



Revista Brasileira de Geografia Física



Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Características morfoestruturais do relevo em setor de cuestras: um estudo em Analândia (SP)

Estêvão Botura Stefanuto¹ Cenira Maria Lupinacci²

¹ Graduando em Geografia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP – Rio Claro), Bolsista da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (autor correspondente); E-mail: estevao1508@hotmail.com ² Doutora em Geomorfologia, Professora do Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento da UNESP campus Rio Claro cenira@rc.unesp.br.

Artigo recebido em 19/05/2016 e aceito em 03/08/2016

RESUMO

O relevo de cuesta constitui-se em uma feição morfológica de grande importância no modelado paulista, uma vez que possui um *front* abrupto que é acompanhado por uma larga depressão periférica, intitulada no Estado de São Paulo de Depressão Periférica Paulista. Assim, o relevo de cuesta, ao considerar bibliografias antigas e atuais, possui arcabouço considerável de estudos ao seu respeito, no entanto, as mesmas não elucidaram todas as questões pertinentes à gênese desse compartimento. Assim, faz-se necessário retomar alguns pontos e analisá-los em escala de maior detalhe. Objetiva-se com este artigo analisar as formas do relevo no contato cuesta-depressão periférica a partir de levantamentos morfoestruturais, na escala de 1:50.000, no recorte espacial do setor *cuestiforme* de Analândia (SP). Para isso, foram elaborados levantamentos morfoestruturais a partir da confecção das cartas de densidade de drenagem, profundidade de drenagem, declividade e feições estruturais lineares. A técnica utilizada permitiu a sobreposição de informações geomorfológicas e tectônicas, as quais são pertinentes para áreas como a deste estudo. Portanto, este artigo apresenta o levantamento de algumas hipóteses sobre a evolução do relevo da área estudada sendo possível verificar que o *front cuestiforme* possui características variadas. Alguns setores são bastante íngremes e com alta densidade e profundidade de dissecação; já outros são mais suavizados, com menor densidade de dissecação. Esses fatos apontam para variações na resistência das litologias, assim como para diferenciações na frequência e intensidade de estruturas lineares na região.

Palavras-chave: Geomorfologia, ação tectônica, drenagem, dissecação do relevo.

Morphostructural characteristics of relief in cuestras sector: a study in Anãlandia (SP)

ABSTRACT

The Cuesta relief stands as a greatly relevant morphological trait in the Paulista shape, once it owns an abrupt front that is accompanied by a large peripheral depression, recorded in São Paulo State of Paulista Peripheral Depression. Thus, the Cuesta Relief, by considering old and new bibliography, it has a considerable draft of studies all around, though, they did not elucidate all pertinent questions regarding the genesis of such compartment. Therefore, it remains necessary to take back some aspects and analyze them at a more detailed scale. The present article objectifies to analyze relief forms in the contact peripheral cuesta-depression as from morphostructural survey, at the scale of 1:50,000 in the spatial area of Analândia's *cuestiform* sector. Then, morphostructural surveys have been elaborated from confected drainage density letters, depth of drainage, declivity and linear structural traits. The technique used allowed the overlapping of geomorphological and tectonic information, which are pertinent for targeted study areas such as these. Therefore, this paper presents the rising of some hypotheses about relief evolution in the approached area, being possible to verify that the *cuestiform front* has varied features. Some sectors are quite steep, and a high density as well as desiccation depth whereas some are slightly softened, consisting of lower desiccation density. These points spot out variations on lithology resistance, then so differences between frequency and intensity of the region's linear structures.

Keywords: Geomorphology, tectonic activity, drainage, desiccation of relief.

Introdução

O relevo cuestiforme paulista se estende quase que continuamente na direção NE-SW, sendo acompanhado desde a região de Franca (SP) até a região de Ourinhos (SP) por uma área depressionária intitulada Depressão Periférica Paulista. Segundo Almeida (1974, 1949), a morfologia cuestiforme paulista é classificada como acidentada, sendo atravessada pelos principais rios consequentes deste complexo: o Tietê, o Paranapanema, o rio Grande, o Pardo e o Mogi-Guaçu que são responsáveis pela abertura das *percées*. Assim, as *cuestas* apresentam-se como um relevo dessimétrico em saliência, onde se registra alta complexidade em alguns trechos, evidenciadas pela elevada declividade e pela formação de esporões e morros testemunhos.

Fulfaro, Landim e Ellert (1967 apud penteado, 1968, p. 34) atrelam a origem e evolução do relevo da depressão periférica, que possibilita a demarcação do relevo cuestiforme, a intensa ação da tectogênese, responsável pela subsidência ou soerguimentos de blocos, que dá origem a um relevo movimentado com a ocorrência de escarpas de falha como na Serra de São Pedro localizada no município de São Pedro (SP). Os autores alertam ainda que os degraus formados pelas movimentações da tectogênese podem ser confundidos com sobreposições de derrames magmáticos.

Em contraponto, Almeida (1956) rejeita a hipótese da ocorrência de falhamentos, atribuindo a formação da depressão periférica e consequente formação da *cuesta* a ocorrência de dois derrames basálticos, inferior e superior, que afloram em diferentes áreas de tal relevo, originando, segundo Almeida (1974) e Penteado (1974), após a ação erosiva das drenagens, uma frente de *cuesta* festonada.

Desta maneira, Penteado (1974, p.42) afirma que a questão está em construção "... deixando a questão aberta até que estudos mais aprofundados de tectônica, cronogeologia e geomorfologia das zonas de contato depressão-escarpa possam trazer mais luzes para resolver, efetivamente, o problema".

Assim, o relevo de *cuesta* possui, ao considerar bibliografias antigas e atuais, arcabouço considerável de estudos a seu respeito,

contudo, algumas questões de caráter regional ainda necessitam de estudos mais pormenorizados. Dessa forma, faz-se necessário retomar alguns pontos e propiciar a esses, novas análises a partir de técnicas diferenciadas.

Nesse contexto, objetiva-se com este artigo analisar as formas de relevo no contato cuesta-depressão periférica, referentes à área intitulada de Serra do Cuscuzeiro, a qual se constitui em um setor cuestiforme localizado no interior do município de Analândia (SP). Neste setor há certas especificidades na morfologia e morfometria do *fornt* cuestiforme que, em levantamento preliminar feito por Fancicani (2000), aponta para uma alta complexidade tectônica.

Assim, buscou-se através de levantamentos morfoestruturais, em escala de 1:50.000, representados pelas cartas de: densidade de drenagem, profundidade de drenagem, declividade e feições estruturais lineares, compreender os elementos estruturais e denudativos atuantes sobre o relevo da região.

Como base técnica para o desenvolvimento do material cartográfico foram utilizadas as obras de Hubp (1988) e De Biasi (1970, 1992), visto que os referidos autores apontam metodologias e discussões pertinentes para superar os desafios deste estudo, apresentando técnicas possíveis de serem adaptadas ao método automático, utilizado nesta pesquisa, com o uso do programa ArcGis 9.2.

Material e métodos

Localização e Caracterização da área - A área deste estudo localiza-se na porção central do Estado de São Paulo conforme apontado pela Figura 1, entre as coordenadas geográficas 22 ° 07' 26.3'' S e 22 ° 06' 35.2'' S e 47° 42' 47.7'' W e 47° 42' 22.8'' W.

A área deste estudo, esta situada no setor leste da Bacia Sedimentar do Paraná, localizando-se, segundo Almeida (1974), na Zona do Médio Tietê. Possui *fronts* abruptos, morros residuais e esporões que atestam a complexidade da área. O *front* cuestiforme por toda sua extensão é marcado pelos derrames basálticos que possuem, segundo Almeida (1974), em média 50 m de espessura e possibilitam o festonamento da frente de *cuesta*.

