

Avaliação da aptidão para a ocupação urbana: Um estudo de caso a partir de condicionantes geomorfológicos e hidrológicos

Urban occupation aptitude evaluation: A case based on geomorphologic and hydrologic conditions

Rodrigo Braga Moruzzi

*Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento- IGCE – UNESP, Rio Claro, SP.
e-mail: rmoruzzi@rc.unesp.br*

Cenira Maria Lupinacci da Cunha

*Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento- IGCE – UNESP, Rio Claro, SP.
e-mail: cenira@rc.unesp.br*

Roberto Braga

*Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento- IGCE – UNESP, Rio Claro, SP.
e-mail: rbraga@rc.unesp.br*

RESUMO: Atualmente, a expansão dos espaços urbanos deve ocorrer de acordo com o previsto no Plano Diretor de cada município. Neste contexto, insere-se o município de Brotas, cujo Plano Diretor prevê a expansão urbana em direção a uma bacia hidrográfica localizada no setor oeste da cidade a qual apresenta hoje sérios problemas vinculados a processos erosivos lineares, demandando uma reavaliação da expansão na área. Esta reavaliação, apresentada neste artigo, objetivou identificar se há possibilidades de expansão urbana para este setor ou se é necessário remodelar o zoneamento previsto no Plano Diretor. A obtenção dos dados foi realizada através de procedimentos técnicos da hidrologia e da geomorfologia visando produzir documentos cartográficos e informações hidrológicas pertinentes à avaliação das principais características deste terreno e assim definir as possibilidades de seu uso e ocupação. Os resultados desta pesquisa indicam que a área analisada constitui-se em terreno não apto ao uso do solo urbano.

ABSTRACT: Currently, urban spaces expansion in Brazil must to be in accordance to the Managing Plan of each city. In this context, Brotas-SP city is inserted, whose Managing Plan foresees the urban expansion in direction to a basin located in the city sector west. That basin presents serious problems regarding linear erosive processes which demand an expansion area review. The main paper aim was to identify if there are sustainable possibilities to urban expansion or if it is necessary to remodel the previewed Managing Plan zoning. The data assessment was carried out taking into account geomorphologic and hydrologic conditions. Cartographic maps and runoff graphs were generated thus permitting to define the use and occupation possibilities. The results of this research indicate that the analyzed area consists in a non apt land to urban use.

1. INTRODUÇÃO

O planejamento da expansão dos espaços urbanos, além de uma necessidade, tornou-se atualmente exigência legal através da obrigatoriedade da elaboração de planos diretores. Contudo, faz-se necessário que tais planos sejam constantemente atualizados e, em muitas situações,

revistos, principalmente, no que tange as possibilidades de uso e expansão urbana.

Neste contexto, insere-se o município de Brotas, cujo Plano Diretor prevê a expansão urbana em direção a uma bacia hidrográfica localizada no setor oeste da cidade. Porém, atualmente, verifica-se que esta área vem apresentando sérios problemas vinculados a processos erosivos lineares, demandando uma reavaliação da expansão na área. Esta reavaliação,

realizada nesta pesquisa, objetivou identificar se há possibilidades de expansão urbana para este setor, com base em critérios geomorfológicos e hidrológicos, ou se é necessário remodelar o zoneamento previsto no Plano Diretor no que tange a esta área.

Assim, neste artigo, apresenta-se, inicialmente, o problema e sua evolução, constatada durante o período de realização da pesquisa. A seguir relatam-se as técnicas geomorfológicas e hidrológicas utilizadas, seguindo-se da análise dos dados produzidos descritos no item resultados. Por fim, apresenta-se, a título de considerações finais, o parecer sobre a aptidão ao uso do solo urbano, incluindo diretrizes para a ocupação da área.

2. O PROBLEMA E SUA EVOLUÇÃO

A área da bacia de estudo é ocupada, atualmente, por pequeno setor de área urbana, situada no topo e, em sua maior extensão, por atividades vinculadas à agropecuária. Assim, todo setor de cabeceira é recoberto pelo cultivo da cana de açúcar e as vertentes da média bacia pelas pastagens. Além desses usos da terra, o setor de fundo de vale ainda apresenta-se recoberto por vegetação que pode ser caracterizada como de porte florestal.

Nos limites da cobertura florestal com o setor de cana e pastagem verifica-se a ocorrência de diversos processos erosivos lineares que se caracterizam, em alguns setores, como sulcos erosivos e que, em outros, nitidamente já atingem o estágio de voçorocas.

Os sulcos erosivos ocorrem também rompendo as curvas de nível já construídas pelos proprietários rurais, tanto na área de plantação de cana de açúcar, como na área tomada pelas pastagens.

A localização das voçorocas é predominantemente nas baixas vertentes, demonstrando uma tendência ao remonte do setor de nascentes do córrego pertencente à bacia de estudo. Os pipes, condutos de subsuperfície por onde a água transita, presentes no interior das voçorocas demonstram uma intensa dinâmica erosiva de subsuperfície que cria abatimentos do solo tanto nas laterais como nas cabeceiras de tais voçorocamentos.

Verifica-se ainda intensa dinâmica dos referidos processos, pois do início desta pesquisa (em julho

de 2007) até o período de dezembro ocorre uma evolução em área do voçorocamento.

