

ANÁLISE MORFOESTRUTURAL DO MUNICÍPIO DE RIO CLARO – SP: POSSÍVEIS APLICAÇÕES AMBIENTAIS

Fabiano do Nascimento PUPIM¹; Juércio Tavares de MATTOS²; Jairo Roberto JIMÉNEZ-
RUEDA³

Resumo: Atualmente é crescente a necessidade de se conhecer o ambiente e seus aspectos físicos, bióticos e socioeconômicos para a elaboração de zoneamentos que auxiliem em ações de planejamento e manejo racional da terra. É nesse contexto que se enquadra o presente trabalho, que tem como objetivo aplicar a análise morfoestrutural no município de Rio Claro - SP, com a finalidade de compreender a distribuição e o comportamento das estruturas e suas relações com os processos que ocorrem em superfície e subsuperfície para, assim, auxiliar na elaboração de zoneamentos. A análise morfoestrutural trata-se de uma sistemática de trabalho que pode ser resumida em três etapas: extração da rede de drenagem, análise da rede de drenagem e interpretação morfoestrutural. O principal resultado é expresso pelo mapa de linhas de contorno estrutural não-cotadas, que indicam a distribuição das morfoestruturas (altos e baixos estruturais), contorno estrutural e lineamentos que definem a conformação estrutural da área. O correto entendimento das morfoestruturas permite o conhecimento de aspectos relativos à dinâmica da paisagem e, assim, muito contribui para o estabelecimento das fragilidades e potencialidades das mesmas.

Palavras-chave: fotointerpretação, análise da drenagem, geomorfologia, planejamento ambiental.

Abstract: Nowadays there is a growing need to understand the environment and its physical, biotic and socioeconomic factors for the development of zoning actions that assist in planning and rational management of land. That's the context that fits the present work, which aims to apply the morphostructural analysis in Rio Claro - SP, with the aim of understanding the distribution and behavior of structures and their relations with the processes occurring in surface and subsurface and thus assist in the drawing up of zoning studies. The morphostructural analysis is a systematic work that can be summarized in three steps: extraction of drainage network, drainage network analysis and morphostructural interpretation. The main result is expressed by a map of structural contour lines not-quoted, which show the distribution of morphologic structures (low and high structure), contour and structure lineaments that define the structural conformation of the area. The correct understanding of the morphologic structures allows the knowledge about some landscape dynamic aspects and thus contributes greatly to the establishment of the weaknesses and strengths of the same.

Keywords: remote sensing, drainage network analysis, geomorphology, environmental planning.

INTRODUÇÃO

Desde a década de setenta, estudos voltados para a compreensão das variáveis ambientais visando ações de planejamento territorial vêm sendo desenvolvidos, e cada vez mais ganhando importância no Brasil. Surgiu então uma grande gama de métodos e sistemáticas que visam compartimentar o ambiente, principalmente com relação aos aspectos do meio físico, para fins de zoneamento de terras e posterior aplicação de ações de planejamento.

Dentre os parâmetros que são levados em consideração nesse tipo de estudo raramente os aspectos estruturais ou morfoestruturais são contemplados. Os aspectos mais comumente abordados

¹Geógrafo, Pós-graduação em Geociências e Meio ambiente (bolsista CAPES). UNESP - Rio Claro/SP. fabianopupim@yahoo.com.br

² Geólogo, Prof. Dr. Departamento de Engenharia Civil. UNESP - Guaratinguetá/SP. juercio@feg.unesp.br

³ Agrólogo, Prof. Dr. Departamento de Petrologia e Metalogenia. UNESP - Rio Claro/SP. jairorjr@rc.unesp.br

são os referentes à geomorfologia, geologia, pedologia e hidrografia, além dos aspectos de caráter biológico (fauna e flora) e sócio-econômico.

Jiménez-Rueda *et al.* (1993) e Ohara *et al.* (2003) alertam para a necessidade de se incluir os aspectos morfoestruturais nas perspectivas dos zoneamentos de terra. Os mesmos autores apontam que uma alternativa para o reconhecimento das estruturas e morfoestruturas é a análise morfoestrutural, que permite identificar e caracterizar as estruturas a partir da análise da rede de drenagem e do relevo e, assim, compreender a dinâmica dos processos superficiais e subsuperficiais que condicionam a estabilidade e/ou instabilidade das paisagens.

Tendo ciência sobre a importância da compreensão das estruturas para a elaboração de zoneamentos e ações de planejamento foi traçado o objetivo deste estudo, que consiste na aplicação sistemática da análise morfoestrutural a partir da interpretação de fotografias aéreas na escala de 1:25.000, no município de Rio Claro-SP, permitindo a compreensão da distribuição das morfoestruturas e suas possibilidades de aplicação para questões ambientais e de planejamento.

Área de estudo – O município de Rio Claro, localizado na porção centro-leste do Estado de São Paulo, entre os paralelos 22°14' e 22°33' Sul e os meridianos 47°27' e 47°46' Oeste, correspondendo a uma área de 498,01 Km². O município dista aproximadamente 186 Km ao norte da cidade de São Paulo e o acesso pode ser feito pelo sistema rodoviário Anhanguera/Bandeirantes, que possibilitam a conexão com as principais rodovias regionais, como a SP-310 (Washington Luis), SP 127, SP-191 e SP 316, além das vias de menor hierarquia e ferrovias.

