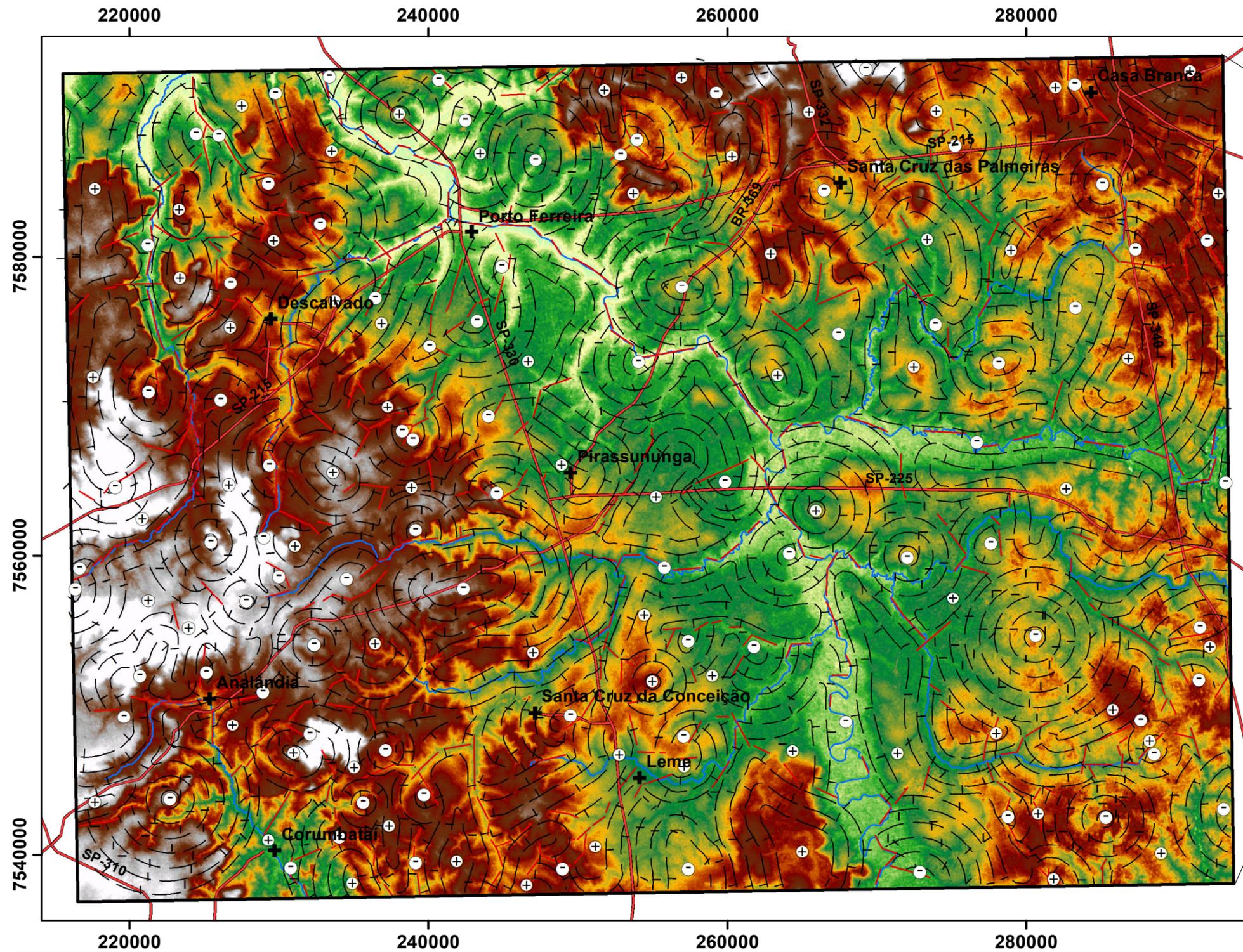
Os altos estruturais associam-se a sistemas abertos (locais exorreicos), com intensa circulação de água, correspondendo a importantes áreas de recarga de aquíferos e lençóis freáticos, com menor tendência à retenção de água, ocorrendo em solos mais evoluídos e muito permeáveis, com intensa lixiviação de nutrientes e

translocação de material coloidal. São caracterizados por ambientes oxidativos que conduzem, sob condições de climas tropicais úmidos a muito úmidos, à evolução de mantos de alteração intempérica muito profundos e que, quando associados a falhas e *trends* estruturais, podem conduzir a erosões intensas.

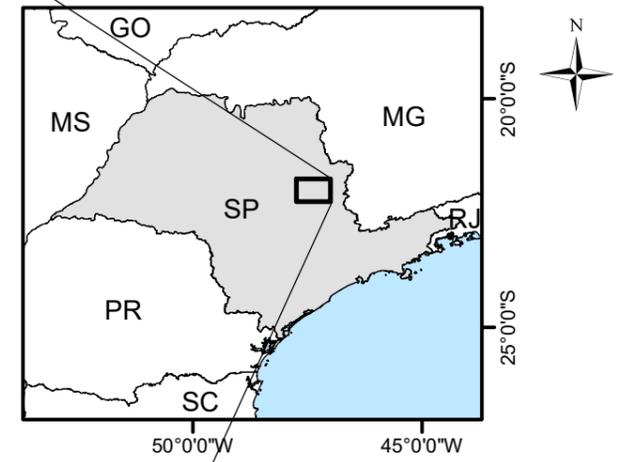
Como nestas áreas a hidrólise e a transferência de elementos são mais constantes, elas apresentam pH mais ácido, sendo necessário utilizar adubos de forma fracionada, devido à fácil lixiviação dos nutrientes. Recomenda-se, ainda, a criação de curvas de nível para retenção da água, principalmente em períodos de seca, quando o solo fica mais exposto e é mais facilmente erodido (SHIMBO, 2006).

Já os baixos estruturais associam-se a sistemas fechados, endorreicos e com baixa e direcionada circulação de água. Correspondem a locais de retenção de água e acumulação de nutrientes, sendo assim mais férteis. São ambientes redutores, onde predominam processos de argilização e gleização. Geralmente correspondem a ambientes frágeis, requerendo maiores cuidados em seu manejo e ocupação, em especial se associados a fraturamentos, quando se tornam altamente percolativos e suscetíveis à erosão e à contaminação dos aquíferos superficiais e confinados. Entretanto, quando da ocorrência de *trends* estruturais sob condições tropicais podem se desenvolver solos mais evoluídos como Latossolos e Argissolos Distróficos, conduzindo, geralmente, à geração de argilominerais esmectíticos. Sendo assim, estes locais não são recomendáveis, por exemplo, para a implantação de curvas de nível normais, mas sim para a construção de terraços invertidos com inclinação aproximada de 5 ‰.

O Mapa Morfoestrutural da região de Pirassununga (Figura 39) mostra que, de uma forma geral, a área está contida em um sistema intensamente fraturado, o que gerou paisagens de abatimento e soerguimento de blocos (*horsts* e *grabens*), com altos e baixos estruturais deformados e altos e baixos topográficos intercalados, deste modo, são exigidas indicações de manejo específicos para cada área, pois a circulação de elementos e os processos atuantes na paisagem correlacionam-se com as características morfoestruturais e topográficas conjuntamente. Os altos e baixos estruturais, quando associados a relevos com alta ou baixa altitudes, contribuem para um melhor planejamento de obras de engenharia e manejo agrícolas (JIMÉNEZ-RUEDA et al., 1993).

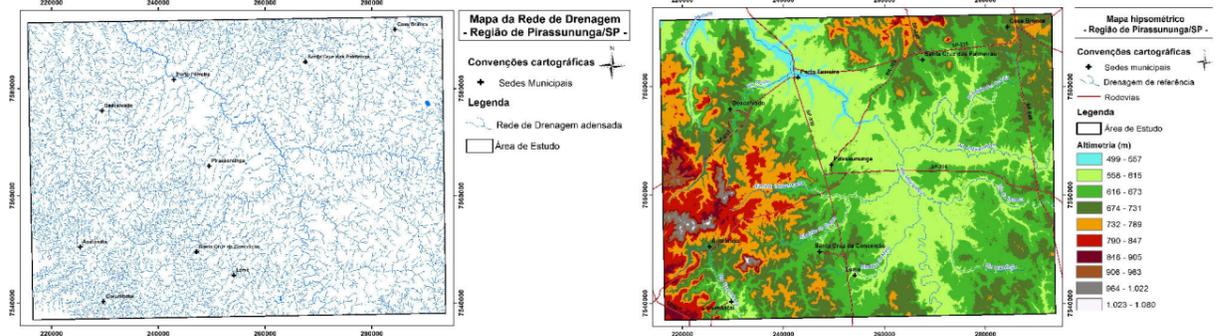


Mapa Morfoestrutural - Região de Pirassununga/SP -

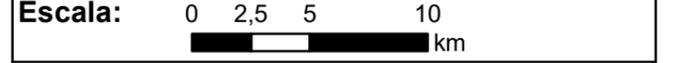


- Convenções cartográficas**
- ⊕ Sedes Municipais
 - Rodovias
 - (blue) Drenagem de referência
- Legenda**
- Área de Estudo
- Morfoestrutural**
- ⊕ Alto estrutural
 - ⊖ Baixo estrutural
 - (black) Linha de contorno estrutural não cotada
 - (red) Alinhamentos de drenagem
- Altimetria**
- 1080 m
 - 499 m

Cartogramas utilizados:



Base de Dados:
 Rede de drenagem extraída e adensada a partir das Folhas topográficas do IBGE, em escala 1:50.000, Casa Branca (SF-23-V-C-V-4), Corumbataí (SF-23-Y-A-I-2), Descalvado (SF-23-V-C-IV-4), Leme (SF-23-Y-A-II-1), Pirassununga (SF-23-V-C-V-3) e Rio Capetinga (SF-23-Y-A-II-2)



Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000, Zona: 23S

Título: Mapa Morfoestrutural da Região de Pirassununga/SP

Data: Jun/2016 **Figura 39**

Para a discussão foram utilizadas as altitudes locais (Mapa hipsométrico – Figura 37); as ocorrências geológicas (Figura 11 - IG, 1980, 1981a, 1981b, 1983, 1984a, 1983b), pedológicas (Figura 13 - BRASIL, 1960; Figura 14 - OLIVEIRA et al., 1999a) e as relações entre morfoestrutura e morfometria e suas aplicações, expostas no Quadro 1 (JIMÉNEZ-RUEDA et al., 1993).

O mapa morfoestrutural demonstra, de uma forma geral, que os altos e baixos estruturais apresentam-se muito perturbados e/ou limitados por descontinuidades, o que reforça a hipótese de a área ter passado por diferentes processos deformacionais (YAKUSHOVA, 1986). Essas diferentes retomadas dos processos deformacionais atuam, em geral, sobre antigas zonas de fraqueza (descontinuidades), reativando-as.

Nas porções norte e leste do quadrante I predominam altos estruturais deformados e fraturados associados a altos topográficos (regiões serranas), apresentando intemperismo e lixiviação intensos, entretanto, a suscetibilidade natural à erosão é baixa, assim como a fertilidade potencial do solo. Apresentam solos mais evoluídos (domínio de pedogênese sobre a morfogênese), como os Argissolos Vermelho-amarelos, Latossolos Roxos e Latossolos Vermelhos. Estes locais não são indicados para aplicação única de adubos (devido a intensa circulação de água), nem para a construção de aterros, sendo mais adequados para a instalação de obras de engenharia civil, como estradas e edificações, assim como para culturas anuais e/ou semiperenes, possibilitando mecanização intensa. Entretanto, na porção leste, a ocorrência de zonas de variação de máximos e de *trends* estruturais, promovem maior fragilidade, recomendando-se um manejo mais cuidadoso.

Ainda nas porções norte e leste do quadrante I ocorrem baixos estruturais encaixados em falhas associados a altos topográficos, conferindo a estes locais suscetibilidade natural à erosão alta, forte intemperismo e solos mais evoluídos. Devido à sua característica retentora, são adequados para aterros sanitários, descarte de efluentes e uso de adubos, desde que tomadas as devidas medidas de controle no caso dos aterros. Os demais baixos estruturais situam-se, predominantemente, em baixos topográficos, apresentando altas lixiviação, fertilidade potencial e suscetibilidade natural à erosão, dando origem a solos menos evoluídos, como Neossolos e Gleissolos, indicados, de modo geral, para silvicultura, horticultura e proteção ambiental.

Os demais altos estruturais, situados na porção centro-sul do quadrante I, estão associados a baixos topográficos, indicando moderada suscetibilidade natural à erosão e possibilidade de implantação de culturas semiperenes e anuais.

Com relação às coberturas superficiais, ainda no quadrante I, nas porções norte e oeste do município de Santa Cruz das Palmeiras, observa-se a dominância de *sills* de diabásio, chegando até Pirassununga, com Latossolos Roxos e Podzólicos Vermelho-amarelos (Argissolos), estes últimos originados das Fm. Corumbataí e Piramboia. A leste, dominam os sedimentos da Fm. Pirassununga, indicando baixos estruturais. Ao sul ocorrem Latossolos Vermelhos associados aos Vermelho-amarelos provenientes da Fm. Tatuí, indicando altos estruturais. E, o município de Casa Branca situa-se, exclusivamente, sobre Latossolos Vermelhos associados aos Vermelho-amarelos provenientes da Fm. Pirassununga, predominando, desta forma, baixos estruturais nesta área. Já a região da Lagoa Branca (distrito de Casa Branca) localiza-se na transição de um alto para baixo estrutural, com presença de Latossolos Vermelhos. Nota-se também que o fraturamento da área fecha um alto estrutural, gerando solos com aparente desenvolvimento de horizonte Bt, cujos *cutans* são caracterizados como *clayskins* (espelhos de falha), o que explica a ocorrência de Nitossolos associados aos Latossolos Vermelhos.

No quadrante II, nas porções leste e sul, ocorrem altos estruturais, fraturados e deformados, associados a altos topográficos, conferindo a estes locais as mesmas características das porções norte e leste do quadrante I. Merece atenção especial a porção leste por apresentar *trends* estruturais, o que incrementa a sua fragilidade ambiental. Sobre a planície do Rio Mogi-guaçu ocorrem baixos estruturais fraturados e encaixados nas falhas, gerando solos menos desenvolvidos (predomínio de morfogênese), como os Gleissolos, indicados, neste caso, para áreas de proteção ambiental, horticulturas e silvicultura, visto que o uso de maquinários, adubos e a instalação de obras de engenharia e sanitárias são restritos ou inadequados.

Entre as calhas do Rio Jaguari-mirim e do Mogi-guaçu, observam-se altos estruturais deformados correspondentes aos Latossolos Vermelho-amarelos sobre substrato da Fm. Pirassununga. Nota-se também que tais rios encontram-se sobre baixos estruturais. Nas proximidades do município de Aguai (porção leste do quadrante II) ocorrem partes exumadas da Fm. Itararé, que deram origem aos solos Podzólicos Vermelho-amarelos Variação Laras, caracterizando os baixos estruturais. No extremo sudeste do quadrante e da área, apresentam-se Podzólicos Vermelho-

amarelos associados às partes exumadas do Grupo Itararé, com presença de intenso fraturamento, o que corresponde à transição de um pequeno alto para baixo estrutural. Nesta porção, o Latossolo Vermelho correlaciona-se com as intrusões de diabásio e com os Latossolos Vermelho-amarelos, com o substrato da Fm. Pirassununga soterrando-os.

Na região do município de Leme (porção central entre os quadrantes II e III), ocorrem Terras Roxas estruturadas associadas a Latossolos Roxos e Vermelho-escuros, sendo que estes últimos têm ocorrência predominante em altos estruturais, alinhados com direção NW, que se associam às intrusões de *sills* de diabásio e aos sedimentos das Formações Corumbataí, Tatuí e Piramboia intrudidos. Observa-se ainda que os baixos estruturais estão situados nas zonas de transição entre estas litologias.

No quadrante III, predominam altos e baixos estruturais associados a altos topográficos (como nas serras do Cuscuzeiro, do Monte Sinai e do Atalaia), estando os baixos estruturais melhor definidos que os altos, muito deformados e tectonizados, os quais geram neocondições de argilização. Quando associados aos mapas pedológicos da região, nota-se a ocorrência de Regossolos e Litossolos (Neossolos) associados, fundamentalmente, a Argissolos. O aparecimento dos Neossolos deve-se à formação dos altos estruturais por reativações mais modernas. Por mais que tais áreas sejam adequadas para diversos usos, a presença de diversos *trends* estruturais, zonas de máximos e declividades superiores a 16% confere a esta região uma maior fragilidade ambiental, sendo necessário um manejo mais cuidadoso.

As áreas urbanas dos municípios de Leme e Corumbataí estão instaladas sobre altos estruturais/baixos topográficos, muito fraturados, com presença de *trends* estruturais e zonas de variação de máximos, havendo assim a necessidade de se dar grande atenção para o descarte de efluentes líquidos e sólidos, visto que são locais mais propensos à contaminação do lençol freático e dos solos.

O quadrante IV apresenta altos estruturais/altos topográficos nas suas porções nordeste, centro-oeste e sudoeste, deformados e alongados, predominantemente, com direção NS, e baixos estruturais/altos topográficos, muito fraturados, indicando locais que necessitam de manejo mais cuidadoso. A área urbana do município de Porto Ferreira, situado na planície do Rio Mogi-guaçu, sobre um baixo estrutural, apresenta características de uso muito restritas, devendo ser dada especial atenção ao descarte de efluentes e às instalações de obras de engenharia. A noroeste do

mesmo município são observados altos estruturais deformados, com eixos de direção predominante NW, associáveis aos Latossolos Vermelhos (oriundos da Serra Geral) soterrados por Latossolos Vermelho-amarelos com substrato da Formação Pirassununga e, onde o relevo é fortemente ondulado e ondulado, ocorrem Neossolos Quartzarênicos/Litólicos com substrato da Fm. Botucatu e Neossolos Regolíticos com substrato da Fm. Serra Geral.

Já a área urbana do município de Pirassununga foi instalada sobre um alto estrutural deformado e alongado em direção NW, associado a um baixo topográfico e a *trends* estruturais. Desta forma, o descarte de efluentes merece atenção especial, visto que o ambiente é muito exorreico e apresenta média a alta circulação de água no solo, podendo assim contaminar, rapidamente, as águas dos aquíferos, muito utilizadas para consumo humano na região.

Na região entre Santa Cruz da Conceição e Porto Ferreira (porção central entre os quatro quadrantes) ocorrem Latossolos Vermelhos (influência dos *sills* de diabásio) associados a Latossolos Vermelho-amarelos (influência dos sedimentos da Fm. Pirassununga) que se relacionam com o alinhamento das morfoestruturas em sentido NW, acompanhando a intrusão das rochas básicas.

Portanto, a discussão sobre as relações das morfoestruturas e suas altimetrias (alto e baixo topográfico) são de grande importância para a análise do meio físico e compreensão da fisiologia da paisagem, bem como para indicação de usos e ocupações adequados e diferenciados para cada porção do espaço geográfico, colaborando assim, com a definição e recomendações sobre a capacidade de suporte natural e dos demais mapas temáticos como, por exemplo, alocação de áreas de sacrifício para aterros sanitários.

5.5 Análise Morfotectônica

A análise do condicionamento dos lineamentos estruturais é possibilitada pelo arranjo linear da drenagem (LIMA, 1995). Desta forma, lineamentos de drenagem podem ter sido deslocados por lineamentos estruturais, evidenciando a influência da tectônica na estruturação da paisagem, alterando o nível de base, deslocando blocos e gerando estruturas do tipo *horst* e *graben* (SUGUIO, 1999).

Segundo o autor supracitado, um *horst* corresponde a um bloco alongado e soerguido entre blocos falhados e um *graben*, a uma depressão delimitada por falhas.

A formação de estruturas destes tipos normalmente está associada a falhas normais (MACHADO; SILVA, 2000). Deste modo, a presença de falhas, representantes de mudanças nas posições dos planos rochosos (SUGUIO, 1999), pode ser evidenciada, mesmo que indiretamente, pela morfologia dos lineamentos de drenagem (HASUI; MIOTO, 1992).

A morfotectônica estuda as relações entre as unidades do relevo e as estruturas tectônicas (falhas, juntas, fraturas) de uma região, relacionando as deformações da crosta terrestre com os processos erosivos sedimentares (SUGUIO, 1999). Assim sendo, esta análise permite delimitar áreas intensamente fraturadas, mais frágeis e suscetíveis à erosão (CRISÓSTOMO-NETO, 2003; MATTOS et al., 2002; RODRIGUES, 2000) e, conseqüentemente, áreas onde o manejo deve ser mais cauteloso ou que deveriam ser indicadas à proteção ambiental.

Deste modo, informações sobre a morfotectônica da área tornam-se uma ferramenta fundamental para a verificação das instabilidades do meio físico, colaborando para indicações de manejos mais apropriados para cada local.

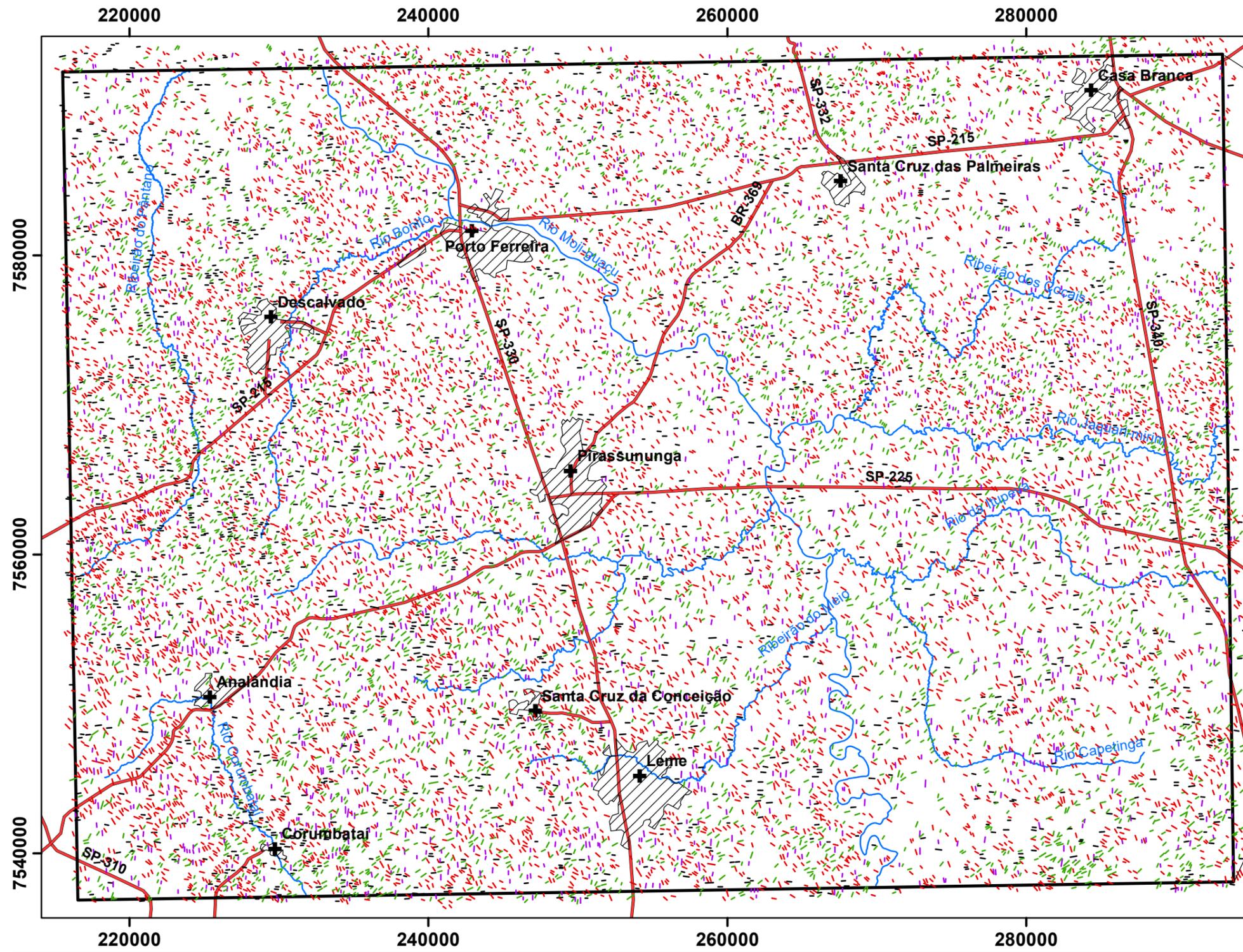
5.5.1 Traços de Juntas

Os traços de juntas são considerados registros das deformações mais modernas da paisagem e, conseqüentemente, utilizados para compreensão da dinâmica da paisagem e suscetibilidade à erosão (SHIMBO, 2006).

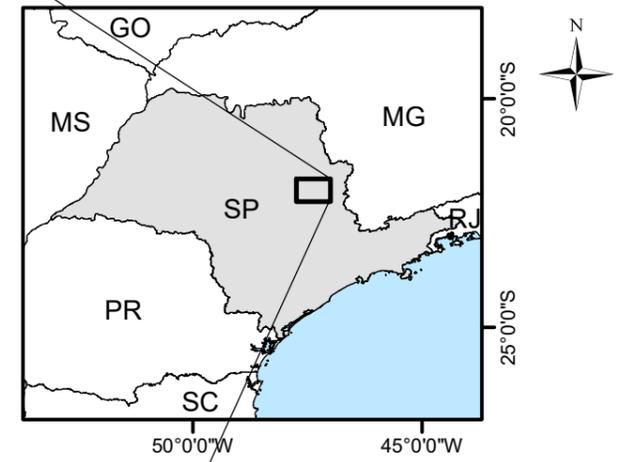
No Mapa de Traços de Juntas da região de Pirassununga (Figura 40) observou-se alta densidade de traços, ocorrendo predominantemente nas direções NW e NE e, subordinadamente, NS e EW, indicando que praticamente toda a área apresenta potencial para ocorrência de processos erosivos.

