

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS PERIGOS DE EVENTOS GEODINÂMICOS  
OCORRENTES NO MUNICÍPIO DE FRANCO DA ROCHA (SP)

Eduardo Yuji Yamagata

Orientador: Profº Dr. Edilson Pissato

Co-orientador: Geól. Cláudio José Ferreira

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF-2013 / 15)

SÃO PAULO

2013

---

Eduardo Yuji Yamagata

De acordo: \_\_\_\_\_

Profº Dr. Edilson Pissato

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço ao Profº Dr. Edilson Pissato, do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGc-USP), e ao Geólogo Cláudio José Ferreira, do Instituto Geológico - Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (IG-SMA), pelas sugestões, conselhos e experiência científica transmitida.

Agradeço aos funcionários e estagiários do IG-SMA, que me ajudaram de diversas maneiras, seja pela sugestão de livros e teses de doutorado, sugestões, conselhos, ou simplesmente pelo companheirismo e paciência durante um ano.

Agradeço também à minha família, pelos conselhos e o carinho demonstrado, além de apoiar-me integralmente, inclusive nos momentos mais difíceis.

Agradeço também aos professores e funcionários do IGc-USP, pelo conhecimento, seja ele científico, político, ou mesmo a experiência pessoal que adquiri durante esses cinco anos de estudante de graduação.

Agradeço aos meus amigos de Mairinque (SP), cuja cidade eu morei durante doze anos de minha vida; e aos amigos do IGc-USP, que tive o prazer de convivê-los durante esses cinco anos de graduação.

## **RESUMO**

O município de Franco da Rocha está incluído no Plano Preventivo de Defesa Civil (PPDC) do Estado de São Paulo, devido aos graves problemas relacionados às movimentações de massa, erosões, enchentes e inundações, o que afeta a atividade econômica da região e o cotidiano dos municípios. Para determinar o índice de perigo, usamos os conceitos de paisagem, Unidade Básica de Compartimentação (UBC), Unidade Homogênea de Uso e Cobertura da Terra (UHCT) e Unidade Territorial Básica (UTB); e os atributos, como declividade, densidade de drenagem, densidade de lineamento, excedente hídrico, amplitude altimétrica, e a classe de indução de uso e cobertura da terra. Os programas de Sistema de Informação Geográfica (SIG), como o ArcGIS, Spring e QuantumGIS; programas de diagramas de orientação, como o GEOrient 9.5.0; programas de cálculo e estatística, como o LibreOffice 4.1.1.2; e arquivos *raster* como LANDSAT, ASTER GDEM e Ikonos foram utilizados. Dividimos o índice em cinco classes: P0 (nulo ou muito baixo), P1 (baixo), P2 (médio), P3 (alto), P4 (muito alto). O perigo de escorregamento é mais evidente que o perigo de escorregamento, este último restrito aos vales e/ou depósitos de inundaçāo.

**Palavras-chave:** escorregamento, Franco da Rocha, inundaçāo, perigo, Sistema de Informação Geográfica, Unidades Básicas de Compartimentação.

## **ABSTRACT**

The municipality of Franco da Rocha is included in the Prevent Plan of Civil Defense (*Plano Preventivo de Defesa Civil*, in portuguese) of São Paulo State, due to serious problems related to landslides, erosions and flooding, which affects the economic activity of the region and the daily lives of residents. To determine the hazard index, uses the concepts of landscape, Basic Unit Partitioning (*Unidade Básica de Compartimentação*, in portuguese), Homogeneous Unit of Use and Land Cover (*Unidade Homogênea de Uso e Cobertura da Terra*, in portuguese), Unit and Territorial Base (*Unidade Territorial Básica*, in portuguese), and attributes, such slope, density drainage, lineament density, water surplus, altimetric amplitude, and induction use and land cover class. Geographic Information System (GIS) softwares, such ArcGIS, Spring and QuantumGIS; diagram softwares, such GEOrient 9.5.0; statistical softwares, such LibreOffice 4.1.1.2; and *raster* files as LANDSAT, ASTER GDEM e Ikonos were used. Divide the landslide and flooding hazard indexes into five classes: P0 (null or very low), P1 (low), P2 (medium), P3 (high), and P4 (very high). The landslide hazard is more increasingly clear than flooding hazard, the last restricted to valleys and/or alluvial deposits.

Key-words: landslide, Franco da Rocha, flooding, hazard, Geographic Information System, Basic Unity Partitioning.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>ACESSO .....</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>3</b>
<b>5</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>3</b>
5.1	ASPECTOS CLIMÁTICOS E SOCIOECONÔMICOS DO MUNICÍPIO.....	3
5.2	GEOLOGIA .....	4
5.3	GEOMORFOLOGIA.....	6
5.4	PAISAGEM E UNIDADE BÁSICA DE COMPARTIMENTAÇÃO (UBC).....	6
5.5	UNIDADE HOMOGÊNEA DE USO E COBERTURA DA TERRA (UHCT) E UNIDADE TERRITORIAL BÁSICA (UTB) .....	6
5.6	LINEAMENTO .....	7
5.7	EVENTOS GEODINÂMICOS .....	7
<b>6</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>8</b>
6.1	MATERIAIS .....	8
6.2	MÉTODOS UTILIZADOS NO SENSORIAMENTO REMOTO.....	9
6.2.1	<i>Mosaico.....</i>	9
6.2.2	<i>Segmentação de imagens.....</i>	9
6.2.3	<i>Classificação de imagens.....</i>	10
6.2.4	<i>Análise espacial .....</i>	10
6.3	MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO DO PERIGO .....	13
6.4	TRABALHO DE CAMPO .....	16
<b>7</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>16</b>
7.1	RESULTADOS OBTIDOS POR SENSORIAMENTO REMOTO.....	16
7.2	RESULTADOS OBTIDOS DO TRABALHO DE CAMPO.....	29
<b>8</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>36</b>
<b>9</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>37</b>
<b>10</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>37</b>

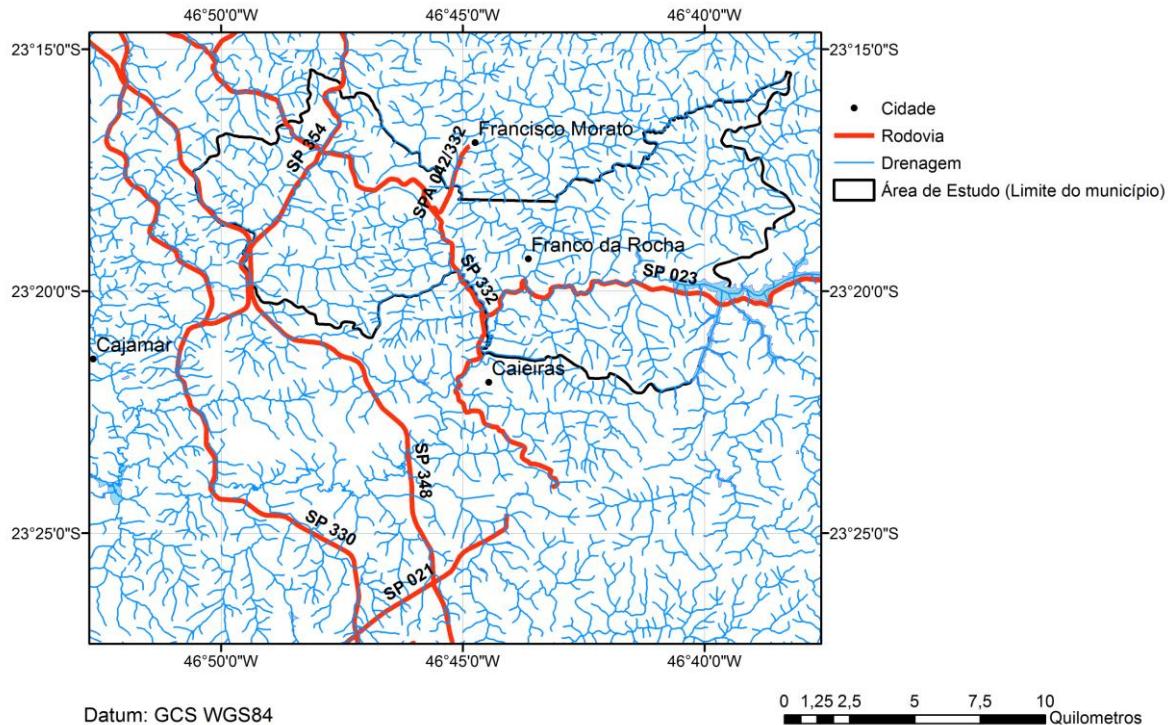
## **1 INTRODUÇÃO**

Os escorregamentos, enchentes e erosões são os desastres naturais mais comuns no Brasil e afetam intensamente os principais centros urbanos, especialmente áreas com alto risco de escorregamentos e enchentes, onde concentra a população de baixa renda. O Brasil é o 10º país com maior número de vítimas de desastres naturais, com 1,8 milhões de pessoas afetadas, e o 7º país com maior impacto econômico causado pelos desastres, cerca de US\$ 1 bilhão (Tominaga *et al.* 2009).

O crescimento de Franco da Rocha (SP) foi o reflexo da expansão urbana e econômica da Região Metropolitana de São Paulo. A partir da década de 1970 as instalações industriais transferem-se de São Paulo para os municípios vizinhos, o que inclui Franco da Rocha (SP) (Kleinfelder 1998). A rápida expansão urbana, o alto grau de estruturação das rochas metassedimentares dos grupos Serra do Itaberaba e São Roque, o relevo altamente dissecado, e as fortes chuvas que ocorrem entre dezembro a março, tornam o município vulnerável aos problemas relacionados às movimentações de massa, enchentes, inundações, queda de taludes marginais por solapamento e erosões.

## **2 ACESSO**

O acesso de Franco da Rocha se faz pelo Rodoanel (SP-021), Rodovia Pres. Tancredo de Almeida Neves (SP-332) e Rodovia Pref. Luiz Salomão Chama (SP-023).



*Figura 1 – Localização do município de Franco da Rocha.*

### 3 OBJETIVOS

O objetivo geral do projeto é avaliar a aplicação do método de mapeamento de perigo em escala regional e sua utilidade na melhoria da gestão de risco a desastres.

Os objetivos específicos são:

- mapear e compartimentar as áreas suscetíveis ao perigo de escorregamentos, erosões e enchentes no município de Franco da Rocha (SP);
- comparar o resultado com o mapeamento de risco em escala local (1:3.000) realizado por Marchiori (2006).

## 4 JUSTIFICATIVA

O município de Franco da Rocha localiza-se na Região Metropolitana de São Paulo e é um importante polo industrial e comercial. O relevo possui nível de dissecação médio a muito alto e no período de chuvas que ocorre entre dezembro a março, surgem muitos problemas relacionados às movimentações de massa, enchentes, inundações, queda de taludes marginais por solapamento e erosões. Por esse motivo o município está incluído no Plano Preventivo de Defesa Civil (PPDC) do Estado de São Paulo, operado pela Coordenadoria Estadual da Defesa Civil que atualmente conta com o apoio técnico do Instituto Geológico da Secretaria do Meio Ambiente (IG-SMA).

Na tabela 1 é apresentada uma relação de eventos ocorridos no município.

Data	Hora	Fenômeno	Duração	Localização	Estado	Danos	Total Danos	Total Vítimas	Fonte
11/10/2003	09h20	3	-1	Franco da Rocha	SP	31,33	-1	-1	Defesa Civil
15/02/2004	19h00	3	-1	Franco da Rocha	SP	30,33	-1	-1	Defesa Civil
28/11/2004	20h30	3	-1	Franco da Rocha	SP	22(1),28,30,32,33	1	1	Defesa Civil
21/01/2005	o dia todo	7,8	-1	Franco da Rocha	SP	31,33	-1	-1	Defesa Civil
30/01/2005	-1	3,7	-1	Franco da Rocha	SP	31,33	-1	-1	Defesa Civil
27/02/2005	tarde	3	-1	Franco da Rocha	SP	25,26,28,31,33,34,46	-1	-1	Defesa Civil
04/01/2007	-1	7	3 dias	Franco da Rocha	SP	23(1),32	1	1	Defesa Civil
08/02/2009	17h00	2	40 min	Franco da Rocha	SP	21,26,28,31,32	-1	-1	Defesa Civil
06/10/2009	16h00	3	-1	Franco da Rocha	SP	30	-1	-1	Defesa Civil
08/12/2009	00h00	8	-1	Franco da Rocha	SP	21(27),30,31,43	27	27	Defesa Civil
21/01/2010	21h20	3	-1	Franco da Rocha	SP	24,34	-1	-1	Defesa Civil
10/01/2011	-1	3	-1	Franco da Rocha	SP	20(67),30,33(35),35	102	67	G1
11/01/2011	madrugada	3,7	-1	Franco da Rocha	SP	21(20),26,28,33,34	20	20	Defesa Civil
16/01/2011	-1	7	-1	Franco da Rocha	SP	24,26,34,39	-1	-1	Defesa Civil

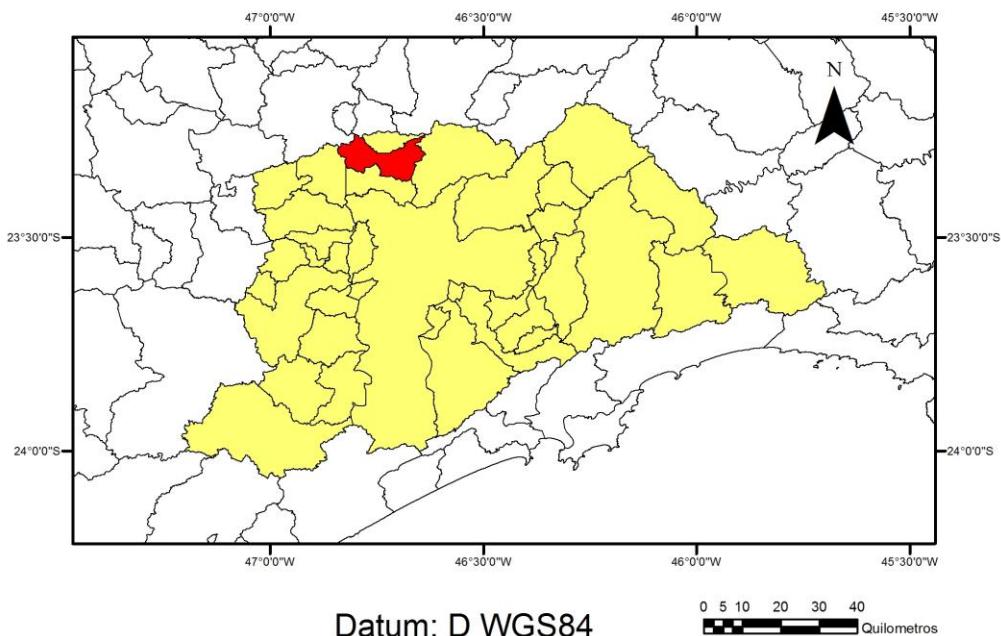
Tabela 1 – As principais ocorrências dos últimos 10 anos (2003-2013). Fonte: IPMET/UNESP (2013). Convenções: Fenômenos: 2-ventos fortes/vendaval; 3-chuvas fortes; 7-frente fria/chuvas contínuas; 8-chuvas moderadas. Danos e o número de atingidos em parênteses: -1-sem informação; 20-desabrigados; 21-desalojados; 22-feridos; 23-vítimas fatais; 24-queda de barreira; 25-queda de árvores; 26-transbordamento de rios e córregos; 28-inundações graduais; 30-alagamentos; 31-deslizamento de terra; 32-queda de muro; 33-desabamentos/rachadura/danos em imóveis; 34-congestionamento/interdição em via pública; 35-danos em veículos; 39-erosão/buraco; 46- danificação em pavimentação.

