

Mapa de Infiltração do Alto e Médio Vale do Paraíba do Sul com base em elementos da paisagem

Paulo Valladares Soares¹

Sueli Yoshinaga Pereira²

Silvio Jorge Coelho Simões³

George de Paula Bernardes³

Sérgio Augusto Barbosa⁴

1 Fundação Florestal – 02377-000 – São Paulo
pvsoares1@yahoo.com.br

2 Instituto de Geociências, Unicamp – 13083-870 - Campinas
sueliyos@ige.unicamp.br

3 Laboratório de Análise Geoespacial, UNESP, 12516-410 – Guaratinguetá
{simoes, gpb}@feg.unesp.br

4 Agência Nacional de Águas – ANA, 70610-200, Brasília – DF
gsatconsultoria@terra.com.br

Abstract

This work presents a methodological approach to characterize the infiltrations conditions in Paraíba do Sul river basin (7,600 km²). To each landscape feature (rock, and structure, relief, soil, rainfall and land-use) was applied a loading that corresponded to higher (5) or lower (1) influence in the infiltration potential through its geographical position. A Map of Infiltration was created in ArcGIS. The results showed that areas with higher infiltration capacity are located in Serra da Bocaina in the Northeast region or associated with Serra do Mar relief in the Southeast region as well as with gentle hills and sandstones along the Paraíba do Sul river. The creation of a Map of Infiltration may contribute to a long-term water resources management plans and to the implementation of the non-structural and structural measures at both regional and local scales.

Palavras chaves: processos de infiltração, elementos da paisagem, sistemas de informação geográfica.

Introdução

Os processos de infiltração e percolação são responsáveis pela manutenção da bacia hidrográfica como um reservatório dinâmico do sistema hidrológico o qual permite a armazenagem e transferência de água, como por exemplo, através da movimentação da água subterrânea em direção aos cursos de água nos períodos de estiagem. Para se ter uma compreensão sistêmica dos processos de infiltração é necessário considerar as conexões existentes entre água, os elementos do meio físico e a dinâmica do uso da terra.

Entretanto, a maior parte dos estudos que tratam com infiltração são baseados apenas em ensaios pontuais o que necessita uma grande quantidade de pontos analisados para que se obtenha a sua representação espacial. Como procedimento alternativo, nos últimos anos começa a desenvolver estudos que buscam avaliar a distribuição espacial da infiltração com base em parâmetros geológicos, pedológicos e geomorfológicos (Brito et al, 2006).

Indo nesta direção, este trabalho procura apresentar uma metodologia para definir áreas potenciais de infiltração com base em elementos da paisagem naturais e modificados (rochas, relevos, solos e uso da terra) e sua interação com a variação espacial da precipitação. O potencial da infiltração foi considerado segundo valores numéricos para cada elemento da

paisagem considerando os processos de interação e integração disponíveis em ambiente SIG no sentido de se obter um mapa de potencialidade da infiltração.

Metodologia

A enorme diversidade de relevos, solos, vegetação e usos da terra e suas interações com componentes climatológicos produzem efeitos complexos. Para cada um destes elementos existe uma escala de variação própria, tanto no tempo com no espaço, fazendo com que os processos hidrológicos possam ser investigados sobre uma faixa bastante extensa de escalas temporais e espaciais.

Em face desta diversidade, modelos do processo de decisão que disponibilizam o máximo de informação podem ser de grande utilidade e de aplicação. A partir desses pressupostos, o modelo utilizado na escolha da melhor alternativa para construir unidades homólogas de infiltração pode ser baseado na atribuição dos valores numéricos às classes de análises.

Primeiramente são listados os principais requisitos que o sistema, objeto de estudo, deve satisfazer, atribuindo-se posteriormente pesos a cada uma de suas classes. Esses pesos simbolizam a importância de cada tema (classes) para o sistema de análise. Estes números identificam o tipo de classe de um determinado mapa temático que ocorre em determinada unidade de terreno sobre uma área de estudo. Quanto melhor for uma classe em relação a determinado requisito, maior será seu peso para o referido requisito (**Tabela 1**).