Sabe-se que os locais com alta densidade destes traços, em mais de uma direção, correspondem às áreas mais fraturadas e frágeis, o que torna o manejo mais complicado e cuidadoso.

A partir dos traços de juntas foram definidas as duas direções preferenciais, identificadas como máximos 1 e máximos 2 (Figura 41).



Mapa de Traços de Juntas - Região de Pirassununga/SP -



Convenções cartográficas

- Sedes Municipais
- Drenagem de referência
- Rodovias
- Área urbana

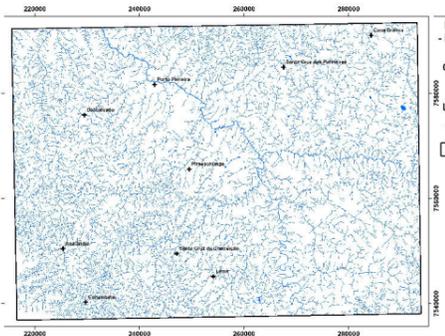
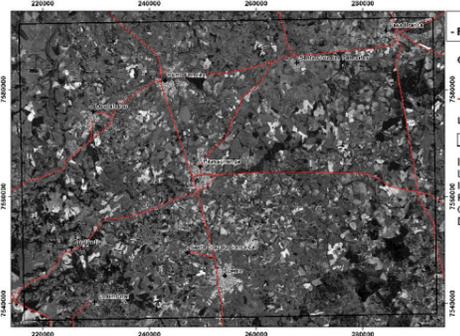
Legenda

- Área de Estudo

Direção dos traços de juntas

- NW
- NE
- EW
- NS

Cartogramas utilizados:



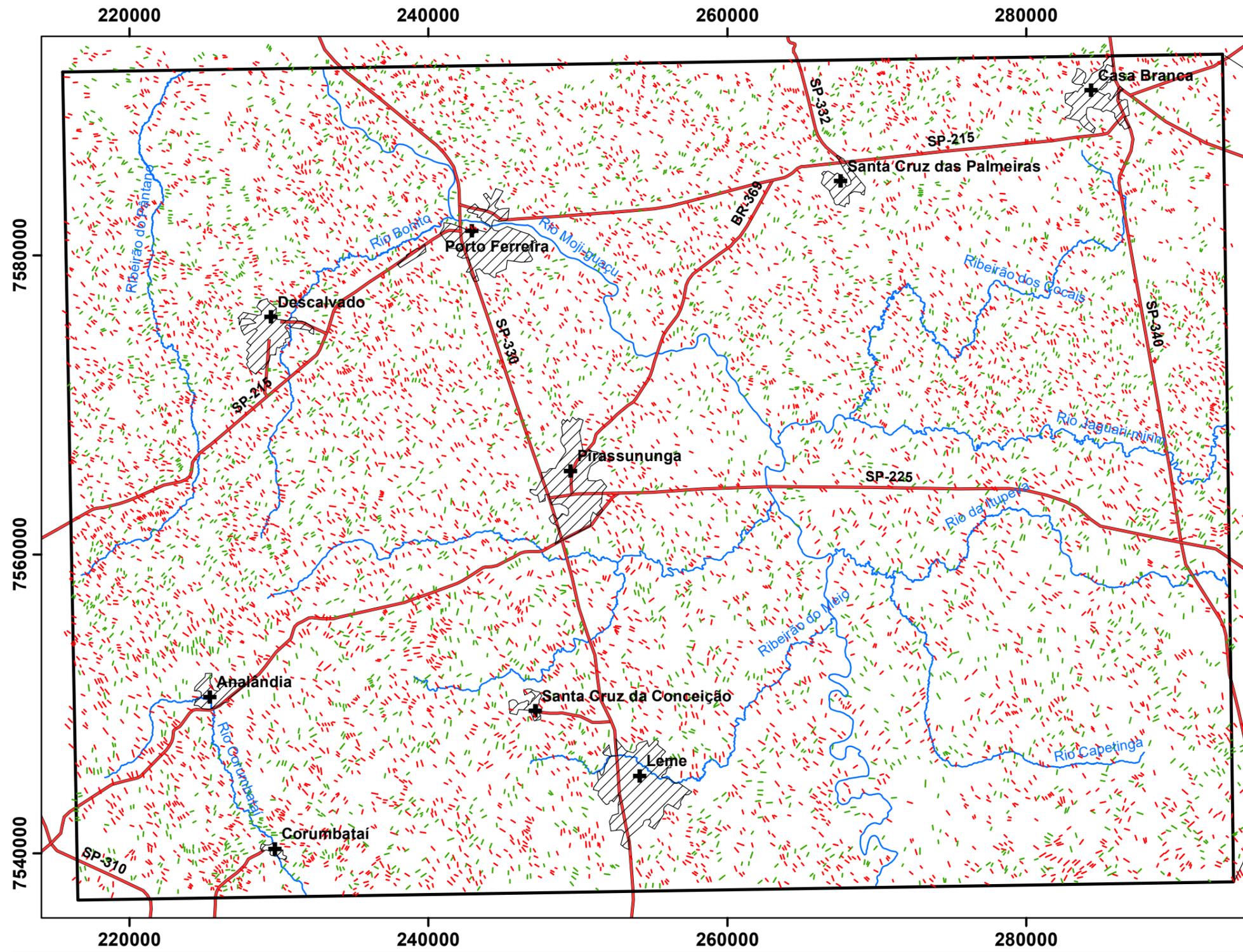
Base de Dados:
 Imagem de Satélite DGI-INPE, Landsat 8 - banda 8
 Instrumento: OLI, Resolução espacial: 15 metros
 Órbita/Ponto: 220/075, Data de passagem: 2015-05-09



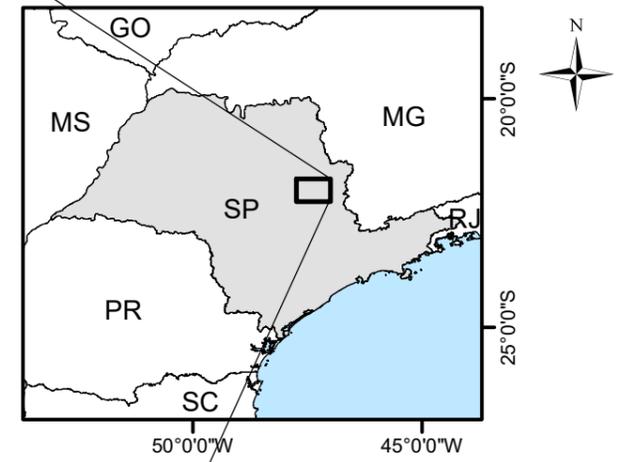
Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000, Zona: 23S

Título: Mapa de Traços de Juntas da Região de Pirassununga/SP

Data: Jun/2016 **Figura 40**



Mapa de Máximos 1 e 2 de Traços de Juntas - Região de Pirassununga/SP -



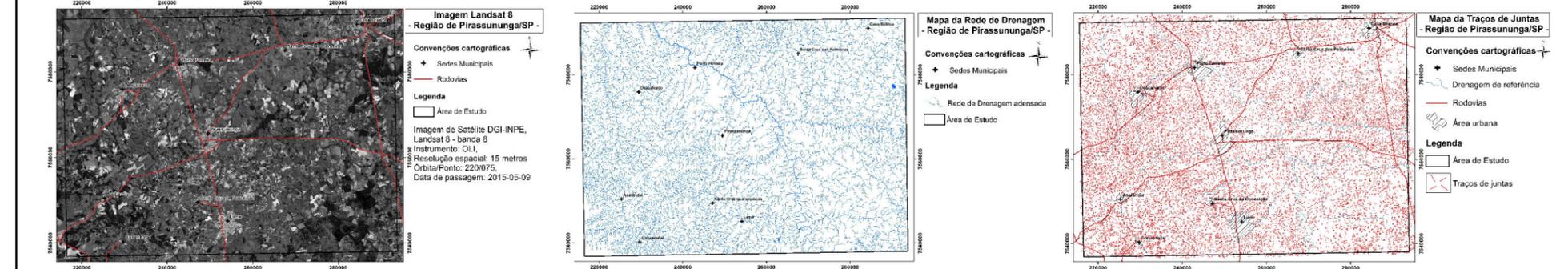
Convenções cartográficas

- Sedes Municipais
- Drenagem de referência
- Rodovias
- Área urbana

Legenda

- Área de Estudo
- Máximos 1 de Traços de juntas
- Máximos 2 de Traços de juntas

Cartogramas utilizados:



Base de Dados:
 Imagem de Satélite DGI-INPE, Landsat 8 - banda 8
 Instrumento: OLI, Resolução espacial: 15 metros
 Órbita/Ponto: 220/075, Data de passagem: 2015-05-09

Escala: 0 2 4 8 12 km

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000, Zona: 23S

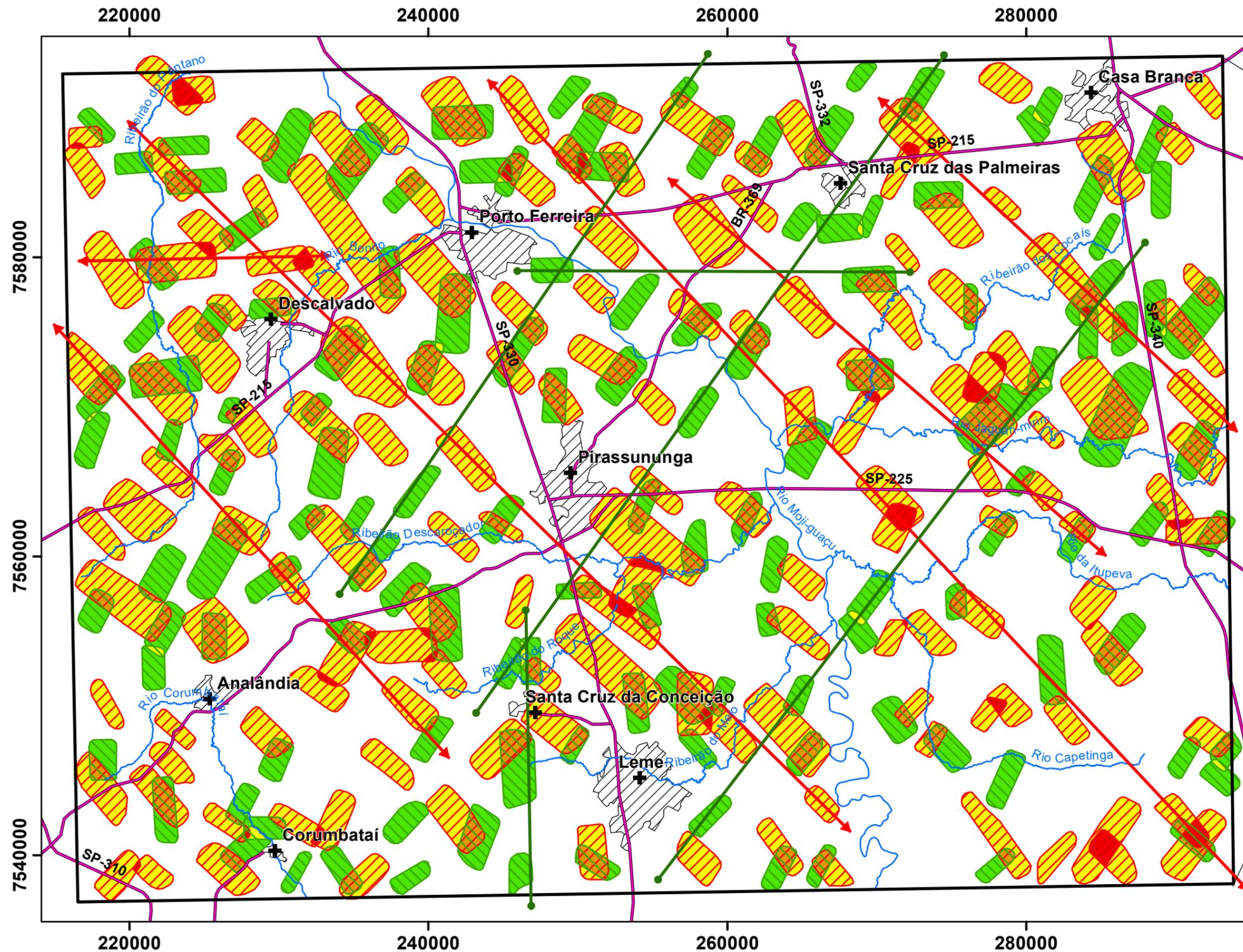
Título: Mapa de Máximos 1 e 2 de Traços de Juntas da Região de Pirassununga/SP

Data: Jun/2016 **Figura 41**

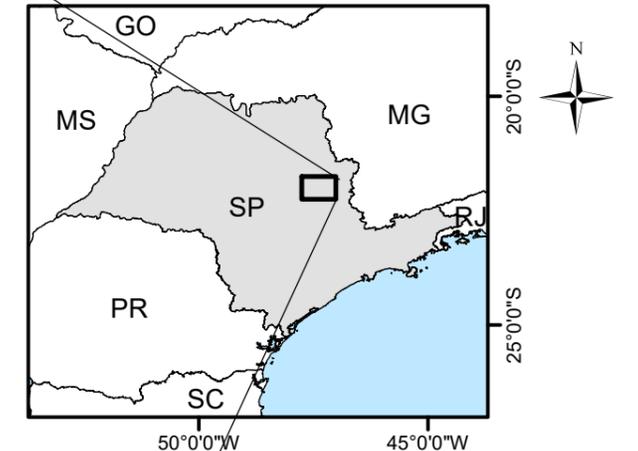
A partir dos máximos 1 e 2 foi gerado o mapa de zonas de maior densidade de máximos 1 e 2, com seus eixos direcionais predominantes e associados às suas respectivas classes de suscetibilidade natural à erosão (Figura 42). Nele observam-se as áreas com maior concentração de traços de juntas e suas respectivas direções (representadas pela direção da forma da zona de máximo). As sobreposições entre zonas de máximos indicam áreas de maior sensibilidade ambiental e os eixos indicam as direções principais dessas zonas. Ressalto que não foram traçados todos os eixos identificados pois isso sobrecarregaria o mapa dificultando seu entendimento, desta forma, foram traçados apenas os eixos mais representativos. Esta análise aumenta a confiabilidade na classificação das áreas mais frágeis e suscetíveis à ocorrência de processos erosivos, neste momento, agrupadas em quatro classes:

- Muito crítica: quando duas direções de zonas de máximos 1 estão sobrepostas, sendo comum a ocorrência de voçorocas;
- Crítica a muito crítica: quando zonas de máximos 1 estão sobrepostas a de máximos 2, sendo comum a ocorrência de ravinas evoluindo para voçorocas;
- Crítica: quando duas direções de zonas de máximos 2 estão sobrepostas ou quando ocorrem zonas de máximos 1 isoladas, sendo comum a ocorrência de ravinas;
- Potencial: quando ocorrem zonas de máximos 2 isoladas, sendo comum a ocorrência de canalículos de erosão.

Na região de Pirassununga, os principais eixos das zonas de máximos 1 e 2 indicam um predomínio das direções NW (para os máximos 1) e NE (para os máximos 2), subordinadamente apresentam-se as direções EW e NS. Há grande ocorrência/concentração de áreas “críticas a muito críticas”, “críticas” e “potenciais” com relação à suscetibilidade à erosão, sendo que as áreas “muito críticas” ocorrem de forma mais pontual. Tal mapa foi de essencial importância, associado aos demais gerados neste trabalho, para a correta determinação da suscetibilidade natural à erosão e, posteriormente, da capacidade de suporte natural da área estudada.

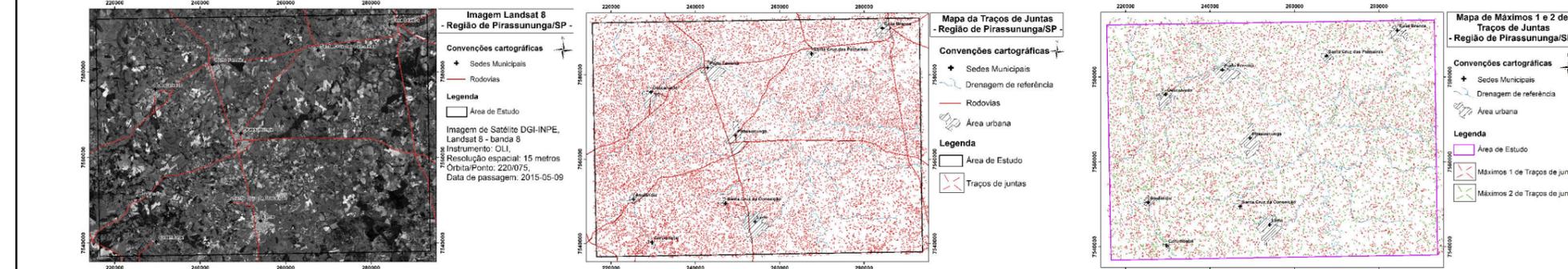


Mapa de Eixos e Zonas de Máximos 1 e 2 - Região de Pirassununga/SP -



- Convenções cartográficas**
- ⊕ Sedes Municipais
 - Rodovias
 - ~ Drenagem de referência
 - Área urbana
- Legenda**
- Área de Estudo
- Eixos e Zonas de variação**
- ↔ Eixo direcional de zonas de máximos 1
 - ↔ Eixo direcional de zonas de máximos 2
 - Zonas de Máximos 1
 - Zonas de Máximos 2
- Classes de Suscetibilidade/Vulnerabilidade**
- Muito crítica
 - Crítica a muito crítica
 - Crítica
 - Potencial

Cartogramas utilizados:



Base de Dados:
 Imagem de Satélite DGI-INPE, Landsat 8 - banda 8
 Instrumento: OLI, Resolução espacial: 15 metros
 Órbita/Ponto: 220/075, Data de passagem: 2015-05-09

Escala: 0 2 4 8 12 km

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000, Zona: 23S

Título: Mapa de Zonas e Eixos de Máximos 1 e 2 da Região de Pirassununga/SP

Data: Jun/2016 **Figura 42**

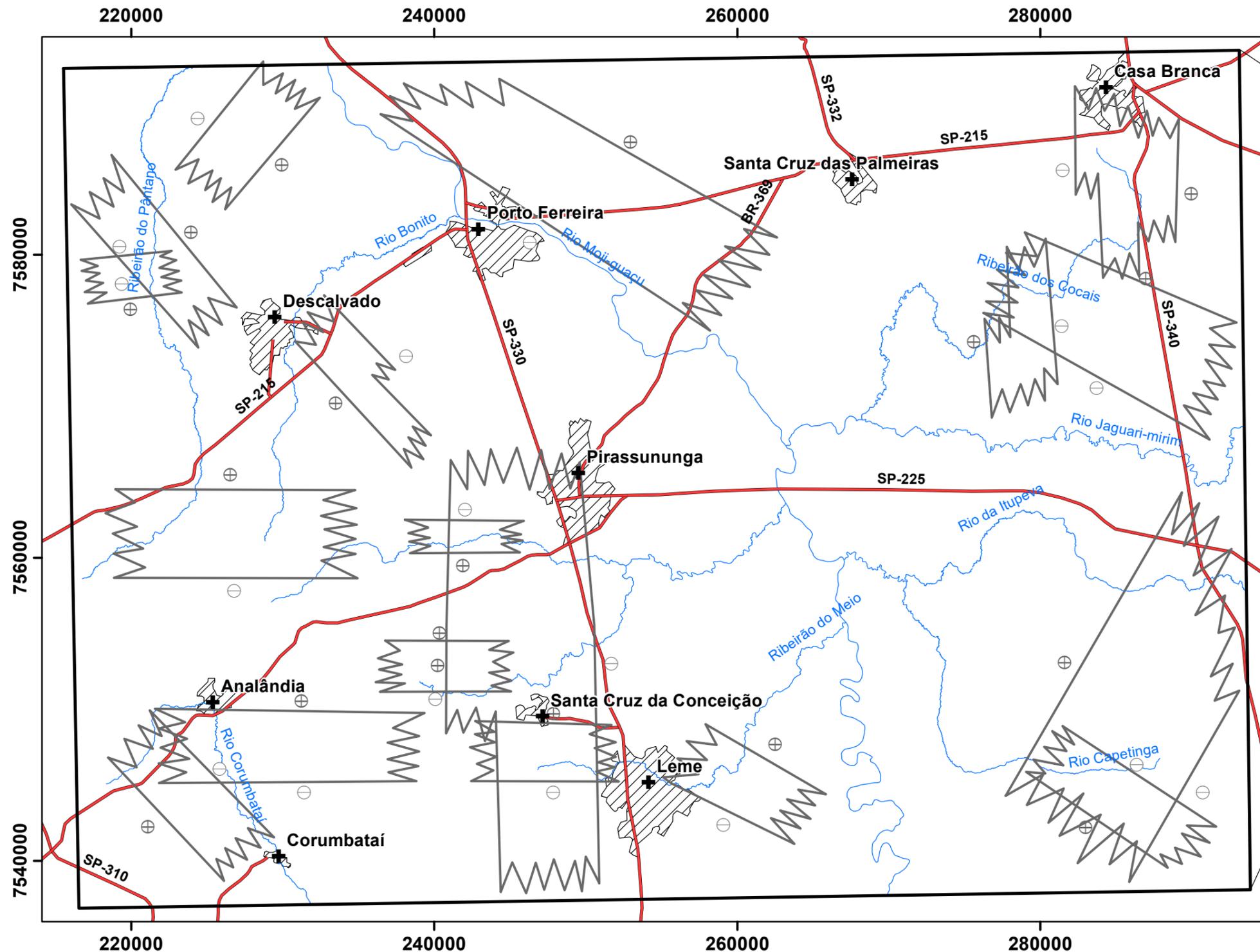
5.5.2 *Trends* estruturais

Os *trends* estruturais correspondem a feixes de juntas alinhados representando, em superfície, reflexo de falhamentos profundos com movimentação de blocos e indicando reativações neotectônicas. Eles caracterizam áreas com maior fraturamento na rocha, apresentando maior fragilidade ambiental.

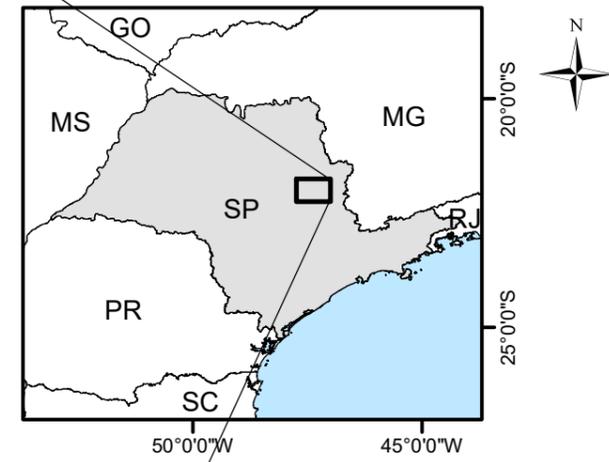
Segundo o Mapa de *Trends* estruturais da região de Pirassununga (Figura 43) merecem destaque, principalmente, os quadrantes III e IV, por apresentarem maior concentração de *trends*. O quadrante III apresenta *trends* de direção NS sobrepostos a outros de direção EW e, de direções EW sobrepostos a um de direção NW. No quadrante IV sobrepõem-se *trends* de direções NW com EW.

O extremo leste do quadrante I e o extremo sudeste do quadrante II também merecem atenção especial, visto apresentarem *trends* com direções distintas sobrepostas, respectivamente, direção NS sobre NW e NW sobre NE.

Da mesma forma que nos traços de juntas, predomina a direção NW nos *trends* estruturais, refletindo reativações mais modernas dos grandes lineamentos presentes na região.



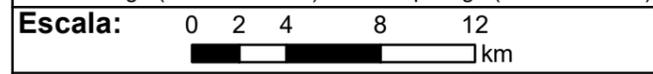
Mapa de "Trends" estruturais - Região de Pirassununga/SP -



Convenções cartográficas

- ⊕ Sedes Municipais
- Drenagem de referência
- Rodovias
- Área urbana
- ⊕ Bloco Alto
- ⊖ Bloco Baixo
- "Trends" estruturais
- Área de Estudo

Base de Dados:
 Rede de drenagem extraída e adensada a partir das Folhas topográficas do IBGE, em escala 1:50.000, Casa Branca (SF-23-V-C-V-4), Corumbataí (SF-23-Y-A-I-2), Descalvado (SF-23-V-C-IV-4), Leme (SF-23-Y-A-II-1), Pirassununga (SF-23-V-C-V-3) e Rio Capetinga (SF-23-Y-A-II-2)

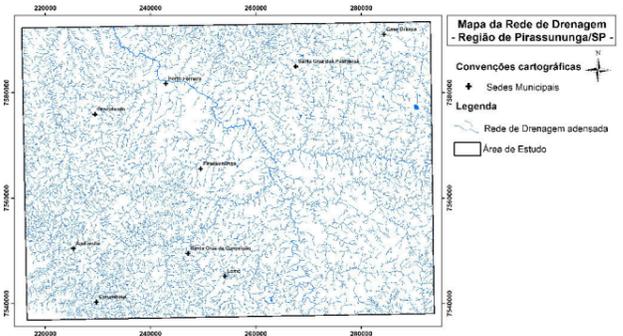


Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000, Zona: 23S

Título: Mapa de "Trends" estruturais da Região de Pirassununga/SP

Data: Jun/2016 **Figura 43**

Cartogramas utilizados:



Na Figura 44 é apresentado um dos pontos com presença de *trends* estruturais confirmados em campo, estes sobrepostos a um lineamento estrutural no sentido da estrada.

Figura 44 – Reflexo em superfície de falhas em profundidade com movimentação de blocos – *trends* estruturais sobrepostos com direções N30E e N45W.



Ponto de campo nº 22, coordenadas – 283677/7542852 – 634 m.