Segundo o mapa geomorfológico elaborado por Ross & Moroz (1997) o município de Rio Claro está inserido na borda nordeste da unidade morfoestrutural da Bacia Sedimentar do Paraná, que engloba terrenos sedimentares desenvolvidos do Devoniano ao Cretáceo. A unidade morfoescultural é a da Depressão Periférica Paulista que, no geral, apresenta formas de relevo denudacionais desenvolvidas sobre rochas Paleozóicas, Mesozóicas e sedimentos neogênicos, com o predomínio de colinas de topo amplo, tabulares e convexos, declividades baixas a moderada e densa rede de drenagem, geralmente de padrão dendrítico e condicionada por feições estruturais (fraturas e corpos intrusivos) (ROSS & MOROZ, 1997).

CONCEITOS E DEFINIÇÕES

A sistemática da análise morfoestrutural parte dos estudos desenvolvidos para a interpretação geológica de fotografias aéreas e imagens de satélite, inicialmente estabelecido por Guy (1966), implantada para as condições brasileiras por Riverau (1972) e Soares & Fiori (1976) e sistematizado para aplicação morfoestrutural por Soares *et al.* (1981 e 182).

No início da década de 80, devido ao crescimento das pesquisas em sensoriamento remoto no Brasil, ocorreram dois projetos sistemáticos que objetivaram, a partir das técnicas de fotointerpretação, identificar anomalias morfoestruturais para a prospecção de hidrocarbonetos na região do planalto

Ocidental Paulista, porção leste da Bacia do Paraná na Bacia do Paraná. Projetos esses desenvolvidos pelo INPE/IPT 1982 e INPE/PAULIPETRO em 1982. O desenvolvimento desses projetos culminou na sistematização da “análise morfoestrutural”, mais tarde publicada por Soares *et al.* (1981 e 1982).

Posteriormente, a análise morfoestrutural foi aplicada a diferentes finalidades, a exemplo da prospecção de águas subterrâneas em regiões cristalinas (MADRUCCI *et al.*, 2003); análises ambientais, tais como controle de aplicação de vinhoto na produção sucro-alcooleira (JIMÉNEZ-RUEDA *et al.*, 1989); planejamento territorial (JIMÉNEZ-RUEDA *et al.*, 1993); definição de traçado de obras lineares (OHARA *et al.*, 2003).

Embora os termos aqui utilizados para a descrição e caracterização das anomalias de drenagem sejam amplamente conhecidos e divulgados entre os estudiosos das geociências, achamos por bem conceituá-los. Os termos abaixo seguem os conceitos apresentados por O’Leary (1976) e Soares *et al.* (1981 e 1982).

- Formas anelares - representam o reflexo na superfície de camadas flexuradas, geralmente se estabelecem sobre estruturas dômicas ou depressões estruturais, concordantes com o acamamento ou com o fraturamento anelar.

- Formas radiais - também pode ser o reflexo do controle estrutural e indicam o sentido geral do mergulho das camadas, mas podem ser de expressão puramente topográfica (divergência de elementos de drenagem a partir de um ponto mais alto). Assim, recomenda-se que essas formas sempre sejam analisadas em conjunto com as formas de assimetria, para a precisa constatação dos altos e baixos estruturais.

- Formas de assimetria - fornecem indicações de mergulho convergentes ou divergentes do acamamento, definindo altos (domos) e baixos (depressões) estruturais. As formas de assimetria são identificadas a partir dos elementos de drenagem e de relevo. Os canais de drenagem tendem a se estabelecer de acordo com a disposição do acamamento das camadas inclinadas, sendo os canais mais alongados, subparalelos e de baixa angularidade, correm concordantes com ao sentido das camadas (consequentes), enquanto os canais mais curtos e com ângulos abertos correm em sentido perpendicular ao acamamento (obsequentes).

- Lineamento estrutural - uma feição linear mapeável, simples ou composta, contínua ou descontínua, da superfície terrestre (portanto natural), cujas partes estão alinhadas em um arranjo retilíneo ou suavemente curvo e que difere distintamente dos padrões e feições que lhes são adjacentes e, presumivelmente, reflete um fenômeno de subsuperfície. Os lineamentos estruturais são interpretados como discontinuidades da crosta que podem representar discordâncias estratigráficas e ou estruturais e geralmente representam os grandes falhamentos da área.

- Morfoestrutura - termo que define uma estrutura presumida, identificada a partir da análise e interpretação de informações de drenagem e relevo. As morfoestruturas são caracterizadas com altos (domos) e baixos (depressões) estruturais (Fig. 1).