Tabela 1 – Relação de qualificadores e seus respectivos pesos relativos

QUALIFICADORES	PESOS RELATIVOS
Muito Baixa	1
Baixa	2
Regular	3
Boa	4
Muito Boa	5

Área de Estudo

A bacia do rio Paraíba do Sul está inserida nos territórios dos estados de São Paulo (13.900 km²), Rio de Janeiro (20.900 km²) e Minas Gerais (20.700 km²) onde vivem cerca de 14,3 milhões de pessoas em uma das mais importantes regiões industriais do país e onde se localizam várias cidades de médio e grande porte. A porção paulista da bacia, onde se localiza a área de estudo, pode ser dividida em quatro compartimentos com base nas características históricas, sociais, econômicas e ambientais: nascente, reservatório, urbano-industrial e agrícola-urbano-industrial (**Figura 1**).

O compartimento nascente corresponde ao trecho onde estão inseridas as bacias hidrográficas que compõe os formadores do rio Paraíba do Sul (rio Paraibuna e rio Paraitinga). O compartimento reservatório é a região onde deságuam os formadores do rio Paraíba do Sul, constituindo o sistema de represa gerenciado pela CESP. O compartimento, urbano, industrial e agrícola, constitui o eixo de maior desenvolvimento tecnológico-industrial da região com processos acelerados e desordenados de urbanização, conurbação e altos índices de poluição hídrica. O compartimento, agrícola, urbano e industrial corresponde ao último trecho da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul no Estado de São Paulo e caracteriza-se, também, por pastagens degradadas, intensa fragmentação florestal, início de processos de conurbação e crescente atividade industrial.

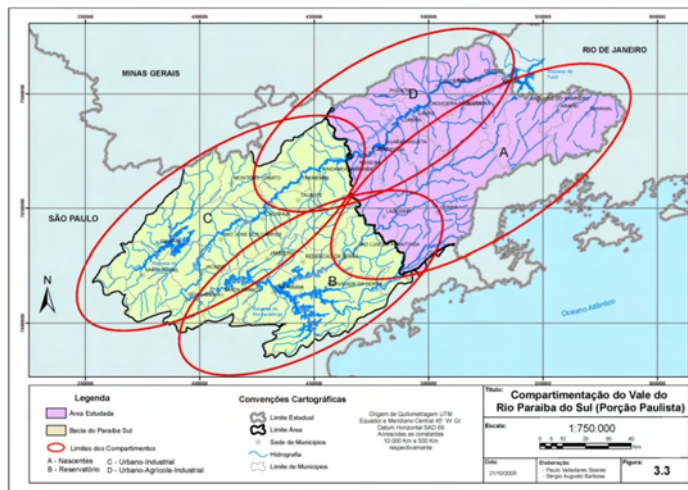


Figura 1 – Compartimentação da bacia do Paraíba do Sul (porção paulista). A – nascente, B – reservatório, C – urbano-industrial, D – urbano-agrícola-industrial

A área de estudo (**Figura 2**), com aproximadamente 6.400km² de área total, compreende os municípios Cunha e Lagoinha, no “compartimento nascente”; e os municípios de Roseira, Aparecida, Guaratinguetá, Potim, Canas, Lorena, Piquete, Cachoeira Paulista, Queluz, Lavrinhas, Cruzeiro, Silveiras, Areias, São José do Barreiro, Arapeí e Bananal, no “compartimento agrícola, urbano e industrial”.

