

## **IDENTIFICAÇÃO DE ZONAS DE SATURAÇÃO NA PAISAGEM A PARTIR DE DADOS DE TRANSMISSIVIDADE OBTIDOS EM CAMPO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JARDIM (DF)**

Fernando Arruda Damacena<sup>1</sup>; Renato Fontes Guimarães<sup>1</sup>; Rafael de Castro Catão<sup>1</sup>; Roberto Arnaldo Trancoso Gomes<sup>1</sup>; Felipe Lima Ramos Barbosa<sup>1</sup>  
Osmar Abílio de Carvalho Júnior<sup>1</sup> & Éder de Souza Martins<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade de Brasília – UnB / Departamento de Geografia  
(nandoarruda, rafadicaastro, felipelrb@gmail.com/ [osmarjr@unb.br](mailto:osmarjr@unb.br)/  
[robertogomes@unb.br](mailto:robertogomes@unb.br))

<sup>2</sup>Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados - Embrapa/CPAC  
([eder@cpac.embrapa.br](mailto:eder@cpac.embrapa.br))

Recebido 21 de fevereiro de 2009; revisado 08 de maio de 2009, aceito 20 de abril.

**Resumo:** Saturação do solo é um tema que desperta o interesse tanto da comunidade científica quanto da população em geral. Afinal, sua ocorrência pode desencadear graves problemas a sociedade. Por esse motivo, diversos autores já trabalharam esse tema sob variados pontos de vista. Nesse trabalho, o fenômeno foi abordado por meio da modelagem hidrológica / matemática desenvolvida por O’Loughlin (1986) e aplicada na bacia hidrográfica do rio Jardim, localizada na porção leste do Distrito Federal (DF). Para a aplicação do modelo, foram utilizados dados pluviométricos, transmissividade do solo, área de contribuição e a própria declividade do local dentro de um ambiente de sistema de informação geográfica. Foi definido um cenário de chuva, com intuito de se observar como os solos da bacia se comportam em relação à saturação. Os dados de transmissividade foram obtidos pontualmente apenas para a área do alto rio Jardim e interpolados. O modelo foi aplicado, para obtenção do mapa de saturação na paisagem (para o alto Jardim) que quando comparado com o

mapa de solos evidenciou as diferentes capacidades de absorção da água dos solos na região. A partir da identificação dos valores de transmissividade característicos de cada classe de solo, para o alto Jardim, utilizou-se um valor médio para as classes de solo de toda a bacia e desta forma foi elaborado o mapa de saturação na paisagem em toda sua extensão. Este mapeamento possibilita identificar o comportamento hidráulico dos solos na paisagem podendo subsidiar o mapeamento de solos bem como orientar ações para fins de planejamento do uso da terra.

**Palavras-Chave** – saturação do solo, modelo matemático, transmissividade.

**Abstract:** Soil saturation is an issue that arouses the interest of both the scientific community and the general population. After all, their occurrence can trigger serious problems for society. For this reason, several authors have worked this issue under different viewpoints. In this work, the phenomenon was approached through the hydrologic modeling / mathematics developed by O’Loughlin (1986) and applied in Jardim River basin, located in the eastern portion of the Federal District (DF). To implement the model, we used rainfall data, soil transmissivity, contribution area and local slope in a geographic information system. We defined a scenario of rain, in order to observe how the basin soils behave in relation to saturation. The transmissivity data were obtained only to the Upper River Jardim area and interpolated. The model was applied to obtain the saturation map in the landscape (for upper Jardim) when compared with the soil map showed different water absorption capacity of soils in the region. After identifying the characteristic transmissivity values of each class for upper Jardim, we used an average value for the soil classes of the entire basin and thus we elaborated the

saturation map in the landscape for entire Jardim basin. This mapping enables the identification of the hydraulic behavior of soils in the landscape can support the mapping of land and guide actions for planning land use.

**Keywords:** soil saturation, mathematic model, transmissivity.

## INTRODUÇÃO

Saturação do solo é um tema que desperta interesse no meio acadêmico, sobretudo, quando sua ocorrência atinge o espaço organizado pelo homem. As conseqüências, deste fenômeno, podem ser imediatas, como inundação e conseqüente destruição de casas, alagamento de ruas, perda de vidas etc, ou podem ser tardias (secundárias), como o aumento dos preços de determinados alimentos, em decorrência de alagamentos e destruição de lavouras, ou mesmo por impossibilitar o plantio (SANTI, 2004).

A saturação do solo ocorre quando por meio da infiltração das águas, o solo se satura e não consegue mais conter o líquido e a partir deste momento à água passa a ser escoada superficialmente. Fatores como: propriedades do solo, características das chuvas, umidade já presente no solo e cobertura vegetal influenciam na saturação do solo (GUERRA & GUERRA, 2003).