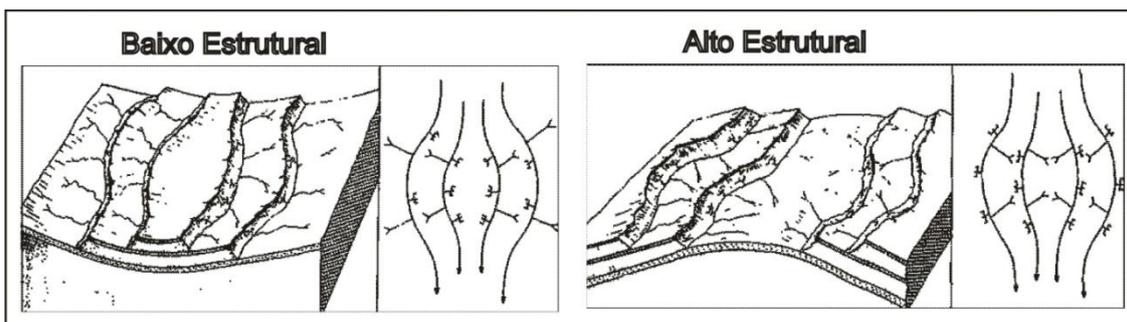


Figura 1: Modelo de altos (domos) e baixos (depressões) estruturais, modificado de Soares *et al.* (1891)

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento da pesquisa foram utilizadas fotografia aéreas do levantamento aerofotogramétrico do Estado de São Paulo de 1972, em formato analógico, na escala de 1:25.000. A opção pela utilização de fotografias aéreas esta diretamente relacionada com a escala que se pretende obter os resultados finais, de semidetalhe, além da possibilidade da visão estereoscópica do terreno, o que auxilia na identificação e delimitação das anomalias de drenagem.

A análise morfoestrutural está baseada no princípio de que o relevo e a drenagem tendem a desenvolver padrões específicos, em função de fatores litológicos e estruturais (SOARES *et al.*, 1982). O desenvolvimento desses padrões específicos de relevo e drenagem pressupõe reflexo de estruturas geológicas profundas e tais reflexos são passivos de identificação através de produtos de sensoriamento remoto. Assim, a sistemática parte da interpretação dos elementos de drenagem e relevo e suas relações espaciais, onde as morfoestruturas (altos e baixos estruturais) surgem como formas anômalas dentro da tendência regional, representando deformações nos maciços rochosos.

A aplicação da sistemática na área do município de Rio Claro se deu em três etapas operacionais: i) extração da rede de drenagem; ii) análise da rede de drenagem; iii) interpretação morfoestrutural.

Extração da rede de drenagem - a rede de drenagem foi obtida a partir da interpretação das fotografias aéreas, procurando sempre representá-las da maneira mais fiel possível, respeitando sua geometria e arranjo espacial. Apesar de muitos não considerarem esta etapa de grande valor, a representação da rede de drenagem feita de maneira displicente e sem o devido rigor, pode influenciar de maneira decisiva na interpretação morfoestrutural.

Análise da rede de drenagem - a análise da rede de drenagem está pautada na identificação de padrões anômalos da rede de drenagem com características distintas do padrão geral, que podem indicar a ocorrência de controle estrutural. Assim, foram analisadas as formas anelares, radiais e assimetrias, sendo também determinada a intensidade de estruturação dessas formas anômalas (Fig. 2). A extração dos lineamentos foi executada nessa mesma etapa, procurando auxiliar na identificação de

descontinuidades estruturais que interferem na distribuição espacial das morfoestruturas, podendo interromper ou orientar as feições.

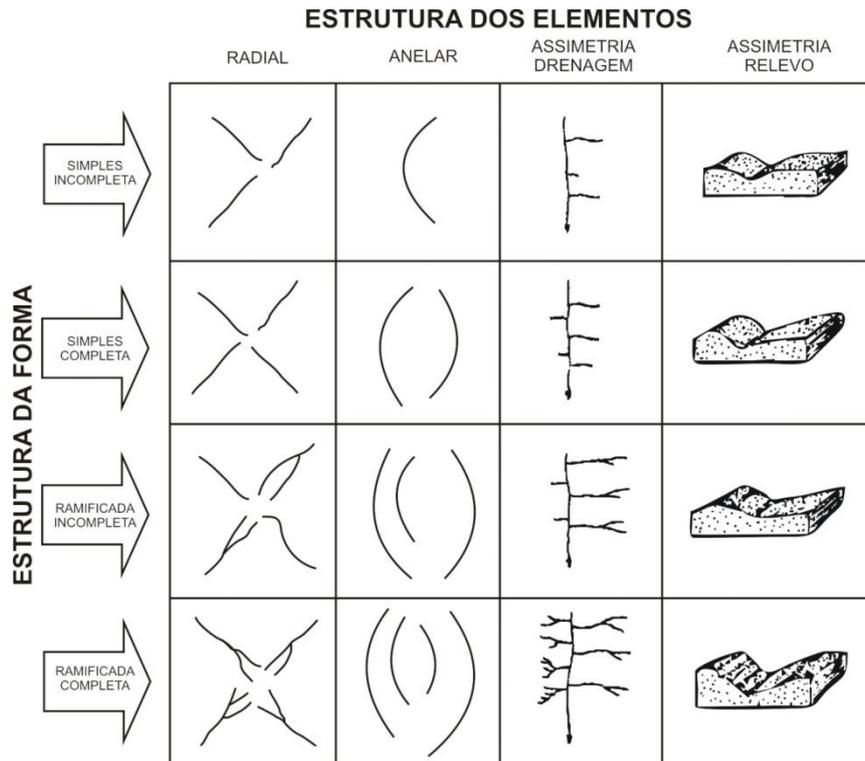


Figura 2: Classificação das formas anômalas, modificado de Soares *et al.* (1981)