## 5 FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

### 5.1 Aspectos climáticos e socioeconômicos do município

O município de Franco da Rocha localiza-se no norte da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), entre os municípios de Várzea Paulista, Campo Limpo Paulista, Francisco Morato, Mairiporã, Caiéiras e Cajamar. Situa-se entre as latitudes 23°16'S e 23°21'S, e entre as longitudes 46°38'W e 46°48'W (Marchiori Faria, 2006). O clima é,

segundo o sistema de classificação climática de Köppen, é Cwa (subtropical quente com inverno seco) (Rolim & Sentelhas 2003, Rolim *et al.* 2007). Sua área é de 134,16 km<sup>2</sup> (SEADE, 2012). O acumulado médio anual pluviométrico é de 1411,5 mm e o excedente hídrico médio anual é de 434,6 mm.



*Figura 2 – Localização do município de Franco da Rocha na Região Metropolitana de São Paulo, destacado em vermelho.*

Segundo o CEPAGRI (2012), o município sofreu uma explosão populacional entre as décadas de 1970 e 2010, passando de 42.885 habitantes em 1975 para 135.617 habitantes em 2012. Logo sua densidade populacional passou de 320,03 hab./km<sup>2</sup> em 1975 para 1.012,60 hab./km<sup>2</sup> em 2012. O município é bastante urbanizado (92,13%) e sua economia está concentrada no setor de serviços (51,54% do total valor adicionado ao município) e indústria (48,02%) (CEPAGRI, 2012).

## 5.2 Geologia

Vários trabalhos sobre a geologia da região de Franco da Rocha foram feitos. Hasui (1976) e Hasui & Sadowski (1976) identificaram estruturais sedimentares reliquias nas rochas metassedimentares do Grupo São Roque, como estratificações plano-paralelas, cruzadas, gradais e rítmicas, além das dobras isoclinais e cerradas, xistosidades e as juntas, este último oblíquo ou subtransversal à xistosidade e com mergulhos que variam

entre 40º a 50º. As falhas são de natureza transcorrente. O metamorfismo predominante é de fácies xisto verde a anfibolito e intrusões sintectônicas impuseram metamorfismo local de contato.

O mapeamento geológico na escala 1:50.000 da EMPLASA (1979) determina que a geologia local é composta, da base ao topo, por rochas proterozóicas metassedimentares calcáreas, rochas metamórficas ultramáficas, rochas cálcio-silicatadas, rochas metapelíticas intercalados por metarenitos, quartzitos, migmatitos e gnaisses, rochas ígneas intrusivas félsicas; diques de lamprófiro e diabásio de idade mesozóica; as rochas terciário-quartenárias da Formação São Paulo, da Formação Caçapava (Grupo Taubaté), e depósitos elúvio-coluvionares; e os depósitos quartenários aluvionares. Carneiro (1983) defende que os gnaisses e migmatitos do Complexo Amparo são o embasamento do Grupo São Roque e que houve três fases de dobramento.

Já Juliani (1993, 2000) e Juliani & Beljavskis (1995) argumentam que o Grupo Serra do Itaberaba é anterior ao Grupo São Roque e divide-o em três formações: Formação Morro da Pedra Preta, constituída por metavulcânicas, calciosilicáticas, metassedimentos quartzosos e grafitosos, e as formações ferríferas; Formação Nhanguçu, constituída por rochas clástico-químicas, ricas em óxidos-hidróxidos de ferro; e Formação Pirucaia, composta por litologia de composição quartizítica. O Grupo São Roque também se divide em três formações: Formação Piragibú, constituída por rochas metassedimentares rítmicas, com quartzitos, metabasitos, rochas vulcanoclásticas, metaconglomerados e metabrechas; Formação Pirapora do Bom Jesus, constituída por rochas metavulcânicas e metavulcanoclásticas e com biohermas e cálcio-filitos; Formação Estrada dos Romeiros, constituída por metapelitos e metarenitos rítmicos; e Formação Boturuna, constituída predominantemente por rochas metareníticas. No Grupo Serra do Itaberaba, o metamorfismo é de fácies anfibolito e há cinco fases de estrutura e seis fases de dobramento, enquanto no Grupo São Roque o metamorfismo é de fácies xisto verde e há duas fases estruturais e três fases de dobramento. Há ainda lineações em  $S_0$ ,  $S_1$  e  $S_1/S_0$  no Grupo São Roque, e  $S_1$  e  $S_2$  com  $S_0$ ,  $S_2$  com  $S_1/S_0$  no Grupo Serra do Itaberaba. As falhas são abundantes e de caráter transcorrente. Os metandesitos do Grupo Serra do Itaberaba, provável embasamento das rochas do Grupo São Roque, têm idade de  $1395 \pm 10$  Ma (U-Pb), enquanto as rochas do Grupo São Roque começaram a ser depositadas há 628 Ma. O provável ambiente tectônico das rochas metassedimentares do Grupo São Roque foi de bacia retro-arco.

A geologia de Franco da Rocha é composta, segundo Perrota *et al.* (2005), da base ao topo, por rochas do Grupo da Serra do Itaberaba, Complexo Varginha Guaxupé, Grupo São Roque – Formação Estrada dos Romeiros, Granito Mantiqueira e Granito Terra Nova.

### **5.3 Geomorfologia**

Segundo Ross (1997), o município de Franco da Rocha situa-se no Planalto de Jundiaí, subdivisão do Cinturão Orogênico do Atlântico, onde predomina relevos denudacionais, como colinas e morros baixos com topos convexos, com declividades predominantes entre 30 a 40% com altimetrias entre 900-1000 m e entre 20 a 30% com altimetrias entre 700-800 m. O relevo possui médio a muito alto nível de fragilidade potencial e, portanto, sujeitos a processos erosivos e probabilidade de escorregamentos de encosta.

### **5.4 Unidades Básicas de Compartimentação Fisiográfica (UBC)**

A UBC, descrita por Vedovello (2000), consiste em três etapas básicas: a compartimentação fisiográfica do terreno, a caracterização dos atributos físicos e a cartografia temática final. Na compartimentação fisiográfica do terreno, a divisão do terreno deve apresentar homogeneidade nos elementos texturais e nas estruturas. A fisiografia consiste na avaliação do terreno baseada nos elementos ambientais, como solo, rocha, relevo, vegetação e uso do solo, no caso de atividade antrópica.

Já a caracterização dos atributos físicos utiliza as propriedades e características dos materiais (solo, rocha e sedimentos) e das formas (tipos de relevo e processos morfogenéticos) do meio físico. As variedades de permeabilidade são identificadas nas variações da densidade de drenagem de cada área, que quanto mais permeável menor a densidade de drenagem. A maior densidade de lineamentos deduz a existência de mais estruturas geológicas, como a foliação, juntas e fraturas.

E por último temos a cartografia temática final, que classifica a compartimentação com base nas fragilidades ou potencialidades do terreno a partir dos dois processos anteriores.

### **5.5 Unidade Homogênea de Uso e Cobertura da Terra (UHCT) e Unidade Territorial Básica (UTB)**

As UHCTs são originadas a partir da divisão do terreno de acordo com o seu uso atual. Geralmente se divide o terreno em classes: mata, vegetação rasteira, grandes equipamentos (grandes plantas urbanas em geral), loteamentos urbanos e corpos da água (rios e represas).

Segundo Ferreira & Rossini-Penteado (2011), a paisagem é um sistema integrador definida com a combinação dinâmica de componentes relativamente homogêneos de

suporte e cobertura, podendo ser elementos físicos (processos geológicos, pedológicos, geomorfológicos e climatológicos), biológicos (vegetação) e antrópicos (sistemas socioeconômicos).

As UTBs são a intersecção das UBCs e UHCTs e representa a unidade de paisagem.

## 5.6 Lineamento

O lineamento, segundo O'Leary *et al.* (1976), é uma unidade mapeável retilínea e/ou ligeiramente curvilínea, que se difere distintivamente dos padrões das funções adjacentes e presumivelmente reflete os fenômenos superficiais. Estes fenômenos podem se manifestar através de quebras dos cursos d'água no terreno uniforme ou em descontinuidades anunciadas na vegetação.

## 5.7 Eventos geodinâmicos

No município foram identificados os fenômenos de movimentos de massa, enchentes, inundações e erosão. Segundo Tominaga *et al.* (2009), o movimento de massa é a movimentação do solo, rocha e/ou vegetação ao longo da encosta sob a ação da força gravitacional, cuja interferência da água e/ou do gelo reduz a força de atrito entre as partículas dos materiais da vertente até induzir a saturação do material residual. O movimento de massa ocorrente são os escorregamentos, que são deslocamentos rápidos de solo e rocha com volumes definidos, o qual a ação da gravidade induz-nos para baixo e para fora do talude ou vertente. Os escorregamentos são subdivididos em três tipos: rotacionais ou circulares, translacionais ou planares, e os de cunha (Figura 2). A inundaçao é o transbordamento das águas de um curso d'água que atinge a planície de inundaçao ou área de várzea. A enchente é a elevação do nível da água no canal de drenagem até a cota máxima do canal (Figura 3). A erosão consiste de desagregação e remoção do solo ou fragmentos de rochas pela ação da gravidade, da água da chuva, vento, gelo e/ou organismos (plantas e animais). Pode ser agravada através do desmatamento e da ocupação urbana desorganizada.

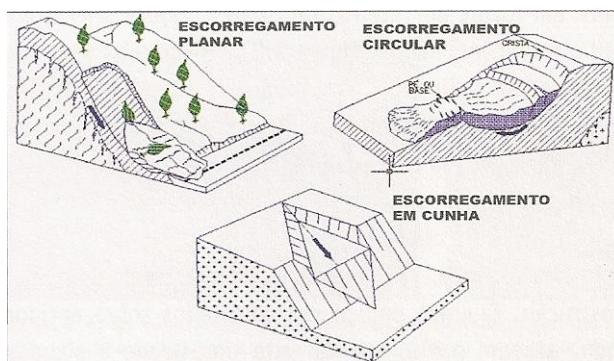


Figura 2 – Tipos de escorregamento. Fonte: Carvalho & Galvão (2006).

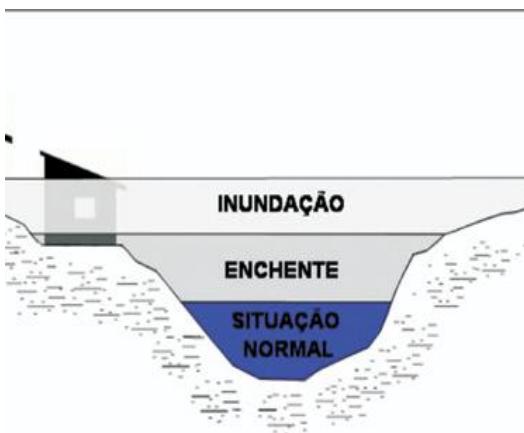


Figura 3 – Perfil esquemático do processo de inundação e enchente. Fonte: Carvalho & Galvão (2007).

Segundo a ONU (2005, 2009), perigo é um evento com potencial dano físico, fenômeno, substância, atividade humana ou condição que há probabilidade de vítimas fatais, feridos ou outros impactos na saúde, prejuízos às propriedades, perdas sociais e econômicas e danos ambientais. Risco é a possibilidade ou probabilidade de ocorrência de dano à população (pessoas, estruturas físicas, sistemas produtivos) ou a um segmento da mesma. É uma condição potencial de ocorrência de um acidente (Nogueira, 2004). Já a suscetibilidade “indica a potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em uma dada área, expressando-se segundo classes de probabilidade de ocorrência” (Carvalho, Macedo & Ogura, 2007).

## 6 MATERIAIS E MÉTODOS

### 6.1 Materiais

Para o estudo prévio da geologia de Franco da Rocha (SP), utilizamos os mapas geológicos de escala regional das folhas Santana do Parnaíba (SF-23-Y-C-III-3) e Guarulhos (SF-23-Y-C-III-4) da EMPLASA (1979), e o Mapa geológico do Estado de São Paulo de escala 1:750.000 de Perrota *et al.* (2006) para a litosestratigrafia mais recente. Vários arquivos *raster*, como as imagens de satélite LANDSAT, imagens sombreadas e modelos de elevação digital (*Digital Elevation Model [DEM]*, em inglês) Ikonos, ASTER GDEM e ortofotos da EMPLASA (2007). Os programas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) utilizados foram o SPRING (versões 5.2.2 e 5.2.4), ArcGIS 10.1 e Quantum GIS 1.8; o programa GEORient 9.5.0 para a criação da roseta; e o programa LibreOffice Calc (versão 4.1.1.2) no cálculo e determinação dos graus de perigo de

escorregamento e inundação. Eles foram úteis na criação de dados vetoriais, especialmente na determinação das UBCs, UHCTs, lineamentos e UTBs; na criação e manipulação dos arquivos *raster*, como os arquivos de declividade, cotas altimétricas, densidade de lineamentos e drenagem; e na criação de cartas geotécnicas de perigo de inundação e escorregamento.

Para o trabalho de campo, utilizamos a caderneta de campo, lápis nº 2, martelo petrográfico, canivete, lupa com 10x de aumento, câmera fotográfica, além dos equipamentos de proteção individual (EPI), como caneleira, bota e boné. Utilizou um dos veículos do Instituto Geológico para o deslocamento à região.

## 6.2 Métodos utilizados no sensoriamento remoto

### 6.2.1 Mosaico

O uso do processo de mosaico no Spring serviu para transferir dados ou planos de informação (PI) entre o mesmo projeto e banco de dados. O PI fonte e o PI destino utilizados foram os numéricos, representados pelas grades retangulares; e as imagens, representados pelos canais monocromáticos. Aumentamos a resolução do PI destino ao reduzir a dimensão das células para 5x5 m (Câmara, 1996).

### 6.2.2 Segmentação de imagens

Segundo o INPE (2006), a segmentação de imagens é a análise pontual de pixels de forma isolada baseada em atributos espectrais. Deve-se corresponder às áreas de interesse de aplicação, que se espalham bidirecionalmente e apresentam uniformidade. A divisão consiste em processo de crescimento de regiões e detecção de bacias, no qual utilizamos somente a primeira opção. O crescimento de regiões consiste no agrupamento de regiões adjacentes de determinada similaridade, cujo critério é o teste da média entre as regiões. Depois, divide-se a imagem em sub-imagens e realiza-se a união entre elas, caso satisfaçam esses critérios:

- **A** e **B** são similares (teste das médias);
- A similaridade satisfaz o limiar estabelecido;
- **A** e **B** são mutuamente próximas (entre os vizinhos de A, B é a mais próxima, e entre os vizinhos de B, A é a mais próxima).