Este cenário está localizado, conforme o Plano Diretor Municipal, dentro do perímetro urbano de Brotas na interface entre uma Zona Predominantemente Residencial (ZPR4) e uma Zona de Baixa Densidade (ZBD4), ambas caracterizadas como aptas ao assentamento urbano (Figura 1). A situação foi avaliada de acordo com as técnicas a seguir apresentadas.

3. TÉCNICAS DE PESQUISA

A obtenção dos dados foi realizada através de procedimentos técnicos da hidrologia e da geomorfologia visando produzir documentos cartográficos e informações hidrológicas pertinentes à avaliação das principais características deste terreno e assim definir as possibilidades de seu uso e ocupação. A seguir serão apresentadas as diversas técnicas utilizadas.

3.1 Técnicas Cartográficas

3.1.1 Base Cartográfica

Inicialmente, para avaliar a topografia da área estudada, foi elaborada a base cartográfica da bacia hidrográfica através da digitalização da drenagem, das curvas de nível e das estradas vicinais. Estes dados foram obtidos através da carta topográfica Brotas I – SF022-Z-B-III-4-NO-B, elaborada por São Paulo [10], datada de 1980, na escala 1:10.000. Tais dados foram de crucial importância para a avaliação das possibilidades de escoamento da água.

3.1.2 Carta Geomorfológica

A carta geomorfológica de detalhe (1:10.000) da área foi elaborada através da interpretação de pares estereoscópicos de fotografias aéreas as quais já existiam na Prefeitura Municipal de Brotas. Esta carta permitiu avaliar as condições de relevo e, dedutivamente, compreender os processos atuantes sobre estas.

Para sua elaboração, além da fotointerpretação foram realizados trabalhos de campo visando a reambulação dos dados e sua complementação. A simbologia utilizada é tradicionalmente conhecida na geomorfologia, baseada em autores franceses, principalmente Tricart [11].

3.1.3 Carta Geológica

Foi elaborada uma carta geológica da área através da compilação de dados bibliográficos já existentes e de levantamentos de campo onde, através do uso do GPS, foram estabelecidos com precisão os limites litológicos existentes.

3.2 Dados Granulométricos

Os dados pedológicos foram obtidos através da análise granulométrica de amostras deformadas as quais foram coletadas de acordo com a localização apresentada na Figura 2. Os dados granulométricos auxiliaram na avaliação das condições de permeabilidade dos solos, assim como de coesão.

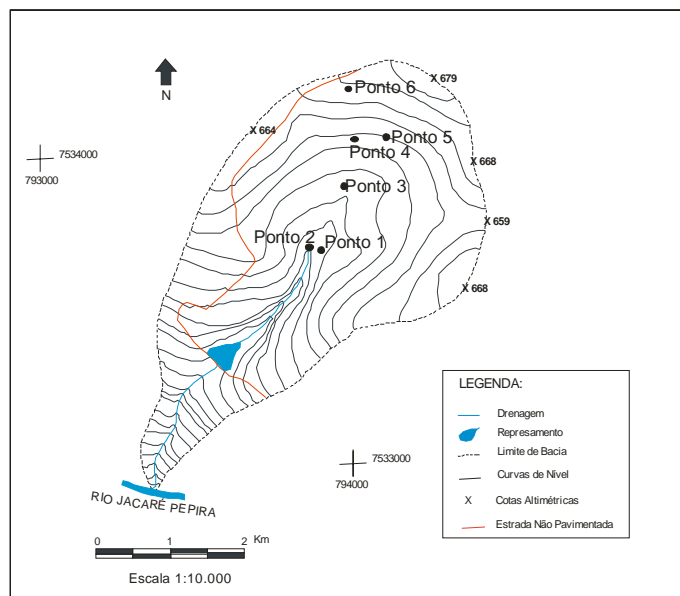


Figura 2 – Localização dos pontos de amostragem de solos.

A análise granulométrica foi realizada no Laboratório de Solos do Departamento de Planejamento Territorial da Unesp (Campus de Rio Claro) através da técnica desenvolvida pelo Instituto Agrônomo de Campinas, descrita e publicada por Camargo *et al.* [2], cujo princípio refere-se à desagregação mecânica da amostra, dispersão e avaliação da proporção relativa das partículas primárias por sedimentação em meio aquoso. Para tal utiliza-se, além das peneiras para as diversas frações de areia, o agitador rotatório de Wiegner e a balança analítica. O silte e a argila foram avaliados através do método da pipeta, no qual, após a suspensão ser agitada por 30 minutos, realiza-se a pipetagem a 10 cm para argila + silte e a 5 cm para argila, com sucção contínua para evitar turbilhonamento. Tais procedimentos descritos por Camargo *et al.* [2] são avaliados

como de alta precisão e conduzem a resultados satisfatórios na avaliação granulométrica de amostras deformadas.

3.3 Técnicas Hidrológicas

Tomou-se como ponto de partida que a alteração da cobertura vegetal da bacia, objeto de estudo, aponta como parte responsável pelo aumento dos problemas erosivos ao redor da nascente. As águas oriundas do escoamento superficial direto convergem para uma vertente que desemboca diretamente na mata onde se encontra a nascente. Como as vazões sofreram alterações além da capacidade de coesão do solo desprotegido, fato visivelmente comprovado pelas avaliações *in loco*, o aumento do transporte de solo se dá de forma progressiva apresentando a necessidade de intervenção urgente a fim de conter a perda excessiva de material.