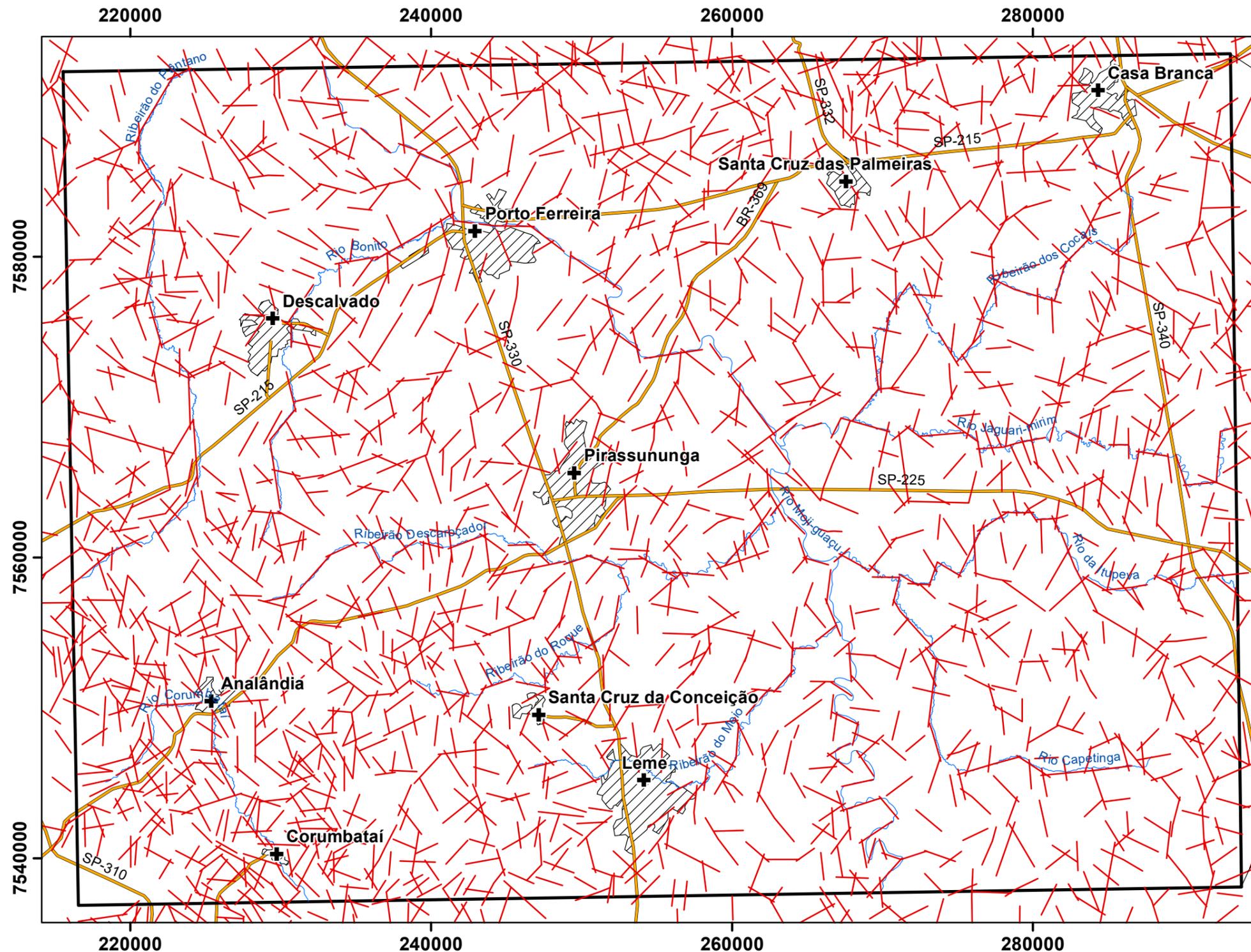
Conjuntamente com os mapas de lineamentos estruturais e traços de juntas, foi possível delimitar as áreas intensamente fraturadas, mais frágeis e suscetíveis à erosão e, conseqüentemente, melhor definir as áreas onde o manejo do solo deve ser mais cauteloso ou que devem ser destinadas à proteção ambiental. Deste modo, estas informações são de fundamental importância para verificação e subsídio quando se analisam as instabilidades do meio físico.

5.5.3 Lineamentos estruturais

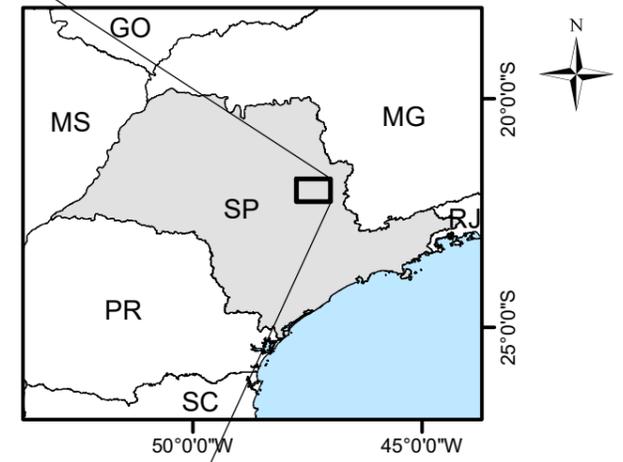
A interpretação dos lineamentos estruturais e de suas direções contribuem para a compreensão da influência dos processos endógenos, em especial, da ação

tectônica na formação e dinâmica da paisagem (O'LEARY et al., 1976). A concentração de lineamentos e/ou o cruzamento entre eles indicam áreas mais fraturadas e, conseqüentemente, mais suscetíveis à erosão, necessitando assim de cuidados especiais para o seu uso.

A partir do mapa de lineamentos estruturais da região de Pirassununga (Figura 45) foi confirmado o grande fraturamento da região, observado também com os demais produtos gerados neste trabalho, havendo maior concentração de lineamentos nas regiões serranas, com destaque para as serras do Cuscuzeiro (porção oeste do quadrante III) e do Sertãozinho (porção centro-norte do quadrante I), além do extremo sudoeste da área.



Mapa de Lineamentos Estruturais - Região de Pirassununga/SP -



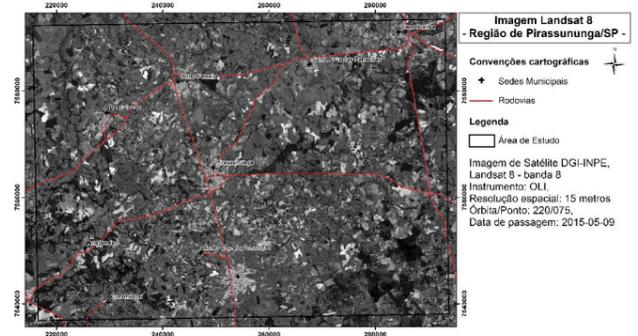
Convenções cartográficas

- +** Sedes Municipais
- Drenagem de referência
- Rodovias
- Área urbana

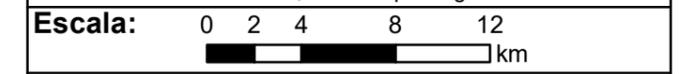
Legenda

- Lineamentos estruturais
- Área de Estudo

Cartogramas utilizados:



Base de Dados:
 Imagem de Satélite DGI-INPE, Landsat 8 - banda 8
 Instrumento: OLI, Resolução espacial: 15 metros
 Órbita/Ponto: 220/075, Data de passagem: 2015-05-09



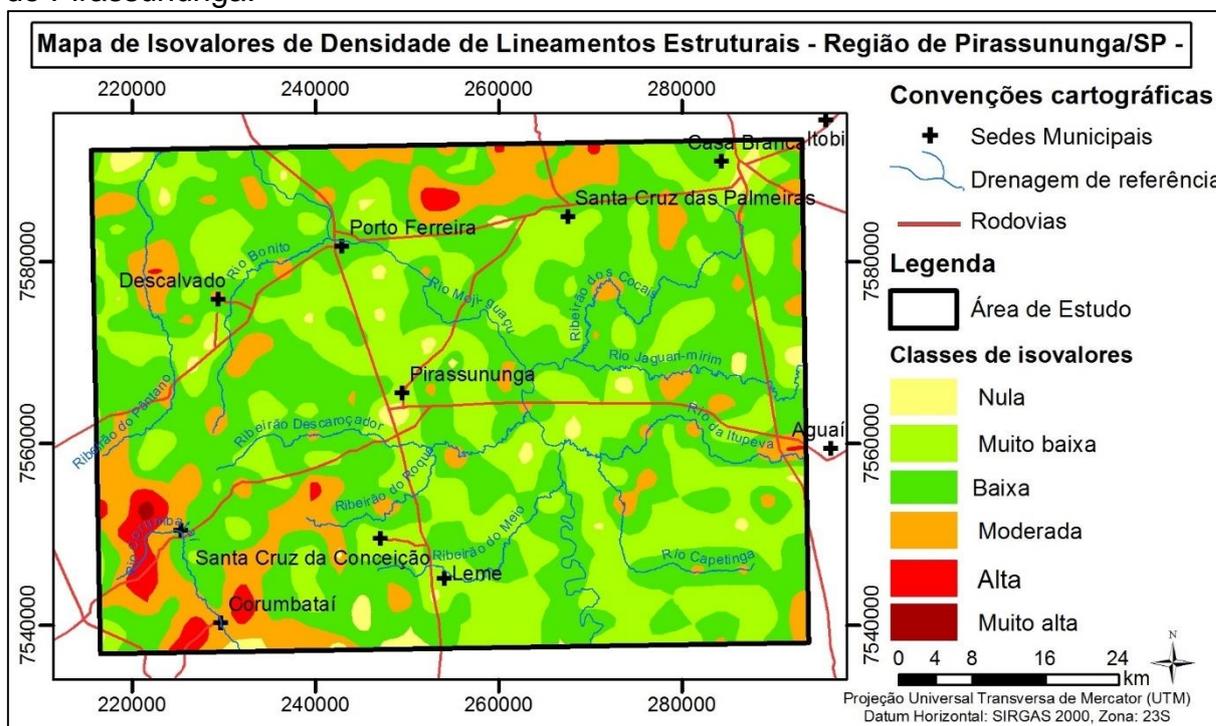
Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000, Zona: 23S

Título: Mapa de Lineamentos Estruturais da Região de Pirassununga/SP

Data: Jun/2016 **Figura 45**

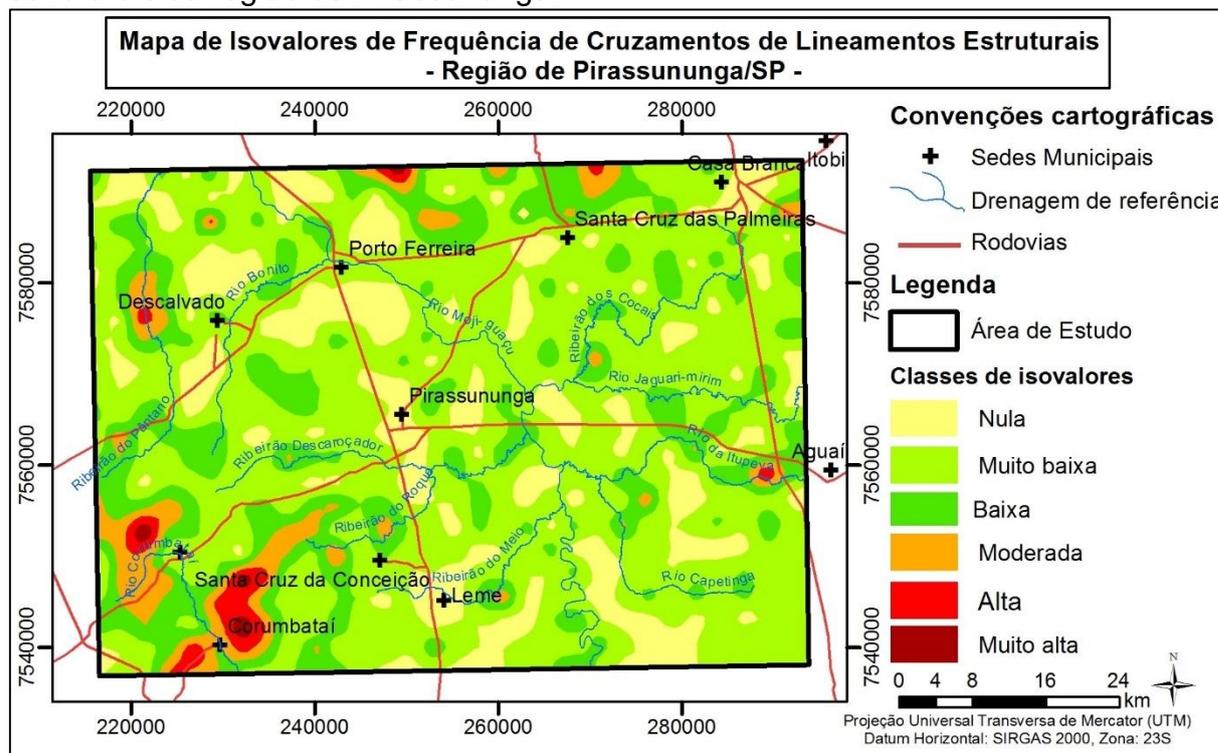
De posse dos traçados dos lineamentos estruturais foi gerado o Mapa de Isovalores de Densidade de Lineamentos estruturais (Figura 46), onde foi confirmada a grande densidade de lineamentos nas regiões serranas nos extremos sudoeste e centro norte da área, indicando que estas áreas são mais instáveis e suscetíveis à erosão. Alguns outros locais – como a leste do quadrante II, próximo ao município de Aguai e a oeste do quadrante IV – também apresentam alta densidade de lineamentos, merecendo atenção especial.

Figura 46 – Mapa de Isovalores de Densidade de Lineamentos estruturais da região de Pirassununga.



Foi gerado ainda o Mapa de Isovalores de Frequência de Cruzamentos de Lineamentos Estruturais para a região (Figura 47), onde se observou a concordância entre este e o mapa de densidade de lineamentos, com concentração das classes alta e muito alta nas regiões serranas e, pontualmente, nas porções leste do quadrante II e oeste do quadrante IV.

Figura 47 – Mapa de Isovalores de Frequência de Cruzamentos de Lineamentos estruturais da região de Pirassununga.



5.6 Análise Morfométrica (Isobases Confluentes)

Os deslocamentos dos canais de drenagem são muito usuais para inferências neotectônicas, uma vez que a rede de drenagem se mostra muito sensível aos movimentos tectônicos (SILVA, 1997). Todavia, segundo Stewart e Hancock (1994), para identificar feições neotectônicas faz-se necessário o estudo da rede de drenagem e dos elementos associados à planície aluvial (por exemplo, padrão de drenagem e formação de terraços), assim como as características genéticas dos segmentos de drenagem.

Golts e Rosenthal (1993) afirmam que mudanças bruscas na direção das isolinhas de uma isobase podem indicar deslocamentos tectônicos e/ou diferenças litológicas. Da mesma forma, a compressão das isolinhas pode indicar estratos de mergulho acentuado, flexuras e falhamentos e, o espaçamento entre elas indica um gradiente suave e possível presença de calhas estruturais.

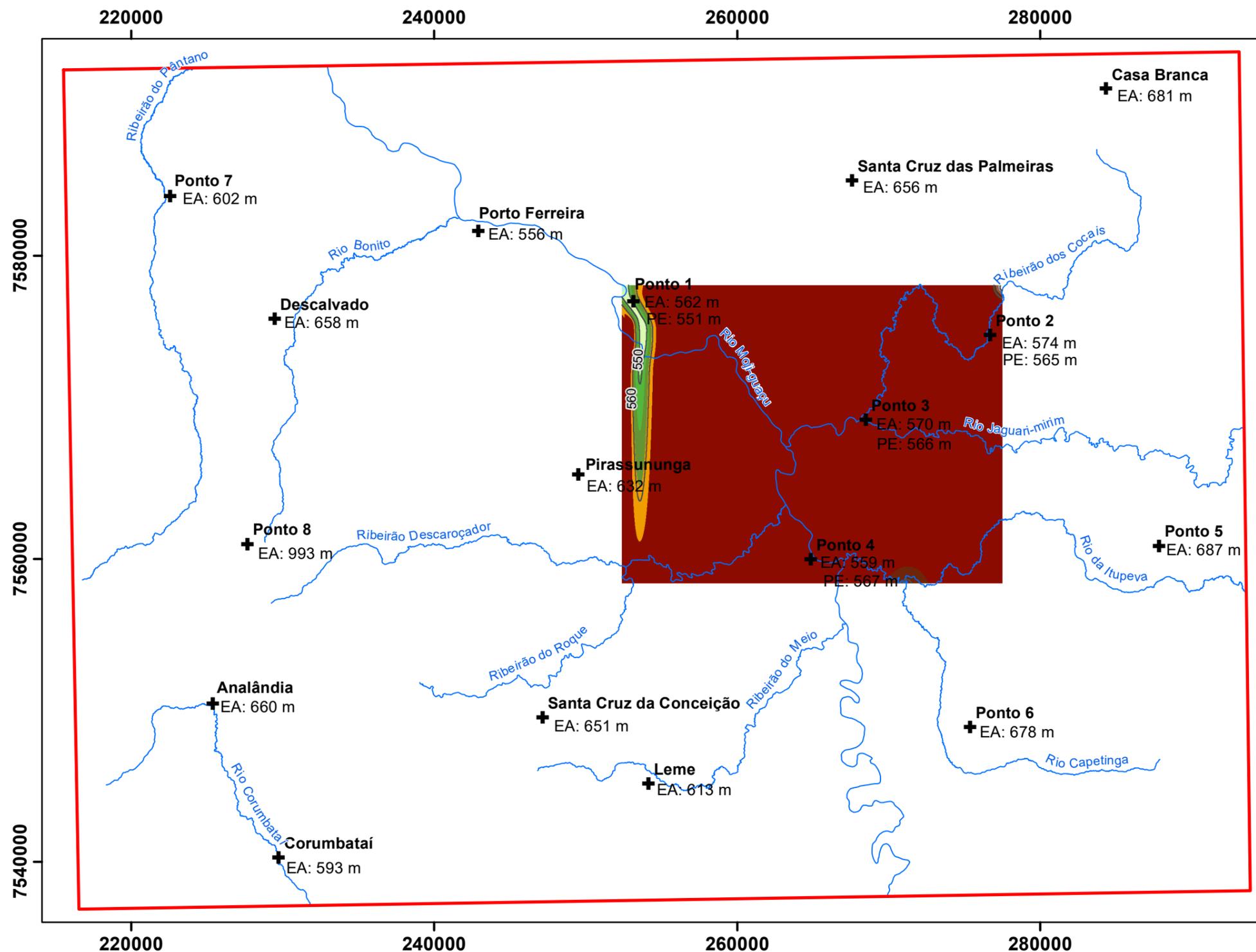
A rede de drenagem adensada, a partir das folhas topográficas, foi a base para a aplicação da metodologia de Isobases Confluentes. Através da ordenação da

drenagem, segundo Strahler (1957), foi possível chegar até drenos de 8ª ordem e, desta forma, isobases de ordem 2 a 7, além da isobase atual.

Ressalta-se que a altimetria das isobases foi dividida em classes com valores iguais, de forma que a representação facilitasse a identificação das formas de relevo geradas para cada período.

Optou-se por apresentar as descrições e discussões das isobases conjuntamente às figuras, contribuindo para o melhor entendimento dos eventos ocorridos em cada ordem.

Deste modo, a discussão e o mapa gerado para a Isobase de ordem 7 foi apresentado na Figura 48; para a Isobase de ordem 6, na Figura 49; para a de ordem 5, na Figura 50; para a de ordem 4, na Figura 51; para de ordem 3, na Figura 52; para a de ordem 2, na Figura 53; e, para a Isobase atual, na Figura 54.



Isobase de Ordem 7 - Região de Pirassununga/SP -

Convenções cartográficas

Drenagem de referência



Legenda

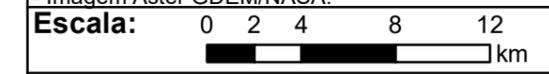
- Pontos de referência
- Paleocurvas de nível (10 m)
- Área de Estudo

Isobase 7 (m)

- 540 - 544
- 545 - 549
- 550 - 554
- 555 - 558
- 559 - 563
- 564 - 568
- 569 - 572
- 573 - 577
- 578 - 582
- 583 - 586

Obs. EA corresponde à Elevação atual da área e, PA, à paleoelevação.

Base de Dados:
 - Rede de drenagem extraída e adensada a partir das Folhas topográficas do IBGE, em escala 1:50.000, Casa Branca (SF-23-V-C-V-4), Corumbataí (SF-23-Y-A-I-2), Descalvado (SF-23-V-C-IV-4), Leme (SF-23-Y-A-II-1), Pirassununga (SF-23-V-C-V-3) e Rio Capetinga (SF-23-Y-A-II-2).
 - Imagem Aster GDEM/NASA.

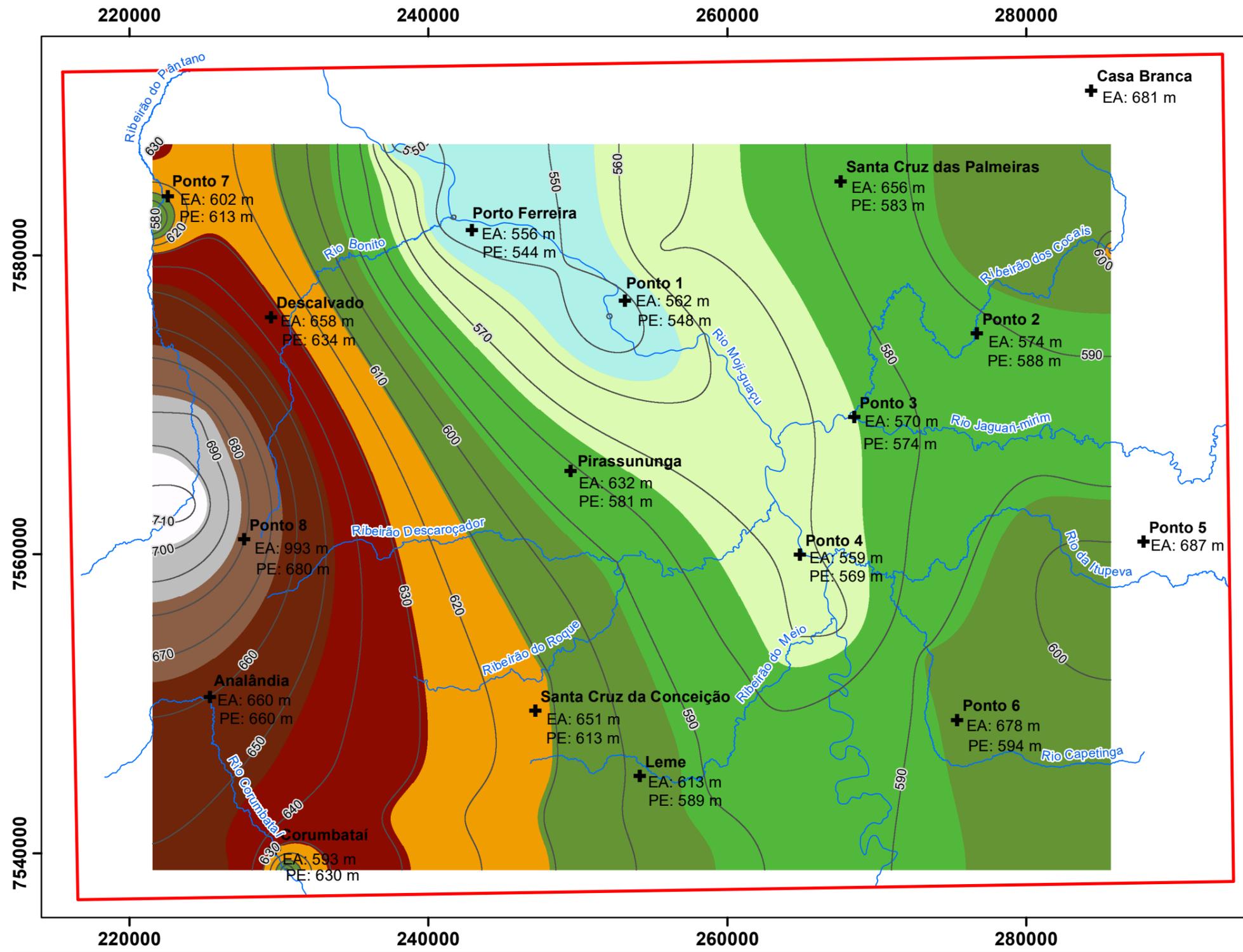


Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000, Zona: 23S

Título: Mapa da Isobase de ordem 7 da Região de Pirassununga/SP

Data: Jun/2016 **Figura 48**

Durante a Isobase 7, observa-se que não há uma grande variação altitudinal (540 a 586 metros), estando as áreas mais altas na região nordeste e centro-sudeste da área. Observa-se, também, a presença de uma espécie de vale no extremo oeste, com direção dominante NS, tendendo a NW na porção mais a norte. Neste local ocorrem áreas possivelmente alagadas, indicando que o lineamento Mogi está ativo ou ativando-se, dando origem ao proto Rio Mogi-guaçu. Tal lineamento representa a geração/evolução de falhas perpendiculares à reativação do alinhamento Rio Grande ou Cabo Frio (direção EW), os quais deram origem aos vales onde, posteriormente, os corpos hídricos se instalaram. Além disso, no proto canal, observado no extremo noroeste da área, situado a cerca de 540 metros de altitude, já se observam taludes com diferenças altitudinais de aproximadamente 10 metros, indicando uma possível epirogênese nas porções ocidental, nordeste e sudeste. Esta isobase é correlacionável à Isobase 3, gerada para o Estado de São Paulo (JIMÉNEZ-RUEDA et al., 2014), podendo afirmar assim que tal época corresponde ao Eoceno/EoMioceno (ALMEIDA, 1976; COIMBRA et al., 1996; MELO et al., 1985; RICCOMINI, 1989; SUGUIO, 2001).



Isobase de Ordem 6 - Região de Pirassununga/SP -

Convenções cartográficas

Drenagem de referência

N

Legenda

Pontos de referência

Paleocurvas de nível (10 m)

Área de Estudo

Isobase 6 (m)

	538 - 556
	557 - 574
	575 - 592
	593 - 610
	611 - 628
	629 - 647
	648 - 665
	666 - 683
	684 - 701
	702 - 719

Obs. EA corresponde à Elevação atual da área e, PA, à paleoelevação.