Para a delimitação de zonas de saturação dos solos na paisagem cada vez mais vem sendo utilizada a modelagem matemática, que possibilita, mesmo que de forma aproximada, representar a realidade de um determinado ambiente e permitir, em muitos casos, a previsão dos processos que nele irão ocorrer. Neste contexto diversos trabalhos desenvolveram procedimentos computacionais voltados para a definição de áreas de contribuição e de zonas de saturação no

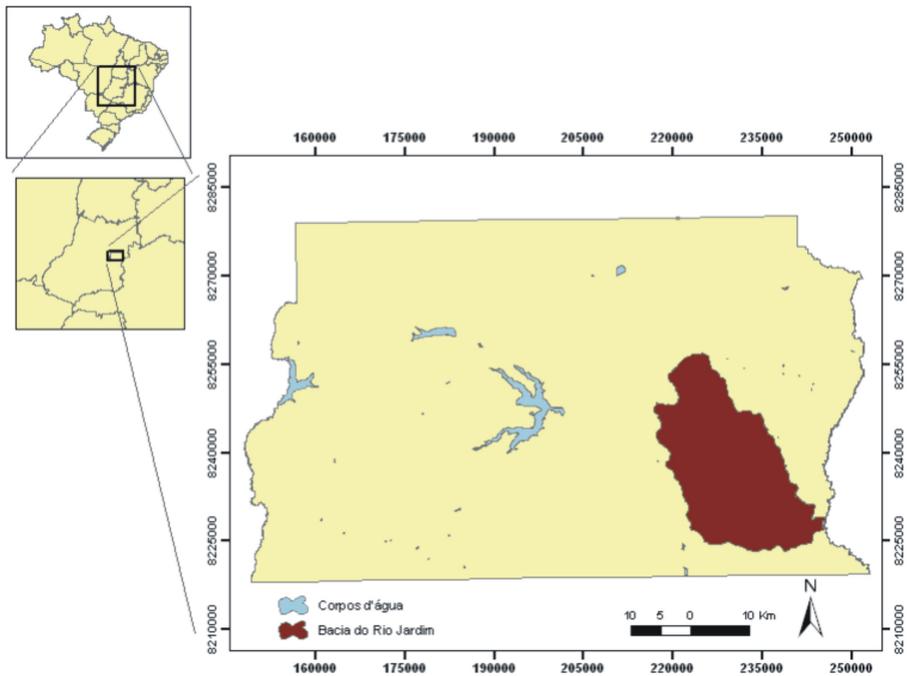
relevo (O'Loughlin, 1986; Moore et al., 1988; Moore & Grayson, 1991; entre outros).

Dentro deste contexto, o trabalho tem como objetivo à identificação das áreas susceptíveis a saturação na paisagem na bacia do rio Jardim (DF) utilizando o modelo desenvolvido por O'Loughlin (1986) dentro de um ambiente de sistema de informação geográfica.

### ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Jardim (**Figura 1**) está localizada a leste do DF, entre as latitudes 15° 40' e 16° 02' S e longitudes 47° 20' e 47° 40' W (GOMES-LOEBMANN, 2005). Possui área de 527,55 Km<sup>2</sup>, o que representa aproximadamente 50% da área de contribuição da bacia do rio Preto inserida no DF (SPERA et al., 2002). Sendo parte integrante da bacia do rio Preto, um dos afluentes do rio São Francisco (ANA, 2005). Dentro da rede de drenagem da bacia do rio Jardim, destacam-se como principais afluentes os córregos Taquarí, Cariru e Lamarão. Além destes, outros trinta e um cursos d'água de menor porte, também, deságuam no rio Jardim (DOLABELLA, 1996).

No que diz respeito ao tipo de ocupação presente na bacia, ela é majoritariamente ocupada pela agricultura. Sendo a maior responsável por abastecer a população brasileira com os grãos de milho, soja, trigo e feijão, além de parte das hortaliças, frutas, carne bovina, aves, ovos e leite (SPERA et al., 2002). Esse relevante papel agrícola evidencia a importância de estudos nesta região, em especial, no que diz respeito à maximização ou a prevenção de perdas na produção.



**Figura 1** Localização da bacia hidrográfica do rio Jardim.

As características físicas / geomorfológicas da bacia influenciam diretamente na possibilidade de saturação do solo. Pois, são elas que determinam desde os caminhos percorridos pelas águas das chuvas até sua capacidade de infiltração no solo. Sendo assim, é necessário observar os aspectos físicos da bacia.

Essa bacia possui altimetria que alterna de 820 a 1175 metros. Com relevo que varia de plano a fortemente ondulado, respeitando a seguinte distribuição: 12,40% plano; 54,87% plano e suavemente ondulado; 15,74% suave-ondulado; 16,95% ondulado; e 0,05% forte-ondulado a escarpado (SPERA et al., 2002).

No que tange a geologia, a bacia, é composta por rochas dos grupos Canastra (5%), Paranoá (25%), e Bambuí (70%) (FROTA, 2006). A característica de cada tipo de solo é um fator relevante no estudo de áreas saturáveis, na bacia estão inseridos os seguintes tipos de solos: LATOSSOLO VERMELHO (39,36%), LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO (19,13%), LATOSSOLO AMARELO (4,88%), NITOSSOLO VERMELHO (0,60%), NITOSSOLO HÁPLICO (1,10%), CAMBISSOLOS HÁPLICO (29,09%), PLINTOSSOLOS HÁPLICO (2,31%), GLEISSOLOS HÁPLICO (1,94%), GLEISSOLOS MELÂNICO (0,05%), NEOSSOLOS FLÚVICOS (0,75%), NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS (0,79%), NEOSSOLOS LITÓLICOS (área inexpressiva) (SPERA et al., 2002), além de pequenas áreas com Afloramentos Rochosos.