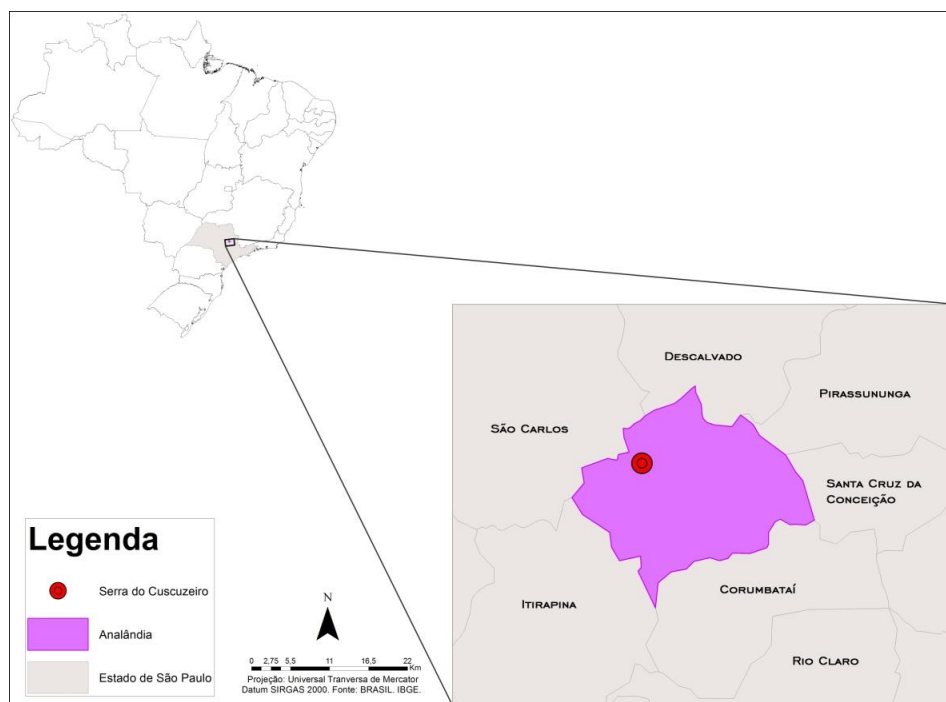


Figura 1. Localização geográfica da área de estudo, Analândia (SP).

No que se refere à litologia (Figura 2), a área estudada está localizada, segundo mapeamento do Instituto Geológico (1984), sobre as formações Itaqueri e Santa Rita do Passa Quatro, contendo afloramentos dos depósitos mesozóicos do Grupo São Bento, compreendidos pelas formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral, sendo as duas últimas de grande importância para a morfologia da área.

A Formação Botucatu é composta majoritariamente por arenitos silicificados

provenientes de capeamentos magmáticos responsáveis por sobrepor sedimentos fluviais e lacustres. Já a Formação Serra Geral é composta por derrames basálticos que se sobrepõem às formações gondwânicas da Bacia do Paraná. As litologias vinculadas a essas formações são responsáveis por desenvolver setores de maior resistência no relevo da área de estudo, possibilitando variações no processo erosivo que contribuem para a formação de setores de maior declividade.

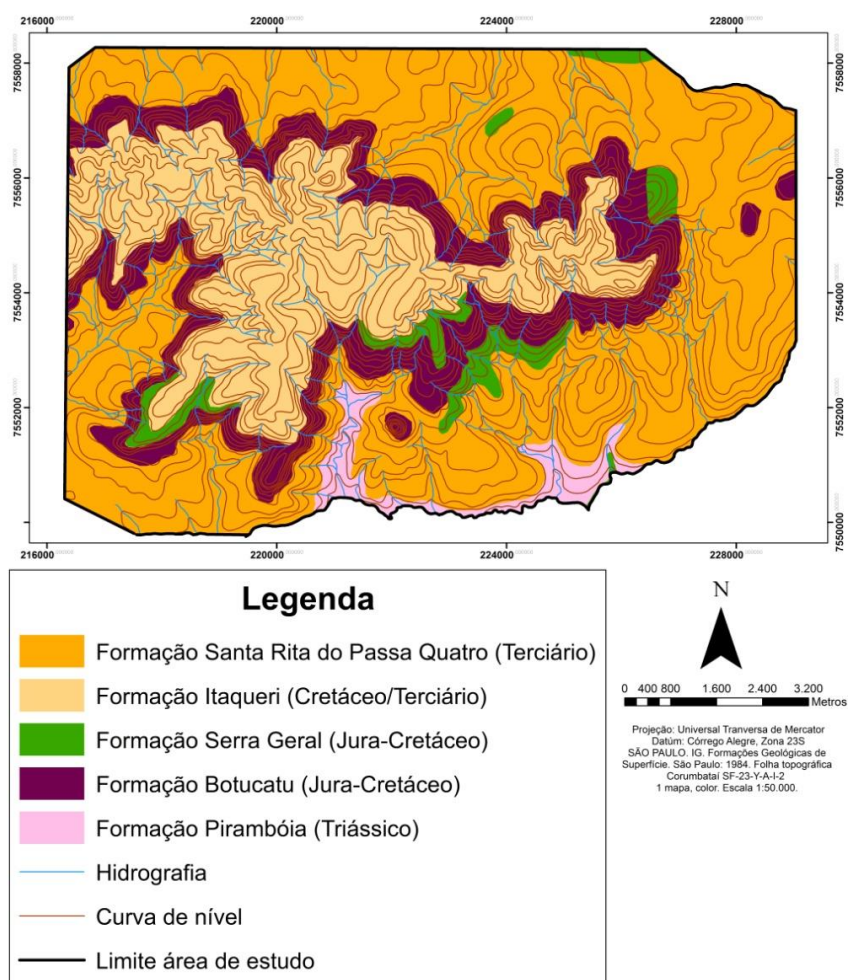


Figura 2. Geologia de superfície da área estudada. Fonte: instituto geológico do estado de São Paulo (1984).

No que se refere ao aspecto climático, Troppmair (2000) define o clima da parcela da depressão periférica como “Cwa” – chuvas de verão e verão moderadamente quente – e a área cuestiforme como “Cwa” e “Cfa” - úmido em todas as estações do ano e verão quente. Troppmair (2000) define ainda que a temperatura média da região oscila entre 20 e 21°C, possuindo médias máximas de 29 a 30°C e médias mínimas de 11 a 12°C. No que se refere ao regime de chuvas, Brino (1973) caracteriza Analândia como um município com ocorrência de chuvas durante 82 dias do ano, totalizando 1.272,7 mm anuais em média. Segundo Brino (1973), o mês mais chuvoso do ano constitui-se em janeiro, no qual o índice pluviométrico mensal ultrapassa 215 mm, tendo como mês mais seco julho ou agosto, com média pluviométrica que alcança os 30,9 mm.

Técnicas - A terminologia morfoestrutura correlaciona-se, segundo Hubp (1988), a interação entre os processos endógenos e exógenos que ocorrem em determinada estrutura geológica. A partir das análises morfoestruturais tornou-se

possível adicionar um novo elemento à classificação da geomorfologia estrutural, considerando os fatores clássicos, estrutura geológica e forma da superfície terrestre, e acrescentando os agentes internos que foram representados pelas estruturas monoclinais e anticlinais, falhas e elementos mais complexos, derivados, por exemplo, dos movimentos neotectônicos. Hubp (1988) acresce ainda que os mapas morfoestruturais proporcionam, simultaneamente, a sobreposição de informações geomorfológicas e de tectônica geral, permitindo assim fácil compreensão da área de estudo, mesmo quando essa apresenta dimensões de grande porte.