Base de Dados:
 - Rede de drenagem extraída e adensada a partir das Folhas topográficas do IBGE, em escala 1:50.000, Casa Branca (SF-23-V-C-V-4), Corumbataí (SF-23-Y-A-I-2), Descalvado (SF-23-V-C-IV-4), Leme (SF-23-Y-A-II-1), Pirassununga (SF-23-V-C-V-3) e Rio Capetinga (SF-23-Y-A-II-2).
 - Imagem Aster GDEM/NASA.

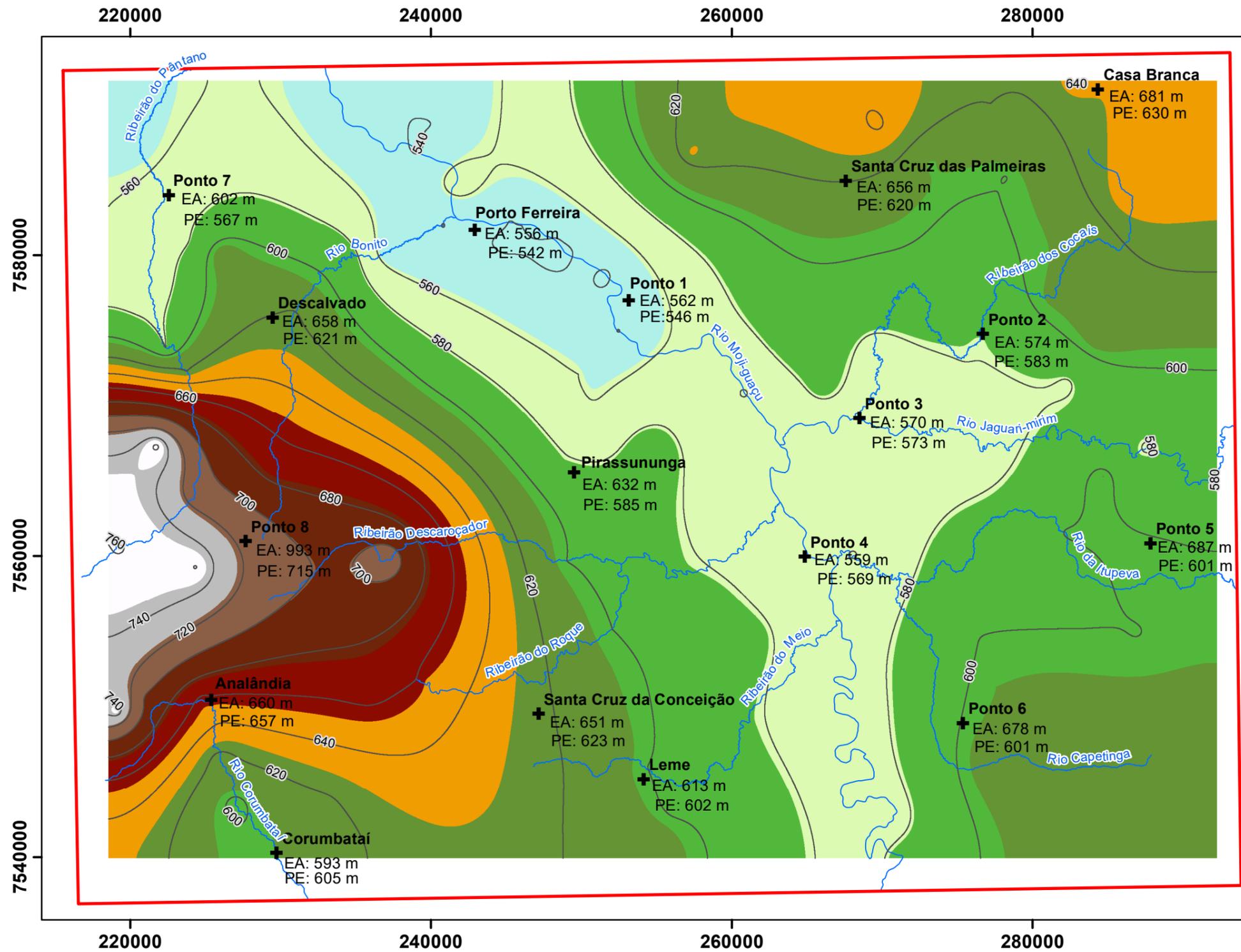
Escala: 0 2 4 8 12 km

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000, Zona: 23S

Título: Mapa da Isobase de ordem 6 da Região de Pirassununga/SP

Data: Jun/2016 **Figura 49**

Na Isobase 6 observa-se, em sua porção sudeste, primórdios de uma deformação de sentido EW e NE. No extremo nor-nordeste da área nota-se um soerguimento induzido pelas deformações NW, EW e NS, gerando proto planaltos baixos. Na porção central observam-se reativações com direções predominantes NW e NS, as quais podem estar associadas a uma melhor definição do Lineamento Mogi. Estas reativações deram origem a alagados e a uma depressão mais marcante na região do atual município de Porto Ferreira, a qual caracteriza o leito do proto Rio Mogi-guaçu. Na porção oeste, observa-se uma tendência ao soerguimento na parte central, indicando o surgimento da proto Serra do Cuscuzeiro (planaltos altos). Nos extremos sudoeste e noroeste apresentam-se pequenas depressões. De uma forma geral, constata-se uma epirogênese muito mais ativa na porção oeste da área, promovendo assim, possivelmente, a erosão e deposição de materiais submetidos a intervenções climáticas tropicais sub-secas a secas. Tal época pode ser correlacionada com o Eo-Mesomioceno (JIMÉNEZ-RUEDA, 2012).



Isobase de Ordem 5 - Região de Pirassununga/SP -

Convenções cartográficas

Drenagem de referência

Legenda

Pontos de referência

Paleocurvas de nível (20 m)

Área de Estudo

Isobase 5 (m)

	534 - 557
	558 - 581
	582 - 604
	605 - 628
	629 - 652
	653 - 675
	676 - 699
	700 - 723
	724 - 746
	747 - 770

Obs. EA corresponde à Elevação atual da área e, PA, à paleoelevação.

Base de Dados:
- Rede de drenagem extraída e adensada a partir das Folhas topográficas do IBGE, em escala 1:50.000, Casa Branca (SF-23-V-C-V-4), Corumbataí (SF-23-Y-A-I-2), Descalvado (SF-23-V-C-IV-4), Leme (SF-23-Y-A-II-1), Pirassununga (SF-23-V-C-V-3) e Rio Capetinga (SF-23-Y-A-II-2).
- Imagem Aster GDEM/NASA.

Escala: 0 2 4 8 12 km

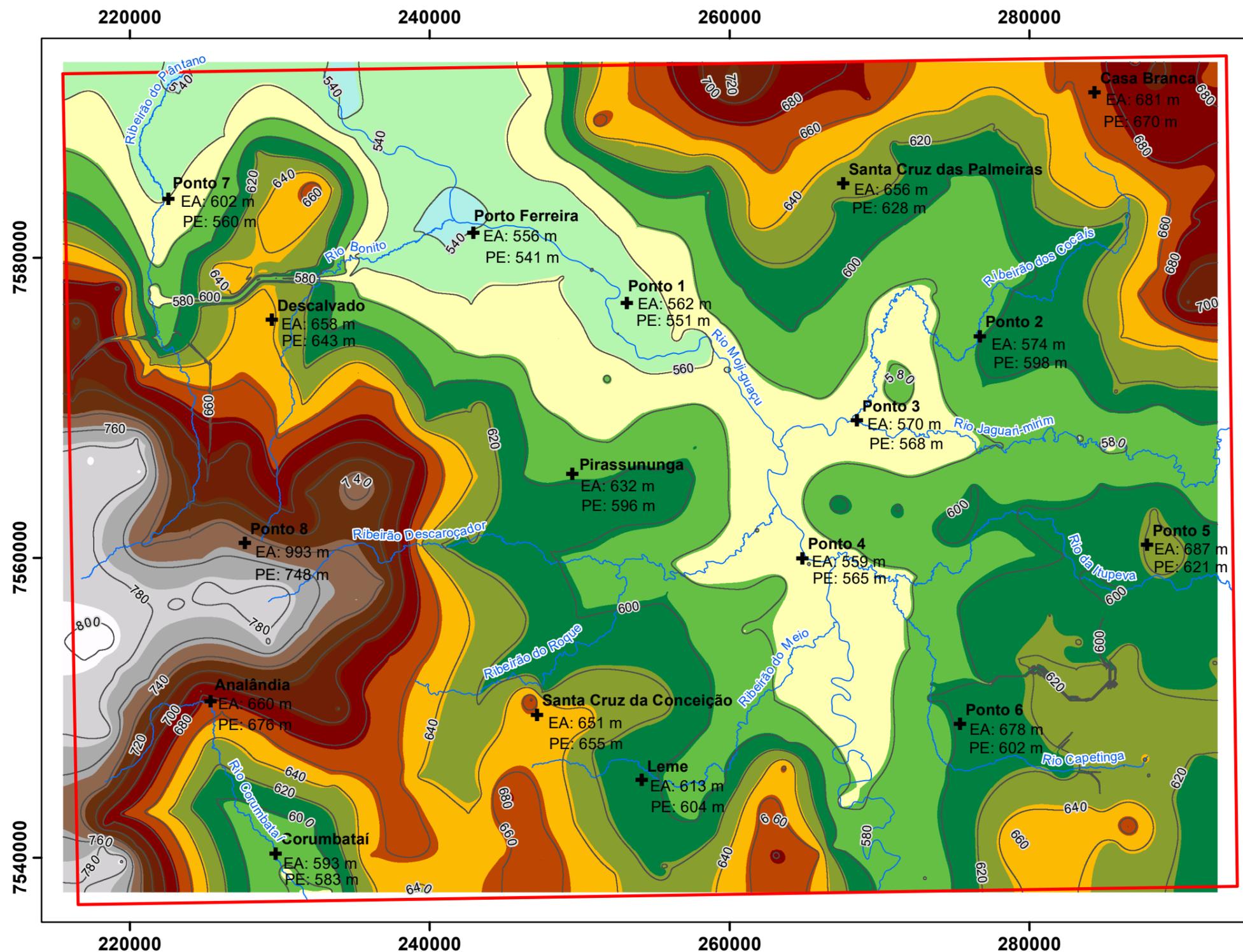
Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum Horizontal: SIRGAS 2000, Zona: 23S

Título: Mapa da Isobase de ordem 5 da Região de Pirassununga/SP

Data: Jun/2016 **Figura 50**

Na Isobase 5 observa-se uma melhor definição do Rio Mogi-Guaçu, dos protos rios Jaguari-Mirim e Corumbataí e protos ribeirões do Pântano e dos Cocais. O soerguimento nas regiões sudeste e nordeste continuam, a epirogênese observada na região oeste fica menos marcante, a Serra do Cuscuzzeiro se torna mais alargada na direção NS e, os planaltos tornam-se mais amplos. Nota-se ainda o início do soerguimento da proto Serra do Sertãozinho (região centro-norte da área), dando origem a planaltos muito baixos a baixos. As depressões a sudeste e nordeste da área continuam sofrendo abatimento, mais marcante na região NNW. Nelas se encaixam os protos Rio Corumbataí (sudeste) e Ribeirão do Pântano (noroeste).

De uma forma geral, a direção NW apresenta-se mais evidente, entretanto a reativação EW se torna mais notória comparativamente à isobase 6. Tal época pode ser correlacionada com a isobase de segunda ordem do Estado de São Paulo (JIMÉNEZ-RUEDA et al., 2004), datada de aproximadamente 700 Ka, pertencendo assim ao Neomioceno a Eopleistoceno (FERREIRA, 2005; FERREIRA; CAETANO-CHANG, 2008).



Isobase de Ordem 4 - Região de Pirassununga/SP -

Convenções cartográficas

Drenagem de referência



Legenda

- Pontos de referência
- Paleocurvas de nível (20 m)
- Área de Estudo

Isobase 4 (m)

	520 - 539		756 - 774
	540 - 559		775 - 794
	560 - 578		795 - 813
	579 - 598		
	599 - 617		
	618 - 637		
	638 - 657		
	658 - 676		
	677 - 696		
	697 - 715		
	716 - 735		
	736 - 755		

Obs. EA corresponde à Elevação atual da área e, PA, à paleoelevação.

Base de Dados:
 - Rede de drenagem extraída e adensada a partir das Folhas topográficas do IBGE, em escala 1:50.000, Casa Branca (SF-23-V-C-V-4), Corumbataí (SF-23-Y-A-I-2), Descalvado (SF-23-V-C-IV-4), Leme (SF-23-Y-A-II-1), Pirassununga (SF-23-V-C-V-3) e Rio Capetinga (SF-23-Y-A-II-2).
 - Imagem Aster GDEM/NASA.

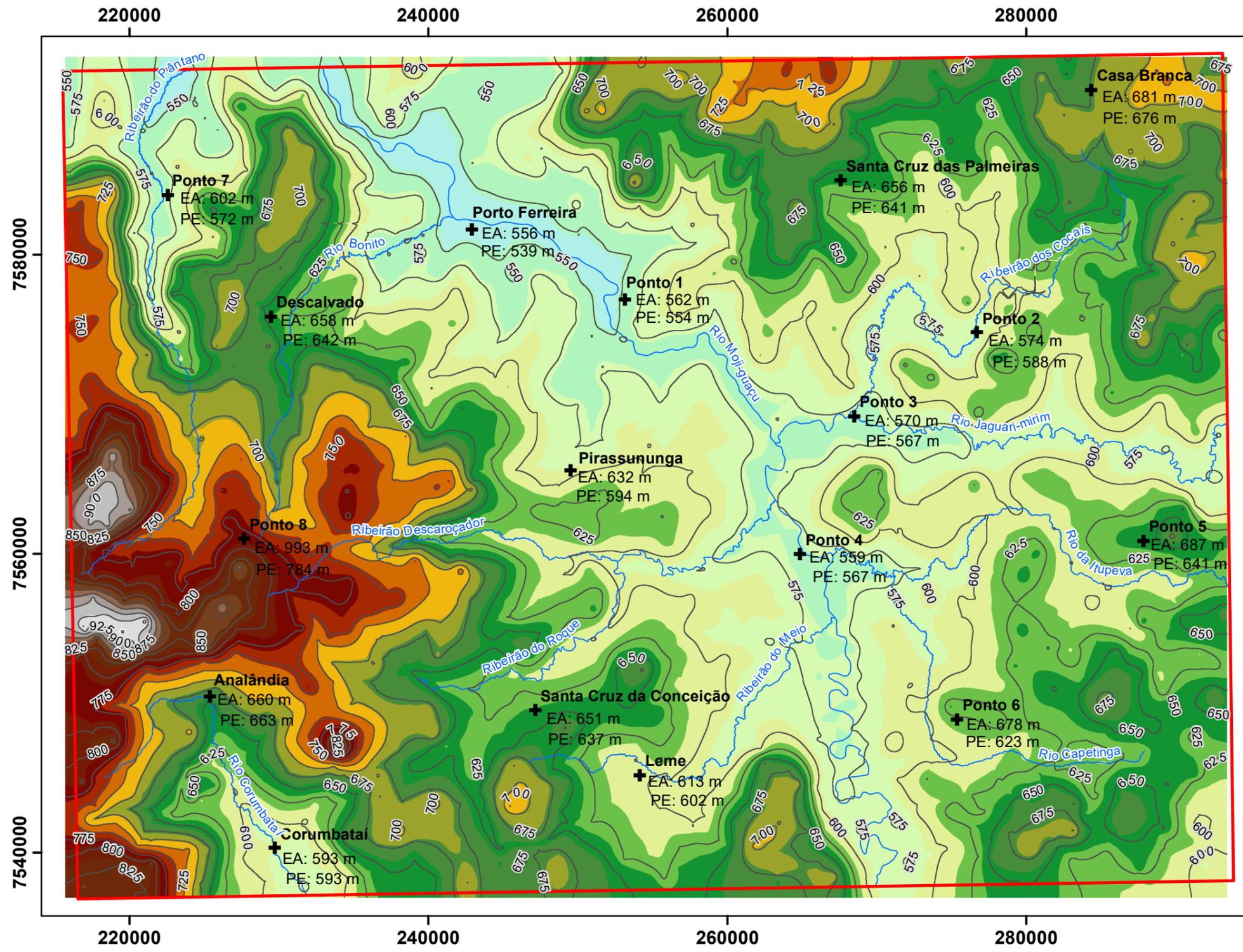
Escala: 0 2 4 8 12 km

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000, Zona: 23S

Título: Mapa da Isobase de ordem 4 da Região de Pirassununga/SP

Data: Jun/2016 **Figura 51**

Na Isobase 4 observa-se que os lineamentos NS apresentam reativação mais intensa na porção oeste da área, com o contínuo soerguimento da Serra do Cuscuzzeiro que agora se alonga no sentido EW e NS e, nos sentidos NE, EW e NS formam-se, predominantemente, fronts de cuestras escalonados. Os vales do Rio Corumbataí (região sudoeste) e do Ribeirão do Pântano (nordeste) ampliaram-se. Surgiram os protos Rio Bonito e Ribeirão do Roque, ambos afluentes do proto Rio Mogi-guaçu. Na região sul delimitam-se três planaltos baixos, sendo que o localizado a sudeste torna-se muito mais amplo. As serras na região centro-norte (Serra do Sertãozinho) e nordeste se ampliam e sofrem soerguimento (manifesta-se uma epirogênese ascendente, formando planaltos muito baixos a altos). As calhas dos protos rios Mogi-guaçu, Jaguari-mirim e das Tabaranas ficam melhor definidas, começando a abandonar pequenos terraços/planaltos baixos na sua borda. De acordo com Ferreira (2005) e Ferreira e Caetano-Chang (2008), tais fatos datam de aproximadamente 400 Ka, correspondendo assim do Eopleistoceno a Mesopleistoceno.



Isobase de Ordem 3 - Região de Pirassununga/SP -

Convenções cartográficas

Drenagem de referência

Legenda

Pontos de referência

Paleocurvas de nível (25 m)

Área de Estudo

Isobase 3 (m)

	525 - 547		791 - 812
	548 - 569		813 - 834
	570 - 591		835 - 856
	592 - 613		857 - 878
	614 - 635		879 - 900
	636 - 657		901 - 922
	658 - 679		923 - 945
	680 - 701		946 - 967
	702 - 724		
	725 - 746		
	747 - 768		
	769 - 790		

Obs. EA corresponde à Elevação atual da área e, PA, à paleoelevação.

Base de Dados:
 - Rede de drenagem extraída e adensada a partir das Folhas topográficas do IBGE, em escala 1:50.000, Casa Branca (SF-23-V-C-V-4), Corumbataí (SF-23-Y-A-I-2), Descalvado (SF-23-V-C-IV-4), Leme (SF-23-Y-A-II-1), Pirassununga (SF-23-V-C-V-3) e Rio Capetinga (SF-23-Y-A-II-2).
 - Imagem Aster GDEM/NASA.

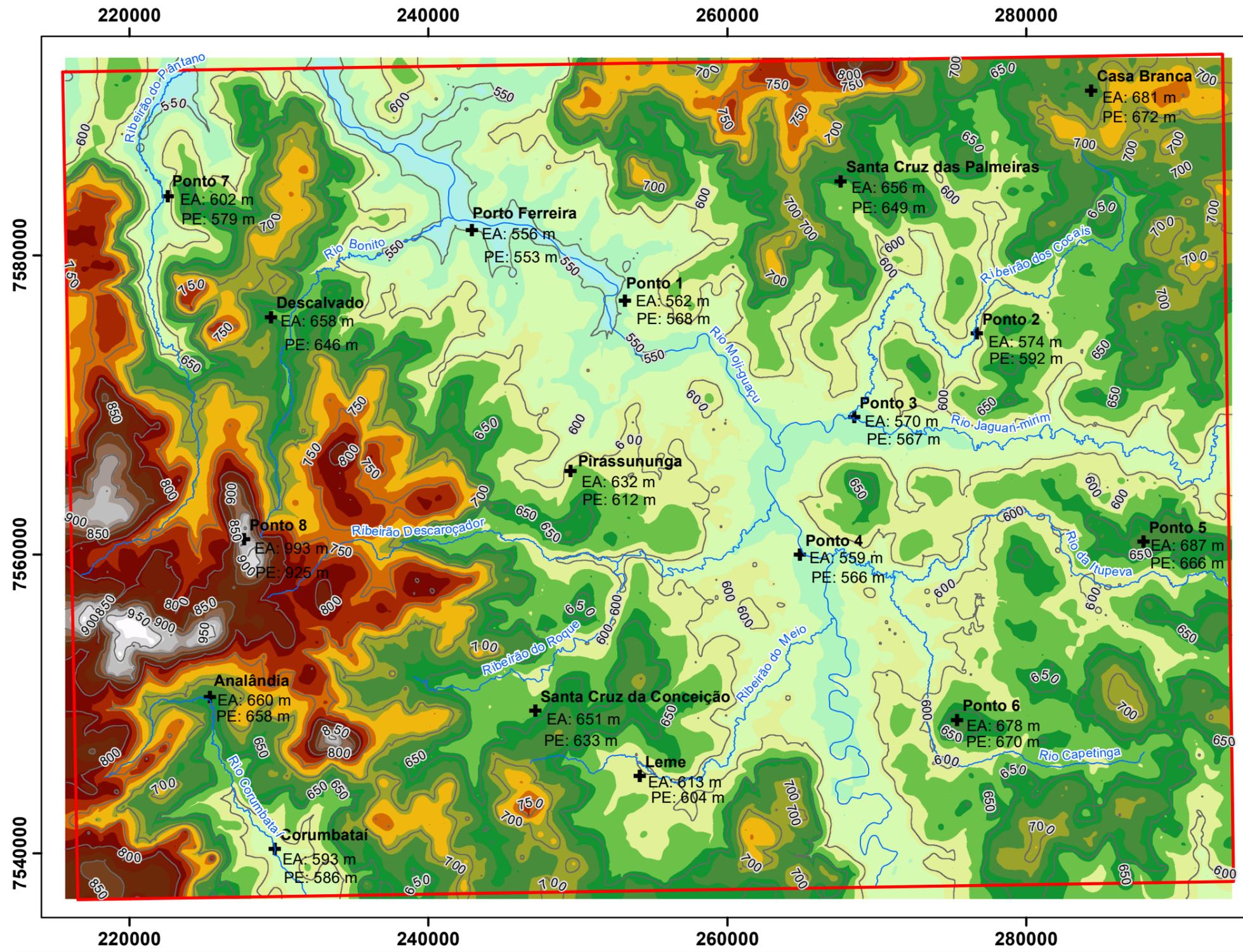
Escala: 0 2 4 8 12 km

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000, Zona: 23S

Título: Mapa da Isobase de ordem 3 da Região de Pirassununga/SP

Data: Jun/2016 **Figura 52**

Na Isobase 3 observa-se maior reativação dos lineamentos nas direções NE, EW, NS e NW. A área continua sofrendo epirogênese, com melhor definição das serras do Sertãozinho (centro-norte), Cuscuzeiro e do Monte Sinai (oeste) e da Atalaia (entre os atuais municípios de Corumbataí e Analândia) e dos demais planaltos localizados a nordeste, sudeste, centro-sul e noroeste da área. Os leitos dos rios atuais apresentam melhor definição. Segundo Ferreira (2005) e Ferreira e Caetano-Chang (2008), tal época data, aproximadamente, de 300 Ka, podendo ser correlacionada com o Meso/Neopleistoceno.



Isobase de Ordem 2 - Região de Pirassununga/SP -

Convenções cartográficas

Drenagem de referência

Legenda

Pontos de referência

Paleocurvas de nível (50 m)

Área de Estudo

Isobase 2 (m)

	523 - 546		828 - 850
	547 - 569		851 - 874
	570 - 593		875 - 897
	594 - 616		898 - 920
	617 - 640		921 - 944
	641 - 663		945 - 967
	664 - 686		968 - 991
	687 - 710		
	711 - 733		
	734 - 757		
	758 - 780		
	781 - 803		
	804 - 827		

Obs. EA corresponde à Elevação atual da área e, PA, à paleoelevação.

Base de Dados:
 - Rede de drenagem extraída e adensada a partir das Folhas topográficas do IBGE, em escala 1:50.000, Casa Branca (SF-23-V-C-V-4), Corumbataí (SF-23-Y-A-I-2), Descalvado (SF-23-V-C-IV-4), Leme (SF-23-Y-A-II-1), Pirassununga (SF-23-V-C-V-3) e Rio Capetinga (SF-23-Y-A-II-2).
 - Imagem Aster GDEM/NASA.