Quanto a Geomorfologia a bacia do rio Jardim é composta de quatro macro unidades geomorfológica, sendo elas: Chapadas Elevadas; Dissecação Intermediária; Rebordos; e Planícies Aluvionares (FROTA, 2006).

### **MODELO DE SATURAÇÃO DO SOLO**

O modelo matemático desenvolvido por O'Loughlin (1986) define que o padrão de equilíbrio de saturação do solo se baseia na análise da área de contribuição a montante, na precipitação, na transmissividade do solo e na declividade. Neste modelo considera-se que o fluxo infiltra-se até um plano de mais baixa condutividade, em geral o contato solo-rocha, seguindo então, um caminho determinado pela topografia (GUIMARÃES, 2000).

Esse modelo determina a condição de saturação do solo, sendo expresso pelo índice de umidade  $W$  (Equação 1). Os resultados de  $W$  superiores a 1 indicam que o solo com esses valores possuem condições suficientes para a saturação.

$$W = \frac{Q}{T} \cdot \frac{a}{b \cdot \text{sen } \theta} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde: ( $Q$ ) é o valor de precipitação; ( $a$ ) a área drenada à montante; ( $T$ ) é a transmissividade do solo; ( $b$ ) é o elemento de contorno de comprimento que passa a precipitação; ( $\theta$ ) é o seno da declividade local (GUIMARÃES, 2000).

## METODOLOGIA

### **OBTENÇÃO DO MODELO DIGITAL DE TERRENO (MDT) E DA ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO**

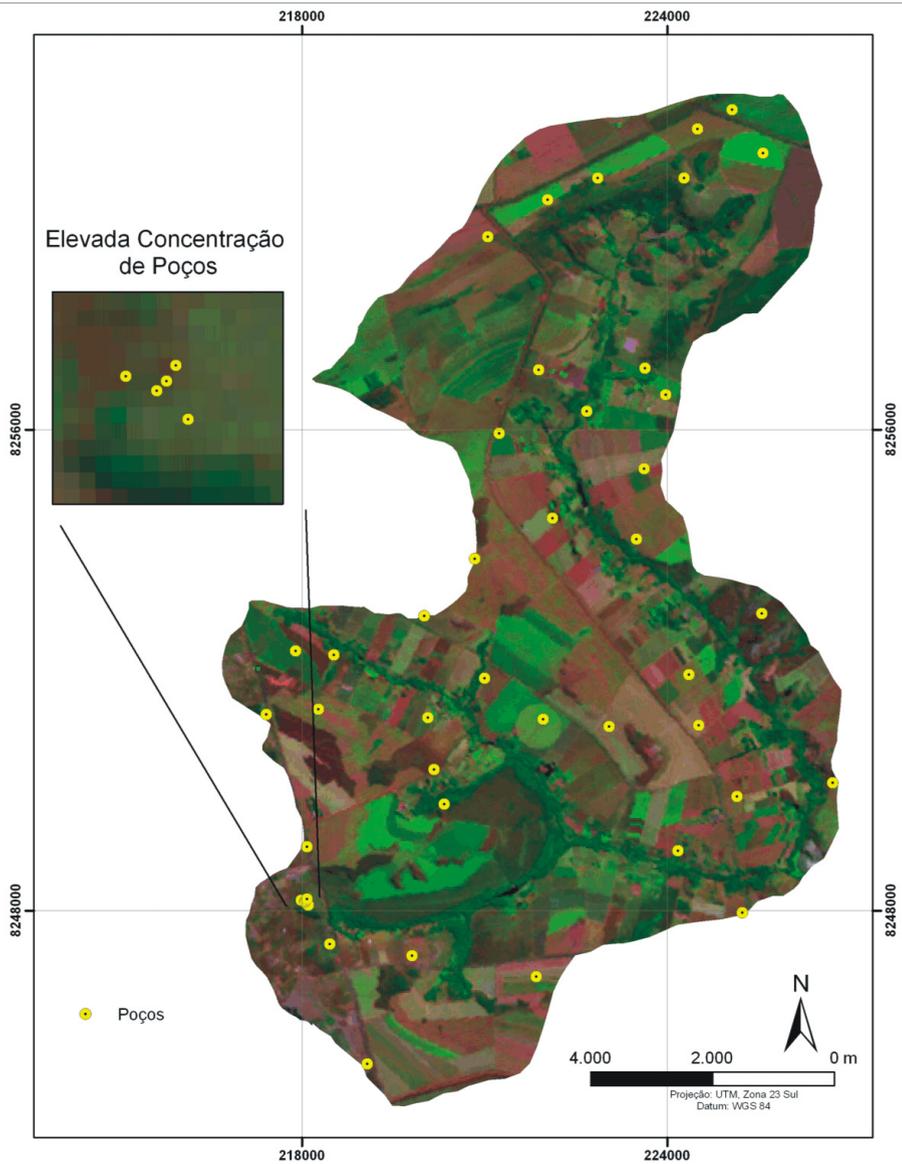
Utilizando os dados de pontos cotados, curvas de nível e hidrografia oriundos do Sistema de Informação Territorial e Urbana do DF (SITURB), foi confeccionado o MDT a partir do interpolador TOPOGRID software ArcInfo com pixel de 10 metros. Posteriormente foram corrigidas as depressões espúrias encontradas para que não influenciasse no regime de fluxo da bacia. A partir do MDT foi calculado o mapa de área de contribuição, a partir do método D-infinito desenvolvido por TARBOTON (1997). Este método realiza a distribuição de fluxo de forma proporcional entre as células localizadas à jusante, de acordo com a declividade local.