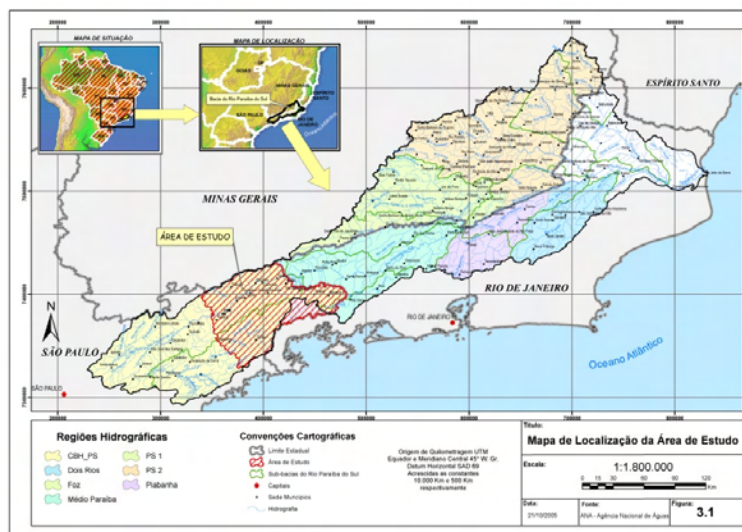


Figura 2 – Regiões hidrográficas da bacia do rio Paraíba do Sul e localização da área de estudo

A região de estudo tem alta diversidade do meio físico o qual é o resultado de uma evolução geológica-geomorfológica complexa (IPT, 1981; Ross e Moroz, 1997). Na região ocorrem três unidades geológicas bem distintas – rochas precambrianas associadas com relevos de morros e serras, sedimentos terciários associados a relevos suaves e rochas quaternárias associadas a planícies aluvionares. Esta grande diversidade geológica/geomorfológica tem contribuído para o desenvolvimento de diversas unidades pedológicas tais como latossolos, argissolos, cambissolos e gleissolos melânicos (Oliveira et al., 1999). A precipitação exibe uma grande variabilidade inter-anual alcançando valores entre 1.300 e

2.400mm/ano (Simões et al., 2007) e uma grande variabilidade espacial (Silva, 1999; Silva & Simões, submetido). A variação altimétrica situa entre 450m e 2.000m. A região é ainda constituída por um complexo mosaico onde a pastagem é o elemento matriz da paisagem e onde se inserem fragmentos de florestas, áreas de reflorestamento, pequenas áreas agricultura, reservatórios de médio porte e áreas urbanas.

Resultados

Geologia

O mapa geológico utilizado foi produzido pelo IPT (1981), em escala 1:500.000 o qual é mostrado na **figura 3a**. Neste mapa se pode identificar 9 unidades geológicas distintas. Na área de estudo destaca-se duas grandes unidades: o embasamento cristalino representado por granitos, migmatitos homogêneos e heterogêneos, quartzitos e filitos e a bacia do Taubaté composta por depósitos continentais fluviais e aluviões.

As rochas com melhores condições de infiltração são os arenitos (peso de infiltração 5) com lentes subordinadas de folhelhos. Em seguida encontra-se o substrato granítico (peso de infiltração 4) com manto de alteração composto de sedimentos areno-siltosos e fraturamento alto e os migmatitos homogêneos (peso de infiltração 3) com manto de alteração arenoargilosos. Os aluviões em geral se constituem nas condições menos favoráveis à infiltração (peso 1).

Pedologia

O mapa de solos foi elaborado a partir do levantamento realizado por Oliveira et al., com base no Sistema de Classificação de Solos da EMBRAPA (**Figura 3b**) sendo identificadas 6 unidades distintas. Os latossolos vermelho-amarelo são os que apresentam as melhores condições de infiltração (peso 5) em face de serem bem desenvolvidos, não apresentarem minerais primários e terem boa condição de drenagem. Os cambissolos háplicos e húmicos ainda que tenham horizonte B pouco espesso receberam, respectivamente, pesos de infiltração 4 e 3. Um aspecto que facilita o processo de infiltração é a presença de minerais primários facilmente alteráveis. Os argissolos vermelho-amarelo com horizonte B textural e enriquecidos em argila foram considerados como tendo baixa condição de infiltração (peso 2). Os gleissolos melânicos, ricos em matéria orgânica e com nível freático próximo a superfície representam as condições menos favoráveis à infiltração (peso 1).