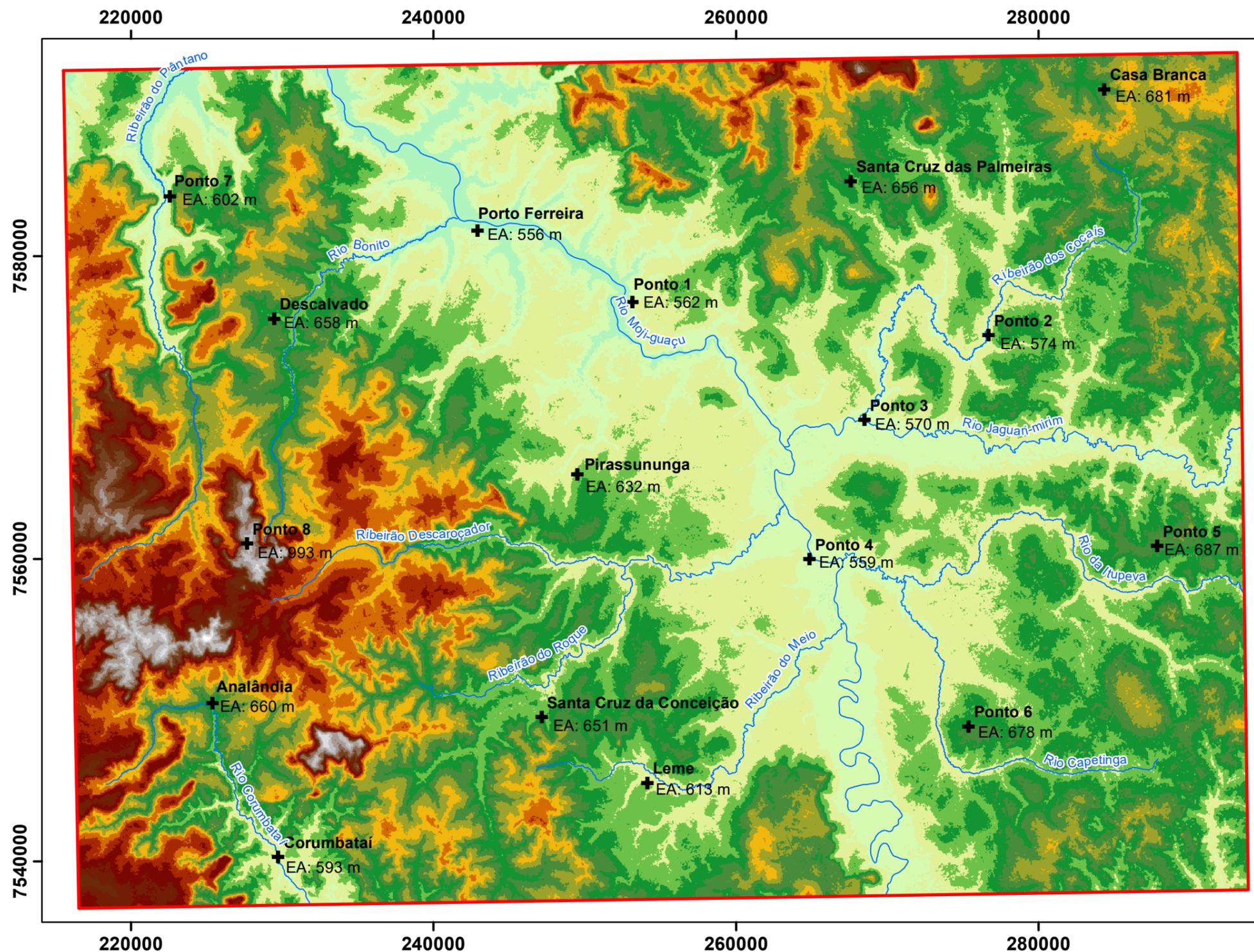
Escala: 0 2 4 8 12 km

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000, Zona: 23S

Título: Mapa da Isobase de ordem 2 da Região de Pirassununga/SP

Data: Jun/2016 **Figura 53**

Na Isobase 2 observa-se a continuação da epirogênese de toda a área, gerando maior fraturamento, assim como aumento em extensão das planícies de inundação dos rios Mogi-guaçu e Jaguarimirim e do Ribeirão do Pântano, que deixam proto terraços e proto lagoas no local. Segundo datações de Coutinho (1990) e Ferreira (2005) tal época data, aproximadamente, ente 9 e 15 Ka, sendo correlacionada com o Neopleistoceno/Eoholoceno. Souza et al. (2013) dataram um perfil soterrado que, pelas características descritas, corresponde à época desta isobase nos canais abandonados e pela formação de paleoterraços, por exemplo na planície de inundação do Rio Mogi-guaçu. Locais onde predominam plantas do tipo C4 (gramíneas), datadas de aproximadamente 10 Ka. Observou-se, ainda, nos proto planaltos, a ocorrência de proto lagoas com ocorrência dos mesmos tipos de plantas.



Isobase atual/subatual - Região de Pirassununga/SP -

Convenções cartográficas

Drenagem de referência

Legenda

- Pontos de referência
 - Área de Estudo
- Isobase subatual (m)**
- | | |
|-----------|---------------|
| 499 - 528 | 906 - 934 |
| 529 - 557 | 935 - 963 |
| 558 - 586 | 964 - 992 |
| 587 - 615 | 993 - 1.021 |
| 616 - 644 | 1.022 - 1.050 |
| 645 - 673 | 1.051 - 1.080 |
| 674 - 702 | |
| 703 - 731 | |
| 732 - 760 | |
| 761 - 789 | |
| 790 - 818 | |
| 819 - 847 | |
| 848 - 876 | |
| 877 - 905 | |

Obs. EA corresponde à Elevação atual da área.

Base de Dados:
 - Rede de drenagem extraída e adensada a partir das Folhas topográficas do IBGE, em escala 1:50.000, Casa Branca (SF-23-V-C-V-4), Corumbatai (SF-23-Y-A-I-2), Descalvado (SF-23-V-C-IV-4), Leme (SF-23-Y-A-II-1), Pirassununga (SF-23-V-C-V-3) e Rio Capetinga (SF-23-Y-A-II-2).
 - Imagem Aster GDEM/NASA.

Escala:

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000, Zona: 23S

Título: Mapa da Isobase atual/subatual da Região de Pirassununga/SP

Data: Jun/2016 **Figura 54**

A Isobase atual/subatual é a que mais se aproxima do relevo atual. Nela já não são vistas lagoas, apenas paleolagoas/paleocanais ocupados por vegetação. De acordo com Souza et al. (2013), esta vegetação, com mistura de plantas do tipo C3 (arbóreas) e C4 (gramíneas), indica origem entre 5 e 2 Ka até hoje, correspondendo ao Meso/Neoholoceno.

5.7 Prognóstico Ambiental

Esta etapa teve como objetivo apresentar informações para a definição e o planejamento de áreas propícias e desfavoráveis para o uso, ocupação e conservação dos recursos naturais, segundo as características, potencialidades e limitações do meio físico. Os mapas aqui gerados visam auxiliar a tomada de decisões por parte dos municípios, pelos gestores de políticas públicas e agências de financiamento.

A partir dos conhecimentos gerados com os mapas morfoestrutural, morfotectônicos, morfométricos e fisiográficos, as informações do meio físico foram direcionadas para temas específicos, integradas e transformadas em unidades sintetizadas e representadas em cores básicas, resultando em mapas temáticos que podem orientar a tomada de decisões e gestão ambiental da região.

Neste estudo optou-se por abordar os temas: suscetibilidade natural à erosão, indicação de áreas para preservação ambiental, também na temática de erosão, e indicação de áreas propícias para a instalação de aterros sanitários. Tais temas foram escolhidos devido às necessidades e problemáticas observadas na região ao longo do trabalho.

5.7.1 Suscetibilidade Natural à Erosão

Um dos principais problemas rurais do Estado de São Paulo refere-se à erosão do solo. Ele corresponde a um processo natural, inevitável e universal que consiste no desgaste e remodelamento da paisagem terrestre original a longo prazo (VILLOTA, 1991), processo este também relacionado com o uso potencial do solo e com as práticas de manejo requeridas para manter a produção ou para recuperá-la (CORTÉS; MALAGÓN, 1984).

A análise da suscetibilidade natural à erosão realizada nesse estudo baseou-se na interpretação e compreensão do meio físico natural, sem incluir uma análise da interferência e/ou do impacto da ação antrópica.

O mapa de suscetibilidade natural à erosão foi elaborado a partir da integração das informações do relevo (fisiografia associada à declividade), morfotectônicas (zonas de máximos 1 e 2, *trends* estruturais, isovalores de densidade e frequência de cruzamento de lineamentos estruturais) e morfoestruturais (morfoestruturas associadas às altimetrias). A cada classe de cada uma das informações supracitadas

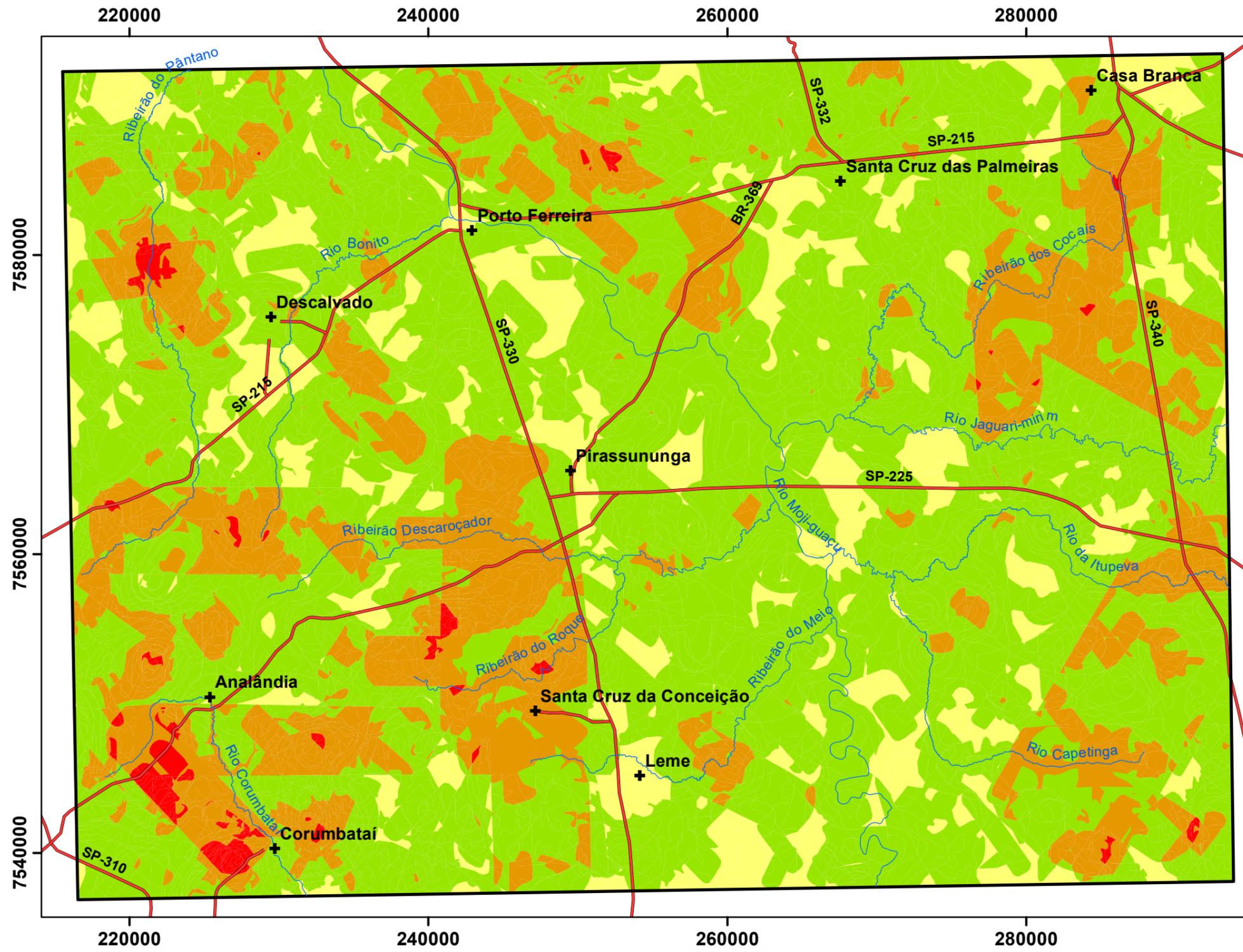
foram atribuídos pesos entre I e V de suscetibilidade, descritos na Tabela 6, onde I corresponde a áreas com menor suscetibilidade natural à erosão e V, áreas de maior suscetibilidade.

Tabela 6 – Pesos atribuídos aos fatores utilizados para a definição da suscetibilidade natural à erosão.

Suscetibilidade Natural à Erosão (SNE)		
Unidade do Relevo	Dissecação	SNE
Planície de inundação atual/subatual (A)	Baixa	I
	Média/Alta	II
Planalto muito baixo (Pmb)	Baixa	I
	Média/Alta	III
Planaltos baixos 1 e 2 (Pb1 e Pb2)	Baixa	I
	Média/Alta	III
Planalto médio 1 (Pm1)	Baixa/Média	III
	Alta	IV
Planalto médio 2 (Pm2)	Baixa	III
	Média/Alta	IV
Planalto alto (Pa)	Baixa	III
	Média	IV
	Alta	V
Planalto muito alto (Pma)	Baixa	IV
	Média/Alta	V
Morfoestruturas	Altimetria	SNE
Alto estrutural	Alto topográfico (> 646 m)	II
Alto estrutural	Baixo topográfico (< 646 m)	IV
Baixo estrutural	Alto topográfico (> 646 m)	IV
Baixo estrutural	Baixo topográfico (< 646 m)	V
Trends estruturais		SNE
1 única direção		IV
2 direções sobrepostas		V
Zonas de máximos 1 e 2		SNE
Potencial (Zonas de máximos 2)		II
Crítica (Zonas de máximos 1 ou sobreposição de zonas de máximos 2)		III
Crítica a muito crítica (Zonas de máximos 1 sobre zonas de máximos 2)		IV
Muito crítica (Zonas de máximos 1 sobrepostas)		V
Densidade/Frequência de Cruzamento de Lineamentos estruturais		SNE
Muito baixa densidade/frequência de cruzamentos		I
Baixa densidade/frequência de cruzamentos		II
Moderada densidade/frequência de cruzamentos		III
Alta densidade/frequência de cruzamentos		IV
Muito alta densidade/frequência de cruzamentos		V

A partir disso, foram cruzadas as informações e feita a média aritmética dos valores para cada área gerada, obtendo-se quatro classes de suscetibilidade natural à erosão: “muito baixa”, “baixa”, “moderada” e “alta”, apresentadas na Figura 55 (Mapa de Suscetibilidade Natural à Erosão da Região de Pirassununga). Não foi obtida nenhuma área com a classe “muito alta” de suscetibilidade natural à erosão.

Nos quadrantes I e II observa-se o predomínio de áreas com baixa suscetibilidade natural à erosão, concentrando na porção leste áreas com suscetibilidade moderada, o que se deve, possivelmente à presença de baixos estruturais/baixos topográficos, aos cruzamentos de *trends* estruturais e à sobreposição de diversas zonas de máximos 1 e 2. Sendo assim, nesta área, o manejo do solo deve ser realizado de modo mais cauteloso, evitando assim o desenvolvimento e/ou agravamento de processos erosivos, como ravinas e voçorocas.



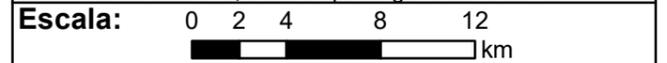
Mapa de Suscetibilidade Natural à Erosão - Região de Pirassununga/SP -

- Convenções cartográficas**
- ⊕ Sedes Municipais
 - Drenagem de referência
 - Rodovias



- Legenda**
- Área de Estudo
- Suscetibilidade Natural à Erosão**
- Muito baixa
 - Baixa
 - Moderada
 - Alta

Base de Dados:
 - Folhas topográficas do IBGE, em escala 1:50.000, Casa Branca (SF-23-V-C-V-4), Corumbataí (SF-23-Y-A-I-2), Descalvado (SF-23-V-C-IV-4), Leme (SF-23-Y-A-II-1), Pirassununga (SF-23-V-C-V-3) e Rio Capetinga (SF-23-Y-A-II-2).
 - Imagem Aster GDEM/NASA, Resolução espacial: 30 metros
 - Imagem de Satélite DGI-INPE, Landsat 8 - banda 8
 Instrumento: OLI, Resolução espacial: 15 metros
 Órbita/Ponto: 220/075, Data de passagem: 2015-05-09

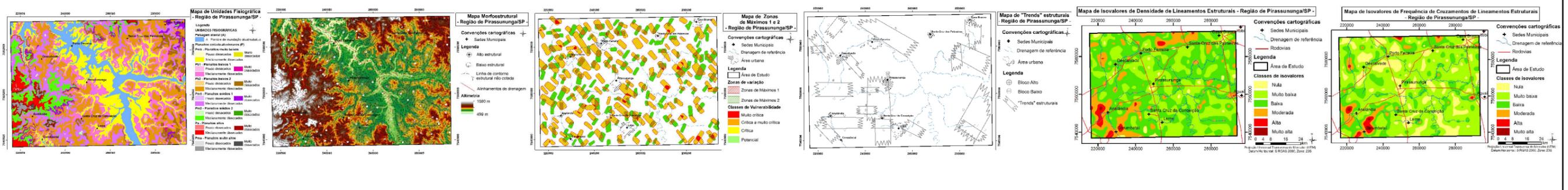


Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000, Zona: 23S

Título: Mapa de Suscetibilidade Natural à Erosão da Região de Pirassununga/SP

Data: Jun/2016 **Figura 55**

Cartogramas utilizados:



No quadrante II, por exemplo, foram identificados pontos em que, mesmo a suscetibilidade natural à erosão sendo baixa, o manejo do solo e a implantação de obras lineares realizados de forma incorreta (associado as zonas de máximos e *trends* estruturais) fez com que fossem instalados processos erosivos com geração de ravinas (Figura 56).

Figura 56 – Processo erosivo gerado pela instalação incorreta de obras lineares - ravina.



Ponto de campo nº 23, coordenadas 291555/7543308 – 606 m.

No quadrante III predominam áreas de moderada suscetibilidade natural à erosão, com altas altitudes e declividades, indicando necessidade de técnicas de intervenção e manejo mais adaptadas à situação regional. Na porção sudoeste deste quadrante ocorrem áreas de alta suscetibilidade, especialmente entre os municípios de Analândia e Corumbataí, indicando assim que tais locais devem ser direcionados para a preservação permanente, uma vez que qualquer intervenção nestes locais pode levar a processos erosivos profundos.

Como exemplo, neste quadrante, também foram identificados casos em que o mau planejamento de uso da terra incrementou os processos erosivos, como mostrado na Figura 57, local onde a suscetibilidade natural à erosão já era moderada.

Figura 57 – Processo erosivo intensificado pelo manejo inadequado do solo – voçoroca.



Ponto de campo nº 08, coordenadas: 239057/755305 – 722 m.

O quadrante IV apresenta a maior variedade de classes de suscetibilidade, merecendo destaque sua porção oeste, na região do Ribeirão do Pântano, onde há grande variação altimétrica, com presença de *trends* estruturais, sobreposição de zonas de máximos 1 e 2 e alta frequência de cruzamentos de lineamentos estruturais, predominantemente sobre baixo estrutural. Neste caso, o uso e manejo devem ser muito cuidadosos e as encostas devem permanecer vegetadas, evitando-se assim a geração/agravamento de processos erosivos de grande porte.

Na Figura 58 observa-se um local em que, mesmo com a suscetibilidade natural à erosão sendo baixa, o manejo do solo e a implantação de obras lineares realizados de forma incorreta, associados a presença de zonas de máximos e *trends* estruturais, fizeram com que fossem gerados processos erosivos, como voçorocamentos.

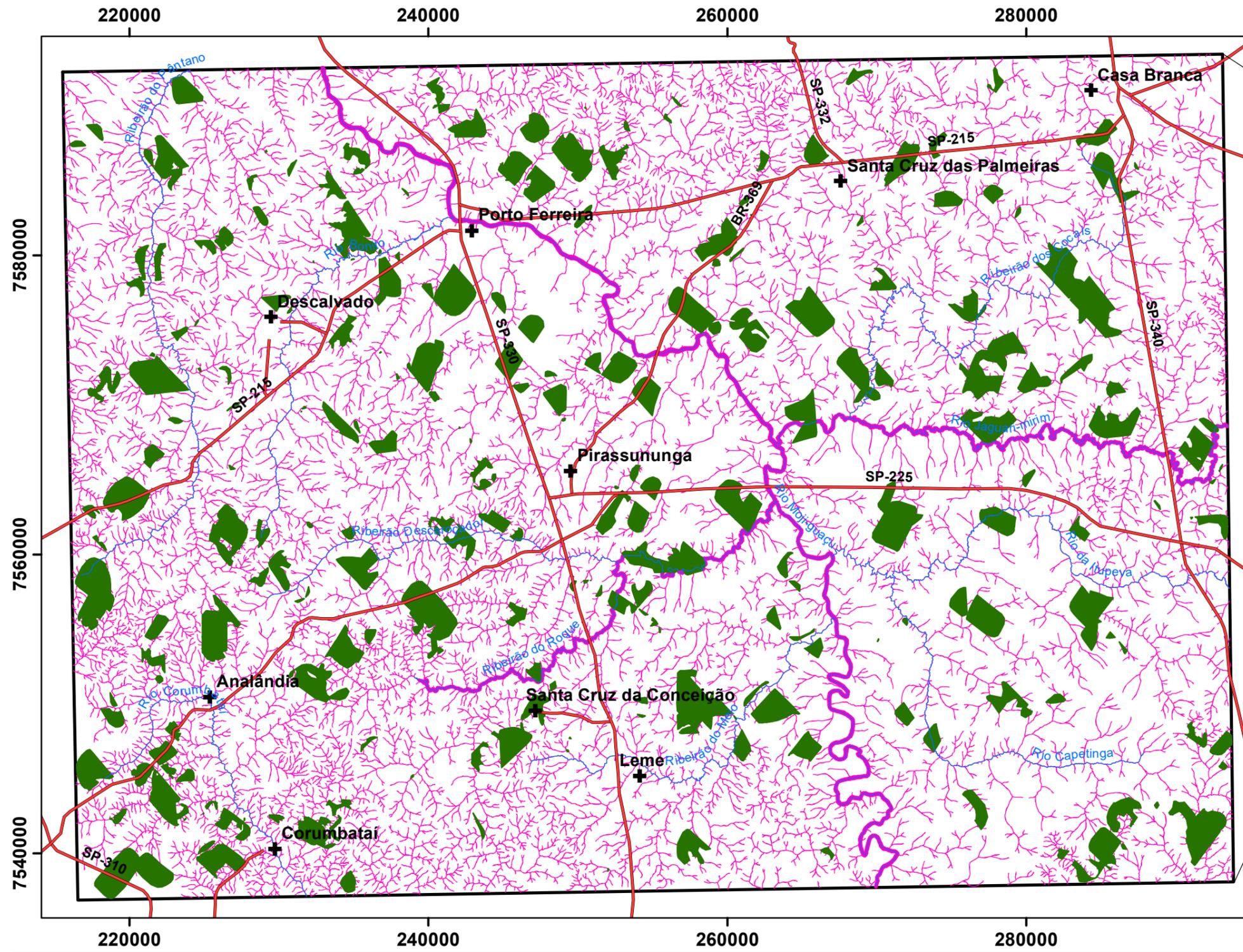
Figura 58 – Voçoroca gerada pelo uso incorreto do solo.



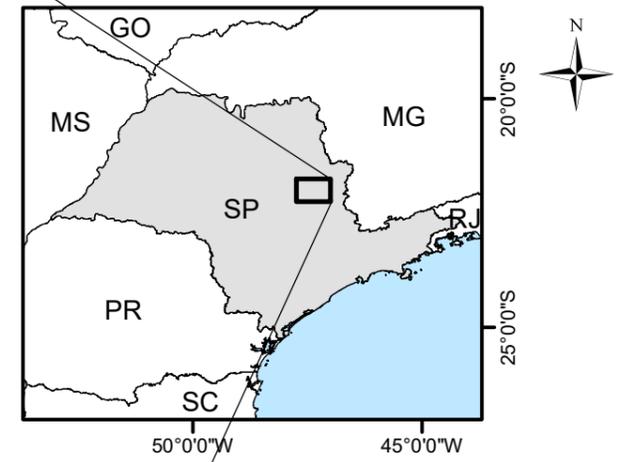
Ponto de campo nº 19, coordenadas 238384/7572130 – 647 m.

5.7.2 Indicação de Áreas para Proteção Ambiental

O mapa temático de indicação de áreas para proteção ambiental (Figura 59) apresenta as áreas que deveriam ser destinadas à proteção e/ou preservação ambiental para a manutenção e conservação dos recursos naturais, principalmente dos recursos hídricos e da fisiologia da paisagem da região de Pirassununga.



Mapa de Indicação de Áreas para Proteção Ambiental - Região de Pirassununga/SP -



- Convenções cartográficas**
- ✚ Sedes Municipais
 - Drenagem de referência
 - Rodovias
- Legenda**
- Área de Estudo
- Áreas para preservação**
- Áreas indicadas para Preservação Ambiental
 - Áreas de Preservação Permanente de margens de cursos d'água

Base de Dados:
 - Folhas topográficas do IBGE, em escala 1:50.000, Casa Branca (SF-23-V-C-V-4), Corumbataí (SF-23-Y-A-I-2), Descalvado (SF-23-V-C-IV-4), Leme (SF-23-Y-A-II-1), Pirassununga (SF-23-V-C-V-3) e Rio Capetinga (SF-23-Y-A-II-2)
 - Imagem Aster GDEM/NASA, Resolução espacial: 30 metros
 - Imagem de Satélite DGI-INPE, Landsat 8 - banda 8
 Instrumento: OLI, Resolução espacial: 15 metros
 Órbita/Ponto: 220/075, Data de passagem: 2015-05-09

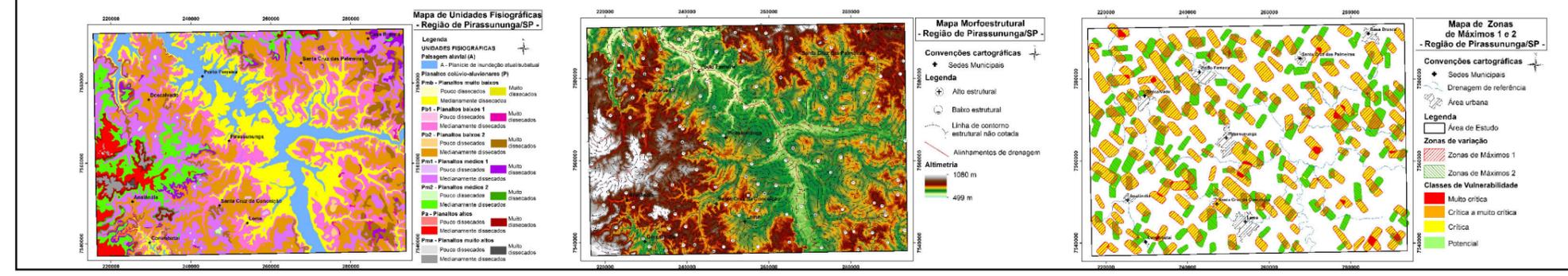


Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000, Zona: 23S

Título: Indicação de Áreas para Proteção Ambiental da Região de Pirassununga/SP

Data: Jun/2016 **Figura 59**

Cartogramas utilizados:



Este mapa foi gerado a partir da integração das informações fisiográficas (relevo associado à declividade), morfoestruturais (morfoestruturas associadas às altimetrias) e morfotectônicas (zonas de máximos 1 e 2), utilizando os mesmos pesos estabelecidos para a definição da Suscetibilidade Natural à Erosão (SNE), descritos na Tabela 7. A partir disso foram feitas as médias aritméticas para cada área gerada, considerando como áreas indicadas para preservação ambiental aquelas com peso médio igual a IV ou V (classes alta e muito alta de SNE).