## **OBTENÇÃO DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS**

Em virtude de a área de estudo estar inserida, no Distrito Federal, os índices coletados pelo INMET para o DF, serviram de base para a escolha do valor pluviométrico a ser adotado na bacia do rio Jardim. Assim, valores diários de chuva em torno de 20 mm/dia foram encontrados com relativa frequência pelo INMET, no mínimo 12 vezes por ano desde 2001. Por isso essa quantidade de chuva foi a escolhida para as simulações do modelo.

## **OBTENÇÃO DOS DADOS DE TRANSMISSIVIDADE**

A transmissividade do solo é uma das variáveis utilizadas para a obtenção do índice de umidade  $W$ . Este parâmetro é obtido por meio da multiplicação do valor da permeabilidade do solo com o valor da espessura do solo. Os dados empregados neste trabalho foram adquiridos junto a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), que realiza pesquisas na bacia do rio Jardim. A Embrapa instalou 45 poços piezométricos (**Figura 2**) para a obtenção dos dados de transmissividade para o alto Jardim. A permeabilidade foi determinada para os 45 poços a partir do permeâmetro de carga constante e a espessura do solo foi considerada para solos profundos como a distância entre a superfície do solo e o lençol freático. Esta distância é uma média para os meses de março a agosto de 2004 porque esta simulação será feita para uma situação da primeira chuva após a estação da seca. A transmissividade foi então interpolada para todo o alto do rio Jardim com mesmo valor de pixel do MDT.



**Figura 2** – Localização dos poços piezométricos no alto rio Jardim.

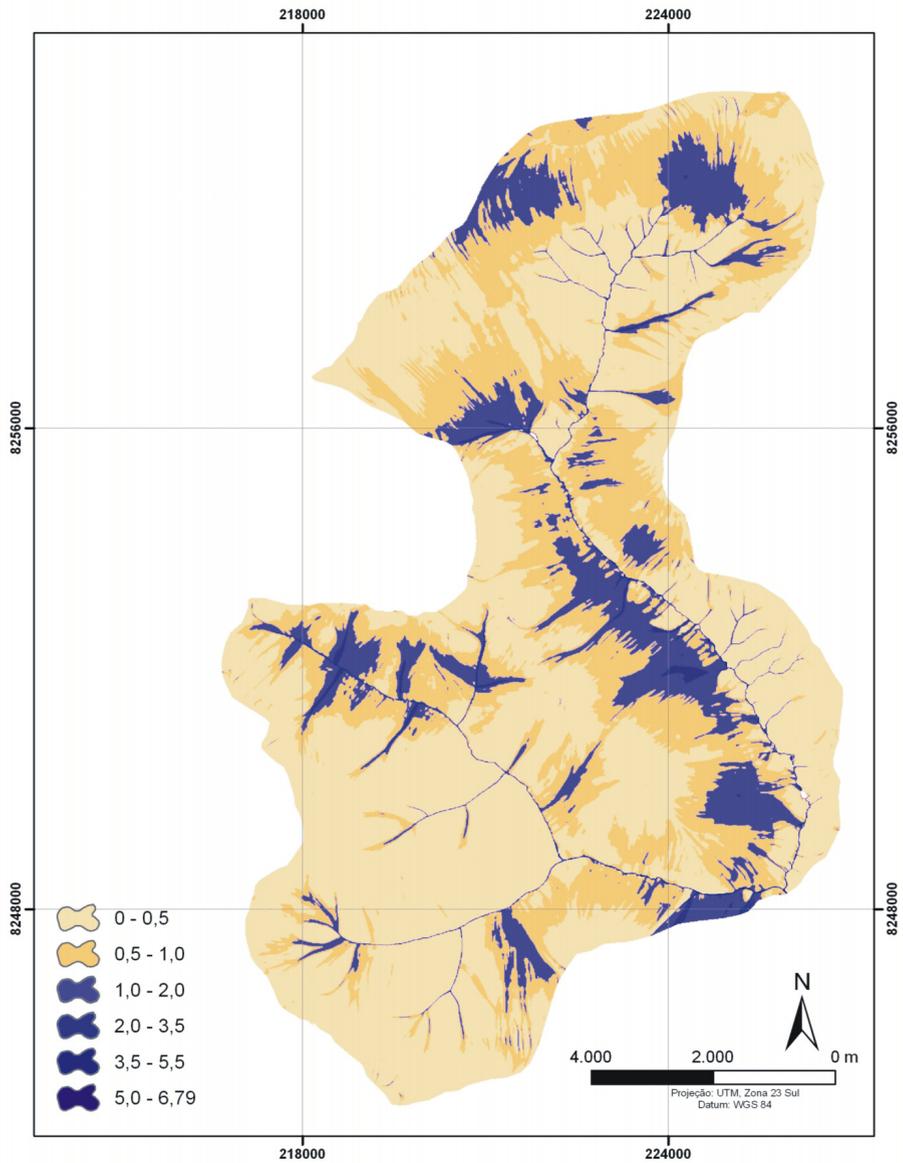
## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### ÁREAS DE SATURAÇÃO NA PAISAGEM PARA O ALTO RIO JARDIM