Os estudos hidrológicos apresentados neste documento têm por objetivo precípuo identificar os condicionantes para a ocupação da área de interesse visando conter os problemas de erosão ocasionados pelo escoamento superficial direto. Assim, foi realizada uma avaliação quantitativa das vazões resultantes das modificações de cobertura do solo através da análise de hietogramas e hidrogramas de projeto. Para a identificação das vazões decorrentes do escoamento superficial foram avaliados diferentes cenários de cobertura do solo. Para tal, foram realizadas simulações hidrológicas da região de interesse utilizando o modelo IPHS1, considerando o ponto da nascente como exutório.

Preliminarmente, foram analisadas as áreas cobertas por pluviômetros, os dados hidrológicos disponíveis e definidos os postos pluviométricos de interesse. De posse dos documentos, os dados pluviométricos foram preenchidos (quando necessário) utilizando-se o Método de Ponderação Regional e consistidos empregando o Método de Dupla Massa, para cada posto pluviométrico. A avaliação da frequência de ocorrência foi determinada através da análise estatística dos dados utilizando o Método de Gumbel. As chuvas médias de 24 horas foram obtidas com base nas chuvas médias de 1 dia e, com isso, estabelecidas as chuvas de curta duração. As curvas IDF foram obtidas empregando-se o Método das Relações de Durações. A distribuição espacial das chuvas diárias foi considerada utilizando o Método de

Thiessen. Os hietogramas de projeto foram obtidos através do Método de Sifalda.

Em função das limitações de dados disponíveis da bacia considerou-se para a separação do escoamento o modelo proposto pelo *Soil Conservation Service* (modelo SCS).

Para tal, foram estabelecidos os seguintes procedimentos:

- Classificou-se o tipo de solo existente na bacia;
- Determinou-se a ocupação predominante;
- Com a tabela do SCS para a Condição de Umidade II determinou-se o valor de CN (“Curve Number”);
- Corrigiu-se o CN para a condição de umidade desejada;
- determinou-se o CN pela média ponderada devido aos diferentes tipos de solo e ocupações.

A determinação da Precipitação Excedente pelo Método do SCS-USDA [13] pressupõe as relações entre a precipitação, o deflúvio superficial, o grau de vegetação, o tipo e ocupação do solo de acordo com a expressão:

$$\frac{P - Hexc}{S^*} = \frac{Hexc}{P} \quad \text{ou} \quad Hexc = \frac{P^2}{S^* + P} \quad (1)$$

Considerando que as perdas iniciais representam 20% da capacidade máxima:

$$Hexc = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad \text{para } P > 0.2S \quad (2)$$

$$\text{Quando } P < 0.2S \Rightarrow P = 0 \quad (3)$$

Onde: P é a precipitação; Hexc. é a precipitação excedente; S é o potencial máximo de retenção do solo, relacionado a um índice associado à vegetação, tipo e ocupação do solo, denominado CN:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{resultando:} \quad CN = \frac{1000}{10 + \frac{S}{25,4}} \quad (4)$$

Os valores de CN foram obtidos em função da cobertura e do tipo hidrológico de solo para a Condição II de umidade (Tabela 1).

Tabela 1. Valores de CN em função da cobertura e do tipo hidrológico de solo para a Condição II de umidade. Adaptado da fonte [13]

Tipo de uso do solo/ Tratamento/		Grupo Hidrológico			
Condições hidrológicas		A	B	C	D
Uso Residencial					
Tamanho médio do lote até 500 m ²	% Impermeável 65	77	85	90	92
1000 m ²	38	61	75	83	87
1500 m ²	30	57	72	81	86
Estacionamentos pavimentados, telhados		98	98	98	98
Ruas e estradas:					
pavimentadas, com guias e drenagem		98	98	98	98
com cascalho		76	85	89	91
de terra		72	82	87	89
Áreas comerciais(85% de impermeabilização)		89	92	94	95
Distritos industriais (72% impermeável)		81	88	91	93
Espaços abertos, parques, jardins:					
boas condições, cobertura de grama > 75%		39	61	74	80
condições médias, cobertura de grama > 50%		49	69	79	84

Os grupos hidrológicos do solo foram definidos de acordo com a classificação proposta pelo Método do SCS-USDA [13]:

Grupo A- Solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a 8%, não há rocha nem camadas argilosas até a profundidade de 1,5m. O teor de húmus é muito baixo, não atingindo 1%

Grupo B- Solos arenosos menos profundos que os solos do Grupo A e com menor teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. No caso de terras roxas este limite pode subir a 20% graças a maior porosidade. Não pode haver pedras e nem camadas argilosas até 1,5m, mas é quase sempre presente camada mais densificada que a camada superficial.

Grupo C- Solos barrentos com teor total de argila de 20 a 30% mas sem camadas argilosas

impermeáveis ou contendo pedras até profundidades de 1,2m. No caso de terras roxas, estes dois limites máximos podem ser 40% e 1,5m. Nota-se, a cerca de 60cm de profundidade, camada mais densificada que no Grupo B, mas ainda longe das condições de impermeabilidade.

Grupo D- Solos argilosos (30 a 40% de argila total) e ainda com camada densificada a uns 50cm de profundidade. Solos arenosos como do grupo B, mas com camada argilosa quase impermeável ou horizonte de seixos rolados.