Permite-se ainda, por meio dos levantamentos morfoestruturais, a identificação de estruturas ocultas, que segundo Hubp (1988), podem ser inferidas por meio de elementos geométricos que se evidenciam em alguns casos no formato da rede fluvial. Identifica-se, por exemplo, o referido elemento em drenagens retilíneas com a formação de acotovelamentos,

caracterizando assim uma drenagem encaixada em um sistema de falhas. Assim, Hubp (1988), atrela os processos exógenos ao substrato rochosos (litologia), uma vez que áreas moldadas por processos erosivos possuem suas faixas de maior intensidade erosiva em locais de fragilidade litológica.

Assim, o material cartográfico elaborado visando tal análise constituiu-se de cartas de declividade, de densidade de drenagem, de profundidade de drenagem e de feições estruturais lineares, as quais tiveram como base cartográfica a carta disponibilizada pelo IBGE, datada de 1971, denominada folha Corumbataí, na escala de 1:50.000. Ainda, foi utilizada como fonte de dados e para possíveis reambulações da carta de lineamentos, as fotografias aéreas de 1988, em escala aproximada de 1:40.000, obtidas de forma gratuita junto ao acervo de fotografias aéreas do DEPLAN/IGCE.

As técnicas propostas por Hubp (1988) e De Biasi (1970, 1992), utilizadas nessa pesquisa, foram originalmente desenvolvidas através de processo manual. Desta forma, foi necessária a adaptação de tais metodologias a luz de processos atuais que se dão em meio automático disponibilizados pelo programa ArcGis 9.2. A partir deste processo buscou-se maior exatidão no processamento de tais cartas e atualização da metodologia.

Desta forma, buscar-se-á apresentar as técnicas utilizadas para o desenvolvimento do material cartográfico e os ajustes realizados nas propostas de Hubp (1988) e De Biasi (1970, 1992) para que os mesmos permitissem atingir com maior exatidão os objetivos aqui propostos.

Carta de Declividade - Inicialmente foram definidas as classes de declividade com os seguintes valores: < 2%, 2-5%, 5-12%, 12-30%, 30-45% e >45%, buscando manter nesta etapa à proximidade dos valores sugeridos por De Biasi (1992). As classes de baixa declividade foram demarcadas por cores claras, escurecendo o tom das mesmas com o aumento da declividade, como De Biasi (1970, 1992) recomenda. A seguir apresentam-se os procedimentos realizados para a construção da referida carta em meio digital.

Para confeccionar a carta de declividade em meio automático adicionou-se aos *layers* do programa as informações de topografia, de drenagem e de pontos cotados da área de estudo.

A partir dos *layers* adicionados gerou-se um produto de formato *TIN*, por meio das ferramentas presentes no ArcToolbox, Data

Management e Create *TIN*, buscando atribuir com o referido comando valores altimétricos a cada célula da imagem e transmitir maior visibilidade de profundidade ao operador do software. Destaca-se que no campo Input Features foram adicionados os três *layers* de informação da área (topografia, drenagem e pontos cotados), visando aumentar o nível de informação e consequentemente obter maior qualidade do *TIN* gerado.

A partir da ferramenta *TIN to Raster*, que se encontra na aba 3D Analyst Tools => Conversion => From *TIN*, alterou-se o formato do arquivo de *TIN* para Raster, visando minimizar as falhas geradas pelo *TIN* nas proximidades das curvas de nível. Na janela do processador *TIN to Raster* foram adicionados nos campos Output Data Type, Method e Sampling Distance os seguintes comandos, respectivamente, Float, Linear e Cellsize 3. Os comandos Float e Linear foram definidos pelo software, alterando-se somente o campo Sampling Distance para Cellsize 3, buscando diminuir a área de abrangência de cada cubo gerado pelo Raster, minimizando desta forma a generalização do arquivo Raster processado.

Após a formulação do arquivo Raster, o mesmo foi submetido à ferramenta presente no Raster Surface intitulada Slope, dando início ao processamento da declividade.

Gerada a carta de declividade, as seis classes, previamente determinadas, foram definidas no programa através dos comandos Properties => Symbolology => Show (Classified) => Classify => Method Manual, adicionando-se posteriormente a coloração de cada classe de forma manual pelo Color Selector. Os valores das classes foram definidos em graus, conforme exige o algoritmo do software. Para a legenda, tais valores foram indicados em porcentagem.

Após análise da carta gerada pela triangulação automática desenvolvida pelo programa, foram constatadas áreas cujas informações não proporcionavam clareza, uma vez que os topos presentes no reverso da *cuesta* apresentavam-se entre as classes de maior suavidade do relevo, ou seja, com característica plana, sendo que a área deste estudo está inserida em um ambiente de clima quente e úmido, onde os topos possuem formato convexo. Os vales fluviais também se apresentaram totalmente planos e simétricos, não se constituindo em algo expresso no terreno. A partir do exposto, a carta

de declividade foi submetida a um método de correção proposto por Sanchez (1993).

Assim iniciou-se um processo de reambulação de algumas áreas mapeadas pela carta de declividade utilizando-se de um ábaco complementar como propõe Sanchez (1993), sendo tal técnica adaptada para o meio semiautomático.

Para delimitar os divisores d'água, criou-se um novo shape do tipo linha. Com o shape linha criado ativou-se o Editor através da opção Start Editing e abriu-se a janela do Create Features selecionando o shape recém-criado. Com a ferramenta do Editor, Straight Segment, selecionada traçaram-se os divisores de água artificiais nos topos da área onde haviam distorções. A partir da delimitação dos divisores d'água as referidas áreas ficaram aptas à aplicação do ábaco complementar. Destaca-se que nos fundos de vale o ábaco foi aplicado entre os canais fluviais e curvas de nível mais próximas dos mesmos.

Para realizar as mudanças necessárias, a partir da passagem do ábaco complementar, criou-se um novo shape do tipo polígono visando possibilitar a modificação de alguma área mesmo após a conclusão da correção, adicionando ao shape criado a legenda definida para a carta de declividade, havendo assim correspondência entre as áreas geradas pelo software e as áreas modificadas nesta etapa.

A este shape foram adicionadas seis classes de legenda através do comando Properties => Simbology => Categories => Unique Values => Add Values. As classes adicionadas tiveram suas propriedades de cor definidas a partir das classes já estabelecidas para a carta de declividade. Assim as áreas mapeadas de forma errônea pelo programa foram ajustadas.

Carta de Densidade de Drenagem - As técnicas propostas por Hubp (1988) para confecção da carta de densidade de drenagem foram submetidas ao processamento automático como será descrito no decorrer deste tópico. Para a elaboração deste documento cartográfico foram utilizados os shapes limite da área de estudo e drenagem. Primeiramente, foi criado um banco de dados visando amenizar possíveis erros no processamento e calcular de forma automática o comprimento dos segmentos da drenagem.

Em seguida, os shapes limite da área de estudo e drenagem foram adicionados ao banco de dados através da ferramenta Import disponível no operador do programa por um clique com o botão

inverso sobre o banco de dados criado. Na aba disponibilizada pela ferramenta Import, a opção feature classe (Multiple) foi selecionada, devido à possibilidade de converter todos os shapes em uma única operação. Os referidos shapes, agora no formato do banco de dados, foram adicionados à aba dos layers.

Seguindo a proposta de Hubp (1988), foi criada uma malha quadriculada através da ferramenta Fishnet => Create Fishnet adicionando-se ao campo Template extent o layer referente ao limite da área de estudo e o valor de 250 metros aos campos Cell Size Width e Cell Size Height visto que este trabalho está sendo desenvolvido na escala 1:50.000. Nos campos Number of rows e Number of columns foi adicionado o numeral zero, sendo a função Create Label Points desativada e a opção Polygon incorporada ao campo Geometry type. O shape em questão foi salvo no banco de dados. Após os referidos comandos, a malha quadriculada foi criada sobre o limite da área de estudo.

Visando segmentar a drenagem e incorporar os segmentos no interior da malha quadriculada, foi utilizada a ferramenta Intersect, selecionando no campo Input Features os layers referentes à drenagem e a malha quadriculada. Após esse procedimento, o shape foi salvo no banco de dados, mantendo as outras funções no formato padrão.