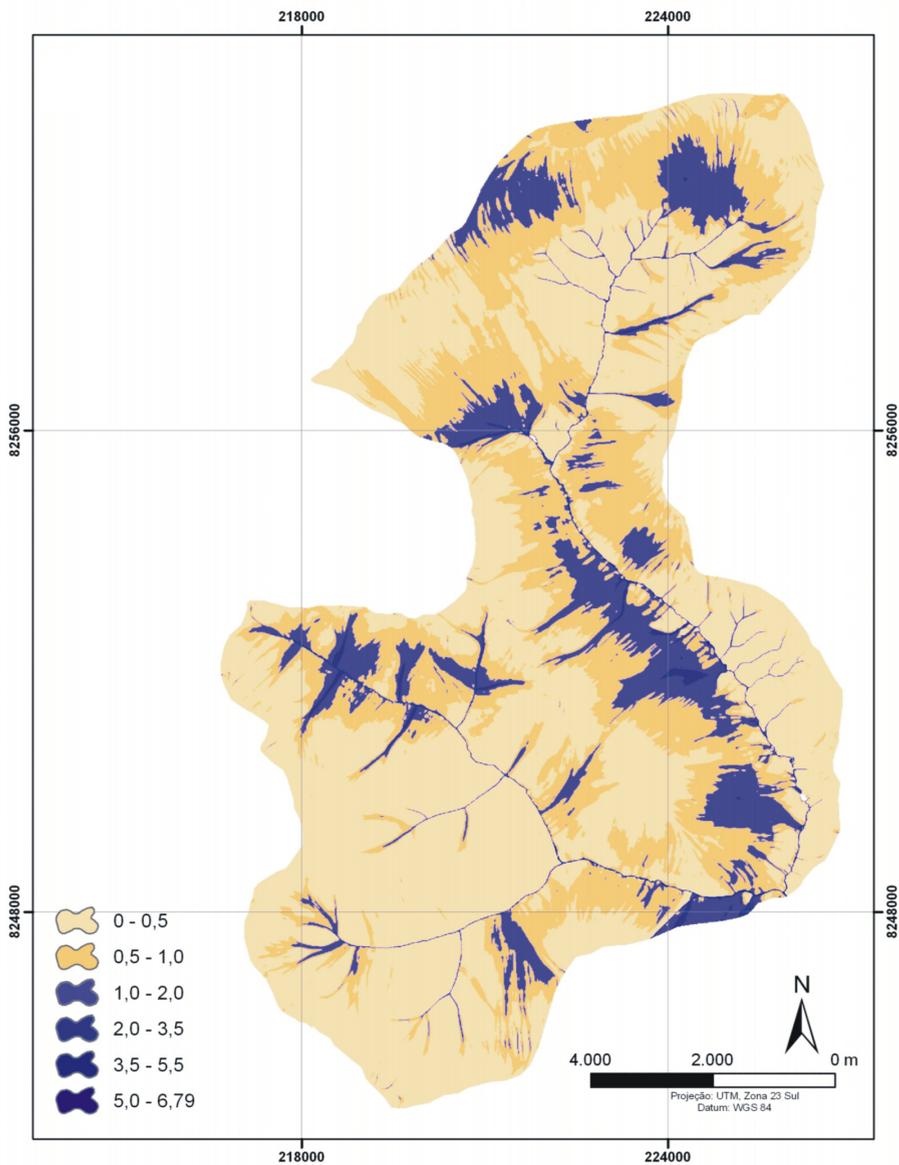
Com todas as variáveis estabelecidas foi elaborado o mapa de saturação do solo para o alto Jardim com o cenário de chuva de 20 mm/dia. O modelo matemático de O'Loughlin (1986) estabelece que os resultados superiores a 1 correspondem a zonas que possuem condições suficientes para saturar. A **Figura 3** localiza as áreas de saturação dos solos (tons de cor azul), e áreas não saturáveis (tons de cor bege). Conforme observado é significativa a área propícia à saturação neste cenário de chuva, em torno de 14 % (14,46 Km<sup>2</sup>).