Interpretação morfoestrutural - a interpretação das formas anômalas de drenagem deve seguir o “princípio de convergência de evidências”, segundo o qual, muitos itens separados de dados geológicos, todos indicando a presença de uma mesma estrutura, dão à interpretação dessa estrutura uma alta ordem de confiança (ALLUM, 1966). As anelares e radiais devem receber uma atenção especial, pois são as formas anômalas mais confiáveis para a identificação das morfoestruturas e qual é a intensidade das mesmas. Porém, essas devem ser analisadas em conjunto com as assimetrias, que permitirão identificar qual o sentido do mergulho das camadas/acamamento, auxiliando na identificação do tipo de morfoestrutura, alto ou baixo estrutural. Além da identificação dos altos e baixos estruturais, podem ser traçadas linhas de contorno estrutural não cotado, que possibilitam compreender o mergulho geral das camadas/acamamento e reconstruir a paleotopografia regional.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise e interpretação das fotografias aéreas a partir da sistemática da análise morfoestrutural teve início com a extração da rede de drenagem, onde buscou-se o maior detalhamento possível da sua geometria e distribuição espacial. Como dissemos anteriormente essa etapa nem sempre recebe a devida atenção e valor por parte dos pesquisadores, entre tanto ao analisarmos a Fig.

3 podemos notar o ganho de informação que obtivemos quando optamos por trabalhos com fotografias aéreas na escala de 1:25.000 (Fig. 3B) e não cartas topográficas na escala de 1:50.000 (fig. 3A).

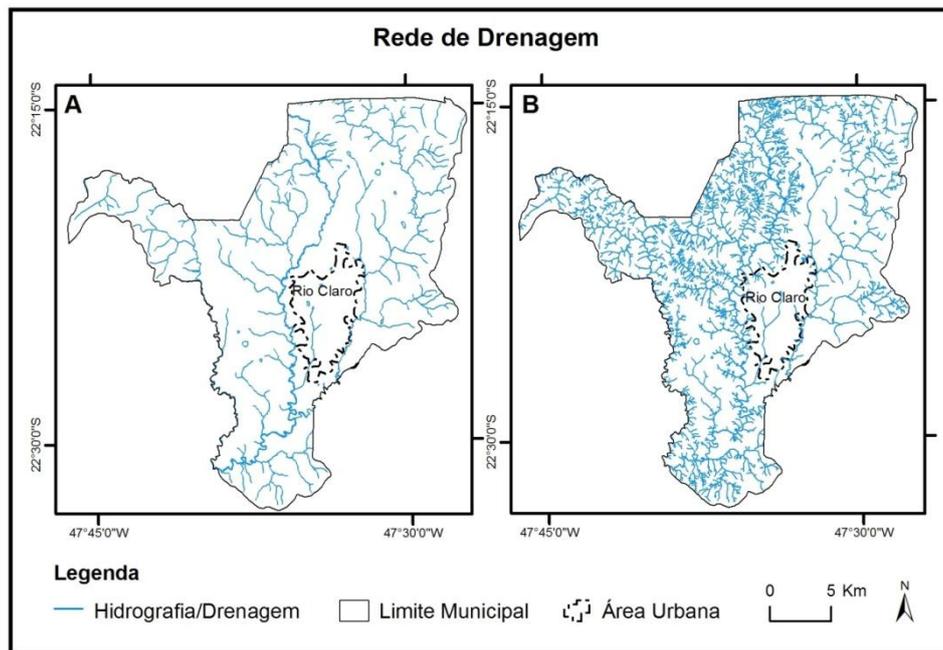


Figura 3: Rede de drenagem da área. A) folhas topográficas 1:50.000 e B) fotografias aéreas 1:25.000.

Tal ganho é evidente quanto ao volume de dados que puderam ser gerados, mas também deve ser ressaltado o ganho na qualidade dos dados, pois a extração de formas e objetos em fotografias aéreas apresenta boa fidelidade quanto à geometria e distribuição espacial dos objetos imageados, nesse caso os canais de drenagem. Quando se trabalha tendo como base de dados as cartas topográficas, parte dos dados referentes à rede de drenagem precisa ser gerada de forma subjetiva, a partir do adensamento da rede de drenagem e tendo como elemento guia a configuração das curvas de nível. Desta forma, em geral, o traçado da rede de drenagem não reflete com fidelidade sua geometria, podendo dificultar ou até mesmo comprometer as interpretações das anomalias de drenagem.

Após a extração da rede de drenagem procedeu-se a análise das formas de drenagem que se destacam como anomalias dentro do padrão dendrítico a subdendrítico que domina a área do município de Rio Claro.

Na análise das formas anômalas de drenagem (Fig. 4) foram identificadas as formas anômalas de drenagem representadas por anelares e radiais, sendo treze dessas formas avaliadas como simples incompleta e com baixo grau de estruturação, e apenas uma como simples completa, porém também com baixo grau de estruturação, pois possui formas radiais em apenas um de seus quatro quadrantes. Desta forma, a identificação das assimetrias e dos lineamentos estruturais tornou-se uma informação de grande valor para interpretação das morfoestruturas.