Executado o comando, a drenagem foi segmentada no interior de cada quadricula, possuindo desta forma cada segmento da drenagem um valor de comprimento específico. Como poderia ocorrer de alguma quadricula possuir mais que um seguimento da drenagem, realizou-se a soma dos comprimentos de cada segmento que ocorria no interior de uma mesma quadricula. Tal procedimento foi realizado através da ferramenta Join and relates => Join, encontrada na aba de funções do layer da malha da quadricula, e salvo no banco de dados.

Na janela Join o campo "What do you want to join to this layer?" foi preenchido pela função Join data from another layer based on spatial location, adicionou-se o layer referente à segmentação da drenagem ao campo "Choose the layer to join to this layer", por fim, selecionou-se a função Sum no campo "You are joining". Com este comando formou-se uma nova malha contendo a soma de cada segmento de drenagem identificado em suas quadrículas.

A partir desses procedimentos foi possível executar o cálculo da densidade de drenagem que

se constitui: na divisão do comprimento total dos segmentos de drenagem de cada quadrícula pela área da quadrícula.

Para executar tal cálculo no programa, abriu-se a Table Options da segunda malha quadriculada adicionando-se uma nova coluna à tabela de atributos através da função Add Field. Para executar o cálculo, foi selecionada a coluna recém-criada na Tabela de Atributos clicando com o botão oposto sobre a mesma e selecionando a função Field Calculator. Com a função Field Calculator aberta selecionou-se o Field da soma dos comprimentos de cada drenagem contido em suas quadrículas dividindo o mesmo pelo Field referente à área das quadrículas, atribuindo assim à coluna recém-criada na Tabela de Atributos, os valores de tal operação.

De acordo com a proposta de Hubp (1988), os valores obtidos em cada quadrícula devem ser indicados sobre o ponto central da célula base para posterior interpolação. Assim, a próxima etapa foi desenvolvida visando à criação de pontos centrais nas quadriculas ou células base contendo os respectivos valores de densidade de drenagem. Através da ferramenta Feature to Point, foi adicionado ao campo Input Features o layer processado pela ferramenta Join que continha os valores da densidade de drenagem, sendo salvo no banco de dados. Efetuando o referido comando foram gerados pontos centrais no interior de cada quadrícula, cada ponto contendo um respectivo valor de densidade de drenagem.

Para alguns pontos foi atribuído o valor nulo na Tabela de Atributos do layer gerado, visto que nem todas as quadrículas possuíam fragmentos da drenagem. Neste contexto, tornou-se necessário atribuir o valor zero para os pontos nulos do novo shape, pois segundo metodologia de Hubp (1988), deve-se atribuir o valor zero para as quadrículas que não possuem segmentos de drenagem.

Por fim, realizou-se a interpolação linear dos valores da malha de pontos gerando primeiramente um arquivo de formato TIN por meio da ferramenta Create TIN. Inseriu-se, no campo Coordinate System, o sistema de coordenada utilizado neste trabalho (Córrego Alegre UTM Zone 23S) e no campo Input Feature Class, o layer derivado da ferramenta Feature to Point alterando a coluna Height Field para a coluna de atributo com os valores da densidade de drenagem. O arquivo TIN não foi salvo no banco de dados.

Visando melhorar a resolução do produto final, o arquivo TIN foi transformado para Raster através da ferramenta TIN to Raster, selecionando no campo Input TIN o TIN gerado; em Output Raster o banco de dados correspondente; em Output data type a função float; em Method a função linear; em Sampling Distance a função Cellsize 10; e em Zone factor o valor 1, concluindo-se assim a carta de densidade de drenagem.

Carta de Profundidade de Drenagem - A profundidade da drenagem, segundo Hubp (1988), pode ser alcançada com um levantamento da altura vertical entre o talvegue e a linha de cumeada. Esse resultado pode ser obtido através da diferença de cotas entre as curvas de nível que demarcam tais setores do relevo. Assim, as técnicas propostas pelo autor foram submetidas ao processamento automático como está descrito no decorrer deste tópico. Destaca-se que a base cartográfica aqui utilizada e o processo de criação do banco de dados são idênticos aos já descritos na formulação da carta de densidade de drenagem.

Seguindo a proposta de Hubp (1988), foi criada uma malha quadriculada através da ferramenta Fishnet => Create Fishnet adicionando-se ao campo Template extent o layer referente ao limite da área de estudo e o valor de 250 metros aos campos Cell Size Width e Cell Size Height visto que este trabalho está sendo desenvolvido na escala 1:50.000. Nos campos Number of rows e Number of columns foi adicionado o numeral zero, sendo a função Create Label Points desativada e a opção Polygon incorporada ao campo Geometry type. O shape em questão foi salvo no banco de dados.

Visando identificar os valores máximos e mínimos de altitude que ocorrem em uma única quadrícula, foi realizado o comando Join and relates => Join encontrado na aba de funções do layer da malha da quadrícula. Na janela Join o campo "What do you want to join to this layer?" foi preenchido pela função Join data from another layer based on spatial location, adicionou-se o layer referente as curvas de nível ao campo "Choose the layer to join to this layer", e, por fim, foi selecionada a função minimum e maximum no campo "You are joining", visando identificar a mínima e máxima elevação das quadrículas. O novo shape foi salvo no banco de dados.

As quadrículas que não possuíam curva de nível tiveram seus campos de máxima e mínima elevação ocupados pela opção nula; as quadrículas que possuíam curvas de nível tiveram as colunas

de máxima e mínima elevação ocupadas pelos respectivos valores.

Posteriormente, foi realizado o cálculo referente à profundidade da drenagem que se constitui na subtração entre os valores máximos e mínimos de altitude. Os valores provenientes da operação matemática foram anexados a uma nova coluna criada na tabela de atributos do layer derivado da operação realizada junto à ferramenta Join.

Para executar o cálculo referente à profundidade da drenagem foi selecionada a coluna recém-criada na tabela de atributos, intitulada de “Amplitude”, clicando com o botão oposto sobre a mesma e selecionando a função Field Calculator. Com a função Field Calculator aberta, selecionaram-se o Field da máxima elevação contida nas quadriculas subtraindo o mesmo pelo Field da mínima elevação, atribuindo o resultado a coluna “Amplitude”.

De acordo com a proposta de Hubp (1988), os valores obtidos em cada quadricula devem ser indicados sobre o ponto central da célula base para posterior interpolação. Assim, a próxima etapa foi desenvolvida visando à criação de pontos centrais contendo os respectivos valores.

Através da ferramenta Feature to Point, foi adicionado ao campo Input Features o layer que contém os valores da profundidade da drenagem, sendo salvo no banco de dados. A partir do referido comando foram gerados pontos centrais no interior de cada quadricula, cada ponto contendo um respectivo valor de profundidade de drenagem. Alguns pontos apareceram com valor nulo na tabela de atributos do layer gerado, sendo que nem todas as quadriculas possuíam curvas de nível. Neste contexto, tornou-se necessário atribuir o valor zero para os pontos nulos.

Por fim, realizou-se a interpolação linear dos valores da malha de pontos gerando primeiramente um arquivo de formato TIN, transformando-o posteriormente para o formato Raster visando melhorar a resolução do arquivo final, como já descrito no processo de formulação da carta de densidade de drenagem.

Carta de Feições Estruturais Lineares - Hubp (1988) discute a confecção de cartas de lineamento ou de feições estruturais lineares. A análise de lineamentos para o autor corresponde em elencar elementos do relevo dispostos para um sentido dominante. Assim, foi possível aplicar a esta pesquisa tal técnica na busca de identificar fraturas e falhas.