### COMPARAÇÃO DA SATURAÇÃO PARA O ALTO JARDIM COM O MAPA DE SOLOS

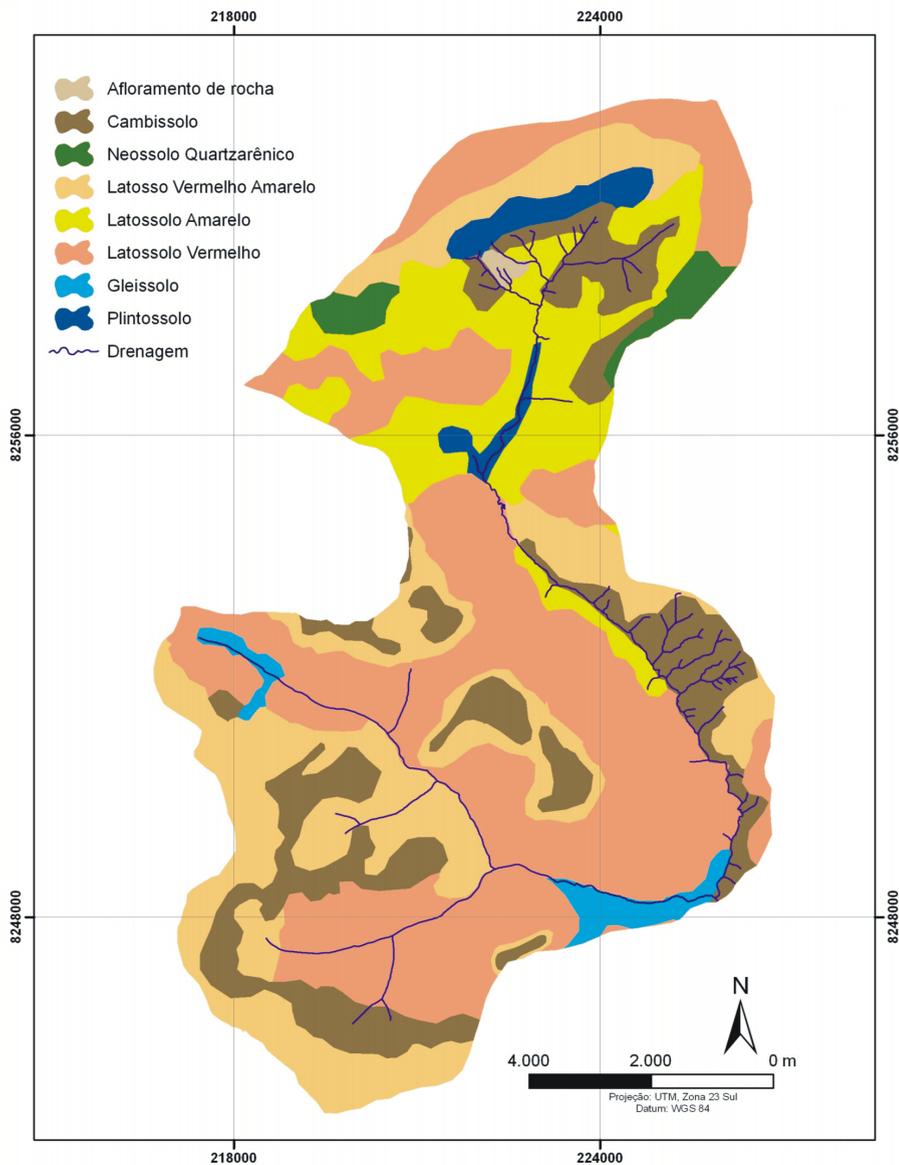
Abaixo, estão lado a lado as figuras com o padrão de saturação do solo para o alto Jardim (obtido pela interpolação) (**Figura 4**) e o mapa de solos (adaptado da Embrapa) (**Figura 5**). É possível notar uma relativa correlação entre o tipo de solo e a distribuição da saturação dos solos, principalmente para os gleissolos, em que as áreas saturáveis coincidem com este tipo de solo. Ao contrário os cambissolos, que estão em áreas de maior declividade, encontram-se nas áreas menos susceptíveis a saturação. No caso dos latossolos eles não demonstraram padrão definido, sendo encontradas áreas saturáveis e não saturáveis porque se encontram em diferentes posições do relevo. As áreas de saturação localizadas na classe Latossolo, na parte central do mapa, merecem uma melhor investigação, porque poderão existir solos do tipo gleissolos, já que se encontra em áreas relativamente planas e próximas a drenagem principal da bacia. Do



**Figura 3** – Saturação do solo no alto Jardim. 20mm/dia de chuva



**Figura 4** – Saturação do solo para 20 mm/dia.



**Figura 5** - Mapa de solos para o alto jardim (adaptado de Reatto et al., 2000).

mesmo modo, na parte inferior do mapa o gleissolo poderá ter seus limites reduzidos.