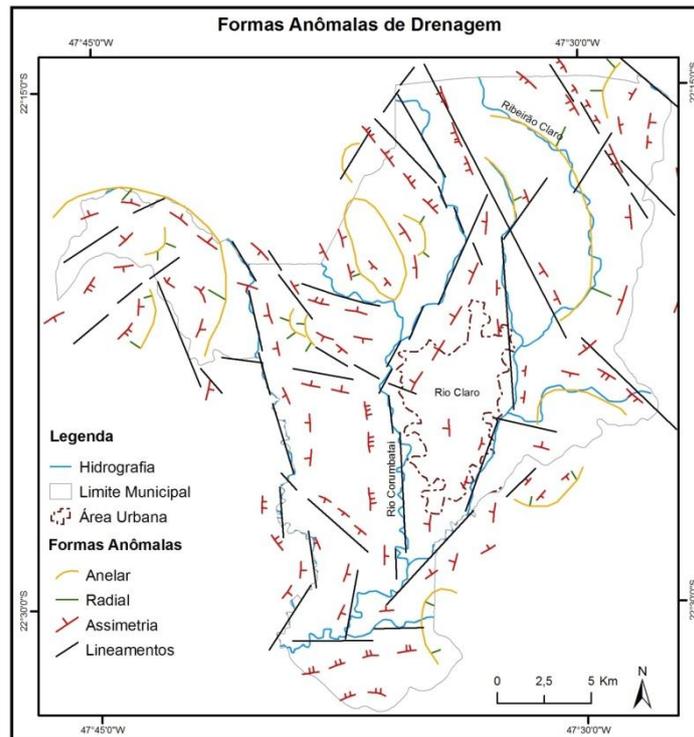


Figura 4: Mapa de formas anômalas de drenagem, a partir de fotografias aéreas 1:25.000.

A identificação das assimetrias teve como princípio a análise da rede de drenagem, avaliando a configuração dos afluentes dos canais principais, onde o objetivo foi avaliar qual o sentido do mergulho das camadas. As formas de assimetria também foram classificadas de acordo com o grau de estruturação (Fig. 2), representado pela quantidade de traços que indicam o mergulho das camadas. Sendo em sua grade maioria de baixo (um traço) a médio (dois traços) grau de estruturação.

Os lineamentos estruturais foram identificados, principalmente, a partir de feições alinhadas de drenagem, como nos rios Passa Cinco-Cabeças, Corumbataí e o ribeirão Claro. Entretanto, algumas feições de relevo representadas por quebras negativas também foram interpretadas como lineamentos estruturais. A distribuição dos lineamentos ocorre de forma homogênea por toda a área, sem que possam ser observados pontos de grande concentração ou ausência dos mesmos.

Ao final da análise das formas anômalas de drenagem foi possível determinar quais dessas formas, ou a convergências de formas, apresentam maiores evidências de refletirem estruturas geológicas profundas, e assim elaborar o mapa de linhas de contorno estrutural não cotadas (Fig. 5).

Como consequência foram encontradas algumas dezenas de altos e baixos estruturais na área, sem que houvesse o predomínio de um tipo de morfoestrutura em detrimento de outro. Algumas morfoestruturas apresentam forte estruturação, o que evidencia o reflexo de estruturas geológicas profundas, e outras, baixa estruturação, podendo estar associadas a estruturas menos evidentes ou até mesmo a relacionados a processos morfogenéticos.

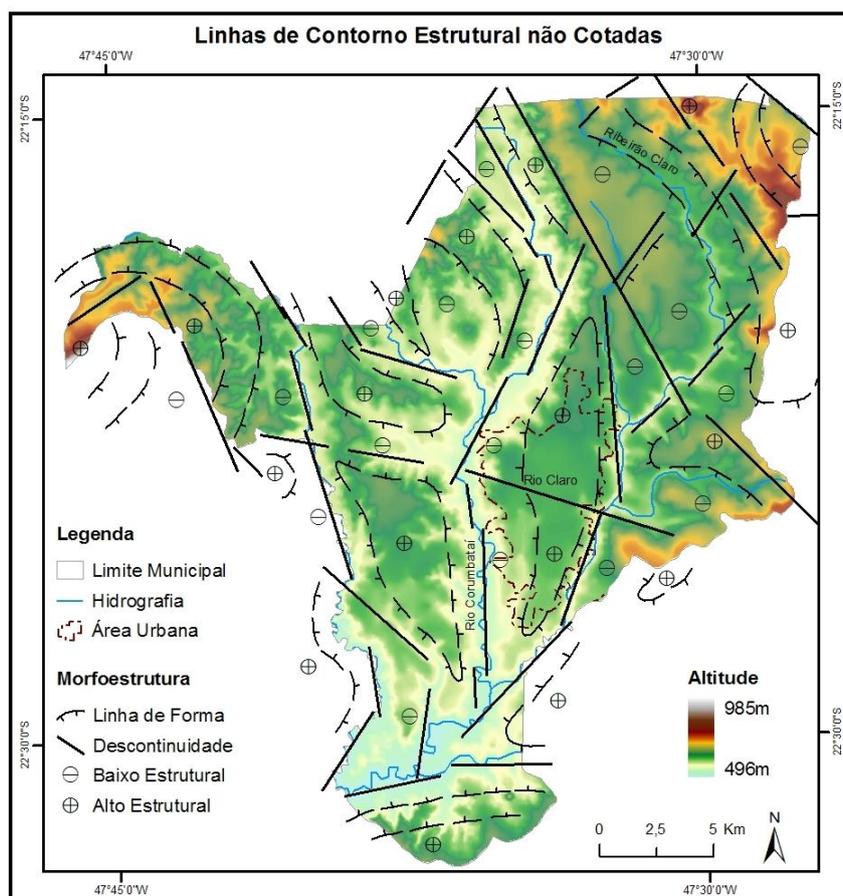


Figura 5: Mapa de linhas de contorno estrutural não cotadas do município de Rio Claro - SP.