Para a elaboração deste documento cartográfico foram utilizados os shapes limite da área de estudo, curvas de nível e drenagens. Inicialmente foram traçados sobre a base cartográfica os canais de drenagem pluvial, visando identificar maior número de áreas com ocorrência de lineamentos. Para isso foi criado um novo shapefile a fim de identificar tais canais separadamente dos de dinâmica fluvial.

Posteriormente foram traçadas a partir da base cartográfica e com o auxílio das fotografias aéreas de 1988, escala 1:40.000, linhas de cumeada, visando identificar os divisores de água das sub-bacias e as áreas de maior avanço da erosão regressiva. Para tal processo realizou-se o georeferenciamento das fotografias aéreas, buscando a sobreposição das informações dessas com a base cartográfica e criando um novo shape para incorporar as linhas de cumeada. Em seguida, com a ferramenta do editor Straight Segment ativada, traçaram-se as linhas de crista nas áreas de topo, sobre os pontos de maior saliência e alinhamento do relevo, identificados através das fotografias aéreas.

Visando a demarcação dos lineamentos, os mesmos foram inicialmente divididos em três ordens, buscando maior detalhamento dos dados. As classes definidas foram: lineamentos de primeira ordem, representados pelos canais fluviais retilíneos de primeira ordem, lineamentos de segunda ordem ou maior, representados pelos canais fluviais retilíneos de segunda ordem ou maior, e lineamentos pluviais, representados pelos canais pluviais traçados. Cada classe foi adicionada a um novo shape, recebendo cores distintas e linhas de variadas espessuras.

Observando os alinhamentos e acotovelamentos dos cursos fluviais, foram demarcados sobre esses, através da ferramenta do editor Straight Segment, os lineamentos de primeira ordem, segunda ordem ou maior e pluviais.

Procurando compreender as orientações, tendências e dispersões ou concentração de rumos dos lineamentos, confeccionou-se um diagrama de roseta a partir dos dados obtidos na carta de feições estruturais lineares. Assim, foram gerados dois diagramas de roseta, um com os lineamentos de primeira ordem e outro com as três classes de lineamentos.

Inicialmente, foram identificados os rumos das feições lineares presentes no mapeamento de lineamentos com o auxílio de um transferidor. Os rumos de cada lineamento foram

adicionados a uma nova coluna na tabela de atributos de cada *shape* de acordo com sua classe.

A rede polar do diagrama foi confeccionada junto ao programa *CorelDRAW X7*, assim como o diagrama de roseta. A rede polar foi dividida em intervalos de 10 em 10 graus.

Posteriormente, os valores de rumo foram separados em grupos de direções equivalentes, listando-se as medidas entre os intervalos de 20 em 20 graus. Os intervalos foram definidos de 20 em 20 visando agrupar de forma mais expressiva os dados nas rosetas. Convém informar que vários intervalos foram testados, considerando-se que aquele com base em 20 graus foi o mais representativo.

O número de lineamentos de cada rumo, de 20 em 20 graus, foi transformado para centímetros de acordo com escala pré-estabelecida para a rede polar desenhada no *CorelDRAW*. Por fim, com o auxílio da ferramenta de medida e de desenho (point line) do *CorelDraw*, os dados foram desenhados sobre a rede polar, por meio de barras, que indicam o número de lineamentos em cada direção.

Resultados e discussão

A área de estudo do presente artigo contém terrenos que se caracterizam como área de transição entre o compartimento Depressão Periférica Paulista e as cuestas basálticas. Nessa área se identifica abrupta discordância litológica proveniente do capeamento basáltico de arenitos, cuja resistência dá origem ao front da cuesta, sendo tal capeamento datado do término do Jurássico e início do Cretáceo Inferior. Essas características litológicas são evidenciadas a partir da formação de relevo abrupto, demarcado por uma alta declividade e esporões, que representam possíveis áreas de menor fragilidade.

Almeida (1974) aponta para a discordância ocorrida nos derrames basálticos da formação Serra Geral. O autor citado afirma que a espessura média dos derramamentos é de 50 m, salva as exceções onde tal valor pode atingir 255 m de espessura.

A carta de densidade de drenagem, elaborada neste estudo, identifica áreas com densa rede fluvial, onde o ataque sobre o front cuestiforme apresenta-se como marcante. A ação das drenagens anaclinais sobre o front gera um desnível topográfico facilmente identificável em alguns setores da área, nos quais a altitude relativa

entre o topo da cornija e o tálus apresenta-se na casa da centena de metros. Em contra ponto, as áreas de menor densidade de drenagem apresentam front cuestiforme menos abrupto, que é acompanhado também de baixa ação das drenagens.

Compilando os dados levantados por Almeida (1974) e aqueles obtidos na análise da carta de densidade de drenagem, observa-se que a diferença de declive no front da cuesta é definida a partir da espessura do capeamento basáltico, responsável por proporcionar áreas de maior ou menor resistência, havendo assim uma correspondência com a densidade de drenagem que apresenta variações em sua configuração espacial.

Nesse contexto, o relevo da região é marcado por desnível altimétrico abrupto, sendo que os topos chegam a 1040 m, em setores localizados no reverso da cuesta, e tem-se 640 m, nos fundos de vale locados na depressão periférica. Na carta de profundidade de dissecação, o desnível altimétrico relativo máximo atinge a ordem de 138 m (Figura 3) visto que, nesse tipo de mapeamento, considera-se uma área menor (parcelas de 250 x 250 m) para o cálculo do referido parâmetro.

Para ilustrar a morfologia deste terreno, apresenta-se também a Figura 4 em cujo centro forma-se um cordão representado pelas declividades de 12% a 30% (em vermelho) e de 30% a 45% (em marrom) caracterizando um *front* bem demarcado e com composição rochosa de possíveis variadas resistências, já que há variações nos declives.

Os fronts com elevada declividade são responsáveis por adicionar alto grau de energia aos rios devido ao elemento gravitacional. Assim, as drenagens que tem suas nascentes no reverso da cuesta ganham energia de fluxo ao passarem pelo front. Neste cenário, ao adentrarem na área do tálus, no sopé da cuesta, carregadas de energia, a mudança do declive do canal provoca a redução dessa energia e possivelmente a deposição da carga sedimentar. Através da Figura 5 observa-se que o baixo curso do Córrego Santa Terezinha e o alto curso do Córrego do Feijão, no setor já da Depressão Periférica, apresentam elevado grau de sinuosidade, provavelmente vinculado à deficiência na carga, o que gera excesso de energia do fluxo.

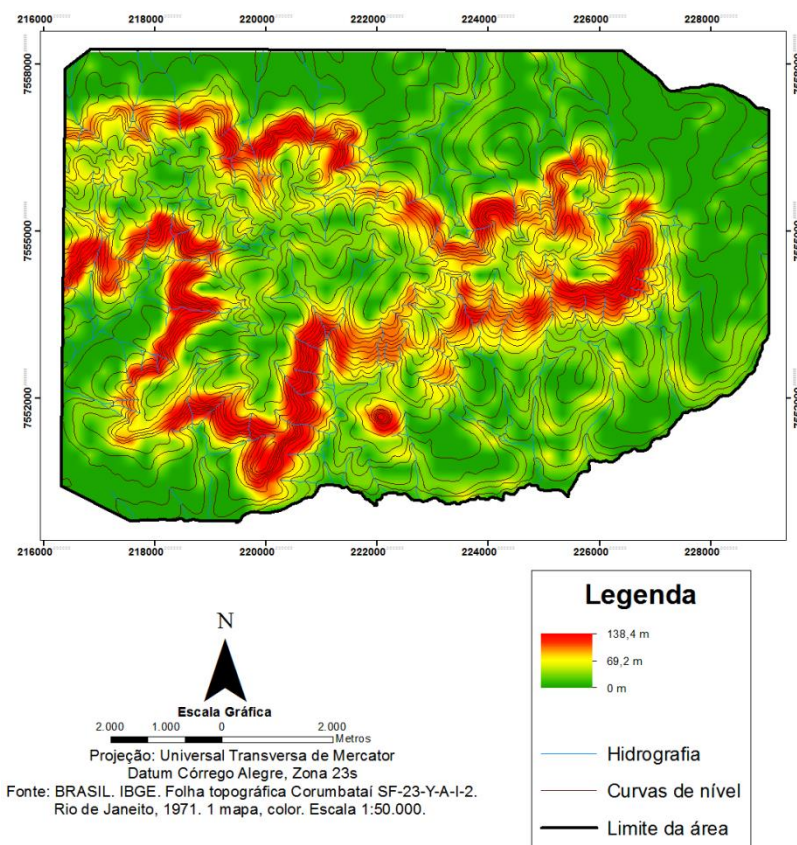


Figura 3. Carta de profundidade de dissecação da área de estudo.