Se satisfizer esses critérios, as regiões se agregam. Caso contrário, o processo se reinicia.

### 6.2.3 Classificação de imagens

Segundo o INPE (2006), a classificação de imagens é o processo usado na extração de informação para reconhecer padrões e objetos homogêneos para, posteriormente, serem mapeados à superfície terrestre aos temas de interesse. Usamos a classificação por regiões para classificarmos as regiões produzidas no processo de segmentação, que classificam de acordo com a informação espectral do pixel e a sua semelhança com seus vizinhos, baseado nas informações espectrais e espaciais. O primeiro passo é o treinamento, que reconhece a assinatura espectral das classes. Usamos o treinamento supervisionado, que seleciona uma amostra homogênea de classe respectiva e inclui-se toda a viabilidade em tons de cinza. Usamos o algoritmo Bhattacharyya e o limiar de aceitação para indicar a % de "pixels" da distribuição de probabilidade de uma classe que serão classificadas. O limiar de aceitação definido foi de 95%.

A medida de distância de Bhattacharyya, segundo Brites *et al.* (2012), serve para medir a separabilidade estatística entre um par de classes espectrais. Exige-se antes um treinamento de acordo com as regras de classificação supervisionada; e amostras nas regiões formadas pela segmentação de imagens. Aplica-se a seguinte expressão:

$$B(pi, pj) = \frac{1}{2} (m1 - m2)^T \sum (mi - mj) + \frac{1}{2} \ln \frac{\left| \sum (mi - mj) \right|}{\left| \sum i \right|^{\frac{1}{2}} \left| \sum j \right|^{\frac{1}{2}}} \quad (1);$$

sendo B a distância de Bhattacharyya; pi e pj os pixels nas classes i e j; mi e mj as médias nas classes i e j; T a matriz transposta; ln o logaritmo neperiano; e i e j as classes dentro do contexto.

O cálculo da distância se faz pela análise das médias e covariâncias das amostras.

### 6.2.4 Análise espacial

Segundo ESRI (2012a) e Burrough & McDonell (1998), para o cálculo da declividade, usa-se para cada célula a variação máxima de valor do pixel, que neste caso é o valor z da cota altimétrica, em relação aos vizinhos. Para isso, utiliza-se uma grade de 3x3 para o processamento da célula central, que também abrange as células vizinhas (Figura 4). Para calcular a declividade, utilizamos a gradiente, que é a variável máxima de mudança de altitude, e o aspecto, que é a direção azimute da maior amplitude. Optamos por calcular em graus ou em porcentagem, no qual a última divide-se a amplitude altimétrica com o comprimento do talude e, posteriormente, multiplique por 100 (Figura 5).

a	b	c
d	e	f
g	h	i

Figura 4 – Grade 3x3 para o processamento da célula central (ESRI, 2012a).

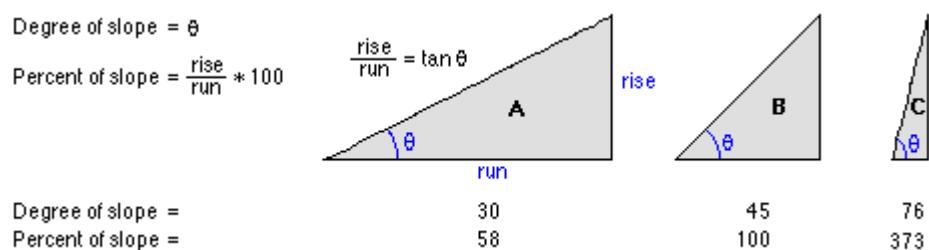


Figura 5 – Comparação entre os valores em graus e em porcentagem (ESRI, 2012a).

Utilizamos como arquivo de entrada os modelos de elevação digital, e a Figura 6 representa o resultado do processo.

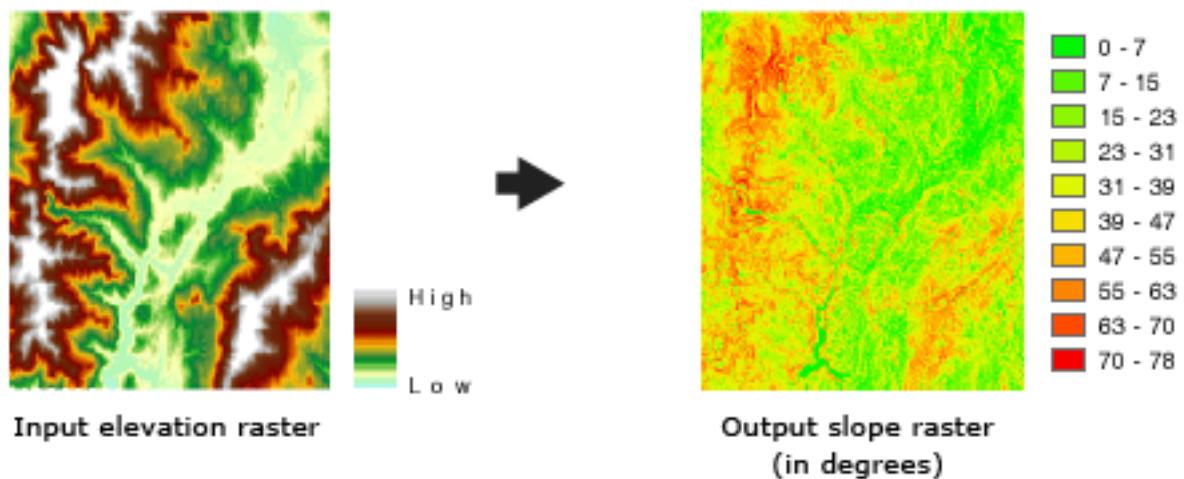


Figura 6 – Utilização do modelo de elevação digital para o arquivo *raster* de declividade (ESRI, 2012a).

Já na densidade de drenagem e lineamento calcula a densidade de linhas, que são as drenagens e os lineamentos, na vizinhança de cada célula de saída. Para isso, utiliza-se um círculo com o centro na célula, com o intuito de englobar as porções de linhas que estão dentro do círculo. Elas servem como campo amostral, e elas são somados e divididos pela área do círculo (ESRI, 2012b).

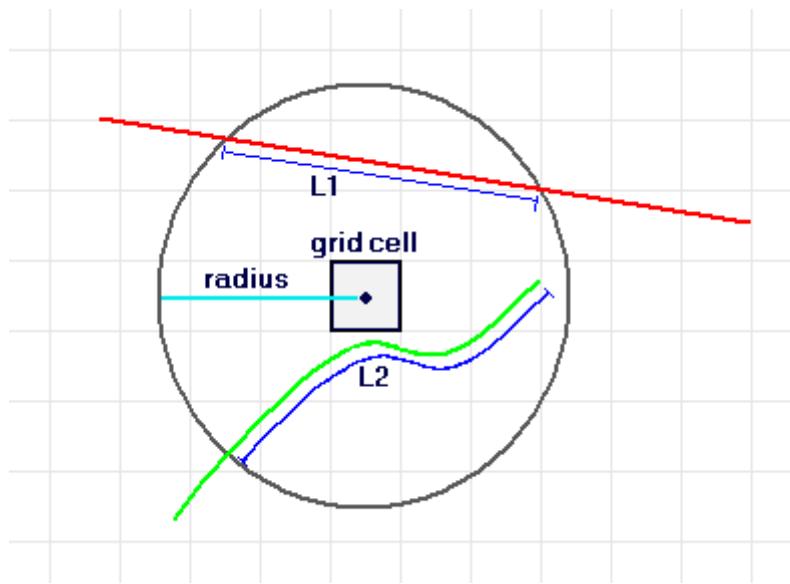


Figura 7 – O círculo com a célula *raster* no centro determina do comprimento da linha englobada para a densidade linear (ESRI, 2012b).

Para isso usa-se a seguinte fórmula:

$$\text{Densidade} = ((L1 * V1) + (L2 * V2)) / (\text{área do círculo}) \quad (2);$$

onde L1 e L2 representam o comprimento das linhas, e V1 e V2 representam o valor que representam as linhas.

Também usamos a álgebra dos mapas, que se utiliza dos atributos espaciais e não-espaciais armazenadas com base dos dados espaciais para gerar simulações do mundo real. Para isso, usamos a linguagem de programação LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico), uma ferramenta de consulta e manipulação espacial que faz operações com base nos dados em dois tipos: Temático e Modelo Numérico de Terreno e Imagem (MNT). O primeiro passo é a declaração de três variáveis: cadastral (mapa da UTB), objeto (tabela dos dados da UTB), e numérico (dados do MNT). Depois se utilizam as operações matemáticas para obter os valores médios (declividade, densidade de drenagem, densidade de lineamentos, e excedente hídrico), máximos e mínimos (amplitude altimétrica) de cada UTB (INPE 2006, 2013).

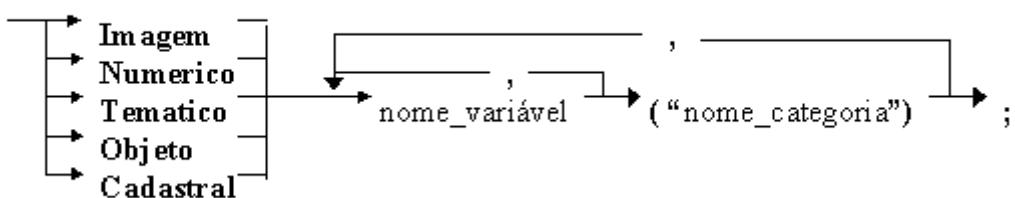


Figura 8 – Sintaxe da declaração de variáveis de campos, cadastrais e objetos (INPE, 2013).

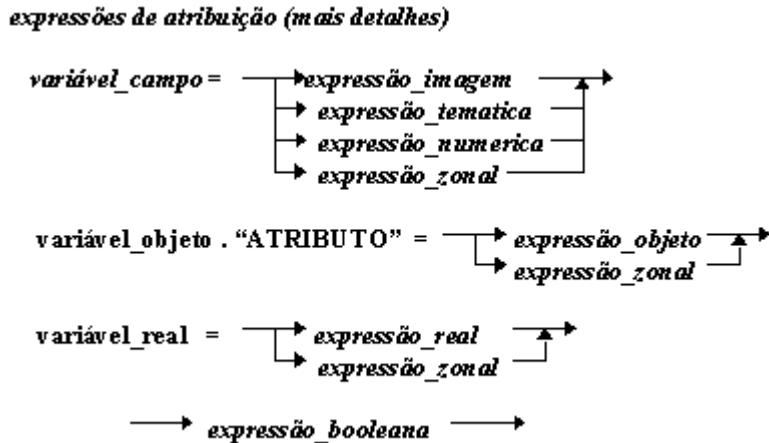


Figura 9 – Sintaxe de expressões de atribuição (INPE, 2013).

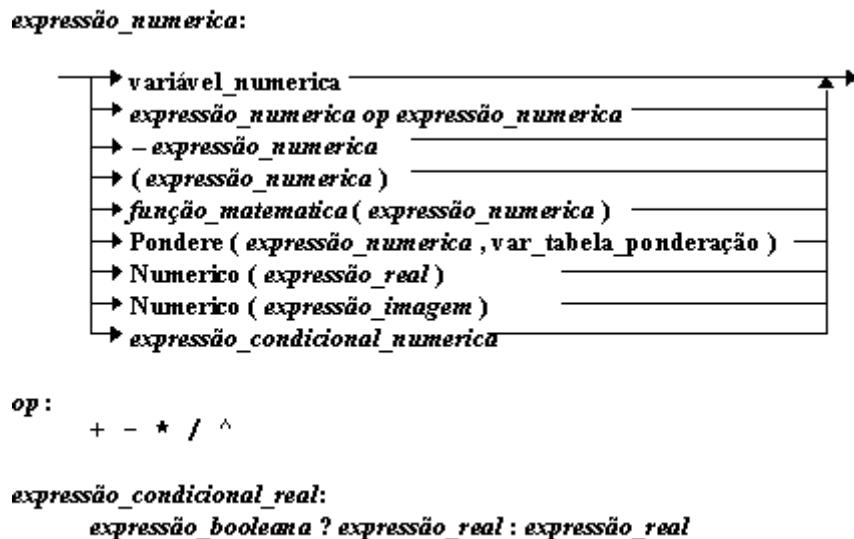


Figura 10 – Sintaxe das expressões numéricas (INPE, 2013).

### 6.3 Métodos de classificação do perigo

Para determinar e classificar o perigo de eventos geodinâmicos, utilizamos o método de classificação de acordo com Ferreira & Rossini-Penteado (2011).

Para classificarmos o perigo, consideramos os atributos: amplitude altimétrica, declividade, densidade de drenagem, densidade de lineamento, excedente hídrico e potencial de indução do uso e cobertura da terra.

A amplitude altimétrica foi obtida a partir da grade numérica (5x5m) gerada pela a partir do modelo de elevação digital Ikonos escala 1:50.000. Expressa a quantidade de material da encosta. A unidade é metros (m).

A declividade foi obtida a partir da grade numérica (5x5m) gerada a partir do modelo de elevação digital Ikonos escala 1:50.000. Expressa a inclinação das vertentes. A unidade é graus ( $^{\circ}$ ).

A densidade de drenagem é obtida a partir da grade numérica (5x5m) gerada a partir da rede de drenagem 1:50.000. Expressa permeabilidade e grau de fraturamento do terreno. A unidade é metros/m<sup>2</sup> (m/m<sup>2</sup>).

A densidade de lineamentos é obtida a partir da grade numérica (5x5m) gerada a partir da rede de lineamentos. Expressa grau de estruturação do terreno. A unidade é metros /m<sup>2</sup> (m/m<sup>2</sup>).

O excedente hídrico é obtido a partir da grade numérica (5x5m) gerada a partir do arquivo TIFF que expressa os dados pluviométricos e a quantidade de chuva acumulada durante um ano. A unidade é em milímetros (mm).

O potencial de indução do uso e cobertura da terra é obtido pela ponderação de classes das unidades de uso e cobertura da terra de acordo com o grau de influência na indução de processos. Expressa influência do uso e cobertura da terra no desencadeamento do processo perigoso. A unidade é adimensional. É dividida em quatro classes: muito alta, alta, média e baixa. As notas ponderadas atribuídas às classes de uso são apresentadas à Tabela 2.

CLASSES DE USO	NOTAS ATRIBUÍDAS AO PROCESSO DE ANÁLISE	
	ESCORREGAMENTO	INUNDAÇÃO
Mata	0,1	0,1
Vegetação Rasteira	0,3	0,3
Solo Exposto	0,9	0,7
Corpos D'Água	0,1	0,9
Loteamento Urbano	0,7	0,7
Grande Equipamento	0,5	0,5

Tabela 2 – Notas atribuídas às unidades de uso e cobertura para o cálculo do fator potencial de indução (PI).