Os altos estruturais em geral apresentam-se como feições amplas, com formas circulares ou pouco deformadas. Encontram-se predominantemente na periferia da área estudada, estando quase sempre associados a intrusões de Diabásio, como caso da porção a leste da área urbana de Rio Claro onde se encontra o horto florestal; nas áreas mais elevadas a nordeste do município onde encontramos o sill de Diabásio da Mata Negra e; na porção sul, onde ocorre a presença de uma estrutura dômica intensamente debatida na literatura geológica (SOUSA, 2002), o Domo de Pitanga.

Outras morfoestruturas que configuram altos bem estruturados podem ser observadas nas áreas topograficamente altas do extremo oeste do município, estando associadas aos remanescentes da Superfície Urucáia (PENTEADO, 1968). No centro da área também são encontrados altos estruturais, esses estão associados aos remanescentes da Formação Rio Claro, localmente se apresentam como altos estruturais e altos topográficos.

Os baixos estruturais, em geral, possuem formas alongadas e estreitas estando associado aos principais vales fluviais, o que indica um forte controle estrutural da rede de drenagem, possivelmente condicionada por pequenos “grabens”. O controle estrutural também pode ser observado a partir da análise da geometria retilínea dos principais canais fluviais e da dimensão e distribuição das planícies de inundação que, quando presentes, nem sempre são proporcionais aos canais fluviais. Grande parte dos canais fluviais da área possui cursos estabelecidos diretamente sobre o substrato rochoso e

apresentam formas que indicam forte controle estrutural, como corredeiras, cotovelos e trechos retilíneos.

Apesar da aparente monotonia referente à distribuição das feições morfoestruturais, existem algumas áreas onde essa monotonia é quebrada, surgindo morfoestruturas que provavelmente evidenciam um controle pela distribuição dos lineamentos estruturais ou inversões de relevo.

A área que mais nos chamou a atenção quanto à distribuição das morfoestruturas é a porção a nordeste da área urbana de Rio Claro, situada na porção mais elevada de um amplo planalto que se estende por quase toda a área da direção N/S. Com relação ao relevo a área se apresenta como um alto topográfico plano e extenso, entretanto quando analisamos a situação morfoestrutural podemos observar a existência de uma série de baixos estruturais alinhados na direção NW/SE.

Outra peculiaridade da mesma área são os limites das morfoestruturas, que geralmente coincidem com grandes lineamentos estruturais. Assim acreditamos que o comportamento do mergulho das camadas deve ter sido influenciado por falhamentos recentes, que provavelmente aproveitaram antigas zonas de fraqueza e atualmente estão refletidos em superfície, condicionando a disposição da rede de drenagem e do relevo.

Ao analisarmos o tamanho, forma e disposição dos altos e baixos estruturais, podemos notar que os altos apresentam formas amplas, circulares e bem estruturadas, já os baixos apresentam formas estreitas, por vezes alongadas e deformadas e em geral com pequena estruturação, estando condicionados por lineamentos estruturais. Devido a tal configuração, podemos concluir que o nível erosivo da área não é muito profundo, dominando altos estruturais amplos e baixos estruturais estreitos.

POSSÍVEIS APLICAÇÕES AMBIENTAIS

Como abordado anteriormente, a análise morfoestrutural pode ser aplicada a diferentes áreas das geociências, entre elas a pesquisa de hidrocarbonetos, planejamento territorial, obras civis e sanitárias, problemas de erosão e questões ambientais. Jiménez-Rueda *et al.* (1993) defende que a análise morfoestrutural é fundamental para a estabelecer a dinâmica das paisagens e, assim, compreender suas potencialidades e fragilidades, para que desta maneira se possa planejar as diversas formas de uso da terra em concordância com seu potencial ambiental.

Tal afirmação é válida a partir do entendimento de que as morfoestruturas exercem forte controle sobre os processos que ocorrem em subsuperfície e superfície, condicionando os aspectos pedogeoquímicos e fisiográficos e, assim, interferindo de maneira relevante nas potencialidades e fragilidades frente às intervenções antrópicas e o uso e manejo adequado dos solos. A Tab. 1 resume a relação entre as morfoestruturas e processos pedogeoquímicos e a Tab. 2 relaciona as morfoestruturas e suas principais aplicações.