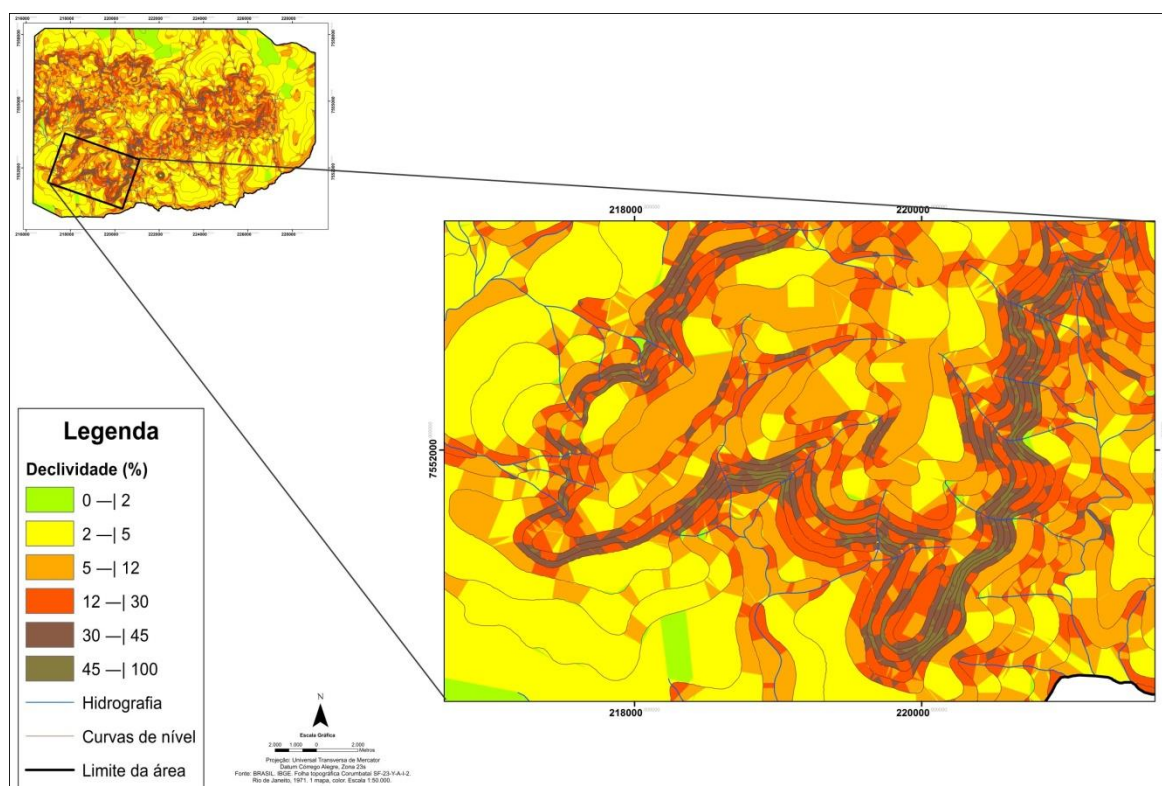


Figura 4. Trecho de alta declividade do front cuestasiforme na Serra do Cuscuzeiro, setor sudoeste da área pesquisada.

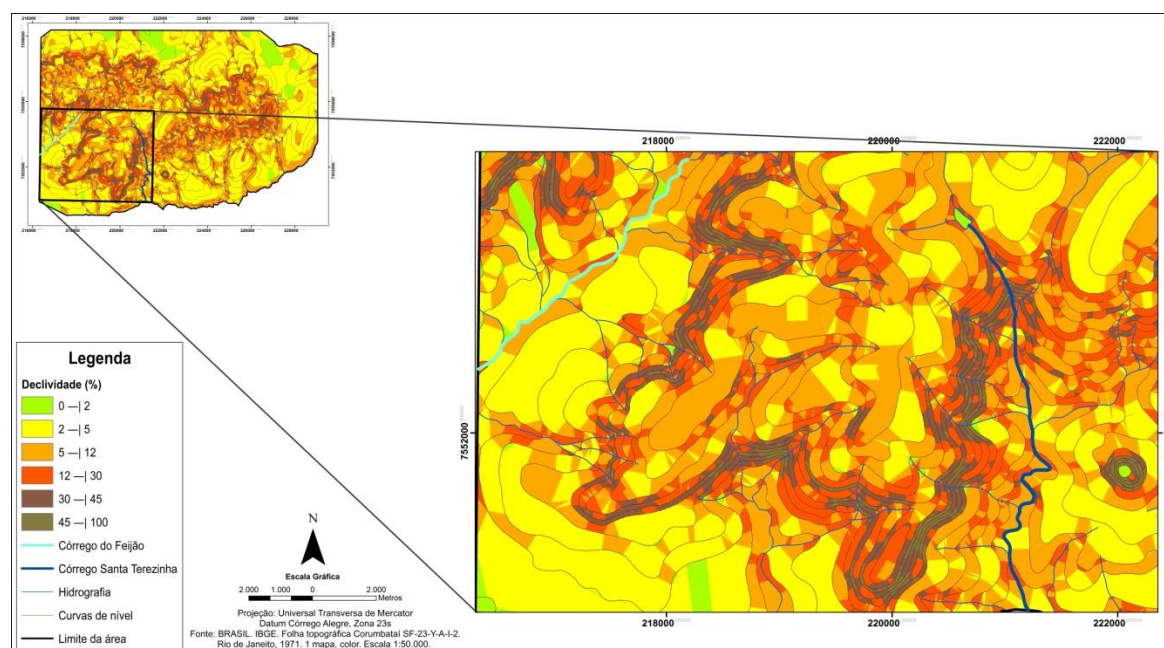


Figura 5. Carta de declividade. Localização dos córregos Santa Terezinha e do Feijão, setor sudoeste da área pesquisada.

A quebra de energia e o início de um curso meandrante estão relacionados também a geologia local, constatando-se tal fator a partir do mapeamento de formações geológicas de superfície, (Figura 2), na qual se identifica o baixo curso do Córrego Santa Terezinha localizado sobre a Formação Pirambóia e o alto curso do Córrego do Feijão posicionado sobre a Formação Santa Rita do Passa Quatro. Tais formações são compostas por arenitos de granulometria média ou fina, baixo grau de cimentação argilosa e com grau de fragilidade elevado em relação à Formação Serra Geral. Assim, os córregos Santa Terezinha e do Feijão encontram nestas formações

geológicas alta suscetibilidade à erosão, o que explica, em parte, o aumento da carga de sedimentos, fazendo com que os córregos passem a depositar sedimentos em seus cursos e ganhem sinuosidade, como expresso na Figura 5.

Constatou-se ainda, através da carta de declividade, de densidade de drenagem e de análises em campo, a intensa ação das drenagens no modelamento do relevo, agindo prioritariamente por erosão remontante de cabeceira, proveniente de cursos d'água obsequentes, dando origem a formação de faces trapezoidais e triangulares como é apresentado na Figura 6.