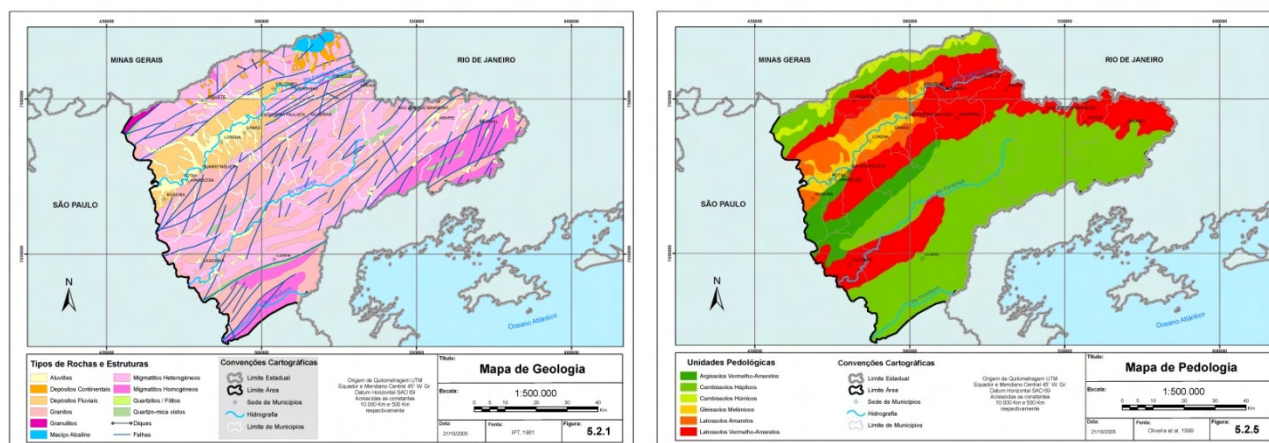


Figura 3 – (a) Mapa Geológico, (b) Mapa Pedológico

Geomorfologia

A análise dos elementos do relevo foi realizada tomando-se como base o Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo na escala 1:1.000.000 (Ponçano et al., 1981) e na escala 1:500.000 (Ross e Moroz, 1997) (**Figura 4a**). Apesar de serem representações geomorfológicas de pequena escala, estes levantamentos geomorfológicos conseguem expressar bem a diversidade de relevos existentes na região. No total foram identificados doze unidades geomorfológicas variando de planícies aluvionares com baixíssima declividade até relevos de serras com declividades superiores a 100%.

Os relevos de colinas amplas com topos e extensos e aplainados e drenagem de baixa intensidade representam as melhores condições de infiltração (peso 5). Os relevos de morrotes baixos, morros paralelos e mar de morros forma considerados como tendo boas condições de infiltração (peso 4). Os relevos de escarpas com drenagem de alta densidade e vales fechados possuem condições pouco favoráveis a infiltração (peso 2) assim como os terrenos baixos e planos nas margens dos rios e sujeitos a inundações (peso 1).

Precipitação

A região sudeste do Brasil apresenta grande diversidade no seu regime de chuvas em face de ser uma zona de transição entre os regimes tropical e de média latitude (Rao e Hada, 1990). Além desta diversidade, o padrão de precipitação da região do Vale do Paraíba é fortemente influenciado pelo efeito orográfico das chuvas devido à presença das serras do Mar e da Mantiqueira. A configuração das isoeitas da região de estudo mostradas na **figura 4b** indica que as precipitações mais elevadas bem como as maiores diferenças de precipitação estão associadas as Serras da Mantiqueira (1300 a 2200 mm) e Serra do Mar (1300 a 2800 mm). Em contraste, a região plana conhecida como Vale do Paraíba possui os menores índices de precipitação anual da bacia oscilando entre 1200 e 1300 mm.