As Condições Típicas de Umidade do Solo foram definidas como:

CONDIÇÃO I - solos secos - as chuvas nos últimos 5 dias não ultrapassam 15mm;

CONDIÇÃO II - situação média na época das cheias - as chuvas nos últimos 5 dias totalizaram entre 15 e 40mm;

CONDIÇÃO III - solo úmido (próximo da saturação) - as chuvas nos últimos 5 dias foram superiores a 40mm e as condições meteorológicas foram desfavoráveis a altas taxas de evaporação.

Assim, a conversão para diferentes condições pode ser realizada segundo as seguintes expressões:

$$CN(I) = \frac{4,2CN(II)}{10 - 0,058CN(II)} \quad (5)$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0,13CN(II)} \quad (6)$$

As alterações sobre o uso e manejo do solo da bacia foram avaliadas por meio de hidrogramas construídos para diferentes cenários, a saber:

Cenário I: Situação pré-ocupação;

Cenário II: Situação atual com cana plantada;

Cenário III: Situação atual com cana na entressafra;

Cenário IV: Situação subtraindo o loteamento e substituindo pela cana, considerando-a plantada e mantendo-se a área de pasto;

Cenário V: Aumento da área de loteamento avançando sobre a área da cana, mantendo-se a área de pastagem;

Cenário VI: Combinação de alternativas considerando melhorias nas áreas de cana e pastagens, mantendo a área do loteamento.

Desta forma, para cada cenário de cobertura foram determinados os valores do número da curva (CN).

Estudos preliminares foram conduzidos visando verificar a duração crítica para a tormenta de projeto.

Para cada cenário avaliado, considerou-se o tempo de recorrência de 10 anos para chuvas de duração de 1h. Os resultados foram comparados com um Cenário de Referência, considerando a área com cobertura vegetal natural (conceito do Impacto Hidrológico Zero-IHZ).

4. RESULTADOS

4.1 Características Lito-Pedo-Morfológicas e Fragilidades Associadas

Na bacia hidrográfica que compõem o terreno de expansão urbana objeto deste estudo, afloram litologias mesozóicas do Grupo São Bento, representadas pelas formações Botucatu e Serra Geral, ambas do Jurássico. White (1908), citado por IPT [8], designou por “série São Bento” o conjunto de arenitos predominantemente avermelhados encimados pelas “eruptivas da Serra Geral” (Fig. 3).

Dessa forma, a Formação Botucatu constitui-se por arenitos de granulação fina a média, uniforme, com disposição cruzada tangencial, característica de dunas caminhantes, conforme ref.[8]. Teve, segundo Perinotto e Zaine [9], como processo gerador de seus arenitos a ação dos ventos, a partir de dunas eólicas desérticas.

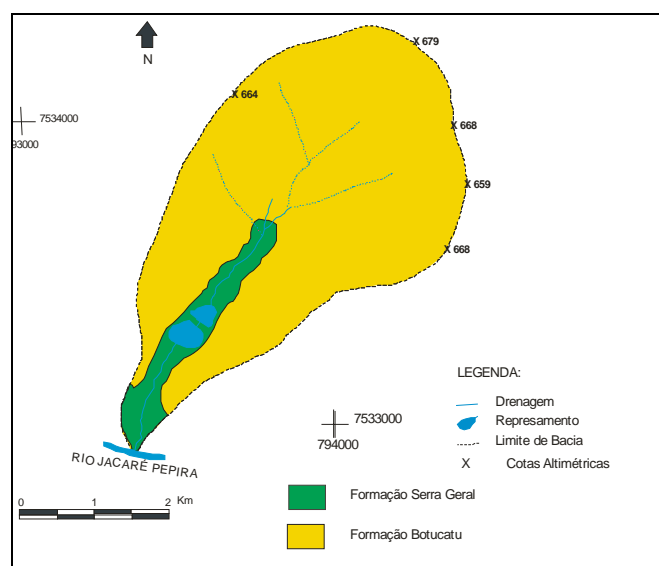


Figura 3 – A geologia da área de estudo.

Representa dessa maneira, os diversos subambientes de um grande deserto climático de aridez crescente, cuja existência se prolongou até a ocasião do vulcanismo basáltico. Este,

representado pela Formação Serra Geral, sobrepõe esta formação, recobrando os arenitos pelos derrames basálticos, gerando arenitos silicificados. Mesmo assim, registra-se a existência de intercalações de camadas de arenitos essencialmente da mesma natureza que os da Formação Botucatu.

Já a Formação Serra Geral é compreendida por rochas vulcânicas dispostas em derrames basálticos, com coloração cinza a negra e textura afanítica, com intercalações de arenitos intertrapeanos, finos a médios, apresentando estratificação cruzada tangencial. Ocorrem, de acordo com a ref. [9], também na forma de intrusões de diabásio sob forma de diques e sills, estando respectivamente dispostos de forma discordante e concordante em relação às camadas da rocha hospedeira.

As litologias mencionadas estão sobrepostas predominantemente na bacia estudada, de acordo com a classificação de Almeida *et al.* [1], a solos denominados de Areias Quartzosas Profundas. Tais solos foram reclassificados pela EMBRAPA [6], sendo nomeados de Neossolos Quartzarênicos.

Os Neossolos são constituídos por material mineral ou por material orgânico, de pouca espessura, pouco evoluído e sem horizonte B diagnóstico, com “pequena expressão dos processos pedogenéticos em consequência da baixa intensidade de atuação destes processos, que não conduziram, ainda, a modificações expressivas do material originário”, conforme EMBRAPA [6]. Este processo pouco expressivo associa-se as características do próprio material litológico e do relevo, que podem impedir ou limitar a evolução desses solos.