Para calcular os índices de perigo, os atributos foram normalizados para o intervalo de 0 a 1, onde o 0 representa nenhuma influência e o 1 representa influência máxima. Foram usadas duas fórmulas. Uma para determinar o perigo de escorregamento e outra para determinar o perigo de inundação.

A equação para o cálculo do índice do perigo de escorregamento é:

$$P_E = 0,1 (AM) + 0,3 (DE) + 0,1 (DD) + 0,1 (DL) + 0,1 (EH) + 0,3 (PI) \quad (2);$$

Sendo  $P_E$  o índice de perigo de escorregamento; AM a amplitude altimétrica; DE a declividade; DD a densidade de drenagem; DL a densidade de lineamentos; EH o excedente hídrico; e PI o potencial de indução de uso e cobertura da terra.

Após o cálculo seguiu os procedimentos:

- a) Distribuição dos resultados obtidos de (2) em quatro classes através do método de intervalos de quebras naturais (*natural breaks*):  $P_E1$  (baixa),  $P_E2$  (média),  $P_E3$  (alta) e  $P_E4$  (muito alta);
- b) Reclassificação para a classe  $P_E0$  para as unidades consideradas planícies de inundação;
- c) Reclassificação para a classe  $P_E0$  para as unidades com declividade (DE)  $< 3^\circ$  (Muito baixo ou nulo);
- d) Reclassificação para a classe  $P_E4$  para as unidades com declividade (DE)  $> 25^\circ$  (Muito alta) caso a classificação atual for inferior à  $P_E4$ ;
- e) Reclassificação para a classe  $P_E3$  para as unidades com declividade (DE)  $< 25^\circ$  e  $> 17^\circ$  caso a classificação atual for inferior à  $P_E3$ .

A equação para a equação do índice do perigo de inundação é:

$$P_I = 0,3 \text{ (DE)} + 0,3 \text{ (DD)} + 0,2 \text{ (EH)} + 0,3 \text{ (PI)} \quad (3);$$

Sendo  $P_I$  o índice de perigo de inundação; DE a declividade; DD a densidade de drenagem; EH o excedente hídrico; e PI o potencial de indução de uso e cobertura da terra.

Após o cálculo seguiu os procedimentos:

- a) Distribuição dos resultados obtidos de (3) em quatro classes através do método de intervalos de quebras naturais (*natural breaks*):  $P_I1$  (baixa),  $P_I2$  (média),  $P_I3$  (alta) e  $P_I4$  (muito alta);
- b) Reclassificação para a classe  $P_E0$  para as unidades com declividade (DE)  $> 3^\circ$ , exceto quando ela é considerada planície de inundação;
- c) Reclassificação para a classe  $P_E0$  para as unidades que não consideradas planícies de inundação.

Os valores do perigo foram normatizados para o intervalo de 0 a 1, mantendo a atual divisão de classes:

- $P4 = ((Vn-Vmin)/(Vmax-Vmin)*0,25) + 0,75,$  (3);
- $P3 = ((Vn-Vmin)/(Vmax-Vmin)*0,25) + 0,5,$  (4);
- $P2 = ((Vn-Vmin)/(Vmax-Vmin)*0,25) + 0,25,$  (5);
- $P1 = (Vn-Vmin)/(Vmax-Vmin)*0,25,$  (6);
- $P0 = 0,00.$

O valor do intervalo de cada classe é 0,25, no qual consideramos quatro classes, P4, P3, P2 e P1; e os valores 0,75; 0,50; 0,25 e 0,00 são limites inferiores das classes P4, P3, P2 e P1, respectivamente.

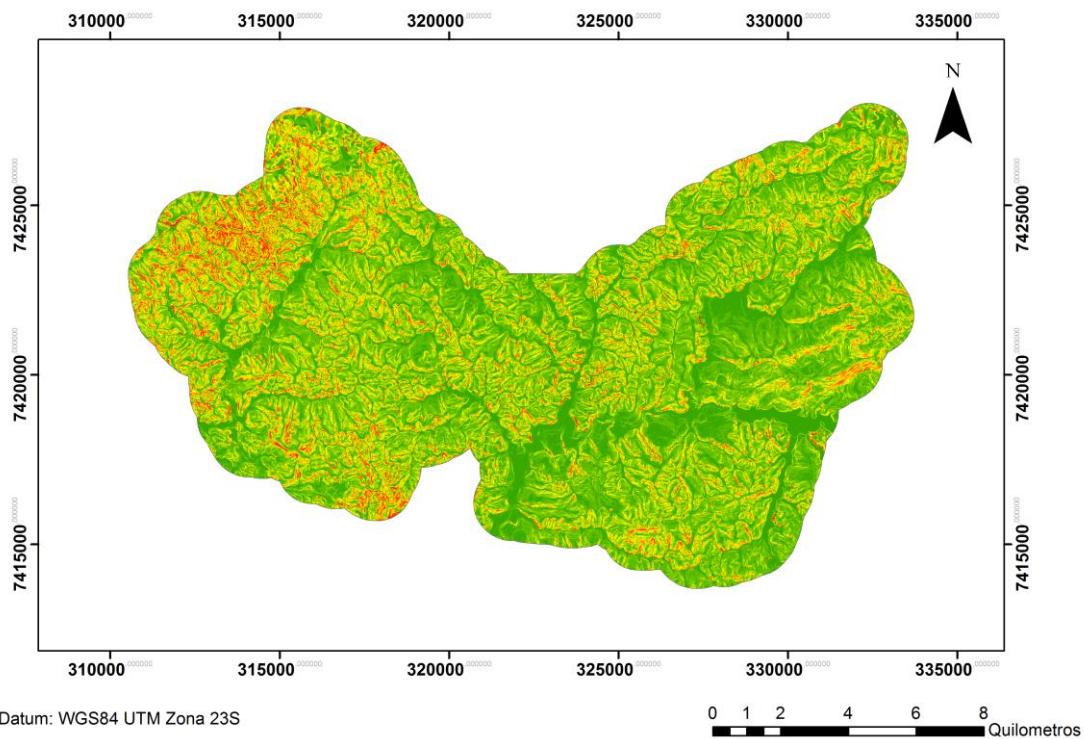
#### **6.4 Trabalho de campo**

No trabalho de campo foram identificadas feições estruturais que não foram visualizadas por sensoriamento remoto, além de áreas com indícios de escorregamento. Para tal se utiliza a caderneta de campo para as anotações, a câmera fotográfica para o registro de imagens, e a bússola Clark para a medida das feições estruturais (foliação, eixo de dobra e fraturas).

## **7 RESULTADOS**

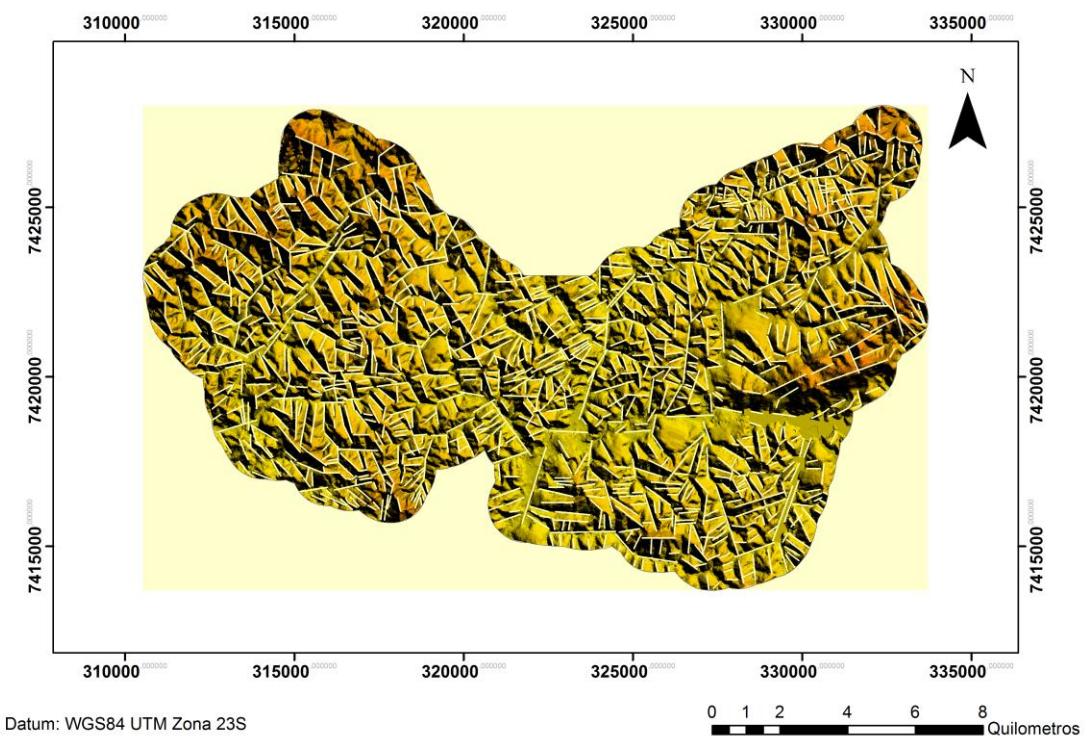
### **7.1 Resultados obtidos por sensoriamento remoto**

A grade numérica da declividade possui resolução horizontal e vertical de 5 m, 4669 colunas e 2922 linhas. A declividade mínima do terreno é 0,00º e a máxima, 70º. A declividade média é 14,61º, e o desvio padrão é 8,84º. 95% das amostras estão na faixa entre 0,00º a 32,47º, e 99% estão na faixa entre 0,00º a 38,21º. A grade numérica de declividade está ilustrada na Figura 11.

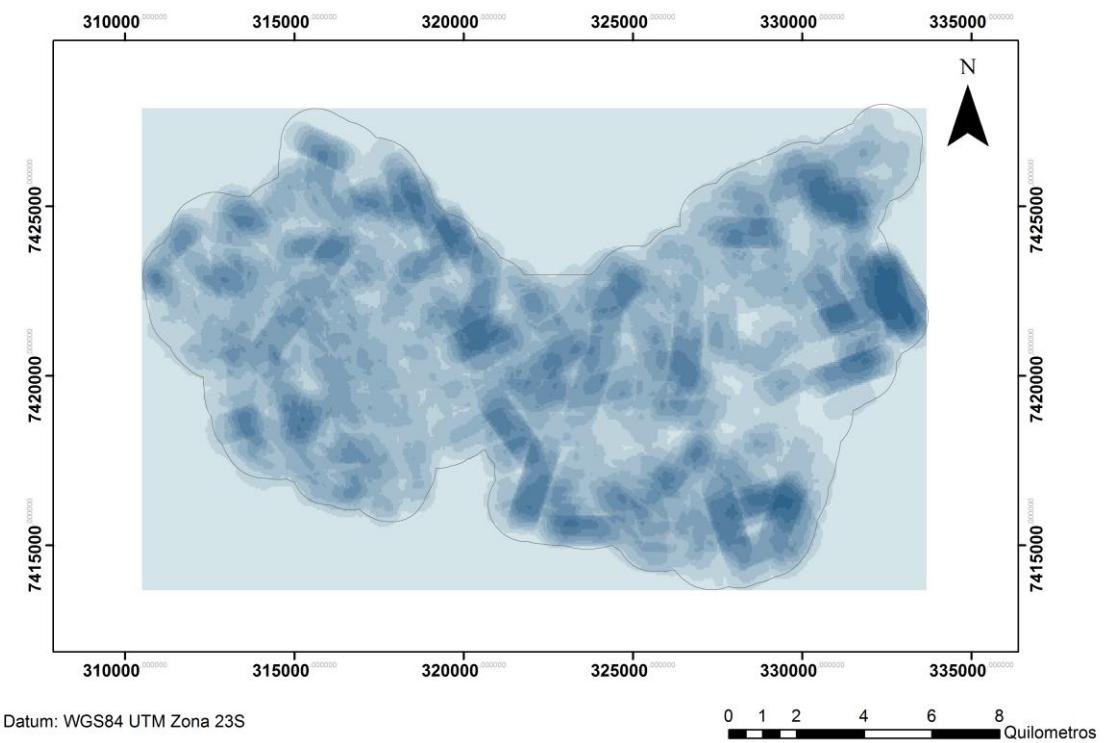


*Figura 11 – Grade numérica de declividade de Franco da Rocha. Os relevos menos inclinados estão em cor mais clara (verde claro), enquanto os relevos mais inclinados estão em cor mais escura (amarelo a vermelho escuro). A unidade está em graus ( $^{\circ}$ ).*

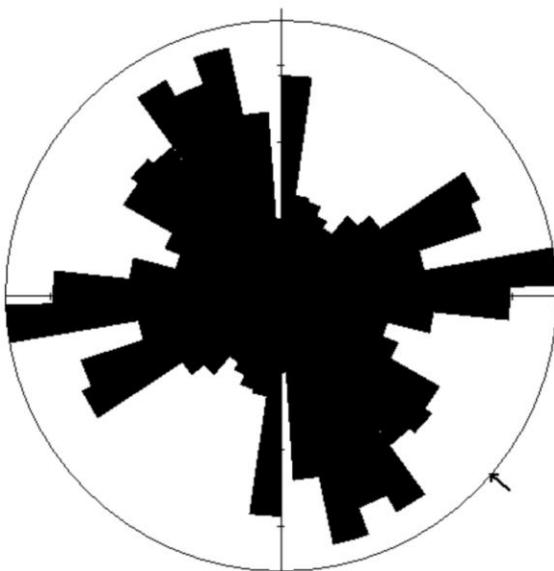
Foram identificados 1412 lineamentos, cujos comprimentos variam de 80,34 m a 2343,16 m. O comprimento médio é 481,37 m, a mediana é 410,09 m, e com o desvio padrão de 296,20 m. A grade numérica de densidade de lineamento possui resolução horizontal e vertical de 5 m, com 4635 colunas e 2844 linhas. A densidade mínima é 0,00 m/m<sup>2</sup> e a máxima, 8,55 m/m<sup>2</sup>. A média é 1,38 m/m<sup>2</sup>, e desvio padrão é 1,31 m/m<sup>2</sup>. 95% das amostras estão na faixa entre 0,00 m/m<sup>2</sup> a 3,97 m/m<sup>2</sup>, e 99% das amostras estão na faixa entre 0,00 m/m<sup>2</sup> a 4,75 m/m<sup>2</sup>. O mapa dos lineamentos está ilustrado na Figura 12, enquanto a grade numérica de densidade de lineamento está ilustrada na Figura 13. Os lineamentos são praticamente paralelos com a direção das foliações e fraturas existentes no município, mais precisamente nas direções E-W e NW-SE (Figura 14).