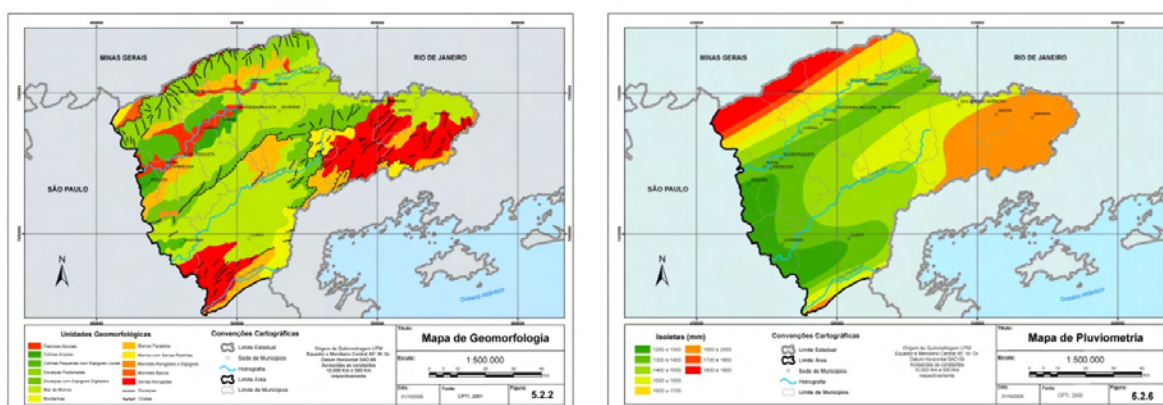


Figura 4 – (a) Mapa Geomorfológico; (b) Mapa de Pluviometria

Uso da Terra

Na elaboração deste critério se buscou padronizar a metodologia utilizada pelo Instituto Florestal onde o Mapa de Uso e Cobertura Vegetal Natural foi elaborado através da interpretação de imagens do satélite LANDSAT 7 (**Figura 5**). Assim utilizou-se como base as classes propostas por Pereira et al. (1988) para análise do uso e cobertura vegetal natural, sendo elas: urbanização, pastagem, capoeira/campos, reflorestamento e mata. Como era de se esperar a formação vegetal constituída de matas com elevada biodiversidade possui as melhores condições de infiltração (peso 5) seguidas pelas áreas de plantio de reflorestamento (peso 4) e pelas florestas em estágio inicial de recuperação (peso 3). As áreas de pastagem

mal manejadas e as áreas urbanas conurbadas e impermeabilizadas possuem as condições mais desfavoráveis à infiltração, respectivamente pesos 2 e 1.

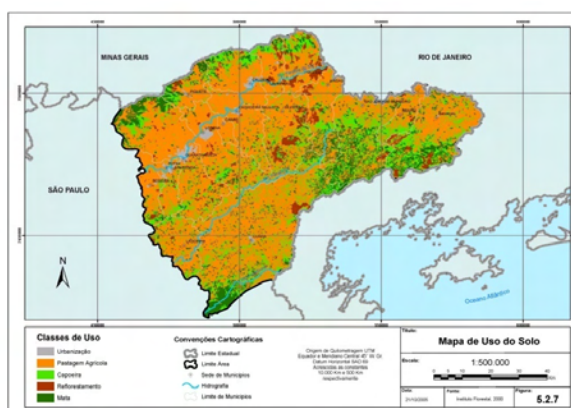


Figura 5 – Mapa de Uso do Solo

Mapa de Potencialidade a Infiltração

Enquanto procedimento metodológico, a identificação de regiões com boa capacidade de infiltração representam aquela que tem a melhor conjugação de possibilidades para que a água permaneça e se infiltre no perfil de solo. As áreas homólogas da **Figura 6** representam as regiões com maior ou menor facilidade de infiltração. Embora as classes dentro dos planos de informação possam responder de forma individual, suas características quanto à capacidade de infiltração está ligada a integração dos elementos da paisagem e se constitui em uma interessante forma de análise na distribuição espacial das condições de infiltração.