Assim, os Neossolos Quartzarênicos são caracterizados por seqüência de horizontes A-C, sem contato lítico dentro de 50cm de profundidade, apresentando textura areia ou areia franca nos horizontes. Tem composição essencialmente quartzosa, de acordo com a ref. [6], “tendo nas frações de areia grossa e areia fina 95% ou mais de quartzo, calcedônia e opala e, praticamente, ausência de minerais primários alteráveis (menos resistentes ao intemperismo)”.

Para a obtenção de dados mais específicos sobre tais solos, foram coletadas amostras a montante da cabeceira de drenagem da bacia, com o intuito de se realizar a análise granulométrica. Feita esta análise, sob condições de 8 frações em

porcentagem, tais amostras foram classificadas no triângulo de textura da USDA, sendo estas categorizadas como areia e areia franca. A tabela 2 apresenta os dados encontrados na análise granulométrica.

Tabela 2 - Dados granulométricos das amostras coletadas.

Pontos de coleta	Textura Triângulo USDA	% Argila	% Silte	% Areia total
1	Areia	6,8	0,8	92,2
2	Areia	6,4	2,8	90,6
3	Areia	5,2	2,4	92,3
4	Areia	6,6	1,9	91,3
5	Areia	5,1	2,3	92,4
6	Areia franca	12,4	3,4	85,3

Estas condições pedológicas estão distribuídas sobre um relevo suavemente ondulado, no qual as vertentes encontram-se bastante deformadas em função das curvas de nível agrícolas. Verificou-se ainda a ocorrência de diversos sulcos erosivos distribuídos principalmente na margem esquerda da bacia, mesmo com a presença de tais curvas neste setor. A drenagem atualmente tem suas nascentes envolvidas por extenso processo erosivo linear cujo estágio de evolução caracteriza o voçorocamento. Além disso, sua dinâmica encontra-se grandemente alterada pelos represamentos de baixo curso (Fig. 4).

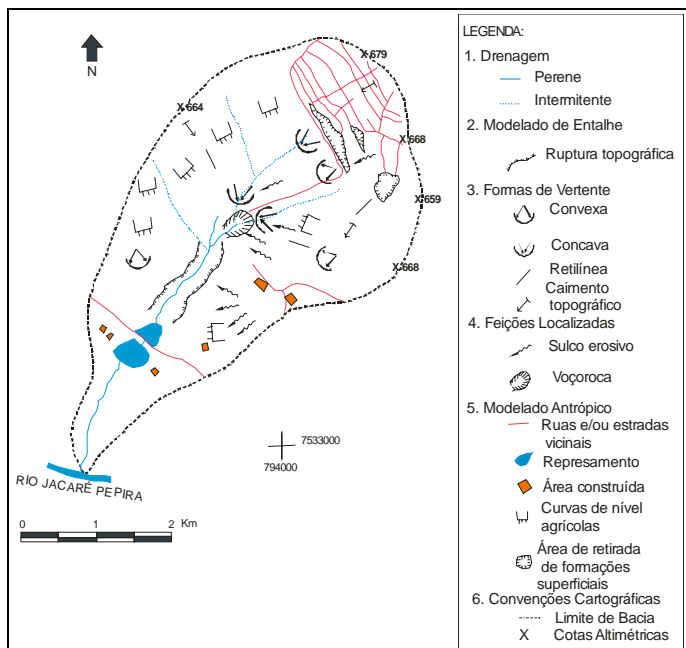


Figura 4 – A geomorfologia da área de estudo.

As características geológicas, pedológicas e geomorfológicas acima relatadas apontam para as seguintes problemáticas que colaboram com a ocorrência dos fenômenos erosivos da área:

1. Há uma discordância erosiva entre as formações Serra Geral e Botucatu. Este fato é amplamente narrado na bibliografia e ocorre na área estudada. Isto pode ser comprovado através do intenso processo de escoamento da água em subsuperfície observado. As águas de superfície penetram com facilidade no material pedológico derivado e na própria Formação Botucatu, porém, ao atingir as eruptivas da Formação Serra Geral, encontram grande dificuldade para realizar movimentos de infiltração. Assim, traçam trajetórias paralelas ao topo da última formação mencionada, constituindo-se em verdadeiros canais de escoamento de subsuperfície que remobilizam material e, quando afloram, atuam de forma intensa no aprofundamento da voçoroca. Deve-se ressaltar que esta é uma característica natural e intrínseca da área estudada e, portanto, faz-se necessário que o uso e ocupação do terreno seja realizado considerando tal fato.

2. O material de solos apresenta alto grau de erodibilidade. Fato que está diretamente relacionado aos inúmeros sulcos erosivos mapeados. Os sulcos erosivos constituem-se no estágio inicial de desenvolvimento dos processos erosivos lineares e resultam da alta friabilidade do material de superfície. Além disso, os dados de granulometria de superfície (Tab. 2) apontam para

uma grande porcentagem de areia neste material. Esta alta porcentagem de areia:

a) Facilita a infiltração das águas e dinamiza o escoamento de subsuperfície no início dos eventos chuvosos;

b) Com o desenvolvimento de eventos chuvosos de grande duração e quantidade elevada de água, pode gerar o encharcamento de superfície desse material pedológico e, a partir disso, o aumento do escoamento superficial, resultando em processos erosivos areolares que geram grandes perdas de solos.