Tabela 7 - Pesos atribuídos para a definição das áreas indicadas para preservação ambiental. Onde SNE corresponde à Suscetibilidade Natural à Erosão.

Classes utilizadas para indicação de Áreas para Preservação Ambiental		
Unidade do Relevo	Dissecação	SNE
Planície de inundação atual/subatual (A)	Baixa	I
	Média/Alta	II
Planalto muito baixo (Pmb), Planaltos baixos 1 e 2 (Pb1 e Pb2)	Baixa	I
	Média/Alta	III
Planalto médio 1 (Pm1)	Baixa/Média	III
	Alta	IV
Planalto médio 2 (Pm2)	Baixa	III
	Média/Alta	IV
Planalto alto (Pa)	Baixa	III
	Média	IV
	Alta	V
Planalto muito alto (Pma)	Baixa	IV
	Média/Alta	V
Morfoestruturas	Altimetria	SNE
Alto estrutural	Alto topográfico (> 646 m)	II
Alto estrutural	Baixo topográfico (< 646 m)	IV
Baixo estrutural	Alto topográfico (> 646 m)	IV
Baixo estrutural	Baixo topográfico (< 646 m)	V
Zonas de máximos 1 e 2		SNE
Potencial (Zonas de máximos 2)		II
Crítica (Zonas de máximos 1 ou sobreposição de zonas de máximos 2)		III
Crítica a muito crítica (Zonas de máximos 1 sobre zonas de máximos 2)		IV
Muito crítica (Zonas de máximos 1 sobrepostas)		V

A legislação ambiental brasileira, principalmente com relação ao Novo Código Florestal (Lei nº 12.651, 2012), contém informações importantes a serem consideradas para a elaboração deste mapa de indicação de áreas de proteção ambiental. Entretanto, tal informação não foi seguida à risca, pois neste produto

ocorrem áreas que ultrapassam os limites instituídos pela legislação, para a definição das áreas de preservação ambiental, considerando a vulnerabilidade/suscetibilidade ambiental do terreno.

Neste mapa, foram apresentadas as áreas indicadas para a proteção ambiental, incluindo as APPs de margens de rios. As áreas indicadas para proteção ambiental associam-se, de forma geral:

- Às planícies de inundação dos rios de maior porte, como o Rio Mogi-guaçu, o Rio Jaguari-mirim e o Ribeirão do Roque, por apresentar alta instabilidade ambiental e para a conservação dos recursos hídricos;
- Às APPs dos corpos hídricos de menor porte, perenes e intermitentes, identificados por meio das folhas topográficas;
- Aos taludes com presença de nascentes e drenos, altamente declivosos ou com características de alta suscetibilidade à erosão e movimentos de massa;
- Às áreas de sobreposição de máximos, altamente suscetíveis à ocorrência de processos erosivos;
- Às formas anômalas de drenagem (altos e baixos estruturais) associadas à altimetria, pela alta suscetibilidade à erosão em baixos estruturais/baixos topográficos, baixos estruturais/altos topográficos e altos estruturais/baixos topográficos.

Cabe ressaltar que as áreas não indicadas para proteção ambiental, quando apresentarem remanescentes florestais ou áreas restritas à proteção ambiental (como reservas legais), devem ser mantidas para estabelecimento de corredores ecológicos e para a conservação da biodiversidade. Da mesma forma, faz-se necessário buscar a proteção e recuperação das áreas indicadas, visando a manutenção da fisiologia da paisagem e conservação dos recursos naturais, como meio de garantir a sustentabilidade socioambiental do meio.

5.7.3 Áreas propícias para instalação de aterros sanitários

Com o crescente aumento populacional e dos setores industriais e de serviços na região, há a necessidade de se definir locais adequados para a disposição dos resíduos sólidos e líquidos produzidos.

Partindo deste princípio desenvolveu-se o mapa indicativo de áreas propícias para alocação de aterros sanitários na região (Figura 60), gerado a partir da integração das informações morfoestruturais (morfoestruturas associadas às altimetrias), morfotectônicas (zonas de máximos 1 e 2, *trends* estruturais e densidade e frequência de cruzamentos de lineamentos estruturais) e geológicas (IG, 1980, 1981a, 1981b, 1983, 1984a, 1984b).

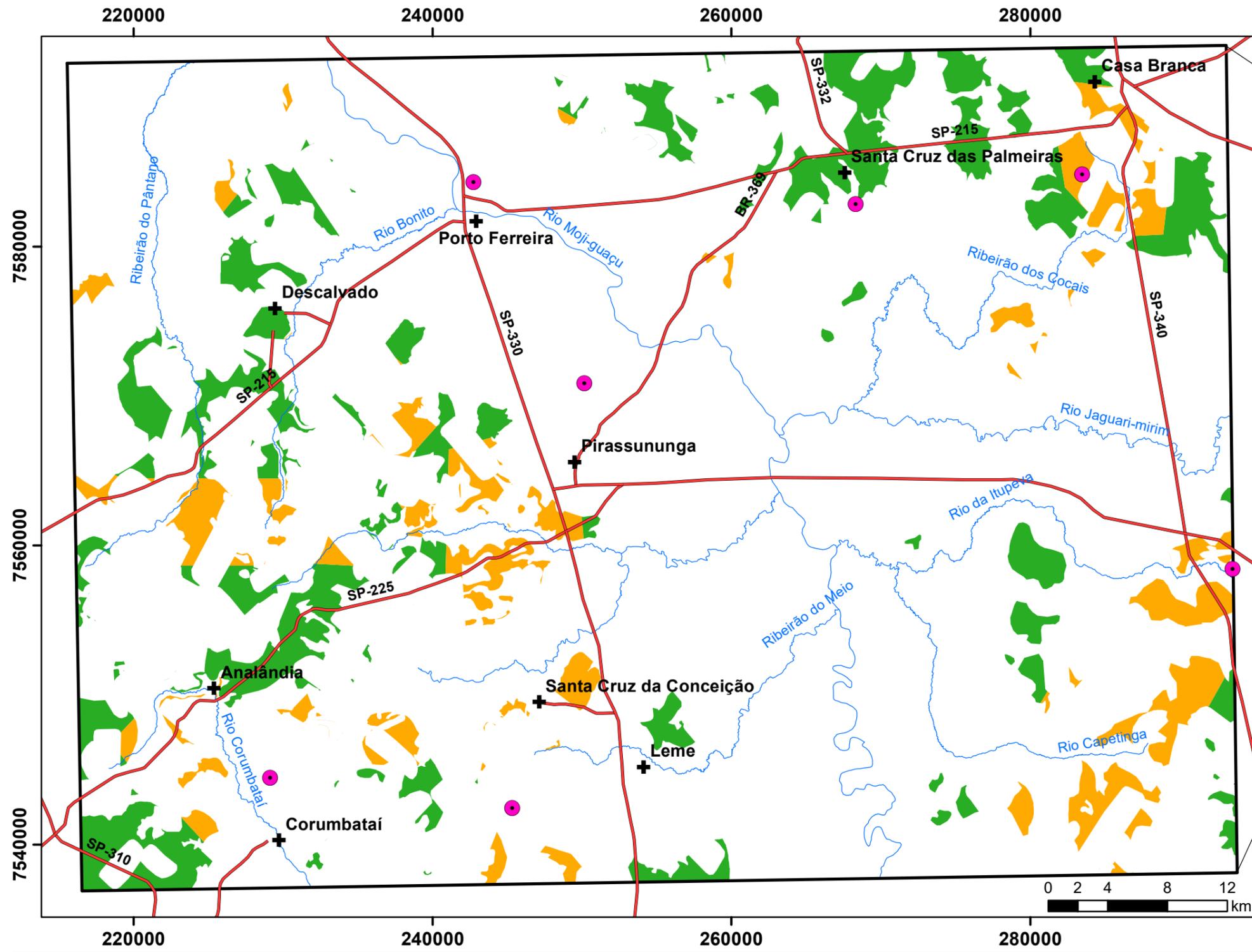
Para a disposição de resíduos sabe-se que o adequado é a utilização de regiões de baixos estruturais/altos topográficos, visto que estas são áreas de acúmulo, dificultando a penetração dos contaminantes para o substrato e a contaminação dos aquíferos. Tais estruturas devem estar associadas a materiais mais argilosos, os quais retêm estes contaminantes, aumentando a eficácia da acumulação.

Inicialmente foram selecionadas as áreas de baixo estrutural/alto topográfico e delas foram excluídas as áreas com presença das formações Botucatu e Piramboia, essencialmente arenosas. Locais com presença de depósitos quaternários e das formações Pirassununga e Santa Rita do Passa Quatro foram mantidos pois correspondem a coberturas pouco espessas (no máximo 20 metros) de materiais predominantemente arenosos, que podem ser utilizados para cobrir as camadas de resíduos depositados.

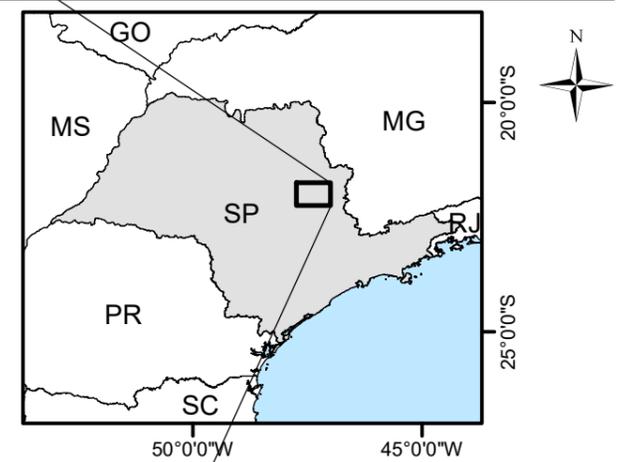
Posteriormente, áreas com presença de zonas de máximos 1 e 2 e classes alta a muito alta densidades e frequências de cruzamentos de lineamentos estruturais também foram excluídas, pois correspondem a locais com alto grau de fraturamento, propícios à penetração dos contaminantes, não sendo recomendados para a disposição de resíduos por poder atingir o lençol freático, por exemplo.

A ocorrência de *trends* estruturais, todavia, merece atenção especial, pois, dependendo do distanciamento entre os feixes de fraturas, há possibilidade de utilização das áreas entre eles.

Assim, foram geradas duas classes para este mapa: “áreas adequadas” e “áreas adequadas com restrição” (locais com presença de *trends* estruturais) para a instalação de aterros sanitários.



Mapa de áreas propícias para instalação de Aterros Sanitários - Região de Pirassununga/SP -



Convenções cartográficas

- +
- Rodovias
- Drenagem de referência

Legenda

- Aterros municipais
- Área de Estudo

Áreas propícias para disposição de resíduos

- Adequado
- Adequado com restrição

Base de Dados:

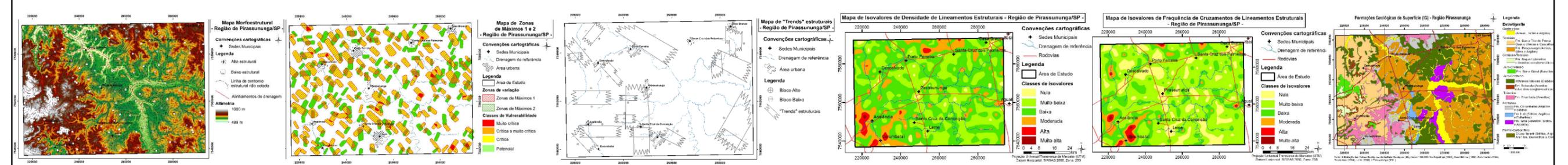
- Folhas topográficas do IBGE, em escala 1:50.000, Casa Branca (SF-23-V-C-V-4), Corumbataí (SF-23-Y-A-I-2), Descalvado (SF-23-V-C-IV-4), Leme (SF-23-Y-A-II-1), Pirassununga (SF-23-V-C-V-3) e Rio Capetinga (SF-23-Y-A-II-2)
- Imagem Aster GDEM/NASA, Resolução espacial: 30 metros
- Imagem de Satélite DGI-INPE, Landsat 8 - banda 8
- Instrumento: OLI, Resolução espacial: 15 metros
- Órbita/Ponto: 220/075, Data de passagem: 2015-05-09
- Formações Geológicas de Superfície (IG, 1980; 1981a; 1981b; 1983; 1984a; 1984b)

Título: Áreas propícias para instalação de aterros na Região de Pirassununga/SP

Data: Jun/2016

Figura 60

Cartogramas utilizados:



Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum Horizontal: SIRGAS 2000, Zona: 23S

Na área em estudo, de uma forma geral, devido ao grande fraturamento e à grande variação altimétrica e de materiais (solos e geologia), as áreas indicadas para a alocação de aterros sanitários para deposição de resíduos sólidos e líquidos urbanos, industriais e agrícolas, apresentam-se isoladas, disformes e com tamanhos variados.

No quadrante I observam-se áreas adequadas para a disposição de resíduos próximo às áreas urbanas de Santa Cruz da Conceição e Casa Branca e no extremo leste do quadrante. Como o uso da terra corresponde, predominantemente, ao plantio de cana-de-açúcar, estas áreas também podem ser utilizadas para a distribuição de vinhoto pelas usinas. Neste quadrante foram identificados dois aterros sanitários municipais, um pertencente ao município de Santa Cruz das Palmeiras e outro, a Casa Branca. O aterro do primeiro município está situado na transição entre um alto e baixo estrutural/baixo topográfico, sobre substratos basálticos e de *sills* de diabásio. Por mais que esteja em uma área transicional para alto estrutural, o substrato pode condicionar a preservação do aquífero Tubarão, o que torna adequado o local do aterro, devendo ser tomados apenas os devidos cuidados de manejo indicados pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB. O aterro de Casa Branca situa-se em um baixo estrutural/alto topográfico, local adequado a este tipo de empreendimento. Entretanto, tal região foi classificada como “adequada com restrição” devido à presença de um *trend* estrutural (de direção NS), o que pode promover uma contaminação profunda, atingindo o aquífero Tubarão, caso tenha sido instalado sobre o sistema de feixes. Neste caso, estudos mais direcionados devem ter sido realizados para determinar se a localização exata está sobre ou entre o sistema de feixes e determinar, corretamente, as técnicas de manejo e proteção do meio.

O quadrante II apresenta, mais pontualmente, no seu extremo leste e centro-norte áreas adequadas para a instalação de aterros sanitários. Neste quadrante foi identificado um aterro sanitário, pertencente ao município de Aguaí, ele está situado na zona de transição entre um alto e baixo estrutural/baixo topográfico, tal fato, por si só, compromete tal instalação pois o aquífero confinado é mais superficial, facilitando a sua contaminação. Este local ainda se encontra sobre uma área de *trend* (fraturamento) e substratos arenosos da Fm. Aquidauana, o que permite uma condução mais acelerada dos contaminantes.

Entre os quadrantes II e III, próximo ao município de Leme e na porção sul (próximo à Rodovia Anhanguera), observou-se a existência de duas áreas apropriadas para a alocação de aterros sanitários e/ou lagoas de distribuição de vinhoto para a agroindústria.

No quadrante III, as áreas próximas à zona urbana do município de Analândia, seguindo a Rodovia SP-225, assim como o extremo sudoeste e oeste do quadrante, podem ser consideradas adequadas para a destinação dos resíduos antrópicos. O mesmo ocorre na região intermediária entre as zonas urbanas dos municípios de Santa Cruz da Conceição e Corumbataí. Neste quadrante foram identificados dois aterros sanitários, pertencentes aos municípios de Corumbataí e Leme, ambos foram instalados sobre altos estruturais/altos topográficos, o que confere a eles condições impróprias, já que são locais responsáveis pela recarga do Aquífero Guarani, extremamente condutores de efluentes a maior profundidade.

E as porções central e sudoeste do quadrante IV apresentam diversas áreas adequadas para a disposição dos resíduos oriundos das atividades antrópicas, incluindo áreas próximas à zona urbana do município de Descalvado. Neste quadrante foram identificados dois aterros sanitários, pertencentes aos municípios de Porto Ferreira e Pirassununga, ambos foram instalados sobre altos estruturais/baixos topográficos, o que os torna inadequados para este tipo de instalação, visto serem áreas de recarga de aquíferos superficiais e profundos.

Vale ressaltar que tais locais foram identificados com base nas características do meio físico, por meio de resposta espectral e/ou arranjo da drenagem da região, não dispensando estudos mais detalhados, caso a caso, sobre as condições locais, incluindo, por exemplo, a realização de sondagens e descrição *in situ* dos materiais presentes (se siltosos, argilosos ou arenosos e suas proporções).

5.8 Capacidade de Suporte Natural da Região de Pirassununga/SP

As interpretações morfogenéticas possibilitam definir o estágio de desenvolvimento e o equilíbrio/metaequilíbrio em que se encontram as paisagens e/ou o desequilíbrio natural ocasionado pelas intervenções a que foram submetidas durante um determinado período (JIMÉNEZ-RUEDA, 2012).

A análise da capacidade de suporte natural realizada nesse estudo baseou-se na interpretação e compreensão do meio físico natural, sem incluir uma análise direta da interferência e/ou do impacto da ação antrópica.

O mapa de capacidade de suporte natural foi elaborado a partir da integração das informações fisiográficas (relevo associado à declividade), morfotectônicas (zonas de máximos 1 e 2, *trends* estruturais, isovalores de densidade e frequência de cruzamento de lineamentos estruturais) e morfoestruturais (morfoestruturas associadas às altimetrias), integradas pelo mapa de suscetibilidade natural à erosão (disposto na Figura 55); pedológicas, agrupadas de acordo com as suas propriedades (OLIVEIRA et al., 1999a) e geológicas, agrupadas de acordo com a sua mineralogia (IG, 1980, 1981a, 1981b, 1983, 1984a, 1984b).

Inicialmente, as classes de suscetibilidade natural à erosão foram ordenadas de acordo com a sua capacidade de suporte natural, ou seja, a classe muito baixa de suscetibilidade natural à erosão foi associada a classe muito alta de capacidade de suporte natural, a classe de baixa suscetibilidade, à alta capacidade de suporte natural, e assim consecutivamente.

Os solos descritos por Oliveira et al. (1999a) foram agrupados de acordo com as suas propriedades:

- Presença de A proeminente/chernozêmico: solos com saturação por bases maior que 50%, com espessura maior que 18 cm depois de arados e com grande quantidade de evaporitos. Correspondem a sistemas mais alcalinos, diminuindo a necessidade de incorporação de corretivos. Incluem Latossolos Vermelhos e Vermelho-amarelos e Neossolos Litólicos chernozênicos;
- Presença de A moderado: solos com saturação por bases inferior a 50%, com espessura maior que 18 cm depois de arados, com presença de melanização e necessidade de correção da alcalinidade (solos mais alumínicos e férricos). Incluem Latossolos Vermelhos e Vermelho-amarelos, Argissolos Vermelho-amarelos e Neossolos;
- Presença de características abrupáticas: indicam discordância pedoestratigráfica (pedogênica/litogênica) e fraturamento no substrato, com camada de horizonte A muito pequena recobrendo solos mais antigos, recomendado para desenvolvimento de culturas com sistema radicular pivotante. Incluem Argissolos Vermelho-amarelos e alguns Neossolos;

- Presença de características gleicas: solos indicativos de que o lençol freático é mais alto e/ou que a área é muito pluviométrica, sofrendo assim inundações periódicas (com maior ou menor residência), são mais saturados por água e indicados para culturas como a rizicultura. Incluem os Gleissolos (maior período de estagnação da água) e alguns Latossolos Vermelho-amarelos gleicos (menor período de estagnação da água);
- Características litólicas: solos que dependem do fraturamento para que a ação do intemperismo libere os nutrientes presentes nas rochas, estando a qualidade do solo intimamente ligada ao substrato. Incluem os Neossolos Litólicos;
- Características quartzarênicas: solos muito arenosos dominados por quartzo, com pouca liberação de sílica, sem outros elementos associados e de baixa fertilidade. Os solos arênicos são constituídos por areias com presença de vários minerais primários, os quais podem incrementar a sua fertilidade. Incluem os Neossolos Quartzarênicos.

As litologias (IG, 1980, 1981a, 1981b, 1983, 1984a, 1984b) foram agrupadas de acordo com a sua constituição mineralógica, tanto das litologias formais quanto aloformais:

- Rochas intrusivas (diabásio) e Fm. Serra Geral (basalto): o intemperismo destas rochas libera grande quantidade de ferro magnésiano (macro e micronutrientes), sendo excelente para a produção agrícola;
- Fm. Piramboia, Fm. Corumbataí e Fm. Tatuí: agrupadas pela presença de argilas expansivas e/ou sílex, o que aumenta a capacidade de troca catiônica;
- Fm. Irati: apresenta carbonatos, com aporte de macro e micronutrientes e argilas expansivas, por vezes, faz-se necessária a incorporação de matéria orgânica;
- Fm. Pirassununga, Fm. Santa Rita do Passa Quatro e Depósitos quaternários: presença de areias melanizadas e sesquióxidos alumínicos/férricos recobrando as outras formações geológicas;
- Fm. Itaqueri e Fm. Itararé: áreas mais alcalinas, com presença de carbonatos, sulfetos e argilas expansivas;
- Fm. Botucatu: mineralogia predominante de areias quartzosas.

O agrupamento destes fatores gerou cinco classes de capacidade de suporte natural para cada um dos temas, conforme mostra a Tabela 8.

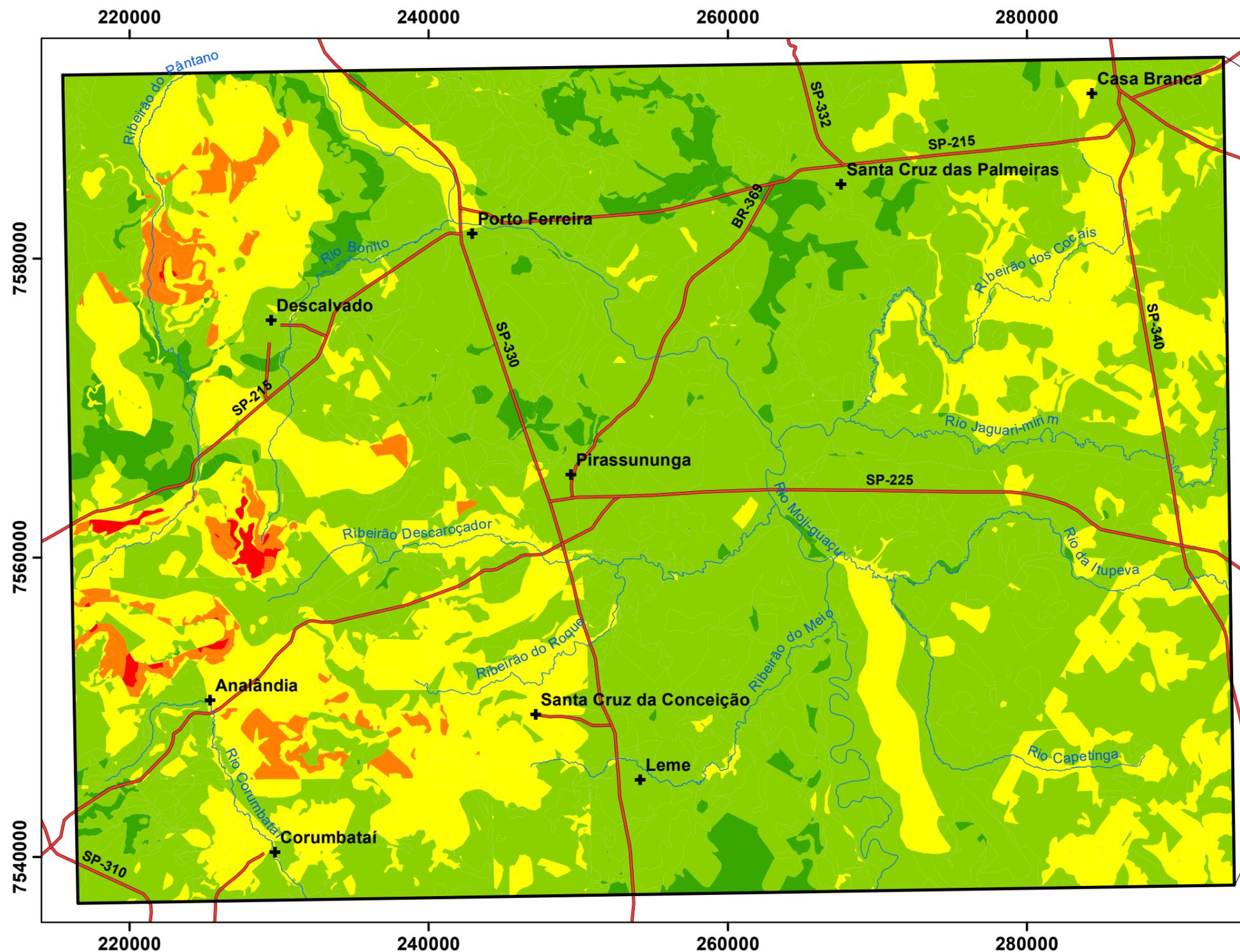
Tabela 8 - Pesos atribuídos para a definição da Capacidade de Suporte Natural.