Tabela 1: Relação entre anomalias morfoestruturais e processos pedogeoquímicos, modificado de Jiménez-Rueda *et al.* (1993)

	Alto Topográfico Alto Estrutural	Baixo Topográfico Alto Estrutural	Baixo Topográfico Baixo Estrutural	Alto Topográfico Baixo Estrutural
Intemperismo	Muito forte	Forte	Fraco	Moderado/forte
Circulação de água	Intensa	Média a alta	Alta e direcionada	Baixa e direcionada
Processos	Pedogênese > Morfogênese	Morfogênese > Pedogênese	Morfogênese > Pedogênese	Pedogênese > Morfogênese
Coberturas de Alteração Intempérica	Latossolização Ferruginização Laterização	Latossolização Ferruginização Laterização Argilização Melanização	Melanização Gleização Cambissolização	Argilização Latossolização Melanização Cambissolização
Unidades de Alteração Intempérica	Alíticas Monosialíticas Mono/alítica/bisialítica	Monosialíticas Alíticas Mono/bisialítica	Bisialítica Monosialítica	Mono/bisialítica Bi/monosialítica Mono/ali/bisialítica
Minerais de Argila	Caulinita Gibsitita	Caulinita Gibsitita Esmectita	Esmectita Caulinita	Caulinita Esmectita
Processos Especiais	Bauxitização Latossolização Laterização Hidrólise total Oxidação total Dessilicificação Depotatização Desodificação Descalcificação Descarbonatação	Hidrólise total/parcial Silicificação parcial Argilização parcial Oxidação parcial	Hidrólise insipiente Silicificação intensa Redução intensa Argilização intensa	Hidrólise total/parcial Oxido/Redução moderada Argilização
Tipos de solos	Argissolos Cambissolos	Argissolos Cambissolos Neossolos	Gleissolos Neossolos Organossolos	Argissolos Cambissolos Neossolos Gleissolos

Tabela 2: Morfoestruturas: potencialidades e limitações, modificado de Jiménez-Rueda *et al.* (1993) e Shimbo (2006)

	Alto Topográfico Alto Estrutural	Baixo Topográfico Alto Estrutural	Baixo Topográfico Baixo Estrutural	Alto Topográfico Baixo Estrutural
Agricultura				
Fertilidade	Atual e potencial muito baixa	Atual e potencial baixa/média	Atual e potencial muito alta	Atual e potencial média/alta
Erosão	Quase nula	Moderada a forte	Muito forte	Muito forte a moderada
Potencialidades gerais	Rotação de culturas anuais e culturas semiperenes	Culturas semiperenes e anuais	Reflorestamentos, horticultura e áreas de proteção ambiental	Culturas semiperenes e reflorestamentos
Mecanização	Intensa	Moderada a restrita	Restrita	Moderada a restrita
Uso de adubos	Restrito	Restrito a inadequado	Inadequado a restrito	Adequado
Obras Civas e Sanitárias				
Estradas	Adequado	Adequado a moderado	Inadequado	Moderado a inadequado
Edificações	Adequado	Moderado	Inadequado	Moderado a inadequado
Aterros	Restrito	Restrito a inadequado	Muito restrito a restrito	Adequado
Efluentes líquidos e sólidos	Restrito	Restrito a inadequado	Inadequado a restrito	Adequado

Ao analisarmos a distribuição das morfoestruturas (Fig. 5) e correlacionarmos com as potencialidades e fragilidades apresentadas na Tab. 2, observamos que de maneira geral o município de Rio Claro apresenta na maior parte de suas terras baixa fertilidade, exceto nos vales dos principais rios e na porção a nordeste da área urbana. As taxas de erosão estão entre baixa e moderada.

Desta forma, os planos de manejo e uso do solo rural devem dar maior atenção e incentivo ao desenvolvimento de culturas anuais rotativas e/ou semiperenes nos altos estruturais e reflorestamento ou manejo restrito aos baixos estruturais. O uso de adubo e maquinário também deve ser restrito a poucas áreas do município, devendo ser incentivada a adoções de práticas conservacionistas dos solos principalmente nos baixos estruturais.

A implantação de obras civis (estradas e edificações) deve restringir-se aos altos estruturais, preferencialmente aqueles que coincidam com altos topográficos, como é o caso de boa parte da área urbana de Rio Claro. Os baixos estruturais devem ser evitados, principalmente quando associados a baixos topográficos. Em geral os baixos/baixos apresentam problemas constantes com solos mal

drenados (hidromórficos) que quando passam por um processo de drenagem artificial apresentam inúmeros problemas devido a presença de argilominerais 2:1, como a instabilidade, colapsividade e erodibilidade.

Sabe-se que a escolha do local adequado para a implantação de obras sanitárias precisa ser realizada com extremo rigor, pois caso contrário os riscos de contaminação aumentam significativamente. Sendo assim, a análise morfoestrutural em muito pode contribuir na prospecção de locais propícios para a implantação desse tipo de obra.

No caso dos aterros sanitários procura-se por morfoestruturas do tipo baixo estrutural e alto topográfico que, quando composta por material argiloso impermeável e de alta atividade catiônica, dificulta a percolação e circulação dos resíduos líquidos (chorume) inerentes a esse tipo de empreendimento. Para exemplificar esse tipo de estrutura podemos fazer analogia com uma taça de vinho, onde todo o vinho derramado na taça fica retido no seu interior em uma posição elevada em relação à base da taça.