Figura 6. Faces trapezoidais e triangulares expressas no front cuestiforme, setor sul da área pesquisada

A partir da ação das drenagens identificaram-se ainda locais onde o estreitamento das linhas de cumeeada indica uma possível captura por cabeceira, como nas nascentes destacadas na Figura 7. Esses locais são marcados pela alta densidade de drenagem, atingindo os valores máximos em alguns casos, de acordo com

as classes estipuladas neste trabalho. Constatou-se ainda, através do mapeamento de densidade de drenagem, que as áreas onde o front cuestiforme apresenta-se mais recuado correlacionam-se, em alguns casos, com as áreas onde a densidade de drenagem é mais elevada como apresentado na Figura 7.

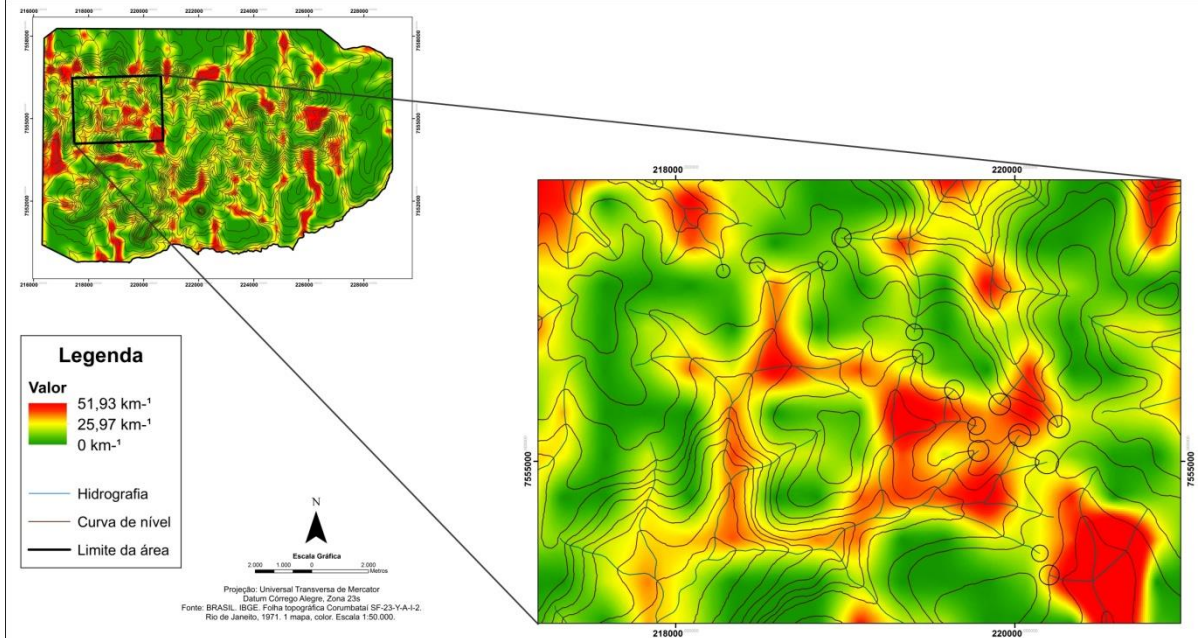


Figura 7. Carta de densidade de drenagem e possíveis áreas de ocorrência de capturas por recuo de cabeceiras representadas pelas circunferências, no setor noroeste da área pesquisada.

Os canais fluviais atuam com maior eficiência em áreas de fraqueza do relevo, fraturas e falhas, nas quais encontram maior facilidade no entalhamento de seus talvegues. Assim, registra-se a probabilidade de ocorrência de captura de cabeceira pela ação de algumas drenagens provenientes do estreitamento da linha de crista. Ocorrendo a captura, essa poderá desencadear o entalhamento de um vale fluvial que evoluirá, vindo a formar uma área que Caseti (2001) define como cut-off, onde uma parcela do front cuestiforme será isolada, dando origem a um morro residual.

De acordo com os dados obtidos nesta pesquisa, o isolamento da área exemplificada pela Figura 8 aponta para a possibilidade de formação de um notável morro testemunho na Serra do Cuscuzeiro. A probabilidade é indicada ao se verificar a alta densidade de drenagem; a possibilidade de ocorrência de capturas, já que as cabeceiras dos rios estão distantes em média 159m umas das outras (STEFANUTO e CUNHA, 2015); e a intensa presença de falhas e fraturas (concentração de 18% do total de lineamentos) na possível área de cisão do relevo ou de formação do cut-off.

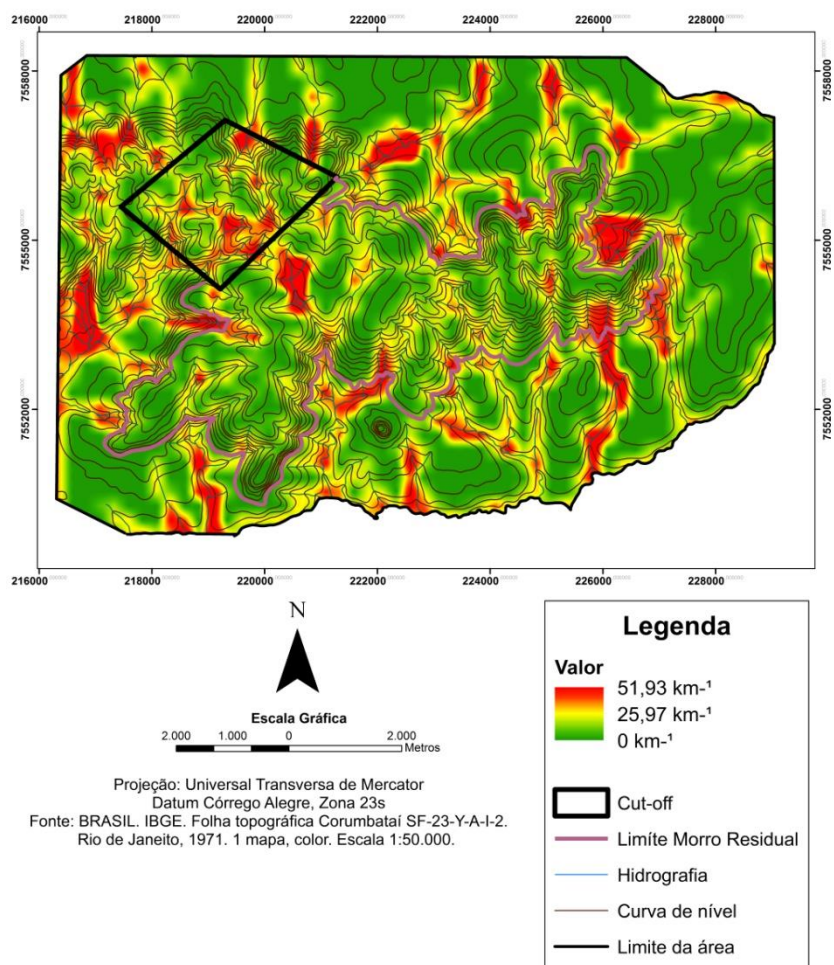


Figura 8. Carta de densidade de drenagem. Setor de possível formação de cut-off e ocorrência de morro residual.

Através do mapeamento de feições estruturais lineares foram identificados 245 lineamentos no local de estudo, dados que,

submetidos à representação por um diagrama de roseta, possibilitaram constatar um direcionamento preferencial no sentido N-S, como apresentado na Figura 9.