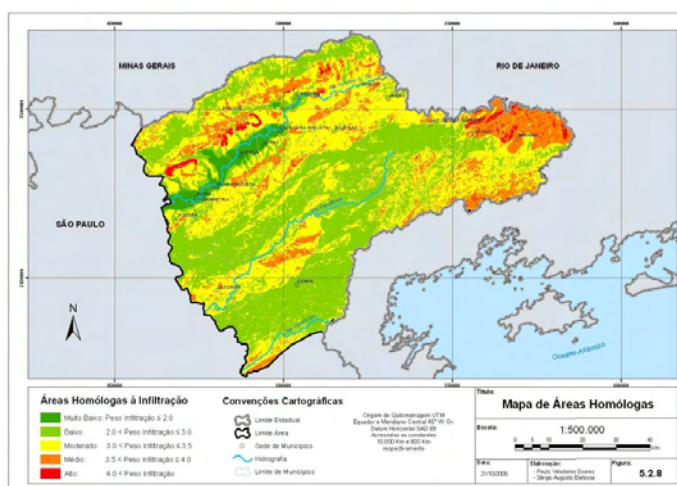


Figura 6 – Mapa de Potencialidade a Infiltração

A partir da **figura 6** observa-se que o extremo nordeste da área, correspondendo a Serra da Bocaina, apresenta a maior área contínua com boa capacidade de infiltração. Isto pode ser explicado por um conjunto de fatores positivos como elevadas precipitações médias anuais (1800 a 1900mm), relevos predominantes de morros e morrotes, declividades médias baixas (3 a 12%), predominância de solos homogêneos e com boa drenagem (latossolos vermelho-amarelos) e alto grau de fraturamento. Áreas expressivas com boas condições de infiltração ainda ocorrem nos contrafortes da Serra do Mar, na região entre Cunha e Lagoinha e em parte

dos terrenos colinosos que acompanham o rio Paraíba do Sul na porção norte da área. Nos contrafortes da Serra do Mar, as áreas de boa condição de infiltração englobam as nascentes dos rios Paraibuna e Paraitinga. As áreas com boa capacidade de infiltração ocorrem de forma fragmentada e são caracterizadas por fatores como pluviometria média (1400 a 1600mm) e relevos predominantemente constituídos de serras e solos de B textural incipiente (cambissolos). De uma maneira geral, estas condições não seriam muito favoráveis à infiltração. Entretanto as condições de uso da terra são muito favoráveis, pois nesta região se concentra a maior parte dos fragmentos de mata da área de estudo. Na região entre Cunha e Lagoinha (centro-sul da área), existe uma “mancha” que apresenta uma boa capacidade de infiltração. Nesta região as precipitações são relativamente baixas (1400 a 1500mm). Entretanto, diversos condicionantes da paisagem são favoráveis à infiltração tais como: o predomínio de morros e morrotes, as baixas declividades (3-12%), a presença de granitóides muito fraturados e a presença de latossolos vermelho-amarelo. Na porção norte da área ocorre uma estreita faixa de terrenos com boa infiltração. Esta área está inserida em elementos da paisagem com condições favoráveis de infiltração tais como: relevos colinosos, baixas declividades (3-12%) e latossolos vermelho-amarelos.

As condições menos favoráveis de infiltração ocorrem em diversas áreas no interior da região estudada tais como: no extremo sul (região entre Cunha e São Luis do Paraitinga), na porção noroeste (planície aluvionar do rio Paraíba do Sul), no extremo norte (Serra da Mantiqueira) e em uma longa faixa SW-NE dividindo a área ao meio (Serra do Quebra Cangalha). Na planície aluvionar do Rio Paraíba as condições de infiltração são muito reduzidas principalmente devido às condições dos solos predominantes (gleissolos melânicos). Estes solos estão, na sua maioria, em condições próximas à saturação (solos hidromórficos) além do que, são ricos em matéria orgânica o que propiciam condições pouco favoráveis à infiltração. Outro aspecto importante para reduzir a capacidade de infiltração destes solos é a elevada quantidade de área impermeabilizada fruto do processo de conurbação das cidades próximas ao rio Paraíba do Sul. Na região da Serra do Quebra Cangalha a precipitação média anual é relativamente baixa (1200 a 1400mm). O relevo é formado predominantemente por uma escarpa estabelecendo um divisor de águas entre a região compreendida entre a Serra do Mar e a Serra do Quebra Cangalha e entre a Serra da Mantiqueira e a Serra do Quebra Cangalha. As declividades são relativamente elevadas (30 a 100%) e os relevos estão em uma zona de transição entre os Latossolos e os Cambissolos.