*Figura 12 - Mapa de lineamientos.*

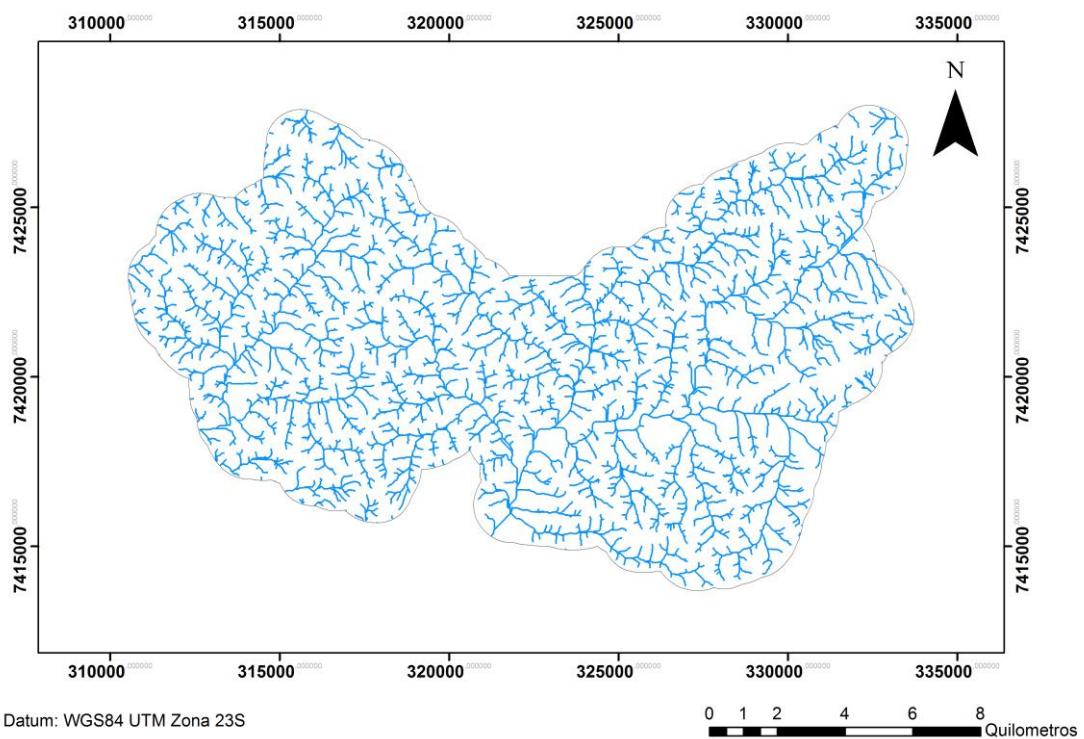


*Figura 13 – Grade numérica de densidade dos lineamentos. Os locais com menor densidade de lineamentos estão em cor mais clara (azul claro), enquanto os locais com maior densidade de lineamentos estão em cor mais escura (azul escuro). A unidade está em metros/m<sup>2</sup> (m/m<sup>2</sup>).*



*Figura 14 – Roseta de lineamentos. Cada setor tem um intervalo de 8° e a direção média resultante varia entre 131-311°.*

Foram identificados 4465 fragmentos de drenagem, com comprimentos que variam de 2,50 m a 1468,09 m. A grade numérica de densidade de drenagem possui resolução horizontal e vertical de 5 m, 4639 colunas e 2833 linhas. A densidade mínima 0,00 m/m<sup>2</sup> e a máxima, 4,26 m/m<sup>2</sup>. A média é 0,74 m/m<sup>2</sup>, e o desvio padrão é 0,65 m/m<sup>2</sup>. 95% das amostras estão na faixa entre 0,00 m/m<sup>2</sup> a 2,43 m/m<sup>2</sup>, e 99% das amostras estão na faixa entre 0,00 m/m<sup>2</sup> a 1,69 m/m<sup>2</sup>. O mapa de drenagem está ilustrado na Figura 15, enquanto a grade numérica de densidade de drenagem está na Figura 16.



*Figura 15 - Mapa de drenagem.*

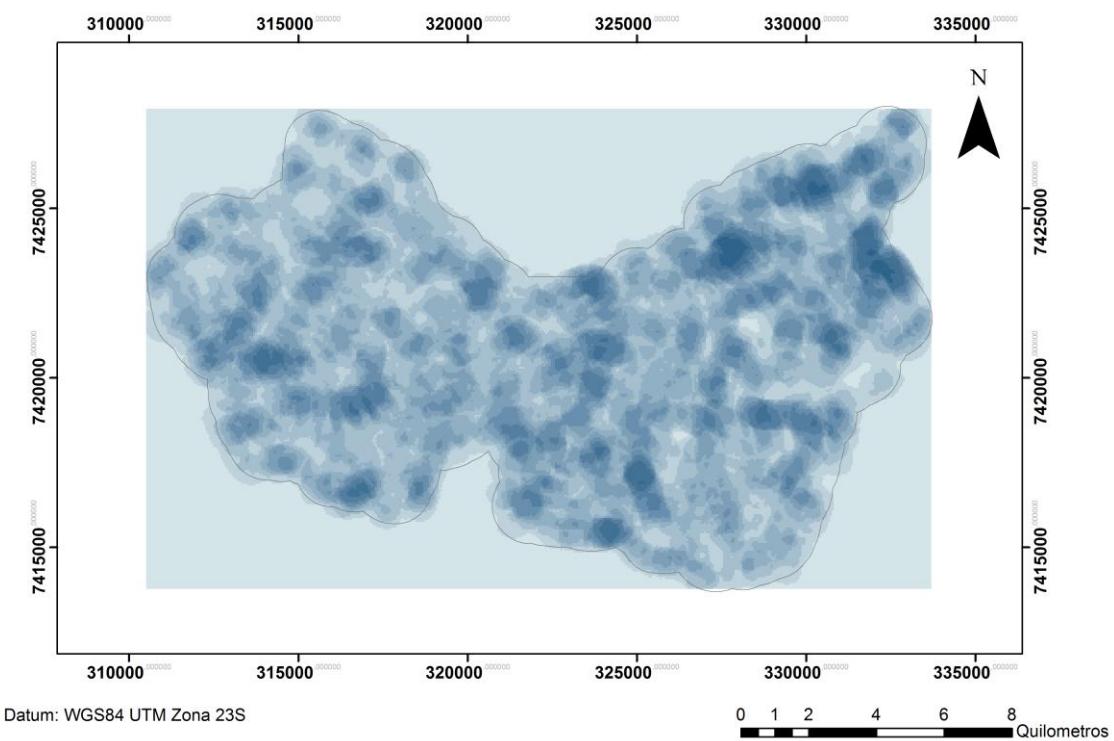


Figura 16 – Grade numérica de densidade de drenagem. Os locais com menor densidade de drenagem estão em cor mais clara (azul claro), enquanto os locais com maior densidade de drenagem estão em cor mais escura (azul escuro). A unidade está em metros/m<sup>2</sup>.

A grade de excedente hídrico possui resolução horizontal e vertical de 5 m, 5731 colunas e 3967 linhas. O excedente hídrico mínimo é 440,15 mm e a máximo, 577,12 mm. A média é 489,45 mm, e o desvio padrão é 23,66 mm. 95% das amostras estão na faixa entre 442,60 mm a 536,30 mm, e 99% das amostras estão na faixa entre 428,40 mm a 550,49 mm. A grade numérica de excedente hídrico está na Figura 17.

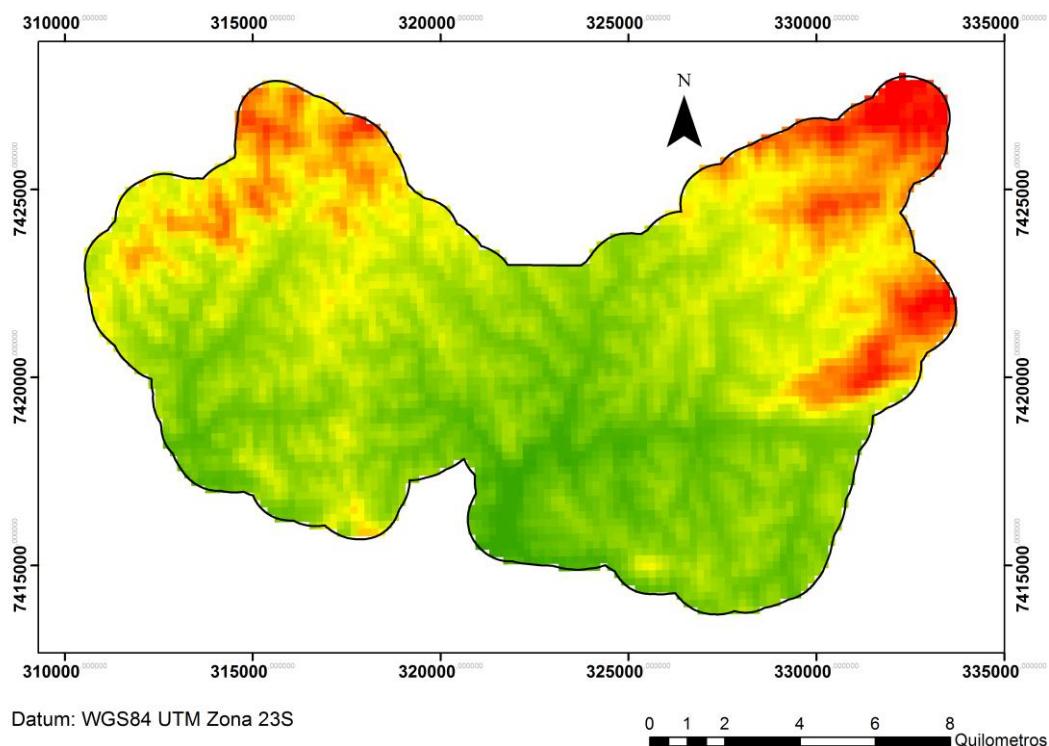
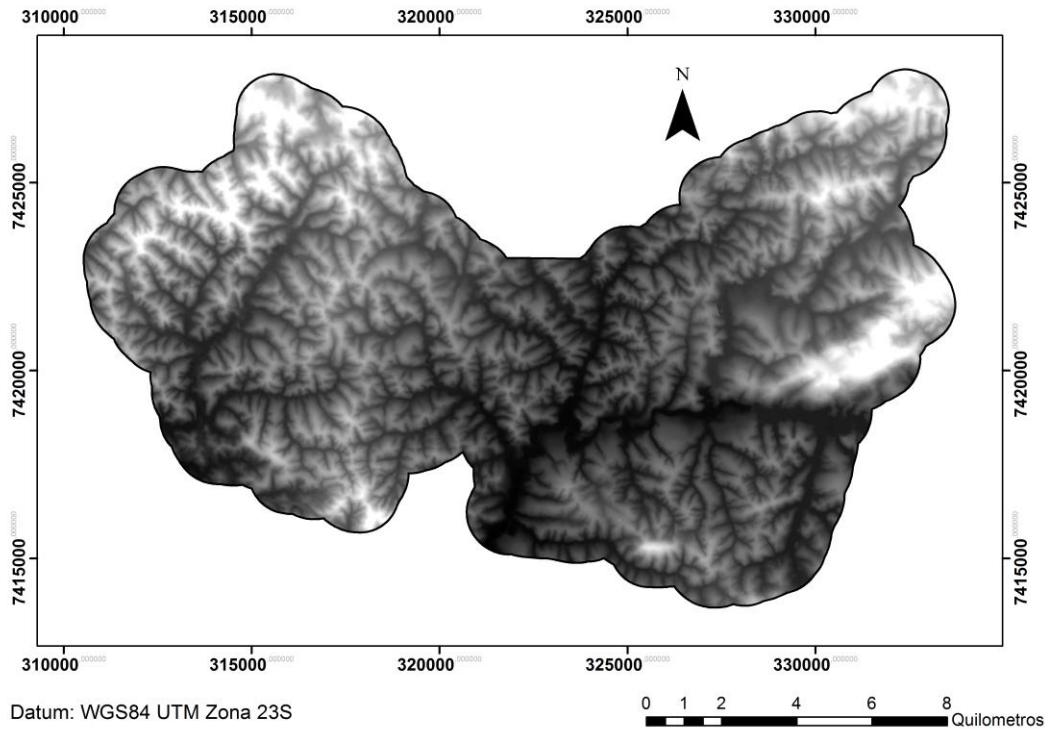


Figura 17 – Grade numérica de excedente hídrico. Os locais com o menor excedente hídrico estão em cor mais clara (verde claro), enquanto os locais com o maior excedente hídrico estão em cor mais escura (vermelho). A unidade está em milímetros (mm) (Armani *et al.*, inédito).

A grade de cota altimétrica possui resolução horizontal e vertical de 5 m, 5740 colunas e 3980 linhas. A cota altimétrica mínima é 700,00 m e a máxima, 1154,22 m. A média é 827,45 m, e o desvio padrão é 65,62 mm. 95% das amostras estão na faixa entre 700,00 m a 957,37 m, e 99% das amostras estão na faixa entre 700,00 m a 996,74 m. A grade numérica de cota altimétrica está na Figura 18.



*Figura 18 – Grade numérica de cotas altimétricas. Os locais com a menor cota altimétrica estão em cor mais escura (preto), enquanto os locais com a maior cota altimétrica estão em cor mais clara (branca). A unidade está em metros (m).*

As UBCs agrupam unidades com semelhantes características das rochas (permeabilidade e alterabilidade) e estruturas geológicas (xistosidade, juntas e fraturas), que se manifestam através da variação da densidade de drenagem e da densidade de lineamentos; declividade; e diferença de morfologia (Figura 19).

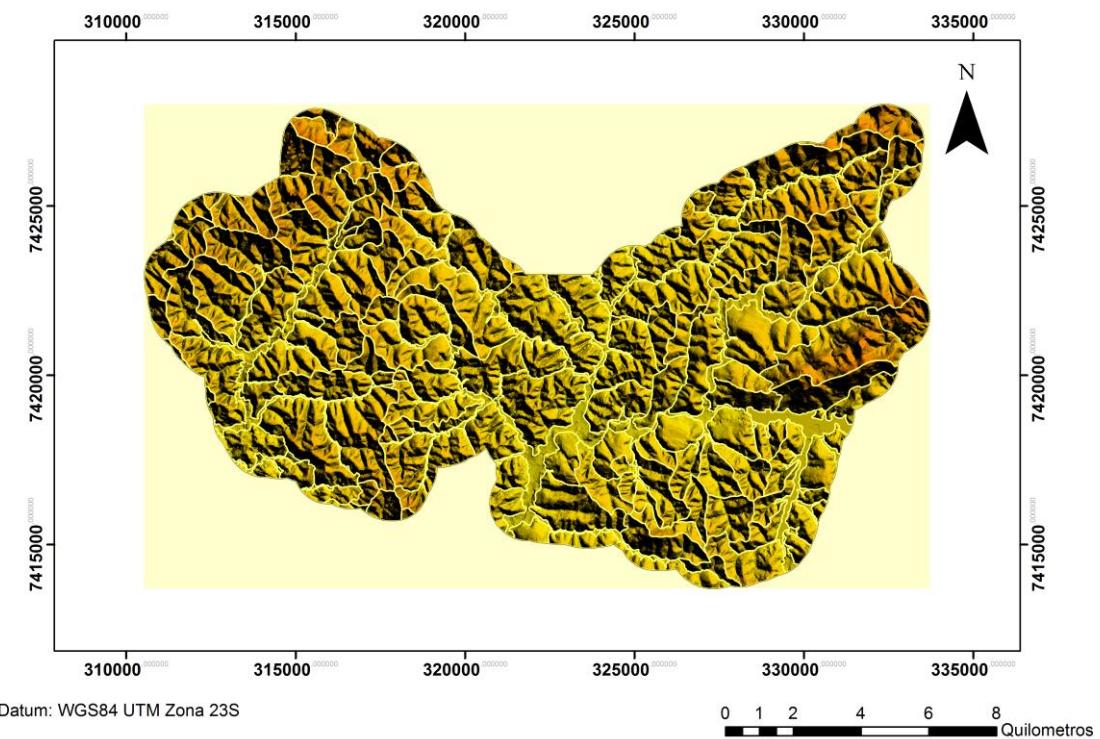


Figura 19 - Mapa das Unidades Básicas de Compartimentação (UBC).