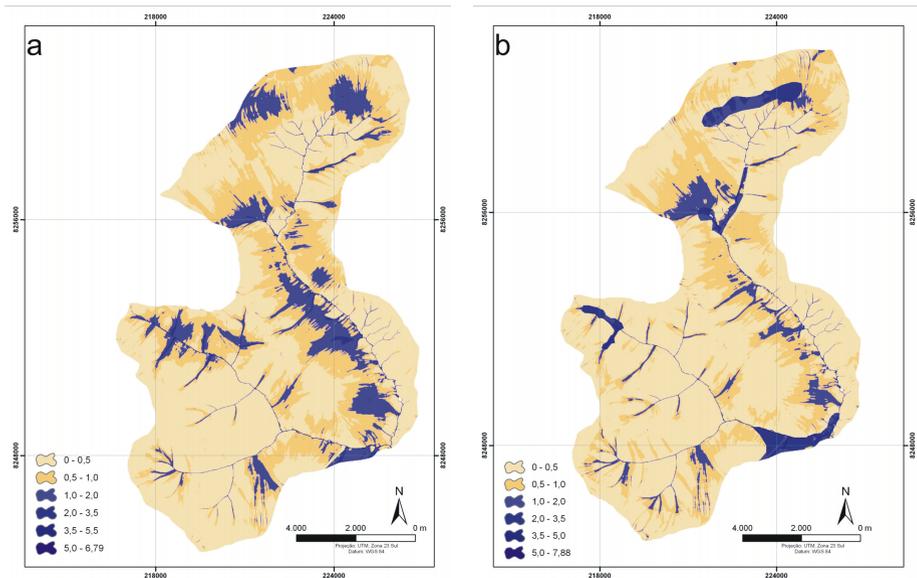
Os dados de transmissividade para áreas mais extensas são difíceis de serem obtidos devido ao alto custo de levantamento. Por este motivo, foi realizada uma extrapolação dos dados de transmissividade obtidos para o alto Jardim para toda a bacia, onde não existem poços de coleta de transmissividade. Estes valores foram calculados por meio da média dos valores de transmissividade dos poços encontrados em cada tipo de solo e desta forma foi elaborado o mapa de saturação na paisagem em toda sua extensão.

A **Figura 6** mostra a comparação entre os mapas de saturação da paisagem obtidos (a) a partir da interpolação dos dados de transmissividade e (b) a partir da utilização da média dos valores de transmissividade para cada classe de solo.

Os mapas não apresentam grandes divergências, logicamente o mapa construído a partir dos dados de transmissividade interpolados apresenta um maior nível de detalhamento. Desta forma foi elaborado um mapa de áreas propícias a saturação do solo para toda a bacia do rio Jardim utilizando-se a média dos valores de transmissividade para cada classe de solo (**Figura 7**).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

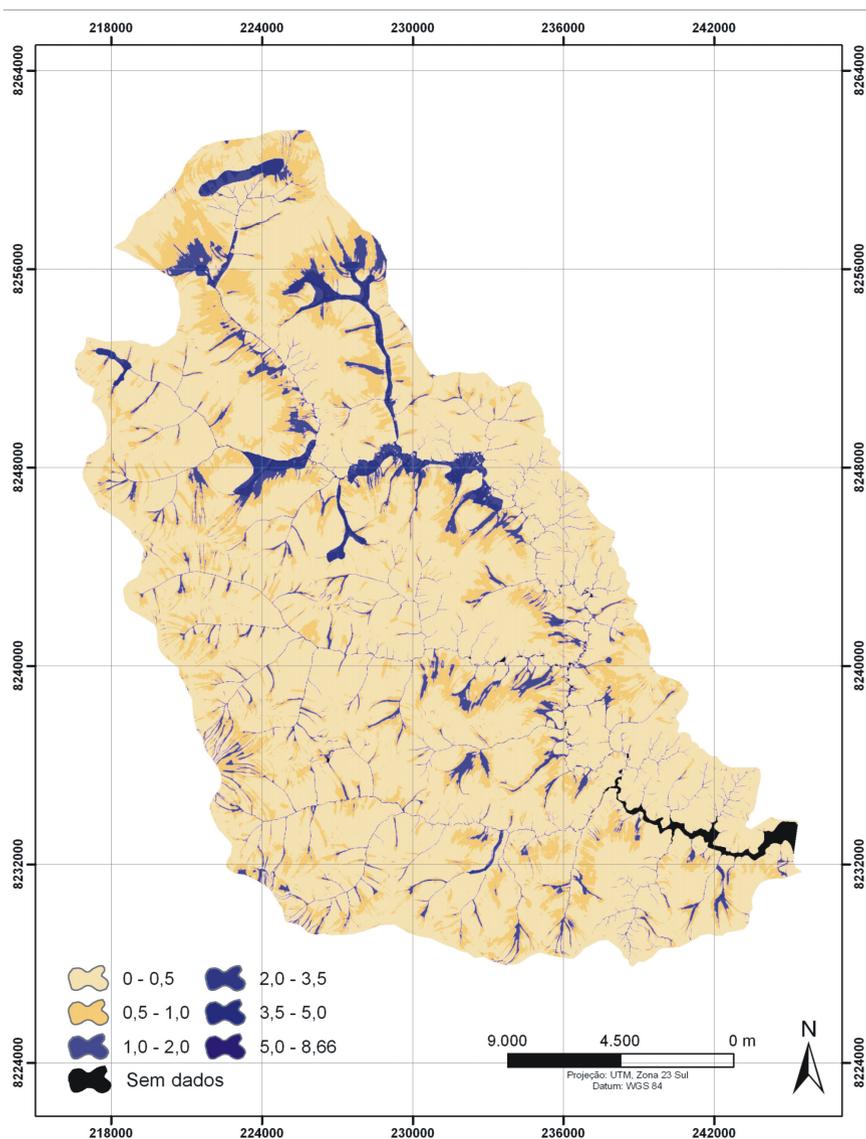
A utilização de um modelo de previsão de zonas de saturação na paisagem possibilita a obtenção de informações coerentes e eficazes, utilizando recursos computacionais relativamente simples e de baixo custo.