Capacidade de Suporte Natural (CSN)	
Suscetibilidade Natural à Erosão (SNE)	CSN
Alta SNE	II
Moderada SNE	III
Baixa SNE	IV
Muito Baixa SNE	V
Pedologia (OLIVEIRA et al., 1999a)	CSN
Neossolos litólicos/quartzarênicos	I
Gleissolos ou solos com características gleicas	II
Solos abruptos	III
Solos com presença de A moderado	IV
Solos com presença de A proeminente/chernozênicos	V
Geologia (IG, 1980, 1981a, 1981b, 1983, 1984a, 1984b)	CSN
Fm. Botucatu	I
Fm. Itaqueri/Fm. Itararé	II
Fm. Pirassununga/Fm. Santa Rita do Passa Quatro/Depósitos quaternários	III
Fm. Irati/Fm. Piramboia/Fm. Corumbataí/Fm. Tatuí	IV
Intrusivas básicas (diabásio)/Fm. Serra Geral (basaltos)	V

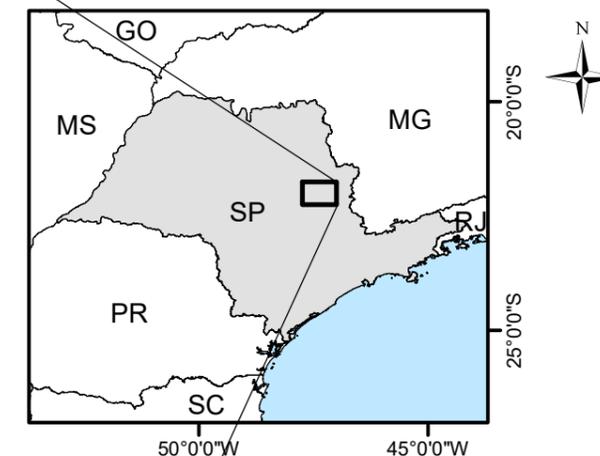
A seguir, as informações de suscetibilidade natural à erosão, pedologia e geologia foram associadas, calculou-se a média aritmética dos valores para cada área gerada, obtendo as cinco classes de capacidade de suporte natural (I - muito baixa, II - baixa, III - moderada, IV - alta e V - muito alta), o que facilitou a visualização das áreas e discussão dos resultados. Tais informações estão representadas no Mapa de Capacidade de Suporte Natural (CSN) da região (Figura 61).

Na porção central da região estudada predominam as capacidades de suporte natural alta e muito alta, acompanhando as planícies de inundação atual/subatual e os planaltos muito baixos a médios; e, nas porções leste e oeste predomina a CSN moderada.

No quadrante I domina a classe moderada de CSN sobre o Ribeirão dos Cocais e próximo a Serra do Sertãozinho, localizada a norte da área urbana do município de Santa Cruz das Palmeiras. O restante da área encontra-se com CSN alta a muito alta.



Mapa de Capacidade de Suporte Natural - Região de Pirassununga/SP -



Convenções cartográficas

- + Sedes Municipais
- Rodovias
- Drenagem de referência

Legenda

- Área de Estudo

Capacidade de Suporte Natural (CSN)

- I - Muito baixa
- II - Baixa
- III - Moderada
- IV - Alta
- V - Muito alta

Base de Dados:
 - Folhas topográficas do IBGE, em escala 1:50.000, Casa Branca (SF-23-V-C-V-4), Corumbataí (SF-23-Y-A-I-2), Descalvado (SF-23-V-C-IV-4), Leme (SF-23-Y-A-II-1), Pirassununga (SF-23-V-C-V-3) e Rio Capetinga (SF-23-Y-A-II-2)
 - Imagem Aster GDEM/NASA, Resolução espacial: 30 metros
 - Imagem de Satélite DGI-INPE, Landsat 8 - banda 8
 Instrumento: OLI, Resolução espacial: 15 metros
 Órbita/Ponto: 220/075, Data de passagem: 2015-05-09
 - Formações Geológicas de Superfície (IG, 1980; 1981a; 1981b; 1983; 1984a; 1984b)
 - Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (OLIVEIRA et al., 1999a)

Escola: 0 2 4 8 12 km

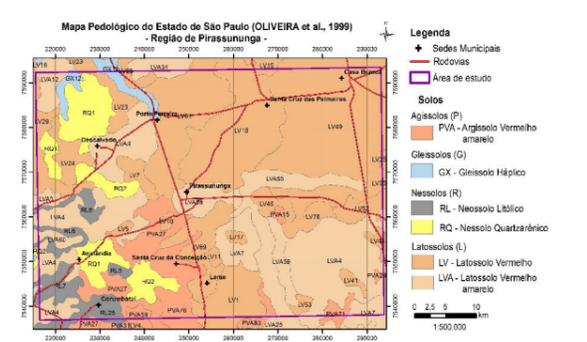
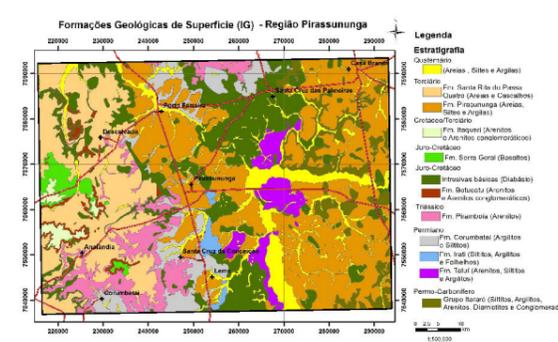
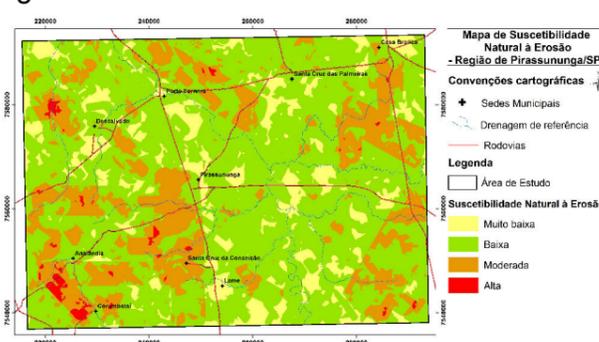
Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000, Zona: 23S

Título: Mapa de Capacidade de Suporte Natural da Região de Pirassununga/SP

Data: Jun/2016

Figura 61

Cartogramas utilizados:



No quadrante II também há grande ocorrência de áreas de classe moderada da CSN (predominante na porção leste), associadas a áreas de alta capacidade de suporte.

No quadrante III predominam áreas com capacidade de suporte moderada, havendo locais com decréscimo nesta capacidade (baixa a muito baixa), em especial na região das serras do Cuscuzeiros, do Monte Sinai e do Atalaia. Nas porções sudeste e sudoeste encontram-se as melhores áreas para atividades diversas, pois apresentam as melhores CSN.

E, no quadrante IV, há uma certa proporcionalidade entre as classes moderada e alta, estando as piores classes próximo ao Ribeirão do Pântano, área intensamente fraturada e com relevo acidentado. As porções centro-leste, extremo oeste e noroeste apresentam CSN adequadas, variando de alta a muito alta.

As regiões com CSN alta a muito alta (classes IV e V) são indicadas para diversos usos, com menor necessidade de práticas conservacionistas, levando em conta apenas necessidades de reposições de nutrientes. O uso de maquinário para o preparo do terreno é necessário de acordo com a sua umidade, tipo textural e declividade, o mesmo deve ser considerado para a instalação de obras lineares.

Entretanto recomenda-se que os manejos adequados, considerando cada local individualmente, sejam definidos em função das recomendações de profissionais capacitados em cada atividade.

Por fim, de forma geral, os Latossolos Vermelho-amarelos estão associados, predominantemente, à Fm. Pirassununga, sedimentos colúvio-aluvionares e materiais provindos da erosão de outros Latossolos desta formação e das Fm. Piramboia e Itararé (arenitos), os quais se apresentam enriquecidos com concreções ferruginosas e com componentes com presença de alumínio, gerando problemas de toxidez e, com isso, limitações na implantação de certas culturas. Quando esta cobertura apresenta componentes mais argilosos, a toxidez por alumínio diminui e aumenta a capacidade de troca catiônica entre as plantas e o meio, o que possibilita uma exploração agrícola mais intensiva.

Já os Latossolos Vermelhos, derivados da alteração das Fm. Corumbataí, Tatuí e Itararé, quando apresentam textura média, são favoráveis às explorações agrícolas mais exigentes, devido à sua capacidade de troca catiônica e adsorção de nutrientes. Quando de texturas médias mais arenosas e acriférricas, a toxidez nos solos é maior, tanto por alumínio quanto por ferro, requerendo tratamentos de correção específicos,

o que encarece a sua exploração/uso. E, quando de texturas mais argilosas, apresentam maior capacidade de troca catiônica, sendo menos distróficos, entretanto, seu manejo é mais difícil/oneroso.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho de campo mostrou-se essencial para a verificação e confirmação dos resultados e das recomendações feitas. Durante este trabalho foram conferidos os resultados dos levantamentos bibliocartográficos e dos produtos obtidos a partir da fotointerpretação e dos processos geotecnológicos (fisiografia/relevo, morfoestrutura e morfotectônica), sendo estes os fatores determinantes para a capacidade de suporte natural do meio, aumentando a confiabilidade do produto final.

A análise da rede de drenagem detalhada e complementada da área em estudo apresentou-se essencial para o conhecimento do meio físico, definição da suscetibilidade natural à erosão e da capacidade de suporte natural, pois a partir dela foram obtidas informações a respeito da geologia morfoestrutural e da evolução morfoclimática e paleoambiental da região.

A análise fisiográfica permitiu associar a evolução da paisagem e suas principais unidades fisiográficas aos processos de erosão e sedimentação, estimulados por movimentos tectônicos. Combinada a ela utilizou-se a hipsometria e as classes de declividade da região, definindo, respectivamente, a abrangência das planícies de inundação atual/subatual e dos planaltos e, o grau de dissecação das unidades da paisagem. Tais características tornaram o estudo da fisiografia essencial para compreender a evolução do meio físico, a capacidade de suporte natural da região e definir as áreas mais suscetíveis à erosão.

O mapa hipsométrico, por sua vez, contribuiu com informações para estabelecer os altos e baixos topográficos que, associados aos altos e baixos estruturais, possibilitaram o direcionamento sobre as limitações e potencialidades de uso e ocupação sustentáveis para cada local.

A análise morfoestrutural permitiu observar que a área situa-se em uma região com presença de um sistema intensamente fraturado, o que gerou paisagens de abatimento e soerguimento de blocos (*horsts* e *grabens*), altos e baixos estruturais deformados e altos e baixos topográficos intercalados, exigindo, deste modo, indicações de manejo específicos para cada área, pois a circulação de elementos e os processos atuantes na elaboração das paisagens correlacionam-se com as propriedades e características condicionantes das morfoestruturas e aspectos topográficos conjuntamente. Os altos e baixos estruturais, quando associados a

relevos em altas ou baixas altitudes, contribuíram para um melhor planejamento de obras de engenharia e manejo agrícolas.

Portanto, a discussão sobre as relações das morfoestruturas e suas altimetrias (altos e baixos topográficos) foram de grande importância para a análise do meio físico e compreensão da fisiologia das paisagens, bem como para indicação de usos e ocupações adequados e diferenciados para cada porção do espaço geográfico, colaborando assim, para a definição e recomendações sobre a capacidade de suporte natural e dos demais aspectos temáticos como, por exemplo, alocação de áreas de sacrifício para aterros sanitários.

A análise morfotectônica estuda as relações entre as unidades do relevo e as estruturas tectônicas (lineamentos estruturais, traços de juntas e *trends* estruturais), relacionando as deformações da crosta terrestre com os aspectos de suscetibilidade, sensibilidade e vulnerabilidade aos processos erosivos de degradação e agradação das bacias sedimentares. Deste modo, esta análise tornou-se uma ferramenta fundamental para a verificação das instabilidades do meio físico, permitindo delimitar, com maior exatidão, áreas intensamente fraturadas, mais frágeis e suscetíveis à erosão e, conseqüentemente, áreas onde o manejo deve ser mais cauteloso ou que deveriam ser indicadas à proteção ambiental. Tais informações foram de fundamental importância para verificação e subsídio quando se analisam as instabilidades do meio físico.

A reconstrução da evolução da paisagem da área estudada, pelas isobases confluentes, relacionou-se com os condicionantes da tectônica regional e com os efeitos de reativações mais recentes, o que evidenciou soerguimentos e abatimentos de blocos, além de identificar o domínio dos processos colúvio-aluvionares, geradores das associações de solos (Latosolos, Argissolos, Gleissolos e Neossolos) nas paisagens da região de Pirassununga.

As áreas suscetíveis naturalmente à erosão foram classificadas em quatro classes (muito baixa a alta), predominando as classes baixa e moderada. Entretanto, constatou-se que, em diversos locais, esta suscetibilidade é incrementada quando os usos e manejos da terra são realizados de forma inadequada, sem considerar as características do meio físico, como a instalação de obras lineares acompanhando os falhamentos ou a disposição de curvas de nível e terraceamentos onde podem se instalar processos erosivos profundos, como ravinas e voçorocamentos.

Em algumas áreas suscetíveis à erosão e frágeis ambientalmente foram indicadas a manutenção de suas coberturas bióticas naturais e/ou recuperação das mesmas, para a prevenção de impactos ambientais negativos, manutenção e conservação dos recursos naturais, principalmente dos recursos hídricos e da fisiologia da paisagem.

Para a disposição de resíduos sólidos e líquidos produzidos pela população, sabe-se que o adequado é utilizar-se de regiões de baixos estruturais/altos topográficos, visto que eles correspondem a sistemas fechados, endorréicos e com baixo direcionamento da circulação das águas, sendo assim, são locais retentores de água, com acúmulo de nutrientes e contaminantes e, alta capacidade mitigadora das substâncias nocivas. Tais estruturas devem estar associadas a materiais mais argilosos, os quais apresentam as propriedades de retenção dos contaminantes, aumentando a eficácia da acumulação e degradação dos mesmos. Em contrapartida, se a área apresentar fraturamento, com presença intensa de traços de juntas, lineamentos e/ou *trends* estruturais, a sua capacidade retentora diminui, já que estes ambientes se tornam propícios à condução e penetração dos contaminantes.

Vale ressaltar que tais locais foram identificados pelas características do meio físico, por meio de resposta espectral e/ou arranjo espacial da rede de drenagem, não dispensando estudos mais detalhados, caso a caso, sobre as condições locais, incluindo, por exemplo, a realização de sondagens e descrição *in situ* dos materiais presentes (silticos, argilosos ou arenosos).

As interpretações morfogenéticas possibilitam definir o estágio de desenvolvimento e o equilíbrio/metaequilíbrio em que se encontram as paisagens e/ou o desequilíbrio natural ocasionado pelas intervenções a que foram submetidas, durante um determinado período. Assim, a análise da capacidade de suporte natural realizada nesse estudo baseou-se na interpretação e compreensão do meio físico natural (características fisiográficas, morfoestruturais, hipsométricas, de declividade, morfotectônicas, pedológicas e geológicas), sem incluir uma análise direta da interferência e/ou do impacto da ação antrópica.

De forma geral, na região de Pirassununga predomina a alta capacidade de suporte natural, acompanhando as planícies de inundação atual/subatual e os planaltos muito baixos a médios. Merecendo atenção especial a porção leste da área, por apresentar capacidade de suporte predominantemente moderada e; a porção oeste, por apresentar capacidades de suporte moderadas a muito baixas, o que torna

seu uso restrito, requerendo, portanto, estudos mais específicos para melhor dirigir as ocupações. Assim sendo, recomenda-se que os manejos adequados, considerando cada local individualmente, sejam definidos em função das recomendações de profissionais capacitados em cada atividade.

Portanto, a integração das informações ambientais básicas analisadas neste estudo foi de grande importância para a caracterização e análise do meio físico e para a compreensão da dinâmica da paisagem, bem como para direcionar estudos mais detalhados e subsidiar as tomadas de decisão por parte dos órgãos públicos e setores privados para fins de planejamento, reorganização física e gestão racional e sustentável do território.

Espera-se ainda que os resultados desta dissertação incentivem outros estudos ambientais/geoecológicos, com a utilização de conhecimentos detalhados e integrados do meio físico, da compreensão da dinâmica da fisiologia da paisagem e suas implicações no uso e ocupação da terra, procurando atingir a sustentabilidade ambiental em todas as atividades antrópicas, sejam elas urbanas, de saneamento, de infraestrutura ou agropecuárias, e melhoria na qualidade de vida da sociedade, assim como a manutenção da qualidade do solo e da água.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A.N. Províncias geológicas e domínios morfoclimáticos no Brasil. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 20, p. 1-26, 1970.
- ALLUM, A.E. **Photogeology and regional mapping**. Oxford: J. Pergamon, 1966. 107p.
- ALMEIDA, F.F.M. Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista. **Boletim do Instituto Geográfico e Geológico**, São Paulo, n.41, p.169-262, 1964.
- ALMEIDA, F.F.M. The system of continental rifts bordering the Santos Basin. **Acad. Bras. Ciênc.**, Rio de Janeiro, v. 48 (supl.), p. 13-26, 1976.
- ALMEIDA, F.F.M.; BARBOSA, O. Geologia das quadrículas de Piracicaba e Rio Claro, Estado de São Paulo. **Boletim DNPM/DGM**, Rio Claro, 143 p., 1953.
- ALMEIDA, F.F.M., HASUI, Y., BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R.A. Províncias estruturais brasileiras. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 1, 1977, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande, 1977. p. 363-91.
- ASSINE, M.L.; SOARES, P.C. Interação flúvio-eólica na Formação Pirambóia. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 4, 1995, Águas de São Pedro. **Boletim de Resumos Expandidos...** Rio Claro: UNESP/SBG, 1995. p. 65.
- BATISTA, I.X. **Desenvolvimento sustentável em Rondônia: políticas públicas, desmatamento e evolução econômica**. 2001. 172 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.
- BIRKELAND, P.W. **Soils and Geomorfology**. 3. ed. New York: Oxford University Press, 1999. 430 p.
- BJÖRNBERG, A.J.S. **Sedimentos pós-cretáceos do leste do Estado de São Paulo**. São Carlos, 1965, 133 f. Tese (Livre-docência) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1965.
- BJÖRNBERG, A.J.S. **Contribuição ao estudo do Cenozóico paulista: tectônica e sedimentologia**. 1969. 128 f. Tese (provimento do cargo de Professor) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1969.
- BJÖRNBERG, A.J.S.; LANDIM, P.M.B. Contribuição ao estudo da Formação Rio Claro (Neocenozóico). **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, v.15, n.4, p.43-67, 1966.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas. Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas. Comissão de Solos. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo: contribuição à carta de solos do Brasil**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura/SNPA, 1960. 634 p. (Boletim 12).

BOTERO, J.P. **Fisiografía y estudio de suelos**. Bogotá: Centro Interamericano de Fotointerpretación (CIAF), 1978.

CAETANO-CHANG, M.R. Estado d'arte dos conhecimentos Sedimentológicos e Estratigráficos das formações Piramboia e Botucatu no estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO DE CRONOESTRATIGRAFIA DA BACIA DO PARANÁ, 5. Rio Claro. **Atlas...** Rio Claro, v.1, p. 83-84, 1993.

CAETANO-CHANG, M.R.; WU, F.T. As formações Pirambóia e Botucatu no estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 4, Águas de São Pedro. **Atlas do IV Simpósio**. São Pedro, 1995. p.81.

CÂMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J.; MITSUO JR, F. Spring: Integrating remote sensing and Gis by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, INPE/DPI, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.

CEPAGRI. Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. **Clima dos municípios Paulistas**. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_442.html>. Acesso em: 15 dez. 2015.

COIMBRA, A.M.; BRANDT NETO, M.; COUTINHO, J.M.V. Silicificação dos arenitos da Formação Bauru no Estado de São Paulo. In: **A Formação Bauru no Estado de São Paulo e regiões adjacentes**. São Paulo: SBG. 1981. p.103-115. (Coletânea de Trabalhos e Debates).

COIMBRA, A.M.; RICCOMINI, C.; SANT'ANNA, L.G.; VALARELLI, J.V. Bacia de Curitiba: estratigrafia e correlações regionais. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39. Salvador. **Anais...** Salvador: SBG/Núcleo BA-SE, 1996, p. 135-137.

CORDANI, U.G.; MILANI, E.J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D.de A. **Tectonic Evolution of South America**. Rio de Janeiro: 31^a International Geological Congress, 2000. 856 p.

CORTÉS, A.L.; MALAGÓN, D.C. **Los levantamientos agrológicos y sus aplicaciones múltiples**. Bogotá: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 1984. 360 p.

COUTINHO, L.M. O Cerrado e a ecologia do fogo. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v.12, n. 68, p. 25-30, 1990.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. 2005. Disponível em: <<http://geobank.cprm.gov.br/>>. Acesso em: 05 fev. 2016.

CRISÓSTOMO-NETO, A. P. **Mapeamento Geoambiental por imagem de satélite do Vale do Paraíba**. 2003. 67 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

CHRISTOPHERSON, R.W. **Geossistemas: uma introdução à geografia física**. Porto Alegre: Bookman, 2012, 727 p.

DEFFONTAINES, P. Regiões e paisagens do Estado de São Paulo: Primeiro esboço da divisão regional. **Geografia**, São Paulo, v. 1, n. 2, 1935.

DELLA JUSTINA, E.E. **Zoneamento geoambiental da zona de amortecimento da Reserva Biológica do Jaru-RO, como subsídios ao seu plano de manejo**. 2009. 225 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2009.

DIAS, R.L.; PEREZ FILHO, A. Geocronologia de terraços fluviais na bacia hidrográfica do Rio Corumbataí-SP a partir de luminescência opticamente estimulada (LOE). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 16, n. 2, p. 341-349, 2015.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mapas de Solos do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2001.

ESRI Globe Logo. **ArcGIS 10.3 for Desktop**. 2014.

FRANZONI, A.M.B. **Avaliação do meio físico para fins de planejamento geoambiental no traçado e manutenção da rede viária: Ilha de Santa Catarina – SC**. 2000. 145 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

FERREIRA, S.R. **Análise pedoestratigráfica das Formações Rio Claro e Piraçununga, no centro-leste do Estado de São Paulo**. 2005. 157p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005.

FERREIRA, S.R.; CAETANO-CHANG, M.R. Datação das formações Rio Claro e Piraçununga por termoluminescência. **Rev. Esc. Minas**, Ouro Preto, v. 61, n. 2, p. 129-134, 2008.

FILOSOFOV, V.P. **Brief Guide to Morphometric Methods in Search of Tectonic Structures**. Saratov University: Publishing House. 1960.

Francisco, P. R. M.; Chaves, I. B.; Lima, E. R. V. Mapeamento das Terras para Mecanização Agrícola - Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, n. 2, p. 233-249, 2012.

FLORENZANO, T.G. Introdução à geomorfologia. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008, p. 11-30.

FREITAS, R.O.; MEZZALIRA, S.; ODA, G.H.; VIEIRA, P.C., TORRES, C.C.; HACHIRO, J.; TOMINAGA, L.K.; DEHIRA, L.; MASSOLI, M.; AZEVEDO, A.A.B.; PRESSINOTI, M.M.N. Projeto levantamento geológico de formações superficiais. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2, Rio Claro. **Atas...** Rio Claro: SBG, 1979, p. 263-277.

FREITAS, R.O. et al. **Formações geológicas de superfície, Folha Pirassununga – SF.23-V-C-V-3**. São Paulo: Secretaria de Agricultura e Abastecimento, Instituto Geológico, Escala 1:50.000. 1981.

FULFARO, V.J. O Cenozoico da Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2. 1979, Rio Claro. **Atas...** Rio Claro: SBG, 1979, p. 231-241.

GIOVANNETTI, G.; LACERDA, M. **Dicionário de Geografia**. São Paulo: Melhoramentos, 1996.

GOLDEN SOFTWARE. **Surfer® 11**. 2015.

GOLTS, S.; ROSENTHAL, E. A morphotectonic map of the northern Arava in Israel, derived from isobase lines. **Geomorphology**, v. 7, p. 305-315. 1993.

GOODLAND, R. **Glossário de ecologia brasileira**. Manaus: Imprensa Oficial do Estado, 1975, 96 p.

GOOSEN, D. Interpretacion de fotos aereas y su importancia en levantamiento de suelos. **Boletin sobre suelos**, Roma, n. 6, p. 0-58, 1968.

GOOSEN, D. **Physiography and soils of the Llanos Orientales, Colômbia**. Academisch Proefschrift, 1971, 199 p.

GRAVELIUS, H. **Flusskunde**. Goschen'sche Verlagshandlung, Berlin, 1914.

GUIMARÃES, S.C.P. **Zoneamento geoambiental como subsídio à aptidão agrícola das terras do município de Cujubim**. 2001. 133 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

HACHIRO, J.; COIMBRA, A.M.; MATOS, S.L.F. O caráter cronoestratigráfico da unidade Irati. In: SIMPÓSIO SOBRE CRONOESTRATIGRAFIA DA BACIA DO PARANÁ, 1. Rio Claro. **Boletim de Resumos...** Rio Claro: SBG-UNESP, 1993, p. 62-63.

HASUI, Y. **Neotectônica, morfogênese e sedimentação moderna no Estado de São Paulo e regiões adjacentes**. Rio Claro, Relatório final de projeto auxílio a pesquisa FAPESP (n° 95/04417), 2000.

HASUI, Y.; COSTA, J.B.S. Neotectônica: fundamentos, métodos e técnicas de análise. IN: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 5. Belém. **Anais...** Belém: SBG, 1996, p. 20.

HASUI, Y., MIOTO, J.A. **Geologia estrutural aplicada**. São Paulo: ABGE, Votorantim, 1992. 459 p.

HÖFIG, P.; ARAÚJO-JÚNIOR, C.F. Classes de declividade do terreno e potencial para mecanização no Estado do Paraná. **Coffee Science**, Lavras, v. 10,0n. 2, p. 195-203, 2015.

HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. **Bull. Geol. Soc. Am.**, v. 56, p. 275-370, 1945.

HOWARD, A.D. Drainage analysis in geologic interpretation: a summation. **Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.**, v. 51, p. 2246-2259, 1967.

IAC. INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Levantamento Pedológico Semidetalhado do Estado de São Paulo**: Quadrícula Araras, SF.23-Y-A-II. São Paulo: IAC, 1981a.

IAC. INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Levantamento Pedológico Semidetalhado do Estado de São Paulo**: Quadrícula São Carlos, SF.23-Y-A-I. São Paulo: IAC, 1981b.

IAC. INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Levantamento Pedológico Semidetalhado do Estado de São Paulo**: Quadrícula Descalvado, SF.23-V-C-IV. São Paulo: IAC, 1982.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Geomorfologia**. Rio de Janeiro, 1995. (Manuais Técnicos em Geociências, n. 5).

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Pedologia**. Rio de Janeiro, 1995, 104 p. (Manuais Técnicos em Geociências, n. 4).

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Organização Territorial**. 2012. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_territorial/>. Acesso em: 17 jun. 2015.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapas interativos**. 2013. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_interativos/>. Acesso em: 30 jan. 2016.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE Cidades**. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>>. Acesso em: 20 ago. 2015.

IF. INSTITUTO FLORESTAL. **Plano de Manejo do Parque Estadual de Porto Ferreira**. São Paulo, 2003, 417 p.

IG. INSTITUTO GEOLÓGICO. **Formações Geológicas de Superfície**: Folha Geológica de Leme, SF.23-Y-A-II-1. São Paulo, 1980.

IG. INSTITUTO GEOLÓGICO. **Formações Geológicas de Superfície**: Folha Geológica de Piraçununga, SF.23-V-C-V-3. São Paulo, 1981a.

IG. INSTITUTO GEOLÓGICO. **Formações Geológicas de Superfície:** Folha Geológica de Rio Capetinga, SF.23-Y-A-II-2. São Paulo, 1981b.

IG. INSTITUTO GEOLÓGICO. **Formações Geológicas de Superfície:** Folha Geológica de Casa Branca, SF.23-V-C-V-4. São Paulo, 1983.

IG. INSTITUTO GEOLÓGICO. **Formações Geológicas de Superfície:** Folha Geológica de Corumbataí, SF.23-Y-A-I-2. São Paulo, 1984a.

IG. INSTITUTO GEOLÓGICO. **Formações Geológicas de Superfície:** Folha Geológica de Descalvado, SF.23-V-C-IV-4. São Paulo, 1984b.

IPT, INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Divisão de Minas e Geologia aplicada. **Mapa geológico do Estado de São Paulo/SP.** São Paulo, 1981a. 126 p. (Série Monografias n.6, v.1).

IPT. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo/SP.** São Paulo, 1981b, 94 p. (Série Monografias, n. 5, v.1).

IRITANI, MA.; EZAKI, S. **As águas subterrâneas do Estado de São Paulo.** São Paulo: SMA, 2012, 104 p.

JENNY, H. **Factors of soil formation:** a System of Quantitative Pedology. New York: McGRAW-HILL, 1941. 281 p.

JIMÉNEZ-RUEDA, J. R.; MATTOS, J. T. MALAGUTTI FILHO, W. Estudos integrados para controlar impactos ambientais de um sistema de irrigofertilização com vinhoto na região centro-leste do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPCION REMOTA, 4. Bariloche: **Anais...** Bariloche, 1989a, p. 459-465.

JIMÉNEZ-RUEDA, J.R.; PESSOTTI, J.E.S.; MATTOS, J.T. Uso de sensoriamento remoto no zoneamento agroecológico da região da Serra do Mar no Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPCIÓN REMOTA, 4. Bariloche. **Anais...** Bariloche, 1989b. v. 1. p.135-139.

JIMÉNEZ-RUEDA, J. R.; MATTOS, J. T. Monitoreo de las actividades antrópicas para la evaluación de la capacidad de soporte del medio físico: diagnostico y prognostico. In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO SOBRE RIESGO GEOLÓGICO URBANO, 2; CONFERENCIA COLOMBIANA DE GEOLOGIA AMBIENTAL, 2. Pereira. **Anais...** Pereira (Colômbia), 1992.

JIMÉNEZ-RUEDA, J. R. (Coord.) **Caracterização das coberturas de alteração intempéricas e suas múltiplas aplicações na região centro oeste do Estado de São Paulo.** Rio Claro, Relatório Final de projeto auxílio a pesquisa FAPESP (n° 89/3495-0), 1993.

JIMÉNEZ-RUEDA, J.R.; NUNES, E.; MATTOS, J.T. Caracterização fisiográfica e morfoestrutural da folha São José de Mipibu - RN. **Geociências**, São Paulo, v. 12, n. 2, p. 481-491, 1993.

JIMÉNEZ-RUEDA, J.R. (Coord.) **Aspectos Fisiográficos das coberturas superficiais do Setor Centro-Oeste da Depressão Periférica Paulista**. Projeto de Auxílio à Pesquisa – Relatório Final (Processo nº 2010/05982-8), FAPESP/UNESP Rio Claro, 2012.

JIMÉNEZ-RUEDA, J.R.; MATTOS, J.T.; LIMA, M.M.; RIBEIRO, L.S.; OLIVEIRA, A.A. Isobases Confluentes como metodologia de geoprocessamento aplicada a reconstrução geodinâmica da paisagem. In: SIMPOSIO INTERNACIONAL – SELPER, 16. Medellín. **Memorias...** Medellín (Colômbia): SELPER, 2014, 20 p. Disponível em: <<http://selper.org.co/papers-XVI-Simposio/Bases-de-Datos-Geoespaciales/BD8-Isobases.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2015.

KEAREY, P.; KLEPEIS, K.A.; VINE, F.J.; Tradução: GODOY, D.F. de; HACKSPACHER, C. **Tectônica Global**. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2014. 436p.

LANDIM, P.M.B.; SOARES, P.C.; GAMA, J.R.E. **Estratigrafia do noroeste da bacia sedimentar do Paraná**. Rio Claro, 1980, 45 p. (Curso de Especialização: Convênio IPT – UNESP Rio Claro).

LANDIM, P.M.B.; MONTEIRO, R.C.; CORSI, A.C. **Introdução à confecção de mapas pelo software SURFER**. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatématica, Texto Didático 08, 21 p. 2002. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/DIDATICOS/LANDIM/Surfer.pdf>>. Acesso em: 23 jan. 2016.

LEPSCH, I.F. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983.175 p.

LIMA, M.I.C. **Introdução à interpretação radargeológica**. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos ambientais, 1995, 124 p. (Manuais técnicos em Geociências).

LIMA, M.M. **Zoneamento Geoambiental do Município e Região de Franca-SP**. 2009. 120 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ecologia) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2009.

LISOBA, M.A.R. **Leste de São Paulo, sul de Mato Grosso, geologia, indústria mineral, clima, solo agrícola, indústria pastoril**. Rio de Janeiro: Typ. Jornal do comércio, 1909, 172 p.

LIU, C.C. **Análise estrutural de lineamentos em imagens de sensoriamento remoto: aplicação ao Estado do Rio de Janeiro**. 1984. 243 p. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.

LOCZY, L.; LADEIRA, E. A. **Geologia estrutural e introdução à geotectônica**. Rio de Janeiro: Ed. Edgard Blucher, CNPq, 1980, 134 p.

MACHADO, P.J.O. Capacidade, Suporte e Sustentabilidade Ambiental. **Geosul**, Florianópolis, v. 14, n. 27, p. 122-127, 1999.

MACHADO, R.; SILVA, M. E. Estruturas em Rochas. In: TEIXEIRA et al. (Org.). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. p. 399-420.

MADRUCCI, V; ARAUJO, C.C.; TAIOLI, F. Sensoriamento remoto, aerogeofísica e geoprocessamento aplicados ao estudo de aquífero fraturado em terreno cristalino, leste do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, n. 2, p. 43-52, 2003.

MASSOLI, M. Geologia da Folha de Santa Rita do Passa Quatro, São Paulo. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 7-14, 1980.

MASSOLI, M. Geologia do Município de Santa Rita do Passa Quatro, São Paulo. **Revista do Instituto Geológico**. São Paulo, v. 2, n. 2, p. 35-51, 1981.

MASSOLI, M. Geologia da Folha de Pirassununga, SP. **Revista do Instituto Geológico**. São Paulo, v. 4, n.1/2, p. 25-51, 1983.

MATTOS J.T.; BALIEIRO M.G.; SOARES P.C.; BARCELLOS P.E.; MENESES P.R.; CSORDAS S.M. **Análise morfoestrutural com uso de imagens MSS-Landsat e Radar para pesquisa de hidrocarbonetos no estado de São Paulo**. São José dos Campos: INPE, RTR/015,1982, 167p.

MATTOS, J. T. de; JIMÉNEZ-RUEDA, J. R.; OHARA, T.; MENDES, M. L. de B.; SANTANA, M. A. Critérios para mapeamento de classes a erosão de solos em imagem TM-Landsat. In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPCIÓN REMOTA, 9. Cochabamba. **Anais...** Cochabamba: SELPER, 2002.

MELO, M.M. **A Formação Rio Claro e depósitos associados: Sedimentação neocenozóica na Depressão Periférica Paulista**. 1995, 144p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

MELO, M.S. et al. Geologia e evolução do sistema de bacias tafrogênicas continentais do sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v.15, n. 3, p. 193-201, 1985.

MEZZALIRA, S. Novas ocorrências de vegetais fósseis cenozoicos no Estado de São Paulo. **Boletim do Instituto Geográfico e Geológico**. v.15, p.73-94, 1961/1962.

MEZZALIRA, S. Descrição geológica e geográficas folhas Piracicaba e São Carlos, SP. **Boletim do Instituto Geográfico e Geológico**, n. 43, p. 42, 1965.

MILANI, E.J. **Evolução tectônica-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica Fanerozóica do Gondwana sul-ocidental**. 1997. 254 f. 2 v. Phd Tesis. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Mapas de Cobertura Vegetal dos Biomas Brasileiros**. Disponível em:

<<http://mapas.mma.gov.br/mapas/aplic/probio/datadownload.htm>>. Acesso em: 10 jun. 2015.

MORAES, F.T. **Zoneamento geoambiental do planalto de Poços de Caldas, MG/SP a partir de análise fisiográfica e pedoestratigráfica**. 2007. 173 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2007.

MORAES REGO, L.F. **Notas sobre a geomorfologia de São Paulo e sua gênese**. São Paulo: Instituto Agrônômico e Geográfico, 1932, 28 p.

MUELLER, L. et al. Assessing the productivity function of soils: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 30, p. 601-604, 2010.

NARDY, A.J.R.; PINESE, J.P.P.; SOUZA, F.H.; BETANCOURT, R.H.S.; BATISTA, M.J. Aspectos geológicos e estratigráficos das rochas vulcânicas ácidas do Membro Chapecó (Formação Serra Geral) na Região Norte da Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 6. São Pedro. **Boletim...** Rio Claro, v. 1, p. 68, 1999.

NACSN. North American Commission on Stratigraphic Nomenclature. North American Stratigraphic Code. **The American Association of Petroleum Geologists Bulletin**, v. 67, n. 5, p. 841-875, 1983.

OHARA, T. **Zoneamento Geoambiental da região do Alto-médio Paraíba do Sul (SP) com sensoriamento remoto**. 1995. 235 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1995.

OHARA, T.; JIMÉNEZ-RUEDA, J. R.; MATTOS, J. T. de; CAETANO, N. R. Zoneamento geoambiental da região do alto-médio rio Paraíba do Sul e a carta de aptidão física para a implantação de obras viárias. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 173-182, jun. 2003.

OLIVEIRA, W. J.; MATTOS, J.T.; JIMÉNEZ-RUEDA, J.R. Contribuição para o mapeamento geológico da região Sudeste do Estado de Rondônia através de uma sistemática de estudo usando dados de satélite. In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPCION REMOTA, 4. Bariloche. **Anais...** Bariloche: SELPER, 1989, p. 543-547.

OLIVEIRA, J.B. **Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico**. Campinas: Instituto Agrônômico. 1999. (Boletim Científico 45).

OLIVEIRA, J.B.; CAMARGO, M.N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**. Campinas: EMBRAPA-SOLOS/IAC, 1999a.

OLIVEIRA, J.B.; CAMARGO, M.N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: Legenda Expandida**. Campinas: EMBRAPA-SOLOS/IAC, 1999b.

O'LEARY, D. W., FRIEDMAN, J. D., POHN, H. A. Lineament, linear, lineation: Some proposed new standards for olds terms. **Geological Society of America Bulletin**, v. 87, n. 10, p.1463-1469, 1976.

PAULA, E.F. de. **Zoneamento Geoambiental como método de análise de indicadores ambientais do Horto Gramado de São Simão – SP**. 2002. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ecologia) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, São Paulo, 2002.

PETERLINI, R.F. **Organização espacial da vegetação natural nas quadriculas de São Carlos e Brotas/SP**. 2011. 177 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2011.

PIRASSUNUNGA. PREFEITURA MUNICIPAL. **História da Cidade**. Disponível em: <<http://www.pirassununga.sp.gov.br/historiadepirassununga.html>>. Acesso em: 10 fev. 2016.

PNUD. PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO DO BRASIL. **Atlas de Desenvolvimento Humano no Brasil**. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/home/>>. Acesso em: 20 ago. 2015.

PONÇANO, W.L.; BISTRICHI, C.A.; CARNEIRO, C.D.R.; ALMEIDA, MA.; PIRES NETO, A.G.; ALMEIDA, F.F.M. O Conceito de Sistemas de Relevo Aplicado ao Mapeamento Geomorfológico do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2. Rio Claro. **Actas...** Rio Claro: SBG, v. 2, 1979, p. 253-262.

PRESS, F.; SIEVER, R. GROTZINGER, J.; JORDAN, T.H.; Tradução: MENEGAT, R. et al. **Para Entender a Terra**. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2006, 656 p.

RAMOS, V.A.; JORDAN, T.E.; ALLMENDINGER, R.W.; MPODOZIS, C.; KAY, S.M.; CORTÉS, J.M.; PALMA, M. Paleozoic terranes of the central Argentine-Chilean Andes. **Tectonics**. v. 5, n .6, p. 855-880, 1986.

RANZANI, G. **Pequeno Guia para Levantamento de Solos**. Piracicaba: ESALQ/USP. 1963. 22 p.

RESENDE, M. et al. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. Viçosa: NEPUT, 1995. 304 p.

REZENDE, F.A. **Determinação das áreas cafeeiras mecanizáveis no sul de Minas Gerais com cenários para a colheita**. 2008. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, 2008. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/6594955-Determinacao-das-areas-cafeeiras-mecanizaveis-no-sul-de-minas-gerais-com-cenarios-para-a-colheita-fabiano-alvarenga-rezende.html>>. Acesso em: 10 jun. 2016.

RICCOMINI, C. **O rift continental do Sudeste do Brasil**. 1989. 304 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1989.

RICCOMINI, C. Considerações sobre a posição estratigráfica e tectonismo deformador da Formação Itaqueri na porção Centro-leste do Estado de São Paulo. **Rev. IG.** São Paulo, v. 18, n. 1/2, p. 41-48, 1997.

RICCOMINI, C.; GIANNINI, P. C. F.; MANCINI, F. Rios e Processos Aluviais. In: TEIXEIRA, W. et al. (Org.). **Decifrando a Terra.** São Paulo: Oficina de Textos, 2000. p. 191-214.

RIEDEL, P.S. **Estudo das coberturas de alteração de parte do Centro -Leste paulista, através de dados de sensoriamento remoto.** 1988. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São José dos Campos, 1988.

ROCHA, G. (Coord.) **Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo:** escala 1:1.000.000, nota explicativa. São Paulo: DAEE/IG/IPT/CPRM, 2005, 119 p.

RODRIGUES, R.M. **Estudo e caracterização do meio físico da Bacia do Rio Camboriu/SC, visando o zoneamento geoambiental.** 2000. 73 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

ROSS, J.L.S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia,** São Paulo, n. 6, p. 17-29, 1992.

ROSS, J.L.S.; MOROZ, I.C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo.** São Paulo: Laboratório de Geomorfologia do Depto de Geografia FFLCH-USP/Laboratório de Cartografia Geotécnica - Geologia Aplicada - IPT/FAPESP, 1997, 63 p.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A. de; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. de. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos.** 3 ed. Brasília: Embrapa Solos, 2013, 353 p.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 5ª ed, 2005. 100 p.

SCHNEIDER, R.L. et al. Revisão estratigráfica da Bacia doParaná. In: CONGRESSO BRASILEIRO GEOLÓGICO, 28, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: SBG, p. 41-64,1974.

SCHUMM, S.A. Alluvial river response to active tectonics. In: **Active tectonics: studies in geophysics.** Washington: National Academy Press, 1986. p.80-94.

SETZER, J. **Levantamento Agro-geológico de Estado de São Paulo.** Rio de Janeiro: IBGE, 1941. 31 p.

SHAOP. SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PÚBLICAS. **Glosario de términos sobre asentamientos humanos**. México, 1978, 175 p.

SHIMBO, J.Z. **Zoneamento Geoambiental como subsídio aos projetos de reforma agrária, estudo de caso: Assentamento Rural Pirituba II (SP)**. 2006. 154 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.

SIGRH. SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **CBH-Mogi**. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/cbhmogi/apresentacao>>. Acesso em: 20 ago. 2015.

SILVA, C.L. **Aspectos Neotectônicos do Médio Vale do Rio Moji-Guaçu: Região de Piraçununga**. 1997. 169 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1997.

SILVA, F.M.da. Potencialidades de mecanização da região Sul e Sudoeste de Minas Gerais, visando a lavoura cafeeira. In: SIMPOSIO MECANIZAÇÃO DA LAVOURA CAFEEIRA, 10. Três Pontas. **Anais...** Lavras: UFLA/DEG, 2010, p. 73-80.

SINELLI, O. Considerações gerais sobre a tectônica no município de Ribeirão Preto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBG, 1971, p. 145-151.

SOARES, P.C. **O Mesozóico Gondwânico no estado de São Paulo**. 1973. 153f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1973.

SOARES, P.C.; LANDIM, P.M.B. Aspectos regionais da estratigrafia da Bacia do Paraná no seu flanco nordeste. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27. Aracaju. **Anais...** Aracaju: SBG, 1973, p. 243-256.

SOARES, P.C.; SOUZA, A. Geologia do Nordeste do estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27. Aracaju. **Anais...** Aracaju: SBG, 1973.

SOARES, P.C.; SINELLI, O.; PENALVA, F.; WERNICK, E.; SOUZA, A.; CASTRO, P.R.M. Geologia do nordeste do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27. Aracaju. **Anais...** Aracaju: SBG, 1973, p. 209-228.

SOARES, P. C.; FIORI, A. P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em Geologia. **Notícias Geomorfológicas**. Campinas, v. 16, n. 32, p. 71-104, dez. 1976.

SOARES, P.C.; LANDIM, P.M.B. Depósitos Cenozóicos na Região Centro-Sul do Brasil. **Notícias Geomorfológicas**, v.16, n.31, p.17-39, 1976.

SOARES, P. C.; MATTOS, J. T. de; BALIEIRO, M. G.; BARCELLOS, P. E.; MENESES, P. R.; GUERRA, S. M. S.; CSORDAS, S. M. Análise morfoestrutural

regional com imagens de Radar e Landsat na Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3. Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBG, 1981a.

SOARES, P. C.; BARRETO, M. de L. K.; REDAELLI, R. Aplicação de análise morfoestrutural em semi-detulhe com fotos aéreas na Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3. Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBG, 1981b.

SOARES P.C.; LUZ, M.E.; REDAELLI, R.; GUERRA, S.M.S. Análise morfoestrutural em fotos aéreas: aplicação na prospecção de hidrocarbonetos na bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2. São José dos Campos. **Anais ...** São José dos Campos: INPE, 1982a, p.157-168.

SOARES, P.C.; BARCELLOS, P.E.; CSORDAS, S.M.; MATTOS, J.T.; BALIEIRO, M.G.; MENESES, P.R. Lineamentos em imagens de Landsat e Radar e suas implicações no conhecimento tectônico da Bacia do Paraná. In.: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2. Brasília. **Anais...** Brasília, 1982b, p.153-157.

SOUSA, M.O.L. **Evolução tectônica dos altos estruturais de Pitanga, Ártemis, Pau d'Alho e Jiboia:** Centro do estado de São Paulo. 2002. 206 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002.

SOUZA, M.M.; BRANCO, F.R.; JASPER, A.; PESSEDA, L.C.R. Evolução paleoambiental Holocênica da porção nordeste do Estado de São Paulo, Brasil. **Rev. Bras. Paleontol.** v. 16, n. 2, p. 297-308, 2013.

SPIRIDONOV, A.I. **Principios de la metodologia de las investigaciones de campo y el mapeo geomorfológico.** 3 v. Havana: Universidad de la Havana, Facultad de Geografía, 1981.

STEFANI, F.L. **Zoneamento Geoambiental da Região de Casa Branca/SP.** 2000. 170 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São José dos Campos, 2003.

STEWART, I.S.; HANCOCK, P.L. Neotectonics. In: HANCOCK, P.L. **Continental deformation.** New York: Pergamon Press, 1994. p. 370-409.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. **Geol. Soc. América Bulletin**, v. 63, p. 1119-1142, 1952.

STRAHLER, A.N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions of American Geophysical Union.** New Haven, v. 38, p. 913-920. 1957.

SUGUIO, K. **Geologia do Quaternário e mudanças ambientais:** (passado+presente=futuro?). São Paulo: Paulo's Comunicação e Artes Gráficas, 1999. 366 p.

SUGUIO, K. **Geologia do Quaternário e mudanças ambientais.** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001, 366p.

- TOLEDO, M. C. M.; OLIVEIRA, S. M. B.; MELFI, A. J. Intemperismo e Formação do Solo. In: TEIXEIRA, W. et al. (Org.). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. p. 139-166.
- TOMINAGA, L.K. Geologia da Folha de São João da Boa Vista. **Rev. IG**. São Paulo, v. 2, n. 1, p. 21-29, 1981.
- TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977, 91 p.
- USP, Universidade de São Paulo. **Dados da Estação Meteorológica da USP - Campus de Pirassununga**. Disponível em: <ftp://ftp.cisc.usp.br/pub/PCAPS/estacao.html>. Acesso em: 30 jan. 2016.
- VALLADARES, G.S.; HOTT, M.C.; QUARTAROLI, C.F. **Aptidão agrícola das terras do nordeste do Estado de São Paulo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2008, 9 p. (Circular Técnica, n. 15).
- VENEZIANI, P.; ANJOS, C. E. dos. **Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia**. São José dos Campos: INPE, 1982, 76 p.
- VEROCAI, I. (Org.) **Vocabulário Básico de Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: SEMA, 1997, 276 p.
- VIEIRA, L.S. **Manual da ciência do solo**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1975, 464 p.
- VIEIRA, P.C. Geologia da Folha Rio Capetinga. **Revista Instituto Geológico**, v. 3, n. 2, p. 23-52, 1982.
- VILLOTA, H. **Técnicas modernas de mapeo de suelos de Ladera**. Bogotá: Centro Interamericano de Fotointerpretacion (CIAF), Ministerio de Obras Públicas y Transporte, 1983, 32 p.
- VILLOTA, H. **Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de las tierras**. Santafe de Bogotá: Instituto Geografico Agustín Codazzi, Subdireccion de Docencia e Investigacion, 1991, 211 p.
- VILLOTA, H. El sistema CIAF de classificacion fisiografica del terreno. **Revista CIAF**, Bogotá, v.13, n.1, p. 55-70, 1992.
- VILLOTA, H. **Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de las tierras**. Bogotá: Instituto Geografico Agustín Codazzi, Departamento Nacional de Estadística, 2005, 184 p.
- VINK, A.P.A. **Fotografias aereas y las ciencias del suelo**. UNESCO. 1963.
- VM. ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS LTDA. **Plano Municipal de Saneamento Básico**: Abastecimento de água e esgotamento sanitário. Casa Branca, 2015. Disponível em:

<[http://www.casabranca.sp.gov.br/arquivos/obras_2015/plano_diretor%20\(saneamento_basico\).final.pdf](http://www.casabranca.sp.gov.br/arquivos/obras_2015/plano_diretor%20(saneamento_basico).final.pdf)>. Acesso em: 24 ago. 2015.

VOLKMER, S. **Caracterização mineralógica das coberturas de alteração intempéricas da quadrícula de São Carlos (QSC), SP – escala 1:100.000**. 1993. 157 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1993.

ZALÁN, P.V.; WOLFF, S.; ASTOLFI, M.A.; VIEIRA, I.S.; CONCEIÇÃO, J.C.; APPI, V.T.; NETO, E.V.S.; CERQUEIRA, J.R.; MARQUES, A. The Paraná basin, Brazil. In.: LEIGHTON, M.W.; KOLATA, D.R.; OLTZ, D.F.; EIDEL, J.J. (eds). **Interior cratonic basins**. v. 51. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists Memoir, 1990. p. 681-708.

ZINCK, A. **Aplicación de la geomorfología el levantamiento de suelos en zonas aluviales y definición del ambiente geomorfológico con fines de descripción de suelos**. Mérida: CIDIAT; Bogotá: Instituto Geográfico “Augustin Codazzi”, Subdirección Agrológica – IGAC, 1987, 176 p.

WEG, R.F. **Patrones de Denaje**. Bogotá: Centro Interamericano de Fotointerpretação – CIAF, 1972, 25 p.

WU, F. T. **Proveniência das Rochas Arenosas do Sub-grupo Itararé no Sul do Estado de São Paulo, SP**. 1989. 165 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 1989.

WHITE, I.C. **Relatório final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil**. Rio de Janeiro: DNPM, Parte I, p.1-300. Parte II, p. 301-617, 1908. (ed. Fac-similar).

YAKUSHOVA, A.F. **Geology with the elements of Geomorphology**. Moscow: Mir Publishers, 1986, 400p.