Entretanto, a análise morfoestrutural deve ser aplicada apenas na fase inicial da prospecção, permitindo estabelecer áreas como maior probabilidade de acerto. Estudos que permitam detalhar as estruturas e o comportamento dos solos/rocha devem ser aplicados para que a área possa ser explorada de maneira segura e eficiente. Para o detalhamento podem ser utilizados métodos geofísicos, análises físicas, químicas e mineralógicas dos solos e trabalhos de campo.

Na área do município de Rio Claro existem apenas duas áreas que possuem características semelhantes às que contemplem obras sanitárias, uma já discutida a nordeste da área urbana e outra na porção centro-oeste do município. Contudo, ambas as estruturas possuem fraco grau de estruturação e apresentarem solos/rocha extremamente arenosos, o que não contribui para o controle da percolação e circulação do chorume, sendo pouco confiáveis para esse tipo de empreendimento.

CONCLUSÃO

1 – a extração cuidadosa da rede de drenagem a partir de fotografias aéreas em muito contribuiu para a precisão da análise das formas anômalas e interpretação das morfoestruturas;

2 – a aplicação da análise morfoestrutural pode ser considerada uma técnica expedita e de baixo custo, que atende a levantamentos de reconhecimento do arcabouço estrutural de dadas áreas. Permitindo que sejam recuperadas informações estruturais a partir da análise e interpretação de elementos superficiais de drenagem e relevo;

3 – no município de Rio Claro predominam morfoestruturas do tipo alto estrutural (dômicas) amplas e do tipo baixo estrutural estreitas, o que evidência níveis erosivos rasos. Os principais altos estruturais estão associados a intrusões de Diabásio e os principais baixos estruturais estão associados aos vales fluviais, possivelmente condicionados por pequenos “grabens” localizados;

4 – a aplicação da análise morfoestrutural em questões ambientais e de planejamento em muito pode contribuir, pois a partir do conhecimento sobre as morfoestruturas podemos compreender aspectos relacionados à dinâmica das paisagens e, assim, planejar o uso dos recursos naturais de acordo com suas potencialidades e fragilidades.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer a FAPESP (processo 08/55053-3) pelo auxílio financeiro desta pesquisa e a CAPES pela bolsa de mestrado concedida ao primeiro autor deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ALLUM, A. E. **Photogeology and regional mapping**. J. Pergamon, Oxford, 1966, 107 pp., 29 Fig., 16 Plates, 2 Tables.

GUY, M. Quelques principes e quelques expériences sur la methodologie de la photo-interpretation. IN: Symposium International de Photo-Interpretation, 2, 1966, Paris. **II Symposium International de Photo-Interpretation**: Acte, 1966, v.1, p.21-41.

JIMENEZ-RUEDA, J.R.; MATTOS, J.T. MALAGUTTI FILHO, W. Estudos integrados para controlar impactos ambientais de um sistema de irrigofertilização com vinhoto na região centro-leste do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPCION REMOTA, 4., 1989a, Bariloche: **Anais...** Bariloche, 1989, v.2, p. 459-465.

JIMÉNEZ-RUEDA, J.R.; NUNES, E.; MATTOS, J.T. Caracterização fisiográfica e morfoestrutural da Folha São José de Mipibu, RN. **Geociências**, São Paulo, 12(2): 481-491, 1993.

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

O'LEARY, D.W.; FRIEDMAN, J.D.; POHN, H.A. Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. **Geol. Soc. of Am. Bul.**, n. 87, p. 1463-1469, 1976.

PENTEADO, M.M. Geomorfologia do setor centro-oeste da Depressão Periférica Paulista. 1968. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro, Rio Claro. (**Série Teses e Monografias**, São Paulo, n. 22, 1976, p. 86.)

RIVEREAU, J.C. Curso de fotointerpretação: notas de aulas. **Série Didática**. Brasília, Departamento de Geociências - UNB, n. 4, 1972, 128p.

ROSS, J.L.S. & MOROZ, I.C. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: USP, v. I e II, 1997. p. 64 e 2 mapas, escala 1:500.000.

SHIMBO, J. Z. **Zoneamento geoambiental como subsídio aos projetos de reforma agrária**: estudo de caso: assentamento rural Pirituba II (SP). 2006. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.

SOARES, P. C.; FIORI, A. P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **Notícia Geomorfológica**, v. 16, n. 32, p. 71-104, Dez. 1976.

SOARES, P.C.; MATTOS, J.T.; BALIEIRO, M.G.; BARCELLOS, P.F.; MENESES, P.R.; GUERRA, SMS.; CSORDAS, S.M. Análise Morfoestrutural Regional com imagens de radar e Landsat na Bacia do Paraná. In: Simpósio Regional de Geologia, 3., Curitiba, 1981. Anais ... Curitiba, SBG, 1981, v.1, p. 201 – 216.

SOARES, P.C.; LUZ, M. E. R.; REDAELLI, R.; GUERRA, S. M. S. Análise morfoestrutural em fotos aéreas: aplicação na prospecção de hidrocarbonetos na Bacia do Paraná. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2., 1982, Brasília,. **Anais...** Brasília, DF: CNPQ, 1982. v. 1, p.157-168.

SOUSA, M.O.L. **Evolução tectônica dos altos estruturais de Pitanga, Artemis, Pau d'Alho e Jibóia – centro do estado de São Paulo.** Universidade Estadual Paulista – UNESP, Rio Claro, Tese de Doutorado, 206 p., 2002.