3. A dinâmica erosiva do curso fluvial encontra-se intensamente alterada pelas ações antrópicas. Fato comprovado pela presença do próprio voçorocamento. Além disso, na carta topográfica de 1980 verifica-se que esta drenagem apresentava suas nascentes em posição altimétrica superior à atualmente encontrada em campo. Comparando esta imagem original da carta topográfica com os dados obtidos *in loco*, verifica-se que parte da drenagem registrada na carta atualmente não existe mais. Além disso, o mapeamento geomorfológico aponta para uma ampla concavidade do relevo no setor a montante de onde atualmente encontra-se a referida nascente. Essa característica do relevo também indica uma possível concentração de água nesta área.

4. As curvas de nível agrícolas comprometem a circulação da água na área. Tais curvas:

a) Não são eficientes na contenção dos processos erosivos de superfície, fato narrado anteriormente devido a presença de sulcos erosivos que rompem tais curvas;

b) Ao conter a água da chuva, aceleram o processo de infiltração, colaborando para a dinamização do escoamento de subsuperfície, o qual já tende a ser intenso (como relatado no item 1) em virtude de discordâncias erosivas geológicas.

5. Apesar da topografia suave, a impermeabilização da área urbana também compromete a circulação de água. A impermeabilização derivada do ambiente urbano gera:

a) Quantidade de escoamento de superfície que necessita ser adequadamente gerenciado, evitando-se, principalmente, sua descarga sobre o sistema de vertentes e do curso fluvial da bacia a qual integra. Isto se deve a fragilidade erosiva das vertentes, causada pelo material lito-pedológico local, e ao desequilíbrio erosivo da drenagem já discutido;

b) As obras para a constituição de espaços urbanos envolvem remobilização do material das formações superficiais, fato já constatado *in loco*. Esta remobilização, nas condições já apresentadas de material de superfície altamente friável, pode disponibilizar à ação erosiva uma quantidade considerável de material o qual, ao ser transportado pelas chuvas até o fundo de vale, pode causar sérios problemas de assoreamento.

6. O uso do terreno para o cultivo de cana de açúcar colabora com a aceleração dos processos erosivos. Mendes [7] comprova em sua tese que o cultivo de cana de açúcar expõe a superfície do solo, durante um período considerável do ano, a ações dos agentes erosivos pluviais. Ao longo de um ano, segundo os experimentos de Mendes [7], a soma total de perdas de solo é superior em áreas de plantio de cana de açúcar do que em áreas de pastagens, por exemplo. Considerando tais informações e as características de alta friabilidade pedo-litológica da área, pode-se afirmar que tal cultivo colabora com os processos erosivos. Além disso, em reambulação de campo realizada em dezembro de 2007, verificou-se que parte da área, antes ocupada por pastagens, encontrava-se sem cobertura de superfície, sendo preparada para outro cultivo. Aparentemente, tal preparo era semelhante àquele que normalmente se realiza para o cultivo de cana de açúcar.

Assim, as questões acima levantadas apontam para o fato de que esse terreno apresenta fragilidades erosivas naturais, derivadas de sua constituição litológica e pedológica. Tais fragilidades têm sido dinamizadas pelas diversas formas de uso da terra que sobre este se estabelecem.

4.2 Aspectos Hidrológicos e Possíveis Cenários.

Os estudos preliminares foram úteis na identificação de cenários críticos e na determinação do tempo de recorrência adequado para a análise. Verificou-se que o efeito da cobertura vegetal foi muito maior no período mais seco, com eventos de média e pequena intensidade de precipitação. Assim, a cheia de pequeno a médio tempo de retorno (TR) foi intensificada com o desmatamento, enquanto que para as cheias de maior magnitude as diferenças diminuíram.

Nesse sentido, verificou-se que todas as modificações produzem alterações significativas na condição pré-ocupação, entretanto, considerou-se como mais relevante o impacto quando o

desmatamento se deu através da cultura anual da cana-de-açúcar devido, principalmente, a falta de proteção do solo em épocas chuvosas. Considerou-se que o plantio sem nenhum cuidado tende aumentar consideravelmente a erosão devido ao grande aumento no escoamento.

A interferência da cultura de cana de açúcar nas condições de escoamento foi notória, principalmente ao considerar as situações de solo exposto no período de entressafra. Nestas condições, o deflúvio decorrente da cobertura pela cana de açúcar supera as demais condições investigadas e, assim, a interferência do loteamento pode ser considerada pouco significativa (Fig 5).

Todavia, a análise sistêmica dos resultados em seu conjunto permitiu verificar que, sob o ponto de vista hidrológico, nenhuma medida pontual foi capaz de atenuar significativamente as condições de escoamento. Os resultados apontam para uma abordagem integrada do problema, considerando a combinação de intervenções, como a alternativa mais viável do ponto de vista técnico-hidrológico.

A partir dos resultados das simulações compilaram-se os dados referentes aos hidrogramas de projeto para os diferentes cenários investigados. Os resultados apresentados na Figura 5 deixam claro que a melhor alternativa sob o ponto de vista hidrológico consiste em aplicar as considerações do Cenário VI.