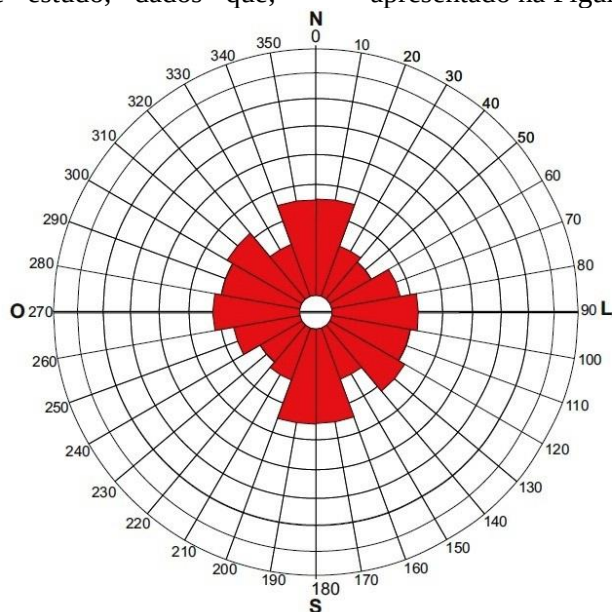


Figura 9. Diagrama de roseta geral, com todos os lineamentos mapeados.

Visando correlacionar os dados, um segundo diagrama de roseta foi gerado a partir do direcionamento principal dos canais de primeira ordem. O resultado também evidenciou a predominância de um direcionamento N-S com apresentado na Figura 10.

Os lineamentos N-S mapeados sob os canais de primeira ordem apresentaram comprimento reduzido, variando de 70 a 500 m,

alcançando em casos esporádicos 1000 m de comprimento. Já os lineamentos N-S, identificados a partir dos canais de segunda ordem ou maior, apresentaram maior dimensão, chegando a 1500 m de comprimento. Assim, pode-se, inferir que os lineamentos N-S apresentaram comprimentos que variaram de acordo com a ordem do canal.

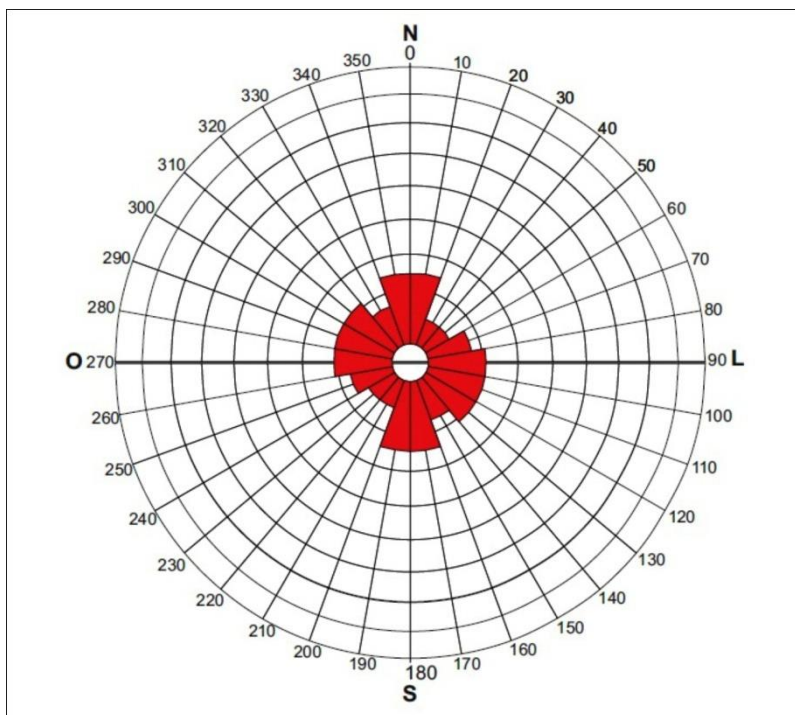


Figura 10. Diagrama de roseta de lineamentos identificados em canais de primeira ordem.

Facincani (2000), em estudo aplicado as regiões de São Carlos, Rio Claro e Piracicaba, áreas próximas à deste estudo, aponta que os lineamentos preferências ocorrem com o direcionamento NE-SW e E-W, possibilitando inferir que a área deste estudo possui especificidades estruturais a serem ainda melhor analisadas.

Sobrepondo os dados da carta de lineamentos com a carta geológica da área de estudo, compreende-se que a formação Itaqueri e a formação Botucatu apresentam suscetibilidade ao desenvolvimento de feições estruturais lineares, já que 39% e 35%, respectivamente, dos lineamentos mapeados na área estão sobre estas.

Assim, é possível afirmar que os lineamentos identificados marcam o *front cuestasiforme*, o qual é composto predominantemente pela Formação Botucatu, e o seu reverso, composto pela Formação Itaqueri. Dessa forma, esse relevo sobressalente nitidamente apresenta

configuração morfológica que indica a atuação de fenômenos tectônicos os quais influenciaram a ação da dinâmica fluvial e, portanto, erosiva na morfogênese da área.

Conclusões

A pesquisa realizada evidencia o levantamento de algumas hipóteses sobre a evolução do relevo da área estudada, constituídas através da análise dos mapeamentos realizados e das bibliografias referentes ao objeto de estudo.

Assim, foi possível verificar que o front cuestasiforme possui diversificadas características na área de estudo. Alguns setores contem alta declividade e elevada densidade e profundidade de dissecação; já outros são menos dissecados, com menor densidade de drenagem. Esses dados apontam para variações na resistência das litologias e para complexidade da área, sendo a mesma evidenciada pela formação de esporões, morros residuais e drenagens com extensa

linearidade, que podem chegar até 1500 m de comprimento.

Os dados apresentados foram obtidos através da aplicação de técnicas em escala média, possibilitando assim a obtenção de informações que permitem aclarar algumas questões mencionadas na bibliografia sobre a dinâmica geomorfológica da área.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, processo Nº 2014/11697-5, pelo financiamento.

Referências

- Almeida, F. F. M. de., 1949. Relevo de “Cuestas” na Bacia Sedimentar do Rio Paraná. Boletim Paulista de Geografia 3, 21-33.
- Almeida, F. F. M. de, 1956. O Planalto Basáltico da Bacia do Paraná. Boletim Paulista de Geografia 24, 3-34.
- Almeida, F. F. M. de., 1974. Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista. IGEOG, São Paulo.
- Brino, W. C., 1973. Contribuição à definição climática da Bacia do Corumbataí e adjacências (SP), dando ênfase a caracterização dos tipos de tempo. Tese (Doutorado). Rio Claro, UNESP.
- Cassetti, V., 2001. Elementos de Geomorfologia. Editora UFG, Goiânia.
- De Biasi, M., 1992. A carta clinográfica: Os métodos de representação e sua confecção. Revista do Departamento de Geografia (USP) 6, 45-60.
- De Biasi, M., 1970. Cartas de declividade: confecção e utilização. Geomorfologia 21, 8-13.
- Facincani, E. M., 2000. Morfotectônica da depressão periférica paulista e cuesta basáltica: regiões de São Carlos, Rio Claro e Piracicaba, SP. Tese (Doutorado). Rio Claro, UNESP.
- Hubp, J. I. L., 1988. Elementos de Geomorfologia Aplicada (Metodos Cartograficos). Universidad Nacional Autonoma de México, México D.F.
- IG. Instituto Geológico do Estado de São Paulo, 1984. Formações Geológicas de Superfície. São Paulo.
- Penteado, M. M., 1968. Implicações tectônicas na gênese das cuestas da bacia de Rio Claro. Notícia Geomorfológica 8, 19-41.
- Penteado, M. M., 1974. Fundamentos de Geomorfologia. IBGE, Rio de Janeiro.
- Sanchez, M. C., 1993. A propósito das cartas de declividade. V Simpósio de Geografia Física Aplicada 311-314.
- Stefanuto, E. B., Cunha, C. M. L., 2015. Morfocaracterísticas na faixa de transição Cuesta-Depressão Periférica: Estudo de caso de Analândia (SP). Revista Equador 4, 187-194.
- Troppmair, H., 2000. Geossistemas e geossistemas paulistas. Helmut Troppmair, Rio Claro.