**Figura 6** – Mapa de Saturação nas duas metodologias para 20 mm/dia de chuva, (a) interpolação da transmissividade; (b) transmissividade homogênea por classe de solo.

Os resultados podem ser mais precisos à medida que os parâmetros utilizados possam ser o mais próximo da realidade. Neste trabalho podemos constatar que o resultado do modelo utilizando-se dos dados de transmissividade interpolados apresentou um melhor detalhamento das zonas de saturação na paisagem quando comparados com a utilização do valor médio para cada classe de solo.

O mapa de saturação na paisagem (para o alto Jardim) quando comparado com o mapa de solos evidenciou as diferentes capacidades de absorção da água dos solos na região e apresentou grande correlação com as diferentes



**Figura 7** – Saturação do solo extrapolada para a bacia do rio Jardim partir da utilização da média dos valores de transmissividade para cada classe de solo (20 mm/dia de chuva).

classes de solos, principalmente, com gleissolos (maiores índices de saturação) e cambissolos (menores índices de saturação).

A identificação de zonas de saturação na paisagem possibilita identificar o comportamento hidráulico dos solos na paisagem e são importantes para subsidiar outros estudos, como por exemplo, deslizamentos de terras, identificação de doenças correlacionadas a hidrologia, áreas adequadas ao plantio, ou mesmo a elaboração de sistemas viários menos vulneráveis.

### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de produtividade dos autores Osmar Abílio de Carvalho Júnior, Renato Fontes Guimarães, Roberto Arnaldo Trancoso Gomes e Éder de Souza Martins. Agradecem também aos membros do Laboratório de Sistemas de Informações Espaciais (LSIE) da UnB pelas críticas e sugestões realizadas durante a elaboração do artigo.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ANA (Agência Nacional de Águas) (2005). Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (2004-2013): síntese executiva com apreciação das deliberações do CBHSF aprovadas na III Reunião Plenária de 28 a 31 de julho de 2004 / Agência Nacional de Águas, Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. Brasília: ANA.
- BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Normas Cartográficas[Online]<<http://www.concar.ibge.gov.br/indexf7a0.html?q=node/41>>. Acesso em: 28 mar. 2007.
- DOLABELLA, R.H.C. (1996). Caracterização agroambiental e avaliação da demanda e da disponibilidade dos recursos hídricos para a agricultura irrigada na Bacia hidrográfica

do Rio Jardim - DF. 106 f. *Dissertação* (Mestrado em Ecologia) - Universidade de Brasília, Brasília.

FROTA, Patrícia Vasconcelos (2006). Propostas para a gestão integrada dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Jardim – DF. 145 f. *Dissertação* (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável)– Universidade de Brasília, Brasília.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. (2003). *Novo dicionário geológico – geomorfológico*. 3ª. Edição. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil , 652p.

GUIMARÃES, R. F. (2000). Utilização de um modelo de previsão de áreas susceptíveis à escorregamentos rasos com controle topográfico: Adequação e calibração em duas bacias de drenagem. 156 f. *Tese* (Doutorado em Geologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

LOEBMANN, D. G. Mistura espectral de imagens LANDSAT para análise multitemporal de uso da terra nas diferentes unidades pedológicas da bacia do rio Jardim, DF. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12., Goiânia. *Anais*. São José dos Campos: INPE. p. 557-564.

MARTINS, E. S.; REATTO, A.; CARVALHO Jr., O. A.; GUIMARÃES, R. F. (2004). Evolução Geomorfológica do Distrito Federal. *Documentos Embrapa Cerrados*, 122: 1-35.

MOORE, I.D., O'LOUGHLIN, E.M. and BURCH, G.J. (1988). A Contour-Based Topographic Model for Hydrological and Ecological Applications. *Earth Surface Processes and Landforms*, v.13, p. 305-320.

MOORE, I.D. and GRAYSON, R.B. (1991). Terrain-based Catchment Partitioning and Runoff Prediction Using Vector Elevation Data. *Water Resources Research*, 27(6): 1177-1191

O'LOUGHLIN, E.M. (1986). Prediction of surface saturation zones in natural catchments by topographic analysis. *Water Resources Research*, 22: 794-804.

- REATTO, A.; CORREIA, J.R.; SPERA, S.T.; CHAGAS, C.S.; MARTINS, E.S.; ANDAHUR, J.P.; GODOY, M.J.S.; ASSAD, M. L.L. 2000. Levantamento Semidetalhado dos Solos da Bacia do Rio Jardim-DF, escala 1:50.000. Boletim de Pesquisa Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, v. CDROM.
- SANTI, C. B. (2004). Processo de Uso e Ocupação do Solo e modelagem de previsão de zonas saturadas no relevo: Subsídio para o estudo de enchentes (Maciço Madureira, Nova Iguaçu, RJ). 96 f. *Dissertação* (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- SPERA, S. T.; REATTO, A.; MARTINS, E. S.; CORREIA J. R. (2002). Aptidão agrícola das terras da Bacia do Rio Jardim, DF. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento Embrapa Cerrados*, 27: 1-38.
- TARBOTON, D. G. (1997). A New Method for the Determination of Flow Directions and Contributing Areas in Grid Digital Elevation Models. *Water Resources Research*, 33(2): 309-319.