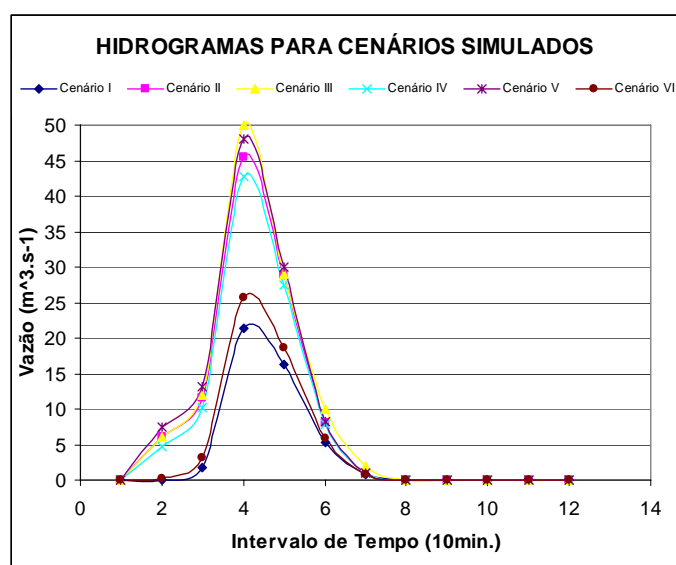


Figura 5 - Hidrogramas de projeto obtidos a partir de diferentes cenários considerando diversas condições de uso, ocupação e cobertura do solo na bacia do setor oeste do município de Brotas –SP.

Ressalta-se que os cálculos efetuados foram obtidos a partir de dados consistidos, empregando o método da dupla massa, em diferentes postos pluviométricos. O modelo chuva-vazão foi aplicado de acordo com o método do SCS para tormenta de projeto de TR 10 anos e duração de chuva de 1 hora.

Assim, para que o volume escoado superficialmente seja reduzido a valores próximos daqueles obtidos nas condições pré-ocupação, sugere-se que as seguintes medidas sejam aplicadas simultaneamente e de forma integrada em toda área de drenagem cujo deságüe localiza-se na área da nascente:

1- Reformar e manter as curvas de nível da pastagem em boas condições de modo a evitar o deságüe dos volumes escoados na área da nascente;

2- Executar curvas de nível e mantê-las em boas condições na área destinada ao plantio de cana de açúcar;

3- Não deixar o solo exposto (período de entressafra) durante a época de chuva;

4- Conter a expansão da área urbana na direção da drenagem da nascente.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nesta pesquisa e apresentados nos itens anteriores permitem traçar algumas considerações a respeito da aptidão ao uso do solo urbano, considerando os condicionantes geomorfológicos e hidrológicos. Convém ressaltar que o terreno apresenta limitações quanto a:

a) Litologia - discordâncias erosivas devido à diferença de porosidade dos materiais;

b) Solos - características texturais que geram alta friabilidade;

c) Dinâmica fluvial - já alterada devido a ações antrópicas.

Tais limitações necessitam ser avaliadas para futuros usos do terreno. Dessa forma, recomenda-se:

a) Ampliação da área recoberta por vegetação de porte arbóreo. Essa vegetação tem papel importante tanto no equilíbrio erosivo da drenagem, como para evitar que os agentes erosivos pluviais atuem de forma intensa sobre o material inconsistente das vertentes. Desta forma, recomenda-se fortemente o cumprimento da legislação pertinente no que tange a área de

preservação permanente no entorno de nascentes e cursos fluviais, conforme CONAMA [4, 5];

b) Não permitir a expansão do cultivo da cana de açúcar e, se possível, buscar alternativas que possibilitem uma melhor proteção superficial do solo ao longo do ano. Nas áreas já ocupadas por esse cultivo sugere-se as seguintes providências para que o volume escoado superficialmente seja reduzido a valores próximos daqueles obtidos nas condições pré-ocupação:

- Executar curvas de nível e mantê-las em boas condições;

- Não deixar o solo exposto (período de entressafra) durante a época de chuva;

c) Reformar e manter as curvas de nível da pastagem em boas condições de modo a evitar o deságüe dos volumes escoados na área da nascente;

d) Conter a expansão da área urbana para esse setor. Devido às características locais de materiais lito-pedológicos e condicionantes hidrológicos, a drenagem de áreas urbanas não pode ser descarregada sobre tal área. Assim, entende-se que os custos de uma drenagem adequada de bairros neste setor podem inviabilizar tais projetos. Além disso, a remobilização de material de superfície durante a fase construtiva pode gerar processos de assoreamento do curso fluvial. Neste sentido, alerta-se para o comprometimento da qualidade da água devido ao desenvolvimento dos processos erosivos que geram aporte significativo de sedimentos e insumos agrícolas para a drenagem. Estes processos podem conduzir a eutrofização das represas no baixo curso.

Os resultados desta pesquisa indicam que a bacia do setor oeste, objeto da análise, constitui-se em terreno não apto ao uso do solo urbano. Além disso, os usos agrícolas devem considerar as restrições hidro e geomorfológicas apontadas na pesquisa.

O fato de a área de estudo ter sido caracterizada no Plano Diretor Municipal como área apta à urbanização revela a necessidade de se aprimorar os procedimentos de diagnóstico ambiental para o planejamento urbano.

AGRADECIMENTOS

Os autores desse trabalho agradecem a Centrovias pelo financiamento que integra o

Programa de Apoio aos Municípios, relativo à Licença Ambiental nº 363 para a duplicação da Rodovia SP225 - Engº Paulo Nilo Romano, entre Jaú e Itirapina, realizada pela concessionária Centrovias.