Fizemos a classificação das Unidades Homogêneas de Uso e Cobertura da Terra (UHCT), cujo mapa está ilustrado na Figura 20, e ainda obtivemos os resultados de suas áreas na Tabela 3.

Classes	Área (km <sup>2</sup> )	Participação
Mata	92,24	44,31%
Vegetação rasteira	59,84	28,75%
Solo exposto	23,10	11,10%
Corpo da água	1,99	0,95%
Grande equipamento	2,76	1,33%
Loteamento urbano	27,98	13,44%
Total classificado	207,91	99,88%
Total não-classificado	0,24	0,12%
Área do buffer (1 km)	208,15	100,00%

Tabela 3 – Cálculo da área das classes de potencial de indução de uso e cobertura da terra.

As UTBs (Figura 21) se originam a partir do cruzamento do *shapefile* da classificação do potencial de indução do uso e cobertura da terra e das UBCs. Cada unidade contém a média da declividade, média da densidade de drenagem, média da densidade de

lineamento, média do excedente hídrico, e a amplitude altimétrica. Esses atributos determinam o índice de perigo de escorregamento e inundaçāo da unidade.

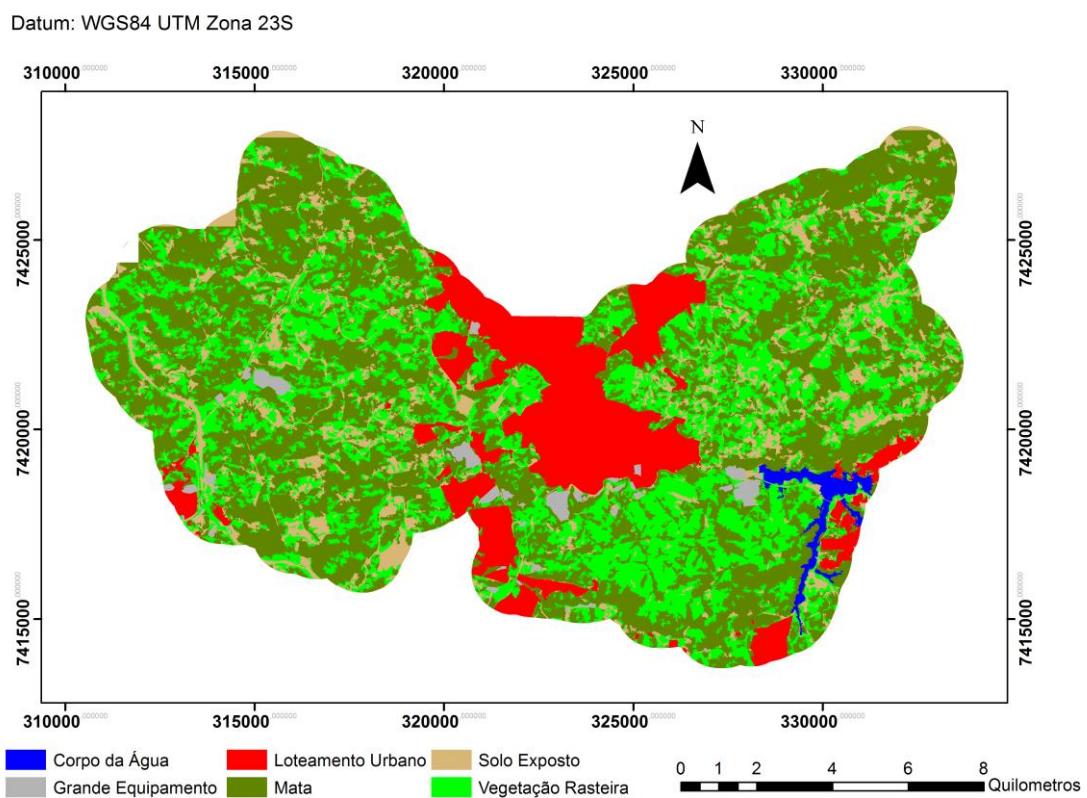


Figura 20 – Mapa das Unidades Homogēneas de Uso e Cobertura da Terra (UHCT).

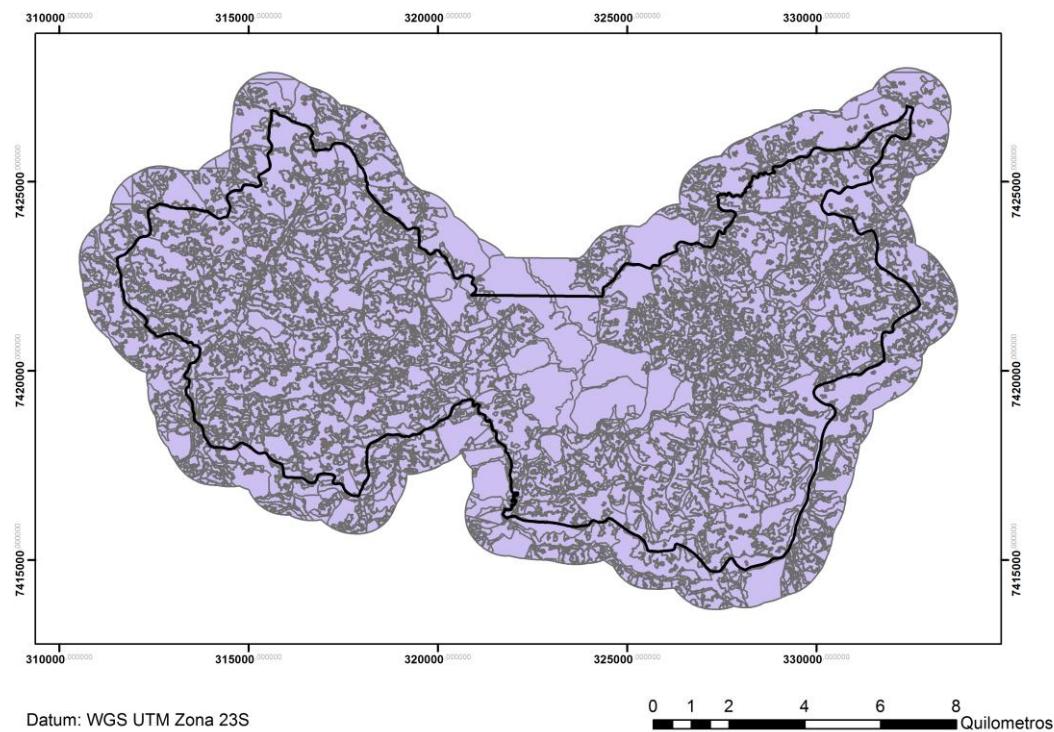


Figura 21 – Mapa das Unidades Territoriais Básicas (UTB).

Ao usarmos a linguagem de programação **LEGAL** para a análise espacial e, posteriormente, o programa LibreOffice Calc 4.1.1.2 para a normatização dos atributos, cálculos dos valores e a definição dos índices de perigo de escorregamento e inundação, obtemos mapas com as classificações (Figuras 22 e 23). O cálculo das áreas classificadas de perigo de escorregamento e de inundação estão representadas nas Tabelas 4 e 5. A área do município de Franco da Rocha (SP) está de acordo com o “shapefile” do IGC (2010).

Classes	Área (km <sup>2</sup> )	Participação
P0	9,28	6,99%
P1	12,86	9,68%
P2	47,96	36,13%
P3	53,67	40,43%
P4	8,98	6,76%
Total Classificado	132,75	100,00%
Total Não-classificado	0,00	0,00%
Área do município	132,75	100,00%

Tabela 4 - Cálculo da área das classes de perigo de escorregamento.

Classes	Área (km <sup>2</sup> )	Participação
P0	123,67	93,17%
P1	4,23	3,19%
P2	2,21	1,66%
P3	2,50	1,88%
P4	0,14	0,10%
Total Classificado	132,75	100,00%
Total Não-classificado	0,00	0,00%
Área do município	132,75	100,00%

Tabela 5 - Cálculo da área das classes de perigo de escorregamento.

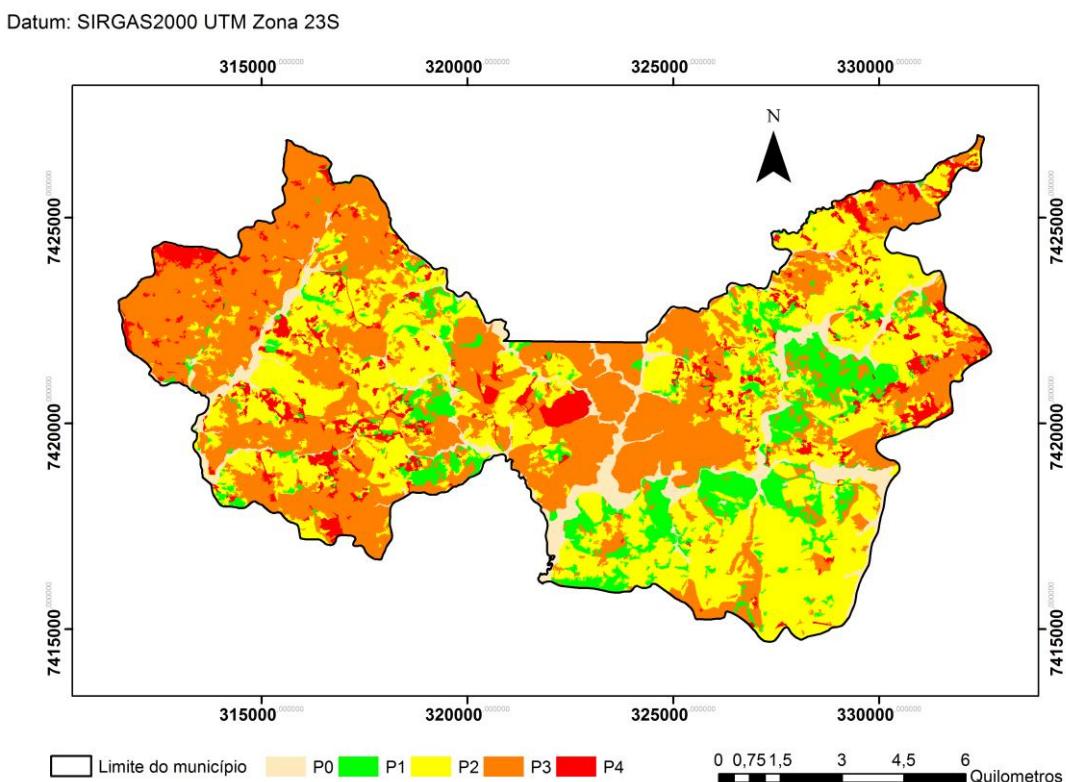


Figura 22 - Mapa de perigo de escorregamento do município de Franco da Rocha.

Datum: SIRGAS2000 UTM Zona 23S

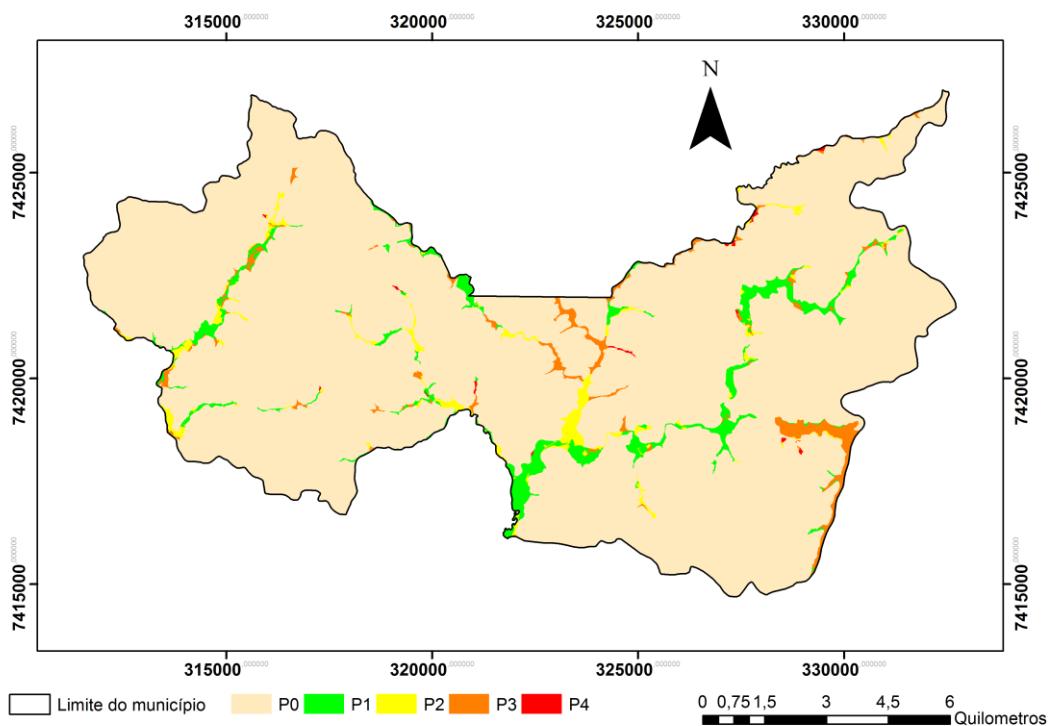


Figura 23 - Mapa de perigo de inundações do município de Franco da Rocha.

Comparamos as áreas de perigo de escorregamento e inundações do município com as áreas de risco determinadas por Marchiori (2006) (Figuras 24 e 25).