De uma maneira geral a região entre a Serra do Quebra Cangalha e a Serra do Mar apresenta condições de infiltração variando de boa a moderada. O mapa da Figura 7 mostra claramente a importância desta faixa — ou compartimento — como área de produção e disponibilização de água para o sistema Paraíba do Sul.

Conclusão

Este trabalho faz uso de elementos da paisagem natural e modificado (rochas, estruturas, relevo e solos) e precipitação para definir áreas com maior potencial de infiltração considerando dois importantes compartimentos da bacia do rio Paraíba do Sul (porção paulista). No compartimento nascente (A) as áreas com melhores condições de infiltração ocorrem de forma fragmentada estando associadas principalmente aos fragmentos de matas e as elevadas precipitações médias ainda que os solos sejam relativamente incipientes. No compartimento urbano-agrícola-industrial (D) as áreas mais favoráveis estão associadas aos terrenos colinosos que acompanham o rio Paraíba do Sul estando associados aos sedimentos predominantemente arenosos ainda que as médias de precipitação sejam relativamente baixas. A região da Bocaina apresenta uma grande área contínua favorável à infiltração, mas que

deságua a jusante da represa do funil, não contribuindo para os dois compartimentos analisados.

Os resultados apontam que os elementos da paisagem naturais e modificados interferem fortemente no processo de infiltração e, na maioria dos casos, necessitam serem avaliados integradamente e não de maneira isolada.

Espera-se que os resultados obtidos neste trabalho possam contribuir como uma ferramenta de gestão de planejamento dos recursos hídricos assim como orientar a implementação de medidas estruturais e não estruturais.

Referências Bibliográficas

- BRITO, M.G.; COSTA, C.N.; ALMEIDA, J.A.; VENDAS, D.; VERDIAL, P.H. – Characterization of maximum infiltration using GIS tools. *Engineering Geology*, 85: 14-18.
- DREW, D. *Processos interativos homem-meio ambiente*. Rio de Janeiro: Bertrand, 1994. 3.^a ed. 224p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Censo demográfico Brasileiro*. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 15 de maio 2005.
- INSTITUTO TECNOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. *Mapa Geológico do Estado de São Paulo*. Nota explicativa. São Paulo: IPT, Monografia, 1981. n. 6, 126p. Escala 1:500.000.
- MARTINS, E. S. P. R.; PAIVA, J. B. D. Quantidade dos recursos hídricos. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. (org) *Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas*. Porto Alegre: ABRH, 2001. p. 531-566.
- OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. *Mapa Pedológico do Estado de São Paulo*. 1:500.000. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), 1999.
- PEREIRA, M. N.; NOVO, E. M. L. M.; KURKDJIAN, M. L. N. O.; D'ALGE, J.C.L. *Atualização do uso da terra do município de São José dos Campos através de dados de sensoriamento remoto, INPE- DPA*, mar.1988. p. 71, CDU-528.711.7:551.4.
- PONÇANO, W. L.; CARNEIRO, C. D. R.; BISTRICHI, C. A.; ALMEIDA, F. F. M.; PRANDINI, F. L. *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo*. São Paulo: IPT. 1981. v. 2.
- ROSS, J.L.S.; MOROZ, I. C. *Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo*. Revista do Departamento de Geografia, FFLCH/USP, 1997. n. 10, p. 41-56.
- SILVA, J. U. L. *A dinâmica atmosférica e a distribuição das chuvas na região “lesnordeste” paulista*. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. UNESP (tese de doutorado). 1999.
- SILVEIRA, A. L. da; LOUZADA, J. A.; BELTRANE, L. Infiltração e Armazenagem no solo. In: TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: ciência aplicação*. Porto Alegre: Univerdidade. ABRH, EDUSP, 1993.
- SIMOES S.J.C.; BARROS, A.P. – 2007 - Regional climate variability and its effects on Brazil's 2001 energy crisis. *Management Environmental Quality*, 18 (3): 263-273.
- SILVA, W.M.; SIMOES, S.J.C. - Caracterização espacial da precipitação regional e suas relações com a variabilidade climática - a bacia do rio Paraíba do Sul, sudeste do Brasil. *Revista de Geografia da USP* (submetido).