REFERÊNCIAS

1. Almeida, C.L.F., Oliveira, J.B.; Prado, H. *Levantamento Pedológico Semi-Detalhado do Estado de São Paulo: Quadricula Brotas*. Campinas: IAC, escala: 1:100.000, 1981.
2. Camargo, O. A., Moniz, A. C.; Jorge, J. A.; Valadares, J. M. A. S. *Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas*. Boletim Técnico, n. 106, Campinas, outubro de 1986.
3. Canholi, A. P. *Drenagem urbana e controle de enchentes*. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 301p.
4. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. *Resolução n. 303/02*. Brasília, 2002.
5. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. *Resolução n. 302/02*. Brasília, 2002.
6. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos*. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1999.
7. Mendes, I.A. *A Dinâmica Erosiva do Córrego do Escoamento Pluvial na Bacia do Córrego Lafon – Araçatuba (SP)*. Tese (Doutorado em Geografia Física) – FFLCH, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
8. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT. *Mapa Geológico do Estado de São Paulo*. São Paulo: IPT, 1981.
9. Perinotto, J. A. J.; Zaine, M. F. Evolução de Paisagens no Decorrer do Tempo em Rio Claro, SP. In Zaine, M.F.; Perinotto, J.A.J. *Patrimônios Naturais e História Geológica de Rio Claro (SP)*. Rio Claro: Câmara Municipal e Arquivo Público e Histórico de Rio Claro, 1996.
10. São Paulo, Secretaria de Estado e dos Negócios do Interior. *Brotas I: SF-22-Z-B-III-4-NO-B*, escala 1:10.000, 1980.
11. Tricart, J. *Principes et Méthodes de la Geomorphologie*. Paris: Maisson et Cie, 1965.
12. Tucci, C. E. M. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2002.
13. Soil Conservation Service. National Engineering Handbook, Chapter 10. *Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall* U.S. Department of Agriculture, Washington, DC. July, 2004
14. Plano Diretor Municipal de Brotas-SP. Disponível em http://www.brotas.sp.gov.br/administracao/arquivos_leis/plano_diretor.pdf.

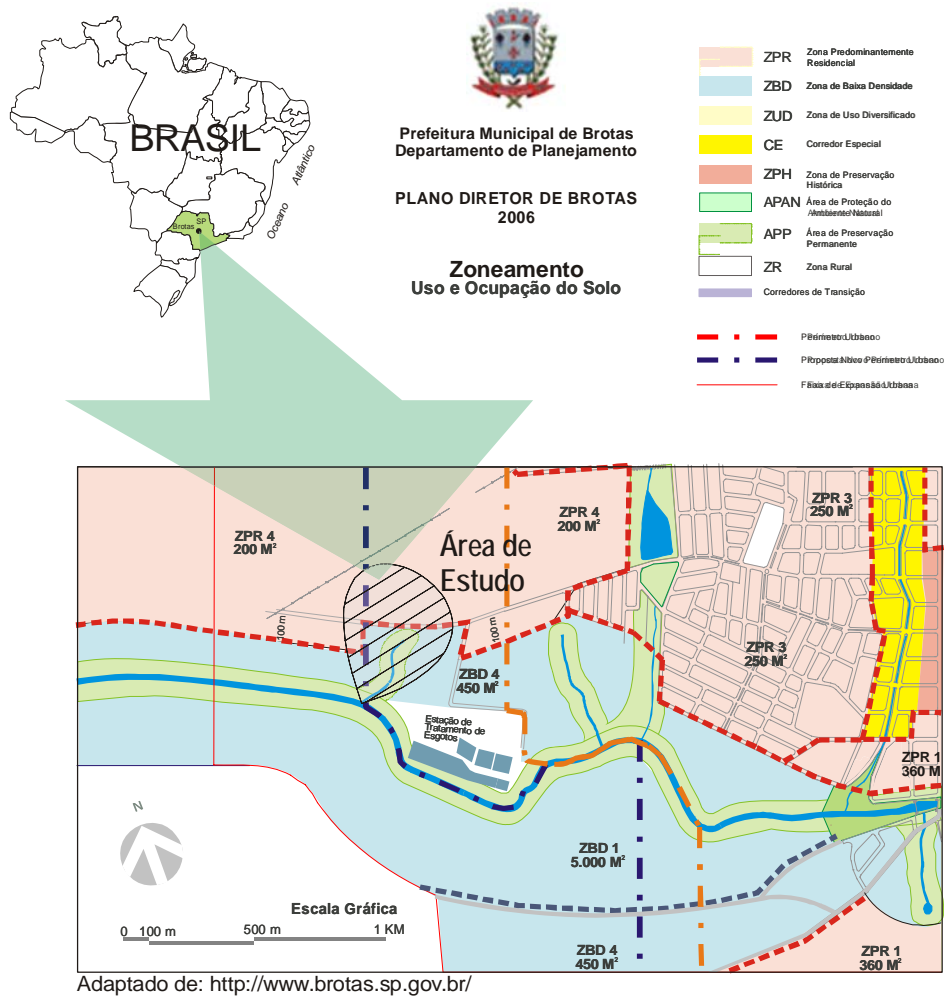


Figura 1 – Localização da área urbana e de estudo evidenciando o perímetro antigo (traço em vermelho), o perímetro de expansão (traço em azul) e as zonas residenciais (ZPR) e de baixa densidade (ZBD).