Datum: WGS84 UTM Zona 23S

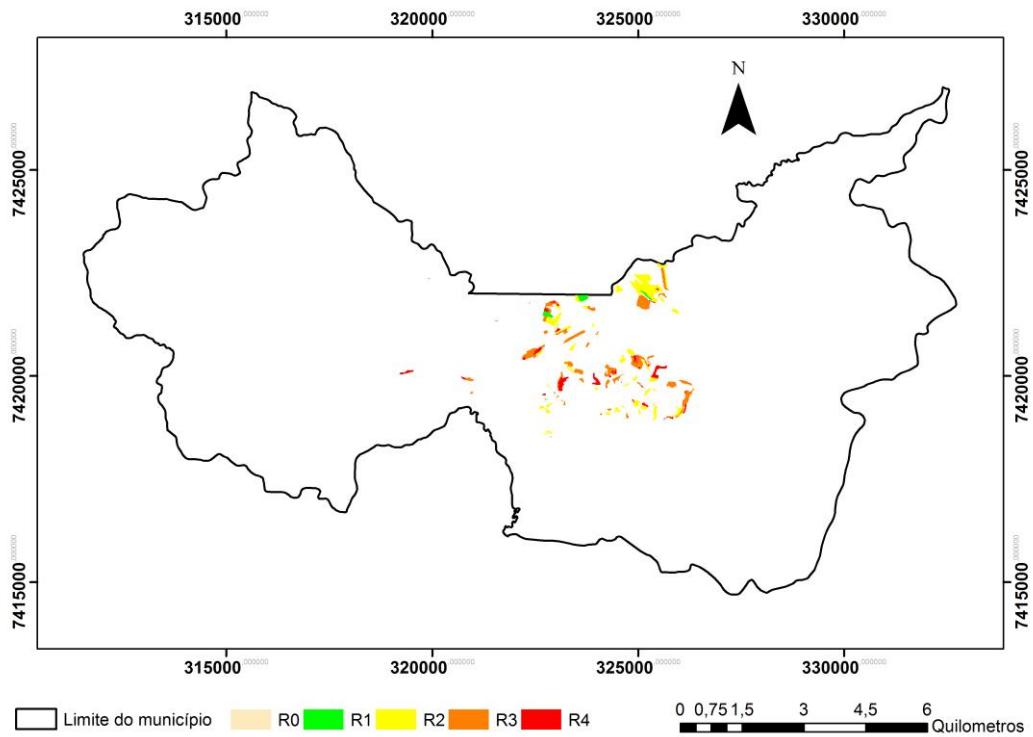


Figura 24 – Mapa de risco de escorregamento do município de Franco da Rocha (Marchiori, 2006).

Datum: WGS84 UTM Zona 23S

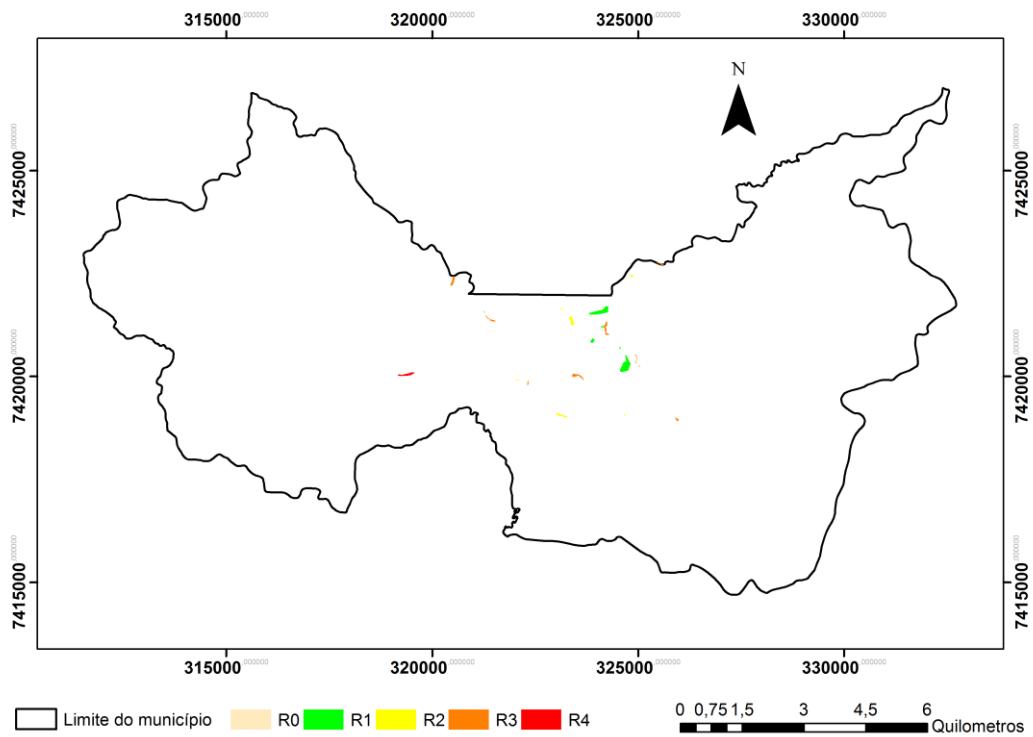


Figura 25 – Mapa de risco de inundação do município de Franco da Rocha (Marchiori, 2006).

## 7.2 Resultados obtidos do trabalho de campo

No trabalho de campo, a litologia predominante é o filito, embora tenham encontrado solos coluvionares, metarenitos e um bloco de granodiorito no Parque Estadual do Juquery. Também medimos várias feições estruturais possíveis nos afloramentos encontramos três fases de foliações: a  $S_n$ , que corresponde ao acamamento; a  $S_{n+1}$ , que é a foliação principal, e a  $S_{n+2}$ , que corresponde à posição plano-axial das crenulações da  $S_{n+1}$ . O mergulho da  $S_{n+1}$  varia entre 65-70º. Já as fraturas são praticamente perpendiculares à foliação  $S_{n+1}$  e a inclinação varia entre 40-45º (Foto 1). Há dobras parasitas isoclinais na  $S_{n+1}$ , cuja foliação  $S_{n+2}$  corresponde ao plano axial (Foto 2). A localização dos pontos e a medida das foliações, eixos de dobras e fraturas estão no anexo.

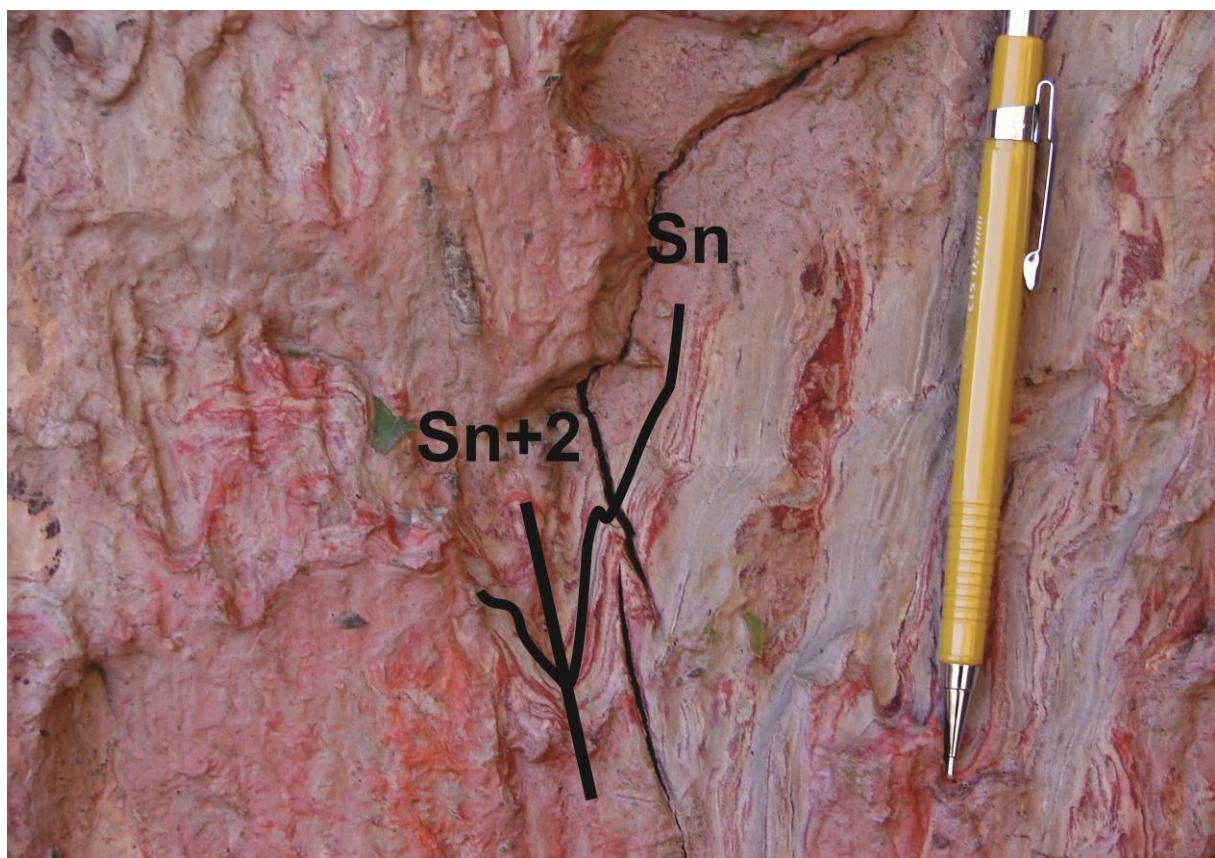


Foto 1 - O plano da fratura praticamente perpendicular em relação ao plano da foliação  $S_n$  gerando cunhas instáveis.

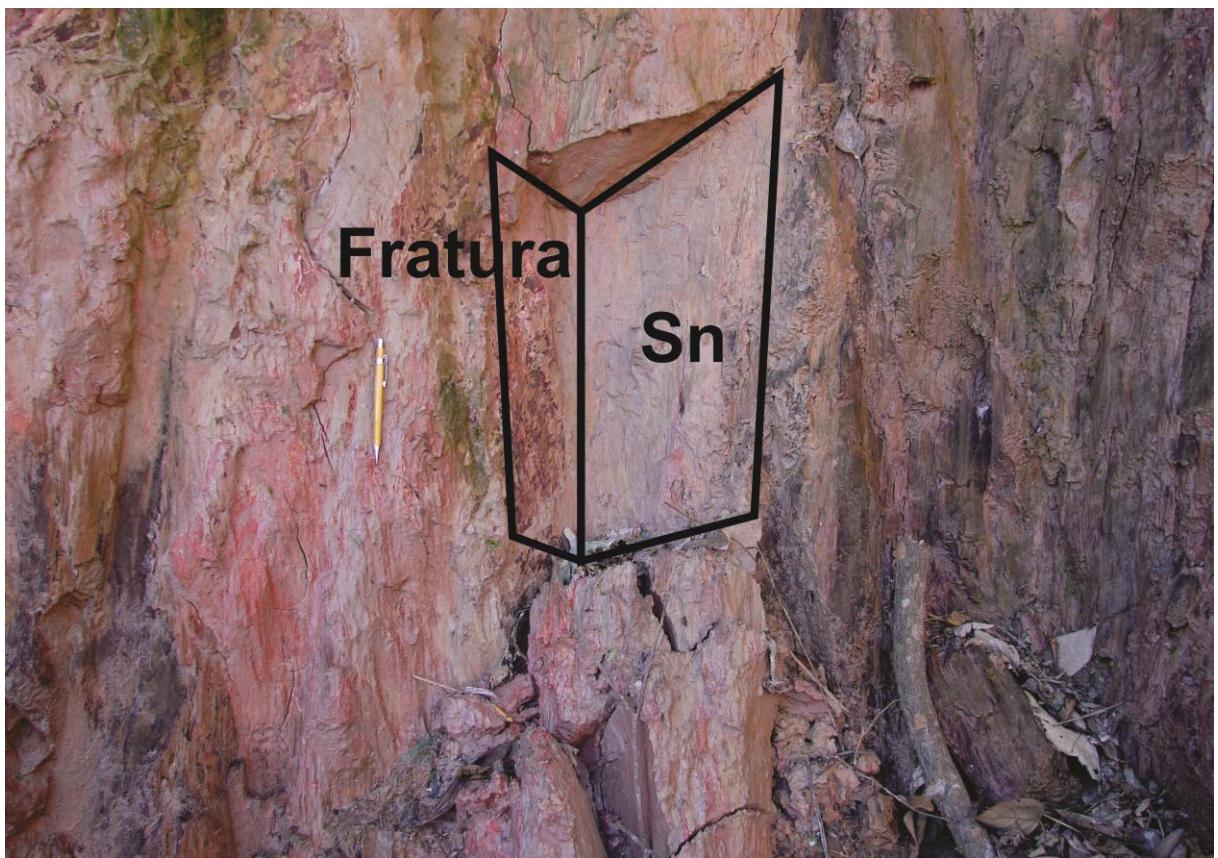


Foto 2 - Foliações do filito em Franco da Rocha. Observe que a  $S_{n+2}$  é plano axial à dobra, que corresponde a Sn.

Há várias cicatrizes de escorregamentos planares em taludes rodoviários e em área urbana, que geralmente mobilizam solo e rocha (Foto 3). Em áreas urbanas, os escorregamentos ocorrem em cortes de taludes muito inclinadas, quase verticais, com presença de moradias no topo e muros de contenção inadequados na base (Foto 4). Há também escorregamentos em aterros, às vezes com presença de entulho e lixo (Foto 5).



Foto 3 – Escorregamento em talude da rodovia SP-354.



Foto 4 - Corte de talude, com presença de muro de contenção inadequado na base e de moradias no topo.



Foto 5 - Escorregamento em aterro. Há presença de lixo, entulho e bananeiras na encosta, que favorecem o acúmulo de água.

Há também presença de erosões nos taludes rodoviários e no Parque Estadual do Juquery. Nos taludes rodoviários, a erosão ocorre devido à ausência de vegetação e as ravinas estão em estágio inicial (Foto 6). Já dentro do parque a boçoroca está em estágio avançado (Foto 7).

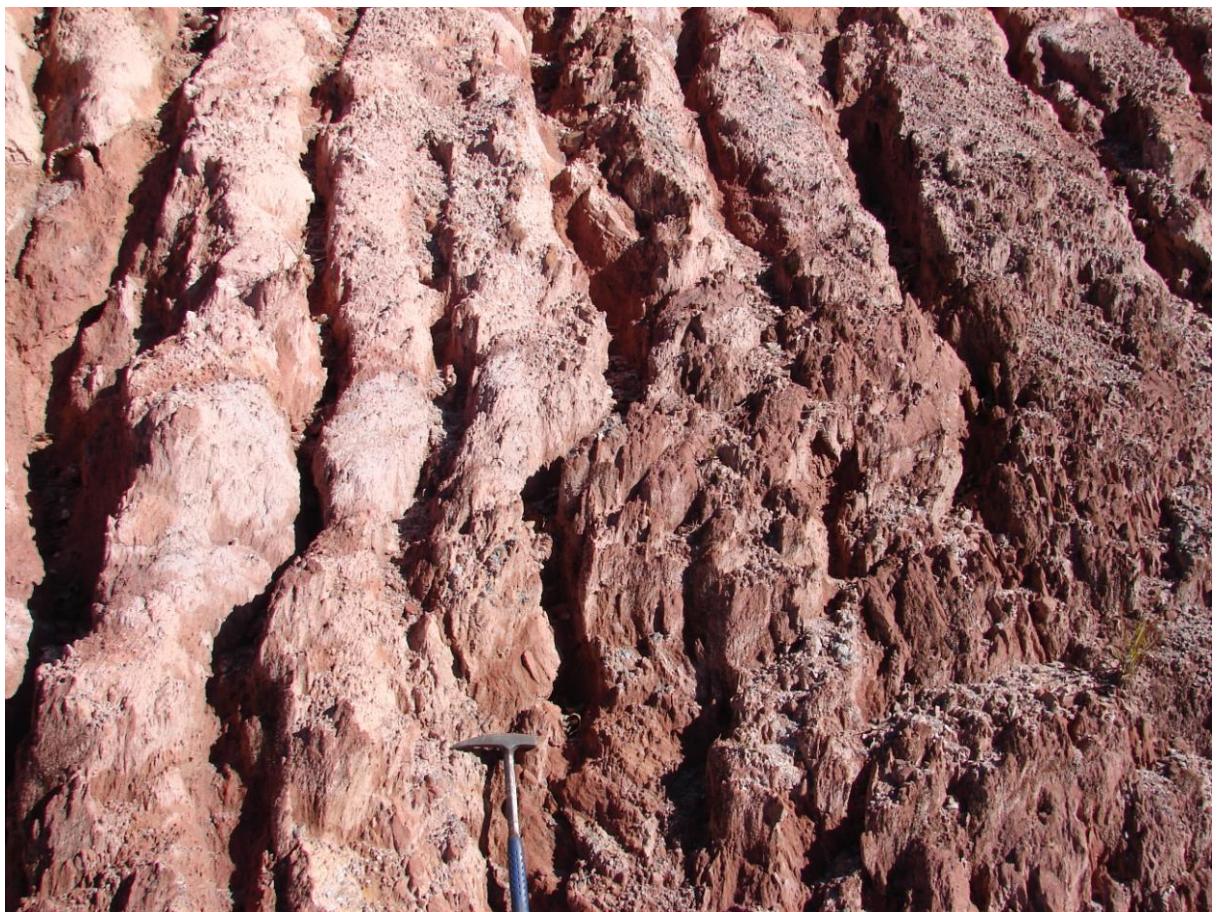


Foto 6 - Ravinas iniciais em talude às margens da rodovia SP-332 (Estrada Velha de Campinas).



Foto 7 - Boçoroca no Parque Estadual do Juquery.

## 8 DISCUSSÃO

A declividade do terreno reflete a geomorfologia e a geologia das unidades. Os terrenos menos inclinados ( $0^{\circ}$ - $3^{\circ}$ ) e cotas altimétricas mais baixas se situam em vales cobertos por depósitos aluviais, mais suscetíveis às enchentes e inundações. Já os terrenos mais inclinados ( $>17^{\circ}$ ) são mais suscetíveis aos escorregamentos, e se situam em morros e colinas altamente dissecadas e em rochas metassedimentares do Grupo Serra do Itaberaba e do Grupo São Roque, e as rochas ígneas plutônicas de composição granítica.

Os lineamentos são abundantes em Franco da Rocha, especialmente em filitos foliados e fraturados. A maior ocorrência de lineamentos pode auxiliar em maior susceptibilidade aos escorregamentos.

A densidade de drenagem em Franco da Rocha é alta devido à impermeabilidade das rochas metamórficas dos grupos Serra do Itaberaba e São Roque. Induz, em maior escala, o perigo de inundaçao e, em menor escala, o perigo de escorregamento.

Os maiores excedentes hídricos ocorrem nas regiões com as maiores cotas altimétricas e influenciam muito na indução de escorregamentos.

Mas o que mais favorece nos índices de perigo de escorregamento e enchente é o uso do solo, no qual os terrenos altamente antropomorfizados (solo exposto, loteamento urbano e grandes equipamentos) são mais suscetíveis aos eventos geodinâmicos.

Algumas UTBs localizadas em planícies de inundaçao tiveram a declividade média maior que  $3^{\circ}$ . Isso se deve à diferença de *datum* e do georreferenciamento entre do MDT Ikonos e a grade numérica da declividade em relação aos demais arquivos utilizados.

Nos índices de escorregamento, a maior parte concentra nos índices P2 (36,13%) e P3 (40,43%), e esses índices abrangem a maioria da área urbana de Franco da Rocha. Já os índices de inundaçao são significativos apenas nas áreas de vales e depósitos aluvionares, e a maioria delas é de baixo perigo de inundaçao (3,19%). As áreas de risco de escorregamento e inundaçao determinados por Marchiori (2006) são compatíveis com as áreas de perigo determinadas neste trabalho.

No trabalho de campo, observamos os processos de escorregamento e erosão ocorrentes no município, e constamos que são comuns no município devido aos cortes de talude inadequados, em grande parte quase verticais; a falta de proteção do talude ou uso inadequado da mesma; o acúmulo de lixo; e a presença de bananeiras nas encostas, que acumulam água no local e induzem mais os processos de escorregamento.

## **9 CONCLUSÃO**

Usando os conceitos de paisagem, UBC, UHCT, e UTB; a declividade, densidade de drenagem de drenagem, densidade de lineamento, o excedente hídrico, e a amplitude altimétrica como atributos; e com o uso das ferramentas de sensoriamento remoto e de estatística, conseguimos determinar os setores de perigo de escorregamento e inundação de maneira satisfatória, a ponto que conseguiu coincidir com os setores de risco determinados por Marchiori (2006). Portanto, o uso dos itens citados anteriormente para a caracterização e avaliação de perigo para escorregamentos e inundações é viável, pois torna o mapeamento de risco mais eficiente ao priorizar as áreas com maior índice de perigo.

Porém, essa é uma ferramenta de auxílio, pois a identificação de setores de risco ainda deve ser feito de forma presencial, através da geologia, infraestrutura do local e as condições das moradias e/ou estabelecimentos afetados.

## **10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Armani, G.; Tavares, R.; Brigatti, N. (Inédito). Climatologia. In: Ferreira C. J. (Coord.). *Diretrizes para a regeneração socioambiental de áreas degradadas por mineração de saibro (caixas de empréstimo)*, Ubatuba, SP. São Paulo, Relatório Técnico 3, FAPESP (processo FAPESP 03/07182-5), p.119-142.
- Brites R. S., Bias E. S., Santa Rosa A. N. C. 2012. Classificação por regiões. In: Meneses P. R., Almeida T. (Org.). *Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto*. Brasília, UnB, p.209-220.
- Burrough P. A., McDonell R. A. 1998. *Principles of geographical Information*. Nova York, Oxford University Press, 190p.
- Câmara G., Souza R. C. M., Freitas U. M., Garrido J. 1996. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. *Computers & Graphics*, **20**(3): 395-403.
- Carneiro C. D. R. 1983. *Análise estrutural do Grupo São Roque na faixa entre o Pico do Jaraguá e a Serra dos Cristais*, SP. São Paulo, Tese de Doutoramento, Instituto de Geociências/Universidade de São Paulo, 151 p.

Carvalho C. S., Galvão T. (Orgs.). 2006. *Prevenção de riscos de deslizamentos de encostas: Guia de elaboração de políticas municipais*. Ministério das Cidades, Brasília, 111 p.

Carvalho C. S., Macedo E. S., Ogura A. T. (Orgs.). 2007. *Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT & Ministério das Cidades, Brasília, 176 p.

CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA (CEPAGRI). 2012. *Clima dos municípios paulistas*. Disponível em <[http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima\\_muni\\_190.html](http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_190.html)>. Acessado em: 29/01/2013.

EMPRESA METROPOLITANA DE PLANEJAMENTO DA GRANDE SÃO PAULO - EMPLASA. 1979a. *Carta geológica da Região Metropolitana de São Paulo – Folha Guarulhos*. São Paulo, Mapa Geológico, escala 1:50.000.

EMPRESA METROPOLITANA DE PLANEJAMENTO DA GRANDE SÃO PAULO - EMPLASA. 1979b. *Carta geológica da Região Metropolitana de São Paulo – Folha Santana do Parnaíba*. São Paulo, Mapa Geológico, escala 1:50.000.

EMPRESA METROPOLITANA DE PLANEJAMENTO DA GRANDE SÃO PAULO (EMPLASA). 2007. *Ortofotos da Região Metropolitana de São Paulo na escala 1:1.200*. São Paulo, Ortofoto, escala 1:1.200.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI). 2012a. *How slope works*. Disponível em <<http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/009z0000001200000.htm>>. Acessado em 24/10/2013.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI). 2012b. *How density line works*. Disponível em <<http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/009z000000vz00000>>. Acessado em 24/10/2013.

Ferreira C. J. & Rossini-Penteado D. 2011. Mapeamento de risco a escorregamento e inundação por meio da abordagem quantitativa da paisagem em escala regional. In: ABGE, Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 11, Anais, 1 CD-ROM.

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS (SEADE). 2013. *Perfil municipal – Franco da Rocha (SP)*. Disponível em

<<http://www.seade.gov.br/produtos/perfil/perfilMunEstado.php?loc=164>>. Acessado em: 29/10/2013.

Hasui Y., Sadowski G. R. 1976. Evolução geológica do précambriano na Região Sudeste de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, **6**:182-200.

Hasui Y. 1976. Geologia da folha São Roque. *Boletim IG*, São Paulo, **6**:157-183.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO (IGC). 2010. *Malha municipal do Estado de São Paulo*. São Paulo, arquivo *shape*.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). 2006. *Classificação de Imagens*. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/classific.html>>. Acessado em 20/06/2013.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). 2006. *O que é o LEGAL?* Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/legal.html>>. Acessado em 20/10/2013.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). 2006. *Segmentação de Imagens*. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/segmentacao.html>>. Acessado em 19/06/2013.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). 2013. *Spring versão 5.2.4 em Português*. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/download.php>>. Acessado em 21/10/2013.

INSTITUTO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS/UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO (IPMET/UNESP). 2013. *Banco de dados de desastres naturais*. Disponível em <[http://www.ipmet.unesp.br/index2.php?menu\\_esq1=&abre=ipmet\\_html/defesa\\_civil/index.php](http://www.ipmet.unesp.br/index2.php?menu_esq1=&abre=ipmet_html/defesa_civil/index.php)>. Acessado em 09/08/2013.

Juliani C. 1993. *Geologia, petrogênese e aspectos metalogenéticos dos grupos Serra do Itaberaba e São Roque na região das Serras do Itaberaba e da Pedra Branca, NE da cidade de São Paulo, SP*. São Paulo, Tese de Doutoramento, Instituto de Geociências/Universidade de São Paulo, 2 v.

Juliani C., Beljavskis P. 1995. Revisão da litoestratigrafia da Faixa São Roque/Serra do Itaberaba (SP). *Revista do Instituto Geológico*, **16**(1):33-58.

- Juliani C., Hackspacher P., Dantas E. L., Fetter A. H. 2000. The mesoproterozoic volcano-sedimentary Serra do Itaberaba Group of the Central Ribeira Belt, São Paulo State, Brazil: implications for the age of the overlying São Roque Group. *Revista Brasileira de Geociências*, **30**(1):82-86.
- Kleinfelder S. R. 1998. *Geologia urbana da Região Metropolitana de São Paulo*. São Paulo, Tese de Doutoramento, Instituto de Geociências/Unidade de São Paulo, 171 p.
- Marchiori Faria D. G. (Coord.). 2006. *Mapeamento de áreas de risco a escorregamento e inundaçāo – Município de Franco da Rocha (SP)*. São Paulo, Instituto Geológico, 1 CD-ROM.
- Nogueira F. R. 2004. *Gerenciamento de riscos ambientais associados a escorregamentos: contribuição às políticas públicas municipais para áreas de ocupação subnormal*. Tese de doutoramento, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 268 p.
- O'leary D. W., Friedman J. D., Pohn H. A. 1976. Lineament, linear, lineation: Some proposed new standards for old terms. *Geological Society of America Bulletin*, **87**(10):1463-1469.
- ONU. 2005. *Hyogo framework for action 2005-2015: building the resilience of nations and communities to disasters*. Nova York, Organização das Nações Unidas. Disponível em <<http://www.unisdr.org/we/inform/publications/1037>>. Acesso em: 07/01/2013.
- ONU. 2009. *Terminology on Disaster Risk Reduction*. Disponível em <<http://www.unisdr.org/eng/library/libterminologyeng.htm>>. Acessado em: 08/06/2013.
- Perrota M. M. et al. 2005. Mapa geológico do estado de São Paulo. São Paulo, CPRM, mapa geológico, escala 1:750.000.
- Rolim G. S., Sentelhas P. C. 2003. *Balanço hídrico normal por Thornwaite & Maither (1955) – Franco da Rocha*. Disponível em <[ce.esalq.usp.br/bhbrasil/Saopaulo/FrancoRocha.xls](http://ce.esalq.usp.br/bhbrasil/Saopaulo/FrancoRocha.xls)>. Acessado em: 05/08/2013.
- Rolim G. S., Camargo M. B. P., Lania D. G., Moraes J. F. L. 2007. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o Estado de São Paulo. *Bragantia*, **66**(4): 711-720.
- Ross J. L. S. & Moroz I. C. 1997. *Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo*. São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2 v., mapa geomorfológico, escala 1:500.000.

Tominaga L. K., Santoro J., Amaral R. (Orgs.). 2009. *Desastres naturais: conhecer para prevenir*. Instituto Geológico, São Paulo, 196 p.

Vedovello R. 2000. *Zoneamentos geotécnicos aplicados à gestão ambiental, a partir de unidades básicas de compartimentação – UBCs*. Rio Claro, Tese de Doutoramento, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 154 p.

# **ANEXO**

Anexo 1: Tabela dos pontos - Litologia

Ponto	UTM S	UTM E	Litologia
FDR-01	326602	7418321	Filito e solo coluvionar
FDR-02	326371	7416314	Filito
FDR-03	325652	7415470	Metarenito
FDR-04	323402	7416945	Filito
FDR-05	324357	7417296	Granodiorito
FDR-06	321000	7419258	Filito
FDR-07	315772	7423965	Filito
FDR-08	313865	7420480	Filito
FDR-09	322425	7422365	Filito com lentes de metarenito
FDR-10	322570	7421440	Aterro

Anexo 2: Tabela dos pontos – Foliação S<sub>n</sub>, eixo da dobra, fratura e veio de quartzo.

Ponto	UTM S	UTM E	Foliação Sn	Eixo de dobra	Fratura	Veio de quartzo
FDR-02	326371	7416314	174/60			
			180/75			
			182/75			
FDR-04	323402	7416945	208/70			130
FDR-06	321000	7419258	162/70	120/65	024/40	
			166/70	208/65	040/45	
FDR-07	315772	7423965	330/70			
			308/70			
			298/75			
			308/66			
FDR-08	313865	7420480	154/70			
			152/70			
FDR-09	322425	7422